

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБЪЕМА ПЕРЕВОЗКИ ПАССАЖИРОВ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЕ НА БАЗЕ БЕСПИЛОТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

*Е. В. Швецова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Старший преподаватель кафедры «Интеллектуальные информационные технологии» УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь, e-mail : helengood@gmail.com

### Реферат

Рассматривается процесс планирования и организации перевозки в интеллектуальной информационной транспортной системе через задачи прогнозирования поступления заявок на перевозку от пассажиров, составление плана перевозки с их учетом и расчет потребного числа транспортных средств для выполнения плана перевозки. В статье дается новая формулировка условия наступления момента достаточного накопления заявок в транспортной системе для начала составления плана перевозки. Предложенные методы направлены на обеспечение наиболее качественного и своевременного обслуживания пассажиров интеллектуальной информационной транспортной 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.

## FORECASTING THE VOLUME OF TRANSPORTATION OF PASSENGERS IN THE INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEM ON THE BASIS OF UNMANNED VEHICLES

*E. V. Shviatsova*

### Abstract

The process of planning and organizing transportation in an intelligent information transport system is considered through the tasks of forecasting the receipt of requests for transportation from passengers, drawing up a transportation plan and calculating the required number of vehicles for the implementation of the transportation plan. The article provides a new formulation of the condition for the occurrence of the moment of sufficient accumulation of applications in the transport system to start drawing up a transportation plan. The proposed methods are aimed at providing the most high-quality and timely passenger service of an intelligent information transport system 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.

### Введение

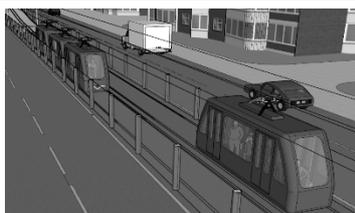
Городской общественный пассажирский транспорт продолжает оставаться на данный момент основным средством удовлетворения потребностей городского населения в перевозке. При интенсивном развитии интеллектуальных информационных технологий происходит неизбежное их сращивание со многими социальными инфраструктурами, в том числе и с транспортными системами, в результате чего появляется новое поколение транспортных систем на базе интеллектуальных технологий, которые должны справляться со сложными задачами планирования, организации и управления пассажирскими перевозками при минимальном участии человека.

В жизненном цикле любой транспортной системы протекают такие процессы, как планирование перевозок, их организация и управление. Между данными процессами происходит перманентное взаимодействие [1]. Процесс планирования перевозок включает в себя задачи прогнозирования и обоснования ожидаемых объемов перевозок с учетом максимально полного удовлетворения спроса на них, объема парка транспортных средств и т. д. Процесс организации перевозок заключается в выявлении закономерностей корреспонденций

движения пассажиров, определение скоростей и графика движения и т. д. Процесс управления движением реализует централизованный контроль, обеспечивающий эффективное выполнение разработанного плана перевозки при высоком качестве обслуживания.

Данная статья посвящена описанию городской пассажирской транспортной системы нового типа на базе интеллектуальных технологий и решению такой задачи процесса планирования перевозок в данной транспортной системе, как прогнозирование и обоснование объема перевозки и потребного числа транспортных средств для реализации плана перевозки, которая решается в режиме реального времени.

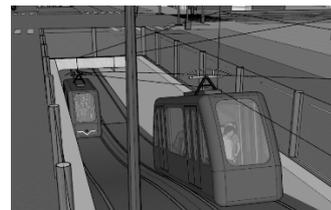
Рассматриваемая интеллектуальная транспортная система включает в себя парк беспилотных роботизированных транспортных средств, управляемых дистанционно из единого сервера системы, осуществляющих перевозку пассажиров, сделавших заявку транспортной системе через терминалы, расположенные на остановках. Заявки от пассажиров накапливаются централизованно на сервере системы, который составляет план перевозки пассажиров с конкретной остановкой, максимально удовлетворяющий спрос на перевозку к



а) автокараван инфобусов



б) движение по эстакаде



в) движение по подземному тоннелю

**Рисунок 1** – Движение инфобусов по выделенной линии



а) терминалы ИТС на остановках маршрута

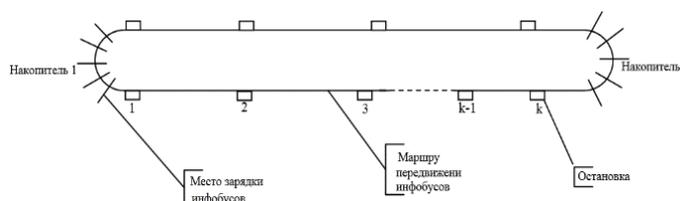
STATUS	BEGIN TIME	REQUEST TIME	ORIGIN (i)	DESTINATION (j)	SEATS NUMBER	INTENSITY	M <sub>ij</sub>	FIXATION
Start	00:26:06.1866667	00:26:06.1700000	1	0	0	0	0	No
Flow	00:26:06.1866667	00:26:25.9466667	1	2	2	0,1052632	2	No
Flow	00:26:06.1866667	00:26:47.5433333	1	5	1	0,02439024	1	No
Flow	00:26:06.1866667	00:27:01.8033333	1	3	4	0,07272727	4	No
Flow	00:26:06.1866667	00:27:19.0233333	1	4	1	0,01369863	1	No
Flow	00:26:06.1866667	00:27:35.3133333	1	6	3	0,03370786	3	No
Flow	00:26:06.1866667	00:27:52.9933333	1	7	2	0,01886792	2	No
Flow	00:26:06.1866667	00:28:11.1400000	1	3	3	0,056	7	No
Flow	00:26:06.1866667	00:29:13.3300000	1	8	2	0,01069519	2	No
Flow	00:26:06.1866667	00:29:30.1000000	1	3	5	0,05882353	12	Yes
End	NULL	00:29:30.1000000	1	0	0	0	0	Yes
Start	00:29:30.1000000	00:29:30.1000000	1	0	0	0	0	No

б) журнал фиксации заявок в базе данных ИТС

**Рисунок 2** – Компоненты интеллектуальной транспортной системы

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

а) матрица корреспонденций M



б) маршрут движения инфобусов

**Рисунок 3** – Компоненты интеллектуальной транспортной системы

моменту появления транспортного средства на ней. Составленный план перевозки передается роботизированному беспилотному транспортному средству для его реализации.

Целью статьи является описание принципов планирования перевозки через решение задачи прогнозирования требуемой пассажироместимости. В статье рассмотрен конкретный пример решения такой задачи.

### Компоненты интеллектуальной информационной транспортной системы

Интеллектуальная информационная транспортная система состоит из следующих компонентов:

- ✓ *Парк беспилотных роботизированных транспортных средств*, называемых инфобусами. Каждый инфобус имеет небольшой объем (6–15 пассажирских мест) и его движение координируется собственной бортовой компьютерной системой, действующей под управлением единого информационного сервера интеллектуальной транспортной системы. Инфобусы осуществляют движение как самостоятельно, так и объединяясь в кассету по типу автокараванов [2] (рис. 1а). Кассеты инфобусов, представляя из себя транспортные средства с разделяющимися частями [3], обладают наивысшим приоритетом движения, т. к. осуществляют его по изолированной выделенной линии, пересекая перекрестки по эстакадам либо по подземным переходам (рис. 1б,в).
- ✓ *Информационный сервер* является интеллектуальным центром транспортной системы. Заявки на перевозку,

сделанные пассажирами через терминалы на остановках маршрута, фиксируются в матрице корреспонденций M транспортной системы. Путем постоянного опроса данной матрицы сервер отслеживает наступление момента достаточного накопления заявок для осуществления перевозки. При его наступлении фиксирует необходимые данные и, основываясь на них, составляет план перевозки и начинает новый цикл сбора заявок для следующего плана. Составленный план перевозки пересылается бортовым системам инфобусов для его реализации.

- ✓ *Система терминалов на остановках* для осуществления заявки транспортной системе не перевозку и ее оплаты. В заявке указывается начальная (origin) остановка, с которой пассажир начинает поездку и целевая (destination) остановка, на которую пассажир желает ехать, а также требуемое количество мест (рис. 2а). Заявки аккумулируются на сервере транспортной системы (рис. 2б).
- ✓ *Матрица корреспонденций M* (рис. 3а), являющаяся основой для составления плана перевозки. Она формируется на основе заявок, накапливаемых транспортной системой. В данной матрице каждый элемент  $m_{ij}$  определяет число пассажиров, следующих с остановки i на остановку j,  $i, j = \overline{1, k}$ . Элементы главной диагонали матрицы M и элементы под главной диагональю равны нулю, т. к. пассажир не может сделать заявку на поездку на остановку, на которой сел, и не может ехать в противоположном направлении маршрута [4–6]. Обновление элемента  $m_{ij}$

матрицы корреспонденций  $M$  происходит всякий раз при оплате пассажиром на остановке  $i$  поездки на остановку  $j$  с помощью системы терминалов и фиксации тем самым его заявки в транспортной системе.

- ✓ *Маршрут движения инфобусов* – путь следования транспортных средств, включающий в себя множество остановок, расположенных на этом пути, на которых инфобусы будут осуществлять посадку-высадку пассажиров, а также два Накопителя, из которых инфобусы начинают выполнение плана перевозки и в которые возвращаются после его реализации (рис. 3б).
- ✓ *План перевозки пассажиров* – результат процесса планирования и организации движения в интеллектуальной информационной транспортной системе. Формируется при выполнении процедуры составления плана перевозки пассажиров и включает в себя определение числа инфобусов, участвующих в реализации плана перевозки, назначении каждому из них идентификационного номера, начальной (*origin*) остановки и целевых (*destination*) остановок, на которые транспортное средство повезет пассажиров. А также план перевозки включает в себя график движения транспортных средств по маршруту.

#### Функционирование интеллектуальной информационной транспортной системы

Функционирование данной транспортной системы имеет циклический характер и состоит из осуществления процедуры накопления информации о поступивших заявках в систему, процедуры определения момента достаточного накопления заявок (в данной статье рассматривается только для некоторой строки  $i$  матрицы корреспонденций), процедуры разработки плана перевозки и процедуры реализации плана перевозки.

*Процедура накопления информации о поступивших заявках в систему* заключается в записи в матрицу корреспонденций  $M$  данных заявки на обслуживание от пассажира, которую он осуществляет при оплате проезда через систему терминалов на остановке. Также лог о сделанных заявках записывается в специальную базу данных в привязке ко времени для дальнейшего их анализа. Накапливаемые данные заявок являются информационной основой для составления плана перевозки пассажиров.

*Процедура определения момента достаточного накопления заявок для некоторой строки  $i$  (остановки  $i$ ) матрицы корреспонденций  $M$*  заключается в отслеживании момента наступления условия, определяющего достаточность накопления заявок на обслуживание и в фиксации соответствующих значений матрицы корреспонденций для разработки плана перевозки пассажиров.

*Процедура разработки плана перевозки пассажиров для зафиксированных значений строки  $i$ , начинающаяся сразу после наступления момента достаточного накопления заявок для строки  $i$ .* В результате выполнения данной процедуры определяются:

- идентификационный номер  $n_i \in N, i = \overline{1, k}, k \in N$  для каждого транспортного средства, участвующего в перевозке, где  $i$  – номер начальной (*origin*) остановки,  $k$  – число остановок одного направления маршрута (рис. 3б);
- множество  $J_{n_i}$  целевых (*destination*) остановок для каждого инфобуса, на которые он повезет пассажиров;
- график времени прибытия на остановки и отправки с них (в данной статье составление не рассматривается).

*Процедура выполнения плана перевозки пассажиров* заключается в формировании в Накопителе кассеты инфобусов и ее отправке на маршрут с указанием для каждого инфобуса как начальной (*origin*) остановки, на которой будет осуществлена посадка пассажиров, так и целевой (*destination*) остановки (в некоторых случаях нескольких целевых остановок), на которых будет производиться высадка пассажиров. Перед приездом кассеты инфобусов на информационном табло остановочного пункта высвечиваются названия ее целевых остановок. Также целевые остановки каждого инфобуса высвечиваются на индикаторе, расположенном на его лобовом стекле. Пассажиры, оставившие заявки на поездку на эти остановки, занимают места в данном инфобусе, после чего транспортное средство осуществляет их перевозку на нужные им остановки.

#### Определение момента достаточного накопления заявок

Процедура составления плана перевозки пассажиров для некоторой строки  $i$  матрицы  $M$  должна обеспечить в том числе и места для пассажиров, сделавших заявку системе на перевозку с остановки  $i$  в период, длящийся от начала составления плана перевозки и до прибытия транспортного средства на остановку  $i$  для забора пассажиров (такие заявки будут называться *потенциальными заявками*). Она начинается сразу после наступления *момента достаточного накопления заявок для строки  $i$* , который определяется из условия [7–14]:

$$m_{ij} \geq a_{ij} * V, a_{ij} \in (0, 1), i = \overline{1, k-1}, j = \overline{1, k}, \quad (1)$$

где  $a_{ij}$  – коэффициент эластичности, обеспечивающий минимально необходимое наполнение транспортного средства и обслуживание потенциальных заявок с остановки  $i$  на остановку  $j$ .

Под пассажироместимостью транспортного средства будет пониматься число мест для пассажиров, которые могут передвигаться в транспортном средстве одновременно и продолжительное время [15].

Тогда из соотношения (1) следует, что величина  $(1 - a_{ij}) * V$  и есть пассажироместимость транспортного средства для потенциальных заявок.

Под матрицей интенсивностей поступления заявок в систему будем понимать матрицу  $\Lambda_z$  (2).

Каждый элемент  $\lambda_{ij}(\square t_{m_{ij}})$  матрицы есть средняя скорость поступления заявок от пассажиров на перевозку с остановки  $i$  на остановку  $j$  за период накопления информации и пересчитывается всякий раз при поступлении новой заявки в систему согласно соотношению:

$$\lambda_{ij}(\square t_{m_{ij}}) = \frac{m_{ij}}{\square t_{m_{ij}}}, \square t_{m_{ij}} = t_{m_{ij}} - t_{0i}, \quad (3)$$

где  $t_{m_{ij}}$  – момент фиксации в системе очередной заявки (соответствует полю строки таблицы REQUEST TIME, рис. 1а), увеличивающей значение элемента  $m_{ij}$ ,  $t_{0i}$  – момент начала сбора информации для составления текущего плана перевозки для строки  $i$  (соответствует полю строки BEGIN TIME, рис. 2а).

Под перегонном  $l_i$  понимается расстояние между смежными остановками  $i$  и  $i+1$ ,  $i = \overline{0, k}$  (рис. 4).



Рисунок 4 – Перегоны маршрута

Здесь под остановками  $i = 0$  и  $i = k + 1$  понимаются Накопитель 1 и Накопитель 2. Все расстояния между смежными остановками составляют строку перегонов:

$$L = (l_0 \ l_1 \ \dots \ \dots \ \dots \ \dots \ \dots \ \dots \ l_{k-1} \ l_k). \quad (4)$$

Через  $v$  обозначать скорость транспортных средств, которая является постоянной величиной и одинакова для каждого инфобуса, а через  $t_i$  – время доезда до остановки  $i$ , т. е. время, за которое инфобус преодолевает расстояние от выезда из Накопителя 1 до остановки  $i$ . Эту величину можно рассчитать с помощью следующей формулы:

$$t_i = \frac{\sum_{p=0}^i l_p}{v}, i = \overline{1, k}. \quad (5)$$

Множество значений времени доезда инфобуса до каждой из остановок маршрута из Накопителя образуют строку времени доезда до остановок  $T$ , которая имеет следующий вид:

$$T = (t_1 \ t_2 \ \dots \ \dots \ \dots \ \dots \ \dots \ \dots \ t_{k-1} \ t_k). \quad (6)$$

Из (2)–(6) следует, что объем пассажировместимости транспортного средства, который должен обеспечить посадку подошедших после начала составления плана перевозки пассажиров, можно рассчитать через следующее соотношение:

$$(1 - a_{ij}) * V = \lambda_{ij} (\square t_{m_{ij}}) * t_i. \quad (7)$$

То есть прогнозная величина числа потенциальных заявок на перевозку с остановки  $i$  на остановку  $j$  может быть найдена как произведение средней интенсивности поступления заявок за период наблюдения  $(\square t_{m_{ij}})$ , т. е. от начала цикла сбора данных о заявках и до фиксации текущей заявки в системе) и времени  $t_i$ , затрачиваемом транспортным средством на прибытие на остановку  $i$ . Из соотношения (7) следует:

$$a_{ij} = 1 - \frac{\lambda_{ij} (\square t_{m_{ij}}) * t_i}{V}. \quad (8)$$

Из (8) следует, что условие (1), определяющее момент достаточного накопления заявок для строки  $i$  матрицы корреспонденций  $M$ , может быть записано следующим образом:

$$m_{ij} \geq (V - \lambda_{ij} (\square t_{m_{ij}}) * t_i). \quad (9)$$

Неравенство (9) определяет критерий наступления момента достаточного накопления заявок для строки  $i$ , который формулируется следующим образом:

составление плана перевозки пассажиров для строки  $i$  (остановки  $i$ ) матрицы корреспонденций  $M$  начинается сразу, как только какой-либо элемент строки  $i$  станет равным или превысит разность между объемом пассажировместимости транспортного средства и прогнозируемой величиной потенциальных заявок.

### Прогнозирование потенциальных заявок при планировании перевозок

Процедура составления плана перевозки для строки  $i$  включает в себя три этапа: поправка элементов строки на

прогнозную величину потенциальных заявок, нормализация строки (при необходимости), назначение инфобусам идентификационных номеров и целевых остановок.

Поправка элементов строки на прогнозную величину потенциальных заявок необходима, чтобы в плане перевозки были учтены эти заявки. Элементы строки  $i$  матрицы корреспонденций  $M$  при этом принимают вид:

$$(0 \ \dots \ 0 \ m'_{ii+1} \ m'_{ii+2} \ \dots \ m'_{ik}),$$

$$m'_{ij} = m_{ij} + \lambda_{ij} (\square t_{m_{ij}}) * t_i, i, j = \overline{1, k}. \quad (10)$$

Нормализация строки  $i$  матрицы корреспонденций необходима в тех случаях, когда в зафиксированной строке  $i$  появляется хотя бы один элемент  $m_{ij}$  со значением, превышающими объем транспортного средства  $V$ . Это значит, что для перевозки с остановки  $i$  на остановку  $j$  потребуется больше одного инфобуса. Например, объем транспортного средства – 10 мест. Некоторый элемент  $m_{ij}$  имеет значение 12. Это значит, что на остановку  $j$  потребуется 2 инфобуса. Причем в одном будут заполнены все места, а во втором только 2. Чтобы транспортный ресурс второго инфобуса использовался рационально, этот инфобус необходимо использовать для перевозки пассажиров и на другие остановки.

Процедура нормализации строки  $i$  заключается в преобразовании ее элементов со значениями, превышающими объем транспортного средства  $V$ , к значениям меньшим, чем  $V$  согласно соотношению:

$$\overline{m}_{ij} = \begin{cases} m'_{ij} - \left\lfloor \frac{m'_{ij}}{V} \right\rfloor * V, m'_{ij} \geq V \\ m'_{ij}, m'_{ij} < V \end{cases}. \quad (11)$$

Неполное частное указывает на число транспортных средств, которые будут задействованы для перевозки с остановки  $i$  на остановку  $j$ , и при этом будут заполнены полностью. Эти транспортные средства также учитываются в плане перевозки.

Назначение инфобусам идентификационных номеров и целевых остановок осуществляется из расчета обеспечения максимальной бесконфликтности следования инфобусов.

Под конфликтом следования понимается ситуация, когда транспортные средства, движущиеся впереди по выделенной линии, задерживают позади идущие. Максимальная бесконфликтность следования – сведение конфликтов следования к минимуму, а в идеале исключение их.

Для перевозки пассажиров с некоторой остановки используется кассета инфобусов (рис. 1а). Каждый инфобус везет пассажиров на определенные целевые (*destination*) остановки. Выйдя из накопителя до начальной (*origin*) остановки, инфобусы следуют в кассете. Там забрав пассажиров, каждый инфобус должен проследовать с пассажирами к целевым (*destination*) остановкам в идеале без лишних простоев, которые могут возникнуть в первую очередь из-за конфликта сле-

дования. Поэтому кассета инфобусов для обеспечения максимальной бесконфликтности следования составляется по принципу «от конца маршрута к началу» [7–14]: те транспортные средства, которые повезут пассажиров на самые дальние остановки будут составлять переднюю часть кассеты, а на ближние – заднюю.

Каждый инфобус кассеты при этом получает свой идентификационный номер  $n_i$ , где  $n$  – порядковый номер инфобуса в кассете ( $n \in N$ ), а индекс  $i$  ( $i = \overline{1, k-1}$ ) указывает на начальную (*origin*) остановку. В частности, первый инфобус кассеты при составлении плана перевозки с остановки  $i$  получает номер  $1_i$ , второй  $2_i$ , и т. д.

Под множеством *потенциальных целевых остановок* инфобуса  $n_i$  будет пониматься множество  $J_{n_i, P}$ , включающее

все остановки маршрута, на которые инфобус  $n_i$  может возить пассажиров с остановки  $i$ . После составления плана перевозки инфобус с номером  $n_i$  повезет пассажиров на одну или несколько остановок, составляющих множество *реальных целевых остановок* инфобуса  $J_{n_i}$ .

Для нахождения множества реальных целевых остановок инфобуса  $J_{n_i}$  берется максимальный элемент множества  $J_{n_i, P}$  ( $\sup J_{n_i, P}$ ) и находится такое число  $\Delta_{n_i} \in N_0$ , чтобы выполнялись следующие условия:

$$\begin{cases} \sum_{p=\sup J_{n_i, P}-\Delta_{n_i}}^{\sup J_{n_i, P}} (\bar{m}_{ip}) \leq V, \\ \sum_{p=\sup J_{n_i, P}-(\Delta_{n_i}+1)}^{\sup J_{n_i, P}} (\bar{m}_{ip}) > V. \end{cases} \quad (12)$$

В этом случае искомое множество можно описать:

$$J_{n_i} = \{j \mid \sup J_{n_i, P} - \Delta_{n_i} \leq j \leq \sup J_{n_i, P}, \sum_{p=\sup J_{n_i, P}-\Delta_{n_i}}^{\sup J_{n_i, P}} (\bar{m}_{ip}) \leq V, \sum_{p=\sup J_{n_i, P}-(\Delta_{n_i}+1)}^{\sup J_{n_i, P}} (\bar{m}_{ip}) > V, \bar{m}_{ij} \neq 0\}. \quad (13)$$

Так множество реальных целевых остановок  $J_{1_i}$  для инфобуса  $1_i$  можно определить следующим образом:

$$J_{1_i} = \{j \mid k - \Delta_{1_i} \leq j \leq k, \sum_{p=k-\Delta_{1_i}}^k (\bar{m}_{ip}) \leq V, \sum_{p=k-(\Delta_{1_i}+1)}^k (\bar{m}_{ip}) > V, \bar{m}_{1i} \neq 0\}, \quad (14)$$

где  $j$  – номера целевых остановок для инфобуса  $1_i$  согласно алгоритма составления плана перевозки,  $k$  – последняя остановка маршрута,  $\bar{m}_{ip}$  – элементы нормализованной строки с поправкой.

Множество потенциальных остановок для перевозки инфобуса  $2_i$  определяется из соотношения:  $J_{2_i, P} = J_{1_i, P} \setminus J_{1_i}$ .

Множество целевых остановок  $J_{2_i}$  для инфобуса  $2_i$  можно определить из соотношения:

$$J_{2_i} = \{j \mid \sup J_{2_i, P} - \Delta_{2_i} \leq j \leq \sup J_{2_i, P}, \sum_{p=\sup J_{2_i, P}-\Delta_{2_i}}^{\sup J_{2_i, P}} (\bar{m}_{ip}) \leq V, \sum_{p=\sup J_{2_i, P}-(\Delta_{2_i}+1)}^{\sup J_{2_i, P}} (\bar{m}_{ip}) > V, \bar{m}_{ij} \neq 0\}. \quad (15)$$

И так далее, пока не будут обработаны все элементы строки  $i$ .

### Пример составления плана перевозок с учетом потенциальных заявок

Исходные условия следующие:

- одно направление маршрута состоит из 10 остановок, т. е.  $k = 10$ ;
- скорость инфобуса постоянная и равна 50 км/ч или 13,9 м/с;
- объем пассажироместности инфобуса 10 мест;
- элементы строки перегонов выражаются в метрах:

$$L = (100 \ 1000 \ 500 \ 700 \ 400 \ 500 \ 2000 \ 700 \ 500 \ 1000);$$

- элементы строки времени доезда до остановок выражены в секундах и рассчитаны по формуле (6):

$$T = (7,2 \ 79,1 \ 115,1 \ 165,5 \ 194,2 \ 230,2 \ 374,1 \ 424,5 \ 460,4 \ 532,4)$$

Поступление в информационную систему сервера представлено на рисунке 2а.

Поле STATUS в таблице отражает состояние системы по отношению к процессу накопления информации и имеет только три состояния: Start – начало выполнения процедуры сбора данных о заявках для строки  $i$  матрицы корреспонденций; Flow – течение выполнения процедуры сбора данных о заявках для строки  $i$  матрицы корреспонденций; End – окончание выполнения процедуры сбора данных о заявках для строки  $i$  матрицы корреспонденций.

Поле BEGIN TIME содержит время очередного старта процедуры сбора информации для строки  $i$ . Поле REQUEST TIME фиксирует время поступления конкретной заявки на обслуживание в систему. Поле ORIGIN ( $i$ ) – начальная (стартовая) остановка заявки. Поле DESTINATION ( $j$ ) – целевая остановка, т. е. остановка, на которую желает ехать пассажир. Поле SEATS NUMBER – количество мест в заявке. Поле INTENSITY – текущая интенсивность поступления заявок на перевозку с остановки  $i$  на остановку  $j$ . Значение рассчитывается программным способом с использованием по соотношению (3) и соответствует элементу  $\lambda_{ij}(\square t_{m_{ij}})$  матрицы интенсивностей. Поле  $M_{ij}$  – текущее значение элемента матрицы  $m_{ij}$ . Значение рассчитывается программным способом. Поле FIXATION может содержать только два значения: Yes и No. Значение No присваивается полю строки, если момент достаточного накопления заявок для строки  $i$  не настал. Значение Yes присваивается триггером полю, при выполнении критерия наступления момента достаточного накопления заявок для строки  $i$ , определяемого условием (9).

При получении полей FIXATION значения Yes происходит фиксация значений элементов  $m_{ij}$  строки  $i$  и начинается составление для нее плана перевозки, а система переходит из статуса Flow в статус End и потом сразу же в статус Start для нового цикла накопления заявок.

Состояния системы, зафиксированные в таблице, имеют привязку ко времени. Так можно сделать следующие временные срезы (состояние на определенный момент времени) состояний первой строки матрицы корреспонденций.

**Таблица 1** – Срезы состояний первой строки матрицы корреспонденций

Момент среза	Состояние строки
00:27:00	(0 2 0 0 1 0 0 0 0 0)
00:28:00	(0 2 4 1 1 3 2 0 0 0)
00:29:00	(0 2 7 1 1 3 2 2 0 0)
00:29:30	(0 2 12 1 1 3 2 2 0 0)

Процедура сбора данных о заявках начинается в момент 00:26:06 и получает статус Start (рис. 1а). В момент времени 00:29:30 процесс сбора заявок для первой строки получает статус End, т. к. выполнилось условие (9) для элемента  $m_{13}$ :  $12 = m_{13} > V - \lambda_{13} \times t_i = 10 - 0,0588 \times 7,1942 \approx 9,577$ .

После наступления момента достаточного накопления заявок для первой строки матрицы корреспонденций начинается процедура составления плана перевозок и сразу же начинается новый цикл сбора заявок для данной остановки. На рисунке 5 представлена выборка для значений элементов  $m_{1j}, j = 2, \dots, 10$  (представлены в поле VALUE выборки) первой строки матрицы корреспонденций после наступления момента достаточного накопления заявок. Поле выборки FORECAST VALUE содержит значения с поправкой на потенциальные заявки  $m'_{1j}, j = 2, \dots, 10$ , рассчитанные программным способом по формуле (10).

TIME OF BEGIN	ARRIVAL TIME	INTENSITY	M ij	VALUE	FORECAST VALUE
00:26:06.1866667	7.194245	0.105263158679008	m12	2	3
00:26:06.1866667	7.194245	0.0625169339279334	m13	12	13
00:26:06.1866667	7.194245	0.0136986300349236	m14	1	2
00:26:06.1866667	7.194245	0.0243902429938316	m15	1	2
00:26:06.1866667	7.194245	0.0337078645825386	m16	3	4
00:26:06.1866667	7.194245	0.0188679248094559	m17	2	3
00:26:06.1866667	7.194245	0.0106951873749495	m18	2	3

Рисунок 5 – Первая строка матрицы корреспонденций в базе данных

Таким образом, строка с учетом потенциальных заявок имеет вид:  $(0 \ 3 \ 13 \ 2 \ 2 \ 4 \ 3 \ 3 \ 0 \ 0)$ . В данной строке элемент  $m_{13}$  принимает значение, большее объема пассажироместимости инфобуса. Следовательно, для перевозки на третью остановку потребуется больше, чем один инфобус. При этом перед назначением идентификационного номера и определением целевых остановок необходимо произвести нормализацию строки матрицы корреспонденций:

- число полностью заполненных инфобусов, везущих пассажиров на третью остановку:

$$\left\lfloor \frac{m_{13}}{V} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{13}{10} \right\rfloor = 1;$$

- новое значение элемента  $\overline{m}_{13}$ :

$$\overline{m}_{13} = m_{13} - \left\lfloor \frac{m_{13}}{V} \right\rfloor \times V = 13 - \left\lfloor \frac{13}{10} \right\rfloor \times 10 = 13 - 1 \times 10 = 3.$$

Новая строка матрицы корреспонденций принимает вид:  $(0 \ 3 \ 3 \ 2 \ 2 \ 4 \ 3 \ 3 \ 0 \ 0)$ .

Для инфобуса  $1_1$  множество потенциальных остановок  $J_{1,P} = \{2, \dots, 10\}$ . Согласно условию (13) множество реальных остановок  $J_{1,r} = \{6, 7, 8\}$ , т. к.

$$\begin{cases} m_{16} + m_{17} + m_{18} + m_{19} + m_{110} = 10 \leq V = 10 \\ m_{15} + m_{16} + m_{17} + m_{18} + m_{19} + m_{110} = 12 > V = 10. \\ m_{16}, m_{17}, m_{18} \neq 0 \end{cases}$$

Инфобус  $2_1$  повезет 10 пассажиров на остановку 3. Множество потенциальных остановок инфобуса  $3_1$ ,  $J_{3,P} = J_{1,P} \setminus J_{1,r} = \{2, \dots, 5\}$ , множество реальных остановок  $J_{3,r} = \{2, 3, 4, 5\}$ :

$$\begin{cases} m_{12} + m_{13} + m_{14} + m_{15} = 10 \leq V = 10 \\ m_{12}, m_{13}, m_{14}, m_{15} \neq 0 \end{cases}$$

Таким образом, для данного плана перевозок по первой строке матрицы корреспонденций потребовалось 3 инфобуса.

### Заключение

В предложенной статье описаны принципы планирования и организации перевозки в интеллектуальной информационной транспортной системе на базе беспилотных роботизированных транспортных средств. Данные принципы реализованы через прогнозирование поступления потенциальных заявок на перевозку в транспортную систему, расчет необходимого числа транспортных средств, так чтобы полностью обеспечить спрос на перевозку и составление плана перевозки пассажиров при максимально рациональном использовании подвижного состава. Эти подходы позволят обеспечить своевременное и качественное обслуживание пассажиров при эффективном использовании подвижного состава транспортной системы.

### Список цитированных источников

- Блатнов, М. Д. Пассажирские автомобильные перевозки: учебник для автотранспортных техникумов. – 3 изд. – М.: Транспорт, 1981. – 222 с.
- Safe Road Trains for the Environment (SARTRE) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://en.wikipedia.org/wiki/Safe\\_Road\\_Trains\\_for\\_the\\_Environment](http://en.wikipedia.org/wiki/Safe_Road_Trains_for_the_Environment). – Дата доступа: 02.01.2021.
- Швецова, Е. В. Интеллектуальный транспорт с разделяющимися частями / Е. В. Швецова, В. Н. Шуть // Математические методы в технике и технологиях: сборник трудов XXXIII Международной научной конференции: в 12 т. / Под общ. ред. А. А. Большакова – СПб: Издательство Политехнического университета, 2020. – Т. 3. – С. 87–93.
- Пролиско, Е. Е. Динамическая модель работы транспортной системы "ИНФОБУС" / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Искусственный интеллект. Интеллектуальные транспортные системы: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Брест, 25–28 мая 2016 г. – Брест: БрГТУ, 2016. – С. 49–54.
- Пролиско, Е. Е. Математическая модель работы «ИНФОБУСОВ» // Електроніка та інформаційні технології (ЕліТ-2015): матеріали VII-ї Українсько-польської науково-практичної конференції. – 2015. – С. 27–30.
- Пролиско, Е. Е. Возможности и перспективы беспилотного городского общественного транспорта / Е. Е. Пролиско, В. Н. Шуть // Математические методы в технике и технологиях: сб. тр. Междунар. науч. конф. – СПб.: Политехнический университет, 2018. – С. 16–23.
- Швецова, Е. В. Алгоритм составления плана перевозок на городских линиях в интеллектуальной системе управления беспилотными транспортными средствами / Е. В. Швецова, В. Н. Шуть // Вестник Херсонского национального технического университета. – Т. 2(69), № 3. – Херсон: ХНТУ, 2019. – С. 222–230.
- Швецова, Е. В. Алгоритм составления плана перевозок на городских линиях в интеллектуальной системе управления беспилотными транспортными средствами / Е. В. Швецова, В. Н. Шуть // Материалы XX международной конференции по математическому моделированию: сборник материалов конференции. – Херсон: ХНТУ, 2019. – С. 115.

9. Shuts, V. System of urban unmanned passenger vehicle transport / V. Shuts, A. Shviatsova // ICCPT 2019: Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference. – Ternopol : TNTU, 2019 – P. 172–184.
  10. Шуть, В. Н. Алгоритм организации городских пассажирских перевозок посредством рельсового беспилотного транспорта "Инфобус" / В. Н. Шуть, Е. В. Швецова // Actual problems of fundamental science: third international conference. – Луцк : Вежа-Друк, 2019 – С. 222–226.
  11. Shuts, V. Cassette robotized urban transport system of mass conveying passenger based on the unmanned electric cars / V. Shuts, A. Shviatsova // Science. Innovation. Production. Proceedings of the 6th Belarus-Korea Science and Technology Forum. – MINSK : BNTU, 2019. – P. 81–83.
  12. Shuts, V. Intelligent system of urban unmanned passenger vehicle transport / V. Shuts, A. Shviatsova // Abstracts of the 16th European Automotive Congress (EAEC 2019) hosted jointly the Academic Automotive Association (Belarus), the European Automobile Engineers Cooperation (EAEC) and the Federation Internationale des Societes d'Ingenieurs des Techniques de l'Automobile (FISITA). – Minsk : BNTU, 2019. – С. 18.
  13. Швецова, Е. В. Алгоритмы выбора остановок доставки инфобуса для посадки пассажиров // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2019. – № 5(118) : Физика, математика, информатика. – Брест : Брестский государственный технический университет. – С. 50–53.
  14. Shviatsova, A. The Smart Urban Transport System / V. Shuts, A. Shviatsova // Research Papers Collection of Open Semantic technologies for Intelligent System. – Minsk: Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2020. – P. 349–352.
  15. Пассажи́ровместимость // Wikipedia. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Пассажи́ровместимость>. – Дата доступа : 02.01.2021.
- References**
1. Blatnov, M. D. Passazhirskie avtomobil'nye perezovki: uchebnik dlya avtotransportnyh tekhnikumov. – 3 izd. – M. : Transport, 1981. – 222 s.
  2. Safe Road Trains for the Environment (SARTRE) [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa : [http://en.wikipedia.org/wiki/Safe\\_Road\\_Trains\\_for\\_the\\_Environment](http://en.wikipedia.org/wiki/Safe_Road_Trains_for_the_Environment). – Data dostupa : 02.01.2021.
  3. SHvecova, E. V. Intel'lectual'nyj transport s razdelyayushchimisya chastyami / E. V. SHvecova, V. N. SHut' // Matematicheskie metody v tekhnologiiyah : sbornik trudov XXXIII Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii : v 12 t. / Pod obshch. red. A. A. Bol'shakova – SPb: Izdatel'stvo Politekhnikeskogo universiteta, 2020. – T. 3. – S. 87–93.
  4. Prolisko, E. E. Dinamicheskaya model' raboty transportnoj sistemy "INFOBUS" / E. E. Prolisko, V. N. SHut' // Iskusstvennyj intellekt. Intel'lectual'nye transportnye sistemy : materialy Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf., Brest, 25–28 maya 2016 g.. - Brest: BrGTU, 2016. – S. 49–54.
  5. Prolisko, E. E. Matematicheskaya model' raboty «INFOBUSOV» // Elektronika ta infarmacijni tekhnologii (EIIT-2015) : materili VII-oї Ukrain's'ko-pol's'koї naukovo-praktychnoї konferencii. – 2015. – S. 27–30.
  6. Prolisko, E. E. Vozmozhnosti i perspektivy bespilotnogo gorodskogo obshchestvennogo transporta / E. E. Prolisko, V. N. SHut' // Matematicheskie metody v tekhnike i tekhnologiiyah : sb. tr. Mezhdunar. nauch. konf. – SPb. : Politekhnikeskij universitet, 2018. – S. 16–23.
  7. SHvecova, E. V. Algoritm sostavleniya plana perezovok na gorodskih liniyah v intellektual'noj sisteme upravleniya bespilotnymi transportnymi sredstvami / E. V. SHvecova, V. N. SHut' // Vestnik Hersonskogo nacional'nogo tekhnicheskogo universiteta. – T. 2(69), № 3. – Herson: HNTU, 2019. – S. 222–230.
  8. SHvecova, E. V. Algoritm sostavleniya plana perezovok na gorodskih liniyah v intellektual'noj sisteme upravleniya bespilotnymi transportnymi sredstvami / E. V. SHvecova, V. N. SHut' // Materialy XX mezhdunarodnoj konferencii po matematicheskomu modelirovaniyu : sbornik materialov konferencii. – Herson : HNTU, 2019. – S. 115.
  9. Shuts, V. System of urban unmanned passenger vehicle transport / V. Shuts, A. Shviatsova // ICCPT 2019: Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference. – Ternopol : TNTU, 2019 – R. 172–184.
  10. SHut', V. N. Algoritm organizacii gorodskih passazhirskih perezovok posredstvom rel'sovogo bespilotnogo transporta "Infobus" / V. N. SHut', E. V. SHvecova // Actual problems of fundamental science: third international conference. – Luck : Vezha-Druk, 2019 – S. 222–226.
  11. Shuts, V. Cassette robotized urban transport system of mass conveying passenger based on the unmanned electric cars / V. Shuts, A. Shviatsova // Science. Innovation. Production. Proceedings of the 6th Belarus-Korea Science and Technology Forum. – MINSK : BNTU, 2019. – R. 81–83.
  12. Shuts, V. Intelligent system of urban unmanned passenger vehicle transport / V. Shuts, A. Shviatsova // Abstracts of the 16th European Automotive Congress (EAEC 2019) hosted jointly the Academic Automotive Association (Belarus), the European Automobile Engineers Cooperation (EAEC) and the Federation Internationale des Societes d'Ingenieurs des Techniques de l'Automobile (FISITA). – Minsk : BNTU, 2019. – S. 18.
  13. SHvecova, E. V. Algoritmy vybora ostanovok dostavki infobusa dlya posadki passazhirovo // Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2019. – № 5(118) : Fizika, matematika, informatika – Brest : Brestskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet. – S. 50–53.
  14. Shviatsova, A. The Smart Urban Transport System / V. Shuts, A. Shviatsova // Research Papers Collection of Open Semantic technologies for Intelligent System. – Minsk: Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2020. – S. 349–352.
  15. Passazhirovmestimos' // Wikipedia. – Rezhim dostupa : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Passazhirovmestimos'>. – Data dostupa : 02.01.2021.

*Материал поступил в редакцию 10.01.2020*