

УДК 656.13

DOI 10.52928/2070-1616-2024-49-1-89-94

ИНФОРМАЦИОННО-ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ В КОНТЕКСТЕ ГОРОДСКИХ ПЕРЕВОЗОК

Е.В. ШВЕЦОВА

(Брестский государственный технический университет)

Дан краткий обзор внедренных на постсоветском пространстве информационно-транспортных систем. Представлена концепция информационно-транспортной системы городских пассажирских перевозок на базе беспилотных электрокаров, реализующая новую технологию организации перевозочного процесса на основе использования интеллектуальных алгоритмов управления, транспорта с разделяющимися частями и скоростной перевозки. Предложенные методы организации перевозки направлены на обеспечение наиболее качественного и своевременного обслуживания пассажиров системы при максимально эффективном использовании подвижного состава.

Ключевые слова: интеллектуальная информационная транспортная система, планирование перевозок, организация перевозок, прогнозирование пассажиропотока, план перевозок, матрица корреспонденций, роботизированное транспортное средство, инфобус.

Введение. Неуклонный рост плотности населения в мегаполисах и городских агломерациях обуславливает необходимость трансформации большинства городских инфраструктур, сталкивающихся с возрастающим потоком требований и запросов, на которые необходимо дать оперативную и адекватную реакцию. Глубокое вовлечение информационных и телекоммуникационных технологий в протекающие социальные процессы обеспечивает как возможность сбора данных, так и их анализ для принятия стратегических и оперативных решений. В транспортной сфере на смену классическим технологиям грузовых и пассажирских перевозок приходят новые технологии, создающие новый вид транспортных систем, объединяющие транспортные, информационные и телекоммуникационные потоки в единый бизнес-процесс.

Согласно определению¹ информационно-транспортная система (ИТС) – это «система, интегрирующая современные информационные, коммуникационные и телематические технологии, технологии управления и предназначенная для автоматизированного поиска и принятия к реализации максимально эффективных сценариев управления транспортно-дорожным комплексом региона, конкретным транспортным средством или группой транспортных средств с целью обеспечения заданной мобильности населения, максимизации показателей использования дорожной сети, повышения безопасности и эффективности транспортного процесса, комфорта для водителей и пользователей транспорта».

Поставленные перед ИТС цели могут быть реализованы только при возможности оперативного получения актуальных сведений о дорожно-транспортной обстановке, а также аналитики, сформированной на основе собранных ретроспективных данных.

На постсоветском пространстве в сфере городских пассажирских перевозок внедренные ИТС представлены на данный момент через отдельные виды сервисов:

– *умную пассажирскую инфраструктуру.* Во многих городах появились умные остановки. Так, в 2023 г. в Санкт-Петербурге была установлена первая умная остановка общественного транспорта, оснащенная системами видеонаблюдения и информирования о возникающих чрезвычайных ситуациях, а также помощи людям с ограниченной мобильностью;

– *систему подсчета пассажиров,* позволяющие осуществлять учет числа входящих и выходящих пассажиров из транспортного средства, что дает возможность сбора точных данных о пассажирообмене на остановках;

– *мобильные приложения* для определения маршрута поездки, вызова такси, отслеживания заторов на дорогах;

– *электронные карты* для оплаты проезда.

Все перечисленные системы представляют собой пока еще разрозненные сервисы, несомненно, локально упрощающие общественные городские пассажирские перевозки, но при этом не решающие основные проблемы данной сферы: ошибки диспетчеризации, обусловленные прежде всего использованием при принятии решений неактуальных и неточных данных, и парк транспортных средств фиксированной пассажироместимости, который зачастую не соответствует изменениям спроса на перевозку, что в итоге приводит к курсированию на маршрутах полупустых или перегруженных транспортных средств.

¹ ГОСТ Р 56294-2014. Интеллектуальные транспортные системы. Требования к функциональной и физическим архитектурам интеллектуальных транспортных систем. – М.: Стандартинформ, 2018. – 7 с.

В данной работе предлагается концептуальная модель пассажирских перевозок в городской пассажирской информационно-транспортной системе, основанной на беспилотных электрокарах, способной эффективно устранить вышеназванные проблемы.

Основная часть. Элементы городской пассажирской ИТС на базе беспилотных электрокаров. Подробно модель городской пассажирской ИТС на базе беспилотных транспортных средств и организации перевозок в ней была описана в работах [1–4]. Она состоит из следующих элементов:

– *парк беспилотных электрокаров* – парк транспортных средств малой вместимости (до 30 чел.), называемых инфобусами. Каждый инфобус находится под управлением собственной бортовой системы, которая постоянно коммуницирует с единой управляющей системой ИТС, получая от нее управляющее воздействие и отправляя отчеты о выполнении полученных команд [1]. Инфобусы осуществляют движение по выделенной линии (рельсы или выделенная полоса) последовательно, без обгонов. Каждый инфобус может двигаться как автономно, так и синхронно с другими инфобусами, образуя при этом кассету – модульное транспортное средство новой вместимости (благодаря кассетам можно сформировать транспортное средство любой вместимости в режиме реального времени) (рисунок 1, а).

Возможность быстро по необходимости формирования кассет – отличительная черта транспортной технологии в рассматриваемой ИТС. Другой отличительной чертой является требование к движению инфобусов: оно обязательно должно осуществляться по выделенной линии, где инфобусы не будут испытывать при движении помех со стороны других видов транспортных средств. Перекрестки преодолеваются по эстакадам (рисунок 1, б) или подземным туннелям (рисунок 1, в). Данные требования позволяют инфобусам при движении развивать более высокую скорость по сравнению с другими видами наземного общественного транспорта;

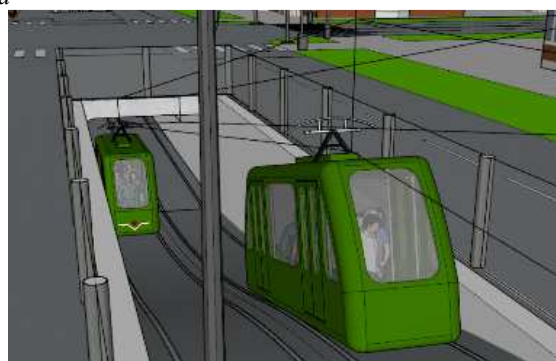
– *пассажирские остановки*, оснащенные терминалами для сбора заявок на перевозку (рисунок 1, г). Зарегистрированные через терминалы заявки от пассажиров через средства телекоммуникаций передаются единой управляющей системе ИТС и фиксируются в ней;



а



б



в



г

а – инфобус и кассета инфобусов; **б** – преодоление перекрестков по эстакадам;
в – преодоление перекрестков по подземным туннелям;
г – остановки и терминалы для регистрации заявки на них

Рисунок 1. – Элементы информационно-транспортной системы

– *регулярный маршрут движения* инфобусов, включающий в себя k остановок. На обоих концах маршрута находятся накопители, где инфобусы начинают и заканчивают рейс, осуществляют подзарядку и ожидают сигналов от управляющей системы ИТС (рисунок 2).

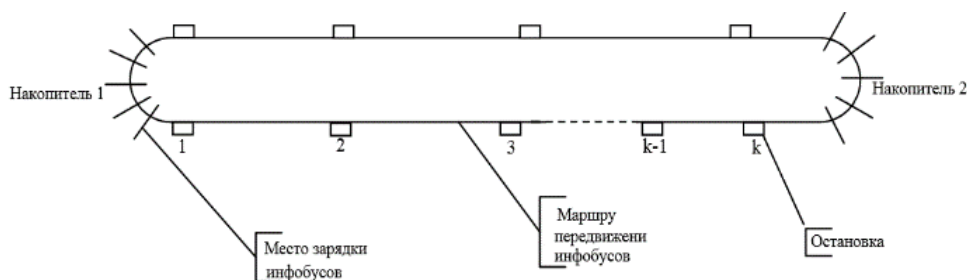


Рисунок 2. – Маршрут движения инфобусов

Информационная структура ИТС. Под информационной структурой ИТС понимается совокупность собираемых данных и элементов, участвующих в их сборе, хранении, обработке и организации перевозки. Она включает в себя:

- метрики заявок, поступающих в систему от пассажиров (рисунок 3).

ID integer	Origin integer	Destination integer	SeatsNumber integer	TimeRequest timestamp without time zone
109122	3	7	1	2021-06-16 00:07:57.07
109130	8	10	1	2021-06-16 00:08:11.08
109131	2	7	1	2021-09-02 10:18:09.18
109135	4	7	1	2021-09-02 10:18:18.18
109137	4	10	1	2021-09-02 10:18:23.18
109141	1	5	1	2021-09-02 10:40:51.4
109142	8	9	1	2021-09-02 10:40:55.4

Рисунок 3. – Структура метрик заявки

В собираемые метрики заявок входит идентификатор заявки (поле «ID»), номер остановки отправления (поле «Origin»), номер остановки назначения (поле «Destination»), число мест в заявке (поле «SeatsNumber», по умолчанию значение равно 1), время регистрации заявки (поле «TimeRequest»). Данная совокупность метрик позволяет определять такие важные показатели перевозки, как время ожидания каждым пассажиром транспортного средства, продолжительность поездки пассажира, коэффициент сменности за рейс, средняя длина поездки и т.д.;

– *информационный сервер*, являющийся единой управляющей системой ИТС. Он реализует не только логику работы с данными (сбор, хранение, обработка, анализ), но и логику управления системой (определение алгоритма перевозки, составление планов перевозки). Состоит из таких подсистем, как система сбора заявок (ССЗ), система анализа данных (САД) и система организации перевозок (СОП). На рисунке 4 представлена общая схема потока данных в ИТС.



Рисунок 4. – Общая схема потока данных в информационно-транспортной системе

Поступающие с терминалов остановок в ССЗ заявки на перевозки сохраняются в базе данных, которая через заданный интервал (20–30 с) сканируется информационным сервером на предмет достаточности их накопления. При выполнении условия достаточности накопления заявок информационный сервер формирует на их основе матрицу корреспонденций, являющуюся информационной основой для дальнейшей организации перевозки;

– *матрицу корреспонденций* – это квадратная матрица размерности $k \times k$, где k – число остановок одного направления маршрута (рисунок 5). Каждый элемент $m_{ij}, i = \overline{1, k-1}, j = \overline{2, k}$ матрицы несет в себе информацию о запросах на перевозку по корреспонденции ij в текущий момент времени, т.к. определяет количество пассажиров, желающих ехать с остановки $i, i = \overline{1, k-1}$ на остановку $j, j = \overline{2, k}$. Очевидно, что элементы матрицы на главной диагонали и под главной диагональю равны нулю, т.к. предполагается, что пассажир не может выйти на остановке, на которой сел, и не может ехать назад [2];

$$M = \begin{pmatrix} 0 & m_{12} & m_{13} & \dots & \dots & m_{1j} & \dots & m_{1k} \\ 0 & 0 & m_{23} & \dots & \dots & m_{2j} & \dots & m_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & m_{i+1} & \dots & m_{ij} & \dots & m_{ik} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & m_{k-1k} \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

Рисунок 5. – Матрица корреспонденций

– *алгоритмы организации перевозки*. Организация пассажирских перевозок в рассматриваемой ИТС всегда осуществляется в соответствии с одним из используемых в ИТС алгоритмов перевозки (будут описаны ниже). Выбор алгоритма осуществляется по принципу оптимальности в данный момент среди всех используемых алгоритмов. Для определения наиболее оптимального алгоритма информационный сервер на основе каждого алгоритма и матрицы корреспонденций рассчитывает план перевозки, включающий в себя определение числа используемых транспортных средств, посещаемых остановок маршрута для каждого инфобуса и графиков движения для каждого транспортного средства [5; 6]. Также для каждого алгоритма оцениваются параметры эффективности. На их основе вычисляется значение целевой функции, минимальное значение которой определяет наиболее оптимальный в данный момент алгоритм перевозки;

– *целевую функцию* – функцию общих потерь перевозки – индикатор эффективности перевозки с использованием исследуемого алгоритма. Состоит из суммы оценок потерь перевозки (коэффициентов), которые предположительно понесут транспортное предприятие и пассажиры:

$$P(K_{НВ}, K_{ОСТ}, K_{ОП}, K_{ПП}) = K_{НВ} + K_{ОСТ} + K_{ОП} + K_{ПП} \rightarrow \min,$$

где $K_{НВ}$ – коэффициент неиспользованной пассажировместимости транспортного средства (отражает потери от неиспользованной пассажировместимости транспортного средства во время перевозки); $K_{ОСТ}$ – коэффициент «остановочности» (отражает потери транспортной системы от процесса торможения-разгона во время перевозки); $K_{ОП}$ – коэффициент времени ожидания пассажиром транспортного средства (отражает временные потери пассажира на ожидание транспортного средства); $K_{ПП}$ – коэффициент продолжительности поездки (отражает временные потери пассажира во время поездки). Для текущей перевозки выбирается алгоритм, показавший минимальное значение функции потерь.

Принципы организации перевозки. В зависимости от количества сделанных в пути остановок транспортным средством перевозка пассажиров может осуществляться в обычном, скоростном или экспрессном режиме [7]. Исследования показали, что пропуск некоторых остановок при движении на маршруте влечет за собой прямые экономические выгоды как для перевозчика, так и для пассажиров, но при этом не гарантирует удовлетворение всех заявок на перевозку [7]. В то же время перевозка с посещением всех остановок маршрута лишена данного недостатка, но влечет существенное увеличение времени поездки пассажиров, а также расходов транспортного предприятия. Комбинирование способов перевозки позволяет удовлетворить все заявки на перевозку и добиться снижения потерь как транспортной организации, так и пассажиров [7]. Пассажирская перевозка в ИТС построена на использовании комбинированного режима, что является третьей особенностью технологии перевозки в ИТС. Задачей управляющего сервера ИТС является рациональное применение алгоритмов организации перевозки.

Алгоритм перевозки на основе критического элемента матрицы корреспонденций («по критическому элементу»). Алгоритм перевозки «по критическому элементу» [8] рассчитан на массовый безостановочный

провоз пассажиров (например, более 80% от объема салона транспортного средства) от остановки i до остановки j маршрута. Очевидно, что чем длиннее перегон ij , тем большую скорость может развить транспортное средство на этом участке и тем выше провозная способность и производительность перевозки пассажиров. Также для максимизации экономического эффекта от перевозки на подъезде от накопителя к остановке i и при отъезде от остановки j к противоположному накопителю возможен дополнительный подвоз пассажиров.

Достоинство: данный вид перевозки является скоростным, т.к. остановки маршрута посещаются выборочно, в соответствии с логикой алгоритма. Пассажиры делают минимальное число ненужных им остановок, а транспортное средство не осуществляет лишние торможения и разгоны. **Недостаток:** обслуживаются не все остановки маршрута.

Алгоритм перевозки на основе строки матрицы корреспонденций («по строке»). Алгоритм перевозки «по строке» рассчитан на развоз пассажиров с некоторой остановки маршрута, на которой накопилось достаточно пассажиров (например, более 80% от объема салона транспортного средства). Алгоритм предполагает формирование кассеты инфобусов для развоза всех пассажиров с остановки. Причем каждый инфобус везет своих пассажиров лишь на несколько соседних остановок. Таким образом соблюдается скоростной режим перевозки. Достоинства и недостатки у данного вида перевозки те же, что и у предыдущего алгоритма.

Алгоритм обычной перевозки «по наиболее пассажиронапряженному перегону». Транспортная система не может обслуживать только «выгодные» остановки маршрута и игнорировать интересы прочих. В связи с этим в перевозку должны включаться и алгоритмы, гарантирующие удовлетворение заявок пассажиров, не попавших в «скоростные» алгоритмы. Алгоритм «по наиболее пассажиронапряженному перегону» позволяет рассчитать объем транспортного средства (кассеты) для перевозки на основе данных матрицы корреспонденций о числе пассажиров, которые будут ехать в транспортном средстве на наиболее загруженном (пассажиронапряженном) перегоне (участке маршрута между двумя соседними остановками). Таким образом, на маршрут будет выслано транспортное средство минимально необходимой вместимости.

Функционирование системы. Пассажир делает через терминал на остановке либо через приложение заявку на перевозку, которая через средства телекоммуникации передается на сервер ИТС. ИС производит постоянное сканирование накопленных заявок и при выполнении условия их достаточного накопления формирует матрицу корреспонденций, делает расчет оценок эффективности перевозки для каждого используемого в системе алгоритма и выбирает лучший в данный момент, после чего высылает планы перевозки бортовым системам инфобусов для выполнения. После завершения перевозки инфобусы пересылают серверу отчеты о ее выполнении.

Заключение. Появление и развитие информационно-транспортных систем является эволюционным шагом, обусловленным концентрацией населения в городах и слиянием транспортных и информационных технологий. Подавляющее большинство внедренных на данный момент ИТС на постсоветском пространстве представляют собой лишь локальные инфраструктурные сервисы, ориентированные в основном только на сбор данных о наблюдаемом объекте. В работе представлена концепция городской пассажирской информационно-транспортной системы, способной адаптивно без участия человека реагировать на колебания пассажирского спроса на перевозку в режиме реального времени. Это достигается за счет таких особенностей, как:

- движение транспортных средств по выделенной линии (рельс или выделенная полоса), что позволяет эффективно использовать скоростную перевозку;
- использование в качестве системы интеллектуального информационного сервера, осуществляющего сбор, анализ данных о запросах на перевозку и организацию в режиме реального времени перевозки;
- способность управляющей системы формировать в режиме реального времени транспортное средство нужной в данный момент пассажировместимости;
- использование в управлении перевозками интеллектуальных алгоритмов скоростной перевозки, позволяющих пассажирам достичь пункта назначения с минимальным числом промежуточных остановок, а транспортному средству не делать ненужные остановки;
- выбор при организации перевозки наиболее оптимального алгоритма для нее в данный момент.

Рассматриваемая городская пассажирская ИТС на основе беспилотных электрокаров является замкнутой, т.е. способной функционировать без участия человека. Информационные процессы (сбор информации, обработка информации, принятие решений) протекают в ней постоянно и составляют основу информационной транспортной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Shviatsova E.V., Shuts V.N. The Intellectual Transport with Divisible Parts // Society 5.0: Human-Centered Society Challenges and Solutions. Studies in Systems, Decision and Control / A.G. Kravets, A.A. Bolshakov, M. Shcherbakov (Eds). – Cham: Springer, 2022. – Vol. 416. DOI: 10.1007/978-3-030-95112-2_22
2. Shviatsova A., Shuts V. The smart urban transport system based on robotic vehicles // Artificial Intelligence. – 2019. – № 3–4(85–86). – P. 40–49. DOI: 10.15407/jai2019.03-04.040
3. Shviatsova A., Shuts V. The cassette method principles of passengers transportation through the intelligent transportation system // Artificial Intelligence. – 2020. – № 1. – P. 14–18. DOI: 10.15407/jai2020.01.014

4. Shuts V., Shviatsova A., Prolisko E. Collection and analysis of data for organization of transportation in the city passenger information and transportation system // *Applied questions of mathematical modelling*. – 2021. – Т. 4, № 2.1. – Р. 284–293. DOI: 10.32782/KNTU2618-0340/2021.4.2.1.30
5. Швецова Е.В., Шуть В.Н. О построении графика движения транспортных средств в городской пассажирской транспортной системе // *Вестн. БелГУТа: Наука и Транспорт*. – 2021. – № 2. – С. 21–24.
6. Shuts V., Shviatsova A. The drawing up of the motion schedule in the intelligent urban passenger transport system // *Artificial Intelligence*. – 2021. – № 26(2). – Р. 104–109. DOI: 10.15407/jai2021.02.104
7. Антошвили М.Е., Либерман С.Ю., Спирин И.В. Оптимизация городских автобусных перевозок. – М.: Транспорт, 1985. – 102 с.
8. Швецова Е.В., Шуть В.Н. Алгоритм организации перевозок на основе критического элемента матрицы корреспонденций // *Транспорт Урала*. – 2023. – № 2(77). – С. 34–40. DOI: 10.20291/1815-9400-2023-2-34-40

REFERENCES

1. Shviatsova, E.V. & Shuts, V.N. (2022). The Intellectual Transport with Divisible Parts. In A.G. Kravets, A.A. Bolshakov, M. Shcherbakov (Eds). *Society 5.0: Human-Centered Society Challenges and Solutions. Studies in Systems, Decision and Control*: Vol. 416. Cham: Springer. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-95112-2_22
2. Shviatsova, A.V. & Shuts, V.N. (2019). The smart urban transport system based on robotic vehicles. *Artificial Intelligence*, 3–4(85–86), 40–49. DOI: 10.15407/jai2019.03-04.040
3. Shviatsova, A.V. & Shuts, V.N. (2020). The cassette method principles of passengers transportation through the intelligent transportation system. *Artificial Intelligence*, (1), 14–18. DOI: 10.15407/jai2020.01.014
4. Shuts, V., Shviatsova, A. & Prolisko, E. (2021). Collection and analysis of data for organization of transportation in the city passenger information and transportation system. *Applied questions of mathematical modelling*, 4 (2.1), 284–293. DOI: 10.32782/KNTU2618-0340/2021.4.2.1.30
5. Shvetsova, E.V. & Shut', V.N. (2021). О построении графика движения транспортных средств в городской пассажирской транспортной системе. *Вестник БелГУТа: Наука и Транспорт*, (2), 21–24. (In Russ.)
6. Shuts, V. & Shviatsova, A. (2021). The drawing up of the motion schedule in the intelligent urban passenger transport system. *Artificial Intelligence*, 26(2), 104–109. DOI: 10.15407/jai2021.02.104
7. Antoshvili, M.E., Liberman, S.Yu. & Spirin, I.V. (1985). *Optimizatsiya gorodskikh avtobusnykh perevozk*. – Moscow: Transport. (In Russ.)
8. Shvetsova, E.V. & Shut', V.N. (2023). Algorithm organizatsii perevozk na osnove kriticheskogo elementa matritsy korrespondentsii [Algorithm for organizing transportation based on a critical element of the correspondence matrix]. *Transport Urala [Transport of the Urals]*, 2(77), 34–40. (In Russ., abstr. in Engl.)

Поступила 10.01.2024

INFORMATION AND TRANSPORT SYSTEMS IN THE CONTEXT OF URBAN TRANSPORTATION

A. SHVIATSOVA
(*Brest State Technical University*)

A brief overview of information and transport systems implemented in the post-Soviet space is given. The concept of an information and transport system for urban passenger transportation based on unmanned electric vehicles is proposed, which implements a new technology for organizing the transportation process based on the use of intelligent control algorithms, transport with separable parts and high-speed transportation. The proposed methods of organizing transportation are aimed at ensuring the highest quality and timely service for system passengers with the most efficient use of rolling stock.

Keywords: *Intelligent information transport system, transportation planning, transportation organization, passenger traffic forecasting, transportation plan, correspondence matrix, robotic vehicle, infobus.*