

ТЕХНОЛОГИИ СКОРОСТНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК В ГОРОДСКОЙ ПАССАЖИРСКОЙ ИНФОРМАЦИОННО-ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ НА БАЗЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЭЛЕКТРОКАРОВ

В. Н. Шуть¹⁾, Е. В. Швецова²⁾

¹⁾ Брестский государственный технический университет,
ул. Московская, 267, 224017, г. Брест, Беларусь, lucking@mail.ru

²⁾ Брестский государственный технический университет,
ул. Московская, 267, 224017, г. Брест, Беларусь, helengood@internet.ru

Предложена технология городских пассажирских перевозок в информационно-транспортной системе на основе использования интеллектуальных алгоритмов управления скоростными перевозками и транспорта с разделяющимися частями. Предложенные методы организации перевозки направлены на обеспечение наиболее качественного и своевременного обслуживания пассажиров 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. Глубокое вовлечение информационных, телекоммуникационных и веб 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 подходам грузовых и пассажирских перевозок приходят новые технологии, порождающие новый вид транспортных систем, объединяющие транспортные, информационные и телекоммуникационные потоки в единый бизнес-процесс. Поставленные перед ИТС цели (своевременное удовлетворение спроса на перевозку) могут быть реализованы только при возможности оперативного получения актуальных сведений о дорожно-транспортной обстановке, а также аналитики, сформированной на основе собранных ретроспективных данных.

В данной работе предлагается концептуальная модель перевозок в городской пассажирской информационно-транспортной системе, основанной на беспилотных электрокарах.

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 [1-5]. Она включает в себя следующие элементы:

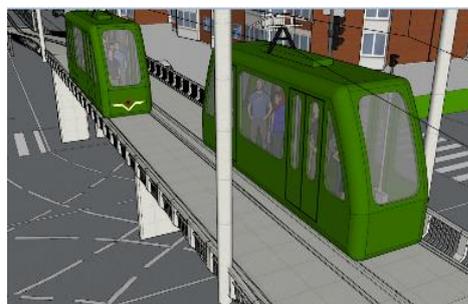
- *Парк беспилотных электрокаров* – совокупность беспилотных транспортных средств малой вместимости (до 30 человек), называемых инфобусами. Каждый инфобус находится под управлением собственной бортовой системы, которая постоянно коммуницирует с единой управляющей системой ИТС, получая от нее управляющее воздействие и отправляя отчеты о выполнении полученных команд [1,2]. 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), рис. 1а. Еще одной особенностью ИТС 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

подземным туннелям (рис. 1в) или эстакадам (рис. 1б). Данные требования позволят инфобусам при движении развивать более высокую скорость по сравнению с другими видами наземного общественного транспорта;

- *Пассажирские остановки, оснащенные терминалами для сбора заявок на перевозку, рис. 1г. Зарегистрированные через терминалы заявки от пассажиров через средства телекоммуникаций передаются единой управляющей системе ИТС и фиксируются в ней;*



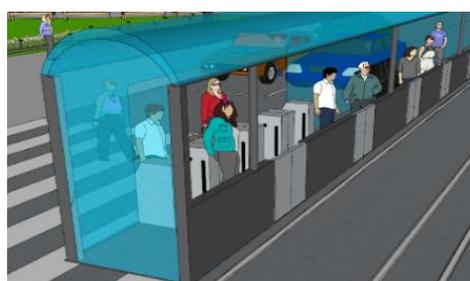
а) Инфобус и кассета инфобусов



б) Движение по эстакадам



в) Движение по подземным туннелям



г) Остановки и терминалы

Рис. 1. Элементы ИТС

- *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, рис. 2.*

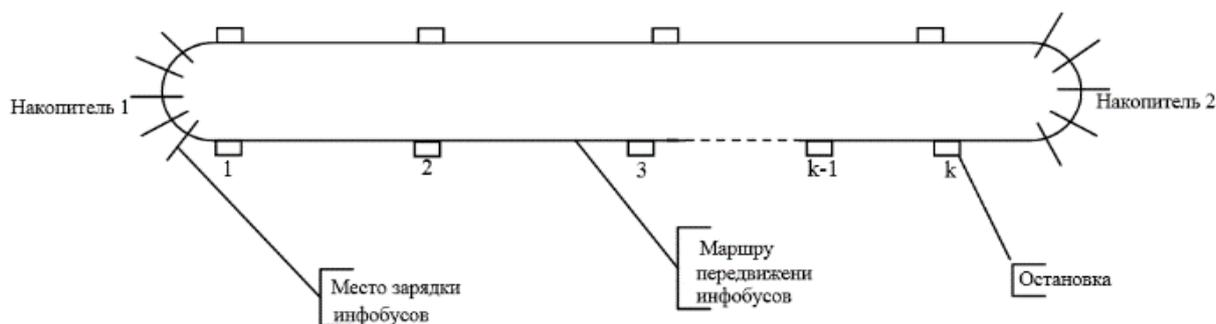


Рис. 2. Маршрут

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

- *Метрики заявок, поступающих в систему от пассажиров, рис. 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

Рис. 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, среднюю длину 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). Включает в себя такие подсистемы, как система сбора заявок (ССЗ), системы анализа данных (САД) и системы организации перевозок (СОП). На рис. 4 представлена общая схема потока данных в ИТС.



Рис. 4. Общая схема потока данных

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

- *Матрица корреспонденций* – это квадратная матрица размерности $k \times k$, где k – число остановок одного направления маршрута, рис. 5. Каждый элемент $m_{ij}, i = 1, k - 1, j = 2, k$ матрицы несет в себе информацию о запросах на перевозку по корреспонденций ij в текущий момент времени, т.к. определяет количество пассажиров, желающих ехать с остановки $i, i = 1, k - 1$ 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 [1,3].

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

Рис. 5. Матрица корреспонденций

- *Алгоритмы организации перевозки.* Организация пассажирских перевозок в рассматриваемой ИТС всегда осуществляется в соответствии с одним из используемых в ИТС алгоритмов перевозки [1]. Выбор алгоритма осуществляется по принципу оптимальности в данный момент среди всех использующихся 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 [1]. Также для каждого алгоритма делается оценка параметров эффективности, на основе которых вычисляется значение целевой функции, минимальное значение которой определяет наиболее оптимальный в данный момент алгоритм перевозки.

- *Целевая функция.* Представляет из себя функцию общих потерь перевозки и является индикатором эффективности перевозки с использованием исследуемого алгоритма. Включает в себя сумму оценок потерь перевозки (коэффициентов), которые предположительно понесут транспортное предприятие и пассажиры (1):

$$P(K_{НВ}, K_{ОСТ}, K_{ОП}, K_{ПП}) = K_{НВ} + K_{ОСТ} + K_{ОП} + K_{ПП} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $K_{НВ}$ – коэффициент неиспользованной пассажироместимости транспортного средства (отражает потери от неиспользованной пассажироместимости 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 режиме, скоростном или экспрессном [1,8]. 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 [1,8]. 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 как

удовлетворить все заявки на перевозку, так и добиться снижения потерь как транспортной организации, так и пассажиров [1,8]. 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.

Пассажир делает через терминал на остановке либо через приложение заявку на перевозку, которая через средства телекоммуникации передается на сервер ИТС. ИТС производит постоянное сканирование накопленных заявок и при выполнении условия достаточного накопления заявок 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.

Библиографические ссылки

1. Шуть В. Н., Швецова Е. В. Кассетно-конвейерные технологии скоростных систем городских пассажирских перевозок: монография / Брест: БрГТУ, 2023. 208 с.
2. Shuts V., Shviatsova A. Balance Model of Interests of a Transport Company and Passengers in Urban Transportation by Automatic Transport // Creativity in Intelligent Technologies and Data Science : 5th International Conference, CIT&DS 2023, Volgograd, Russia, September 11-15, 2023, Proceedings / eds.: A. G. Kravets, M. V. Shcherbakov, P. P. Groumpos. Cham : Springer, 2023. Vol. 1909 : Communications in Computer and Information Science. P. 538-548.
3. Shviatsova A., Shuts V. The smart urban transport system based on robotic vehicles // Artificial Intelligence. 2019. № 3-4 (85-86). P. 40-49. DOI: <https://doi.org/10.15407/jai2019.03-04.040>
4. Shviatsova A., Shuts V. The cassette method principles of passengers transportation through the intelligent transportation system // Artificial Intelligence. 2020. № 1. P. 14-18. DOI: <https://doi.org/10.15407/jai2020.01.014>
5. 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. P. 284-293. DOI: <https://doi.org/10.32782/KNTU2618-0340/2021.4.2.1.30>
6. Швецова Е. В., В. Н. Шуть. О построении графика движения транспортных средств в городской пассажирской транспортной системе // Вестник БелГУТа: Наука и Транспорт. 2021. № 2. С. 21-24.
7. Shuts V., Shviatsova A. The drawing up of the motion schedule in the intelligent urban passenger transport system // Artificial Intelligence. 2021. № 26 (2). P. 104-109. DOI: <https://doi.org/10.15407/jai2021.02.104>.
8. Антошвили М. Е., Либерман С. Ю., Спирин И. В. Оптимизация городских автобусных перевозок. М.: Транспорт, 1985. 102 с.