

пріділена математичному моделюванню: розкриттю історичних аспектів становлення математичного моделювання, гносеологічним функціям методу моделювання, різним класифікаціям моделей, етапам математичного моделювання.

У розділі «Математичні поняття» показується, що з розвитком математичної науки йде постійний процес формування нових математичних понять, їх вдосконалення і логічного обґрунтування. Розкриваються відмінності між поняттям і терміном, означенням і описом поняття. Визначаються найуживаніші способи означення поняття.

Центральне місце у розділі «Теореми та аксіоми» займає матеріал про види теорем, необхідні й достатні умови, сучасні погляди на математичне доведення.

**Висновки.** Формувати методологічні знання студентів потрібно з першого курсу разом із математичними (предметними) знаннями. Перспективу подальших наукових розробок вбачаємо в розробці ефективних технологій формування методологічних знань студентів.

### **Список літератури**

1. Національна стратегія розвитку освіти в Україні на 2012–2021 роки: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.meduniv.lviv.ua/files/info/nats\\_strategia.pdf](http://www.meduniv.lviv.ua/files/info/nats_strategia.pdf)
2. Лернер И.Я. Качества знаний учащихся: какими они должны быть / И.Я. Лернер. – М. : Знание. – 1978. – С. 13–23.
3. Зорина Л.Я. Дидактические основы формирования системности знаний старшеклассников / Зорина Л.Я. – М. : «Педагогика», 1978. – 128 с.
4. Кугай Н. В. К 88 Методологічні знання майбутнього вчителя математики: монографія / Н. В. Кугай – Харків: ФОП Панов А. М., 2017. – 336 с.

## **АЛГОРИТМ ОРГАНИЗАЦИИ ГОРОДСКИХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК ПОСРЕДСТВОМ РЕЛЬСОВОГО БЕСПИЛОТНОГО ТРАНСПОРТА «ИНФОБУС»**

**Шуть Василий Николаевич**

*Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, [lucking@mail.ru](mailto:lucking@mail.ru)*

**Швецова Елена Владимировна**

*Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь, [helengood@gmail.com](mailto:helengood@gmail.com)*

Частные автомобили не могут обеспечить высокую эффективность использования городских магистралей для перевозки населения, т.к. по данным [1] в каждом авто в среднем перемещается 1,2-1,5 человека. Для избегания перегрузок дорожно-транспортной среды в городах необходимо снизить перенасыщенные магистрали путем расширения масштабов перевозок общественным транспортом наземного типа с высокой провозной способностью, приближающейся к производительности метро. Однако отсутствие объективной информации о динамике пассажиропотока в разное время суток на участках маршрута, малая номенклатура транспортных средств различной вместимости для более точного покрытия меняющегося пассажиропотока препятствует принятию оптимальных решений в этой области и ведет к экономическим потерям.

Современные информационные технологии позволяют пересмотреть подходы к управлению городским пассажирским транспортом за счет использования наземных рельсовых беспилотных электрокаров небольшой вместимости, называемых инфобусами, управляемых из единого центра интеллектуальной компьютерной системой. При этом инфобусы могут в зависимости от интенсивности пассажиропотока в текущий момент времени объединяться в автопоезда (или кассеты) посредством виртуальных соединений [2], управляемых электроникой (Рис.1).

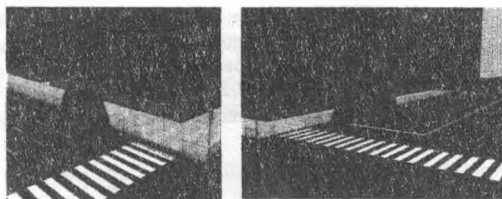


Рис. 1. Автопоезд, состоящий из одного и двух инфобусов

Управляющая интеллектуальная система высылает на маршрут такое число инфобусов, чтобы суммарный объем их был равен или незначительно превышал объем пассажиропотока. Для движения инфобусов используется специальная выделенная полоса, что позволяет максимально нейтрализовать влияние других участников улично-дорожной среды. Ширина инфобуса минимальна и равна 1-1,5 метра, и это позволяет более эффективно использовать выделенную полосу, так как перевозка пассажиров более узким транспортным средством требует проезда по полосе их большего числа и, следовательно, полоса будет постоянно задействована [3-8].

По выделенной полосе движение инфобусов идет без обгонов: всякий предыдущий инфобус всегда является предыдущим, а последующий - последующим и порядковая нумерация инфобусов остается постоянной [9]. Движение транспортных средств осуществляется от Накопителя 1 к Накопителю 2, расположенных в конечных пунктах маршрута (Рис.2).

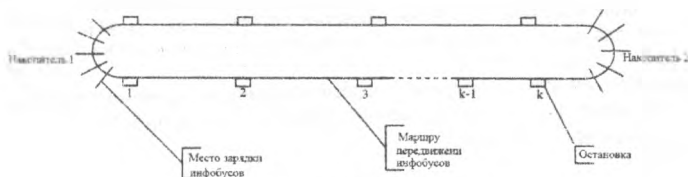


Рис. 2 Маршрут инфобуса

Функционирование системы осуществляется следующим образом: - пассажир на остановочном пункте во время оплаты через турникет указывает также и остановку, до которой этот пассажир желает ехать; информация с терминалов поступает на координирующий сервер, который формирует матрицу корреспонденций  $M_z$ ,  $Z=1,2,\dots$ , в которой фиксируется каждый прибывающий на остановку пассажир; по прошествии некоторого времени и накопления определенного числа пассажиров в матрице корреспонденций  $M_z$ ,  $Z=1,2,\dots$  по ней формируется план развозок, согласно которому отправляются инфобусы для развозки пассажиров по станциям назначения; интервалы времени движения между остановками и время стоянки на остановках для данной системы известны.

Под планом перевозок понимается процедура последовательного вывода пронумерованных инфобусов из Накопителя 1 (рис.2) на маршрутную линию с указанием конечной станции назначения, а также нескольких возможных промежуточных остановок для каждого пронумерованного инфобуса индивидуально. Перед приездом инфобуса на остановочный пункт на информационном дисплее остановки высвечиваются адреса остановок, на которых будет в дальнейшем останавливаться

подошедший инфобус. Пассажиры, конечный пункт следования которых совпадает с предложенным набором остановок, занимают места в данном инфобусе. Остальные ждут до момента прибытия инфобуса. Основной разработкой плана является текущая матрица корреспонденций  $M_z$ ,  $Z=1, 2, \dots$ . На основе её решается задача развозки и выдается план развозки. В матрице корреспонденций  $M_z$ ,  $Z=1, 2, \dots$  каждый элемент  $m_{ij}$  меньше объема инфобуса  $V$  и определяет число пассажиров, следующих с остановки  $i$  на остановку  $j$ ,  $i, j = 1, \dots, k$ .

$$M_z = \begin{pmatrix} 0 & m_{12} & m_{13} & \dots & m_{1j} & \dots & m_{1k} \\ 0 & 0 & m_{23} & \dots & m_{2j} & \dots & m_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & m_{3k+1} & \dots & m_{3j} & \dots & m_{3k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & m_{k-1k} \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

Процесс функционирования транспортной системы является циклическим и состоит из повторяющихся процедур: накопление информации в очередной матрице корреспонденций  $M_z$  о прибывающих на остановочные пункты пассажирах; определение момента достаточного наполнения текущей матрицы корреспонденций  $M_z$ ,  $Z=1, 2, \dots$ ; разработка плана развозки для данной фиксированной матрицы и выполнение этого плана.

Начало разработки плана развозки пассажиров наступает в момент, когда один из элементов матрицы  $M_z$  начинает удовлетворять условию  $m_{ij} = a * V$ ,  $a \in (0, 8, 1)$ ,  $i = \overline{1, k-1}$ ,  $j = \overline{1, k}$  и, следовательно, все элементы матрицы  $M_z$  к началу развозки меньше объема инфобуса  $V$ , а также есть запас, обеспечивающий возможность перевозки пассажиров, подошедших на остановку к моменту прибытия транспортного средства и не учтенных при формировании матрицы  $M_z$ . План развозки составляется для каждой строки  $i$  матрицы  $M_z$ , т.е. для пассажиров, начинающих свой путь с остановки  $i$  на последующие остановки.

Для любой  $i$ -ой строки матрицы корреспонденций  $M_z$  возможно сразу указать нижнюю  $n_{ниг}$  и верхнюю  $n_{нир}$  границы необходимого числа всех инфобусов для вывоза всех пассажиров с  $i$ -ой остановки:

$$n_{ниг} = \left\lceil \frac{m_i}{V} \right\rceil = \left\lceil \frac{\sum_{j=i+1}^k m_{ij}}{V} \right\rceil, \quad n_{нир} = k - i, \quad i = \overline{1, k-1}$$

В целях обеспечения бесконфликтности следования инфобусов при развозке с  $i$ -ой остановки их отправка будет осуществляться сначала к дальним пунктам назначения, потом к ближним:  $j = k, k-1, \dots, i+1$ . Каждый инфобус при этом получает свой порядковый номер, варьирующийся от 1 до  $n_i$ ,  $n_{ниг} \leq n_i \leq n_{нир}$ ,  $n_i \in \mathbb{N}$ . Здесь  $n_i$  - число инфобусов, необходимое для вывоза всех пассажиров с остановки  $i$  на все остановки маршрута  $i+1, i+2, \dots, k$ . Каждый инфобус с порядковым номером  $n_i \in \{1, 2, \dots, n_i\}$  имеет собственное множество доступных ему для развозки остановок, в дальнейшем оно будет именоваться *потенциальным множеством остановок* и обозначаться  $J_{n_i}$ . В него входят все остановочные пункты маршрута, располагающиеся за начальным пунктом отправления, за исключением тех остановок, на которые предыдущие инфобусы, развозящие с этой же остановки, уже доставили пассажиров. То есть потенциальное множество остановок любого инфобуса при развозке с остановки  $i$  есть разность множества всех остановок маршрута, начиная с остановки  $i+1$ , и множества, являющимся совокупностью

остановок, на которые предыдущие инфобусы осуществили развозку  $J_{\tilde{n}_i, P} = \{2, \dots, k\} \setminus \bigcup J_{\tilde{n}_{i-1}, J_0} = \emptyset, \tilde{n}_i \in \{1, 2, \dots, n_i\}$ .

Выполнять развозку такой инфобус будет в пункты, составляющие реальное множество остановок  $J_n$ , являющееся подмножеством потенциального множества остановок  $J_{n, P}$ , то есть  $J_n \subset J_{n, P}$ .

Точная верхняя граница (наименьшая верхняя грань) числового множества  $M$  в математике называется супремумом и обозначается  $\sup M$ . Остановка с наибольшим порядковым номером потенциального множества остановок инфобуса  $\tilde{n}_i, n_i \in \{1, 2, \dots, n_i\}$  будет являться точной верхней границей множества  $J_{n, P}$  и обозначаться  $\sup J_{n, P}$  (супремум  $J_{n, P}$ ), и всегда будет входить в реальное множества остановок инфобуса  $n_i$ . Будут ли в это множество входить другие остановки, зависит от объема инфобуса и количества следующих на них пассажиров.

Для определения реального множества остановок  $J_n$  инфобуса  $n_i, n_i \in \{1, 2, \dots, n_i\}$  в алгоритме используется величина  $\Delta_n$ , которая представляет число остановок, вошедших в реальное множество остановок инфобуса  $\tilde{n}_i, \tilde{n}_i \in \{1, 2, \dots, n_i\}$ , без остановки  $\sup J_{n, P}$ , или  $\Delta_n = J_{n, P} - 1$ .

В общем случае для инфобуса  $n_i, \tilde{n}_i \in \{1, 2, \dots, n_i\}$  потенциальное множество остановок  $J_{n, P}$ , величина  $\Delta_n$  и реальное множество остановок  $J_n$  определяются из следующих условий:

$$\left\{ \begin{array}{l} J_{n, P} = \{2, \dots, k\} \setminus \bigcup J_{n, i}, J_i = \emptyset, \tilde{n}_i \in \{1, 2, \dots, n_i\}, \\ \Delta_n = \{0, 1, 2, \dots\}, \sum_{j=\sup J_{n, P} - \Delta_n}^{\sup J_{n, P}} m_{ij} \leq V, \sum_{j=\sup J_{n, P} - \Delta_n - 1}^{\sup J_{n, P}} m_{ij} > V, \\ J_n = \{j | j \in N_0, \sup J_{n, P} - \Delta_n \leq j \leq \sup J_{n, P}\}. \end{array} \right.$$

Таким образом, формируется совокупность реальных множеств остановок  $\bigcup_{n=1}^{k-1} J_n, n_i \in \{1, 2, \dots, n_i\}$  инфобусов для  $i$ -ой строки матрицы корреспонденций  $M_z, Z=1, 2, \dots$ . Данная совокупность является планом развозки для  $i$ -ой строки матрицы корреспонденций  $M_z$ . Действительно, индекс  $n_i, n_i \in \{1, 2, \dots, n_i\}$  реального множества остановок  $J_n$  указывает на порядковый номер инфобуса, а содержание множества  $J_n$  указывает на номера остановок, на которых данный инфобус будет останавливаться. Совокупность  $\bigcup_{n=1}^{k-1} J_n, n_i \in \{1, 2, \dots, n_i\}$  соответствует плану развозки для всей текущей матрицы корреспонденций  $M_z, Z=1, 2, \dots$ . Порядок развозки пассажиров с  $i$ -ой остановки идет через последовательную отправку инфобусов по нарастанию их порядковых номеров, т.е.  $1, 2, \dots, n_i$ .

Данный вид городской транспортной системы способен без помех со стороны других транспортных средств функционировать в насыщенной улично-дорожной среде и перевозить большое количество пассажиров, сравнимое с метро. Транспортная система функционирует самостоятельно без участия человека. Информационные процессы в такой системе (сбор информации, обработка информации, принятие решений) протекают постоянно и составляют основу информационной транспортной системы. Единичным транспортным средством в системе является беспилотный электрокар-инфобус. Работа

выполнена при поддержке Европейского гранта «Grant Agreement Number 2013-4550/001-001» по проекту Be-Safe – Белорусская сеть безопасных дорог совместно с тремя европейскими университетами: университет Сапиенца (Рим), Афинский политехнический университет и университет Лаффборо (Англия).

### *Список литературы*

1. Михайлов А.Ю. Современные тенденции проектирования и реконструкции улично-дорожных сетей. Новосибирск: Наука, 2004. 266 с.
2. Safe Road Trains for the Environment (SARTRE). URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/Safe\\_Road\\_Trains\\_for\\_the\\_Environment](http://en.wikipedia.org/wiki/Safe_Road_Trains_for_the_Environment) (дата обращения: 30.04.19).
3. Пролиско Е.Е., Шуть В.Н. Динамическая модель работы транспортной системы «ИНФОБУС». // Материалы научно-технической конференции «Искусственный интеллект. Интеллектуальные транспортные системы. Брест: Издательство БрГТУ, 2016. С.49-54.
4. Persia L., Barnes J., Shuts V., Prolisko E., Kasjanik V., Kapskii D., Rakitski A. High capacity robotic urban cluster-pipeline passengers transport // Материалы Международной научно-технической конференции «Искусственный интеллект. Интеллектуальные транспортные системы (Be-Safe 2016)», посвященной 50-летию Брестского государственного технического университета. Брест: Издательство БрГТУ, 2016. С. 62-68.
5. Касьяник В., Шуть В. Мобильный помощник водителя в выборе стратегии вождения // Искусственный интеллект. Донецк: ИПИИ «Наука і освіта». 2012. № 3. С. 253-259.
6. Shuts V., Kasjanik V. Mobile Autonomous robots – a new type of city public transport // Transport and Telecommunication. 2011. 12(4).P. 52-60.
7. Шуть, В. Н. Альтернативный метро транспорт на базе мобильных роботов // Штучний інтелект. 2016. 2 (72). С. 170-175.
8. Пролиско Е.Е., Шуть В.Н. Математическая модель работы «ИНФОБУСОВ» // Материали VII-ї Українсько-польської науково-практичної конференції «Електроніка та інфармаційні технології (ЕЛІТ-2015)». Львів-Чинадієво. 2015. С. 59-62.
9. Пролиско Е.Е., Шуть В.Н. Новый тип высокопроизводительного общественного городского транспорта // Материалы II Международной заочной научно-практической конференции «Перспективы развития транспортного комплекса». Минск. 2016. С. 11-14.