

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БРЕСТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Международная научно-техническая конференция  
“Искусственный интеллект. Интеллектуальные транспортные системы”  
При поддержке проекта TEMPUS «Be-Safe»  
№544181-TEMPUS-1-2013-1-IT-TEMPUS-JPCR  
Брест, Беларусь, 25-28 мая 2016 г.

International Conference  
“Artificial Intelligence. Intelligent Transport Systems”  
Support from TEMPUS project «Be-Safe»  
№544181-TEMPUS-1-2013-1-IT-TEMPUS-JPCR  
Brest, Belarus, 25-28 May 2016 г.

**Материалы  
Международной научно-технической конференции**

Брест 2016

УДК 004.896:629

ББК 32.813

И 86

**Рецензенты:**

д.т.н., профессор Дудкин А.А.  
к.ф.-м. наук, доцент Ракецкий В.М.

**Редакционная коллегия:**

д.т.н., профессор Головки В.А.  
д.т.н., профессор Грабауров В.А.  
д.т.н., доцент Капский Д.В.  
к.т.н., доцент Шуть В.Н.  
ст.преподаватель Касьяник В.В.

**И 86 Искусственный интеллект. Интеллектуальные транспортные системы:** материалы международной научно-технической конференции. – Брест: Издательство УО «БрГТУ», 2016. – 220 с.

**ISBN 978-985-493-371-9**

Материалы Международной научно-технической конференции «Искусственный интеллект. Интеллектуальные транспортные системы» отражают актуальные вопросы на стыке двух важных направлений человеческой деятельности: искусственного интеллекта и транспорта.

Соединение этих двух далеких друг от друга направлений воедино обозначено как «Интеллектуальные транспортные системы».

УДК 004.896:629

ББК 32.813

ISBN 978-985-493-371-9

© Издательство БрГТУ, 2016

## ОРГАНИЗАТОРЫ

Министерство образования  
Республики Беларусь



Брестский государственный  
технический университет



Белорусский  
научно-исследовательский  
институт транспорта  
«Транстехника»



Белорусский государственный  
университет транспорта



Белорусский национальный  
технический университет



Институт проблем искусственного  
интеллекта, Киев, Украина



Sapienza University of Rome  
(Sapienza), Italy



Loughborough University (LOUGH),  
United Kingdom



National Technical University of Athens  
(NTUA), Greece



## **Цель проведения конференции «Искусственный интеллект. Интеллектуальные транспортные системы»**

Объединение усилий ученых различных стран в развитии фундаментальных исследований и прикладных разработок в области искусственного интеллекта и транспорта, приоритетных направлений развития интеллектуальных и робототехнических транспортных систем, информационно-компьютерных технологий и их практической реализации в транспортных сферах человеческой деятельности.

### **Направления работы**

1. Искусственный интеллект.
2. Интеллектуальные робототехнические транспортные системы.
3. Прикладные информационные технологии на транспорте.
4. Управление транспортными потоками.

### **ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ**

***Пойта Петр Степанович***, доктор технических наук, профессор, ректор Брестского государственного технического университета - ***председатель***

***Рубанов Владимир Степанович***, кандидат физико-математических наук, доцент, проректор по науке - ***заместитель председателя***

***Шуть Василий Николаевич***, кандидат технических наук, доцент кафедры интеллектуальных информационных технологий - ***заместитель председателя***

***Ракецкий Валерий Михайлович***, кандидат физико-математических наук, доцент, декан факультета электронно-информационных систем

***Головко Владимир Адамович***, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой интеллектуальных информационных технологий

***Пролиско Евгений Евгеньевич***, кандидат технических наук, доцент кафедры интеллектуальных информационных технологий

Секретарь оргкомитета

**Касьяник Валерий Викторович, email: [vvkasyanik@bstu.by](mailto:vvkasyanik@bstu.by)**



## МЕЖДУНАРОДНЫЙ ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

- Dmitry Bagayev ... Kovrov State Techhological Academy (Russia)
- Anatoliy Shevchenko ... Insnitute of Artificial Intelligence Problems (Ukraine)
- Irina Yatskiv ... Transport and Telekommunikation Institute (Latvia)
- Andrei Korolev... Belarusian Research Institute of Transport (Belarus)
- Cergei Cobolevskii... Belarusian Research Institute of Transport (Belarus)
- Alexander Doudkin ... National Academy of Sciences of Belarus (Belarus)
- Jo Barnes ... Loughborough University (United Kingdom)
- Denis Kapski ... Belarusian National Technical University (Belarus)
- Altynbek Sharipbay...Institute of artificial intelligence (Kazakhstan)
- Igor Kabashkin ... Transport and Telekommunikation Institute (Latvia)
- Sergei Azemsha ... Belarusian State University of Transport (Belarus)
- Kurosh Madani ... Paris-East University (France)
- Oleg Darintsev ... Institute of mechanics RAN (Russia)
- Luca Persia. ... Sapienza University of Rome (Sapienza), Italy
- Andrzej Czerepicki...Warsaw University of Technology Faculty of Transport (Poland)
- Stergios Mavromatis ... National Technical University of Athens (Greece)
- Vladimir Redko ... Russian Academy of Science (Russia)
- Hubert Roth ... Universitat Siegen (Germany)
- Anatoly Sachenko ... Ternopil National Economic University (Ukraine)
- Volodymyr Turchenko ... University of Tennessee (USA)
- George Yannis ... National Technical University of Athens (Greece )
- Petr Trokhimchuck ... Lesya Ukrayinka East European National University (Ukraine)
- Andrew Morris ... Loughborough University (United Kingdom)
- Ivan Bolesta ... Lviv National university of I. Franka (Ukraine)
- Vladimir Grabaurow... Belarusian National Technical University (Belarus)
- Oleg Larin ... South Ural state university (Russia)
- Cemen Vaksman ... Ural NII of transport systems (Russia)

## **Уважаемые участники конференции «Искусственный интеллект. Интеллектуальные транспортные системы»**

В настоящее время в Беларуси, Украине, России и во всем мире усилилось значение научных исследований систем и средств искусственного интеллекта и актуальность решения проблем искусственного интеллекта, внедрение достижений искусственного интеллекта в различные сферы человеческой деятельности и в том числе в транспортную. Дальнейшее развитие транспортной деятельности без использования достижений этой новой науки не представляется возможным.

В связи с постоянным ростом спроса на перевозки, который обусловлен развитием экономики, происходит увеличение парка транспортных средств, т.к. три четверти всего объема транспортного обслуживания приходится на автомобильный транспорт.

Автомобильный транспорт помогает человеку во всех сферах его деятельности, одновременно создавая массу проблем, на разрешение которых приходится уделять все больше и больше внимания. Именно поэтому следует уделять больше внимания интеграции систем и созданию единых интеллектуальных систем управления движением различного уровня иерархического соподчинения.

В девяностых годах прошлого века во многих странах мира (США, Японии, странах Западной Европы) начали реализовываться проекты интеллектуальных транспортных систем (ИТС) – «Intelligent Transport System». Во многих странах Европы пользуются термином «Telematic Systems».

Построение таких систем основывается именно на интеграции информационных и управляющих систем, которые создавались разрозненно, но связаны с автомобильным транспортом и подчинены одной и той же цели – повышению эффективности функционирования дорожного транспорта. В рамках этих систем на сегодняшний день отдельно решаются вопросы повышения безопасности движения, снижения экологического воздействия на окружающую среду, улучшения качества транспортного обслуживания, повышения качества дорожного движения в целом и пр.

Брестский государственный технический университет также ведет исследования в этом направлении. Из десяти научно-исследовательских лабораторий университета одна (организована в прошлом 2015 году) активно проводит разработки в широком спектре ИТС.

Основной задачей лаборатории является разработка теоретических основ оптимального управления автотранспортом в улично-дорожной сети (УДС) города, внедрение полученных результатов в УДС г. Бреста, использование информационных технологий в управлении городским транспортом. В настоящее время на пешеходном переходе Бульвара Космонавтов (магазин «Космос») установлен опытный образец адаптивной системы управления. Аналогичными

системами планируется обеспечить город Брест до 2020 года полностью (по всем светофорным перекресткам) и этим инициировать построение некоторых элементов ИТС в городе.

Направления деятельности лаборатории:

1. Исследования регулируемых перекрестков города и составление плана оптимального управления;
2. Моделирование автотранспортных потоков на различных перекрестках города со светофорным регулированием;
3. Разработка и внедрение адаптивных систем управления светофорными объектами широкого спектра и назначения;
4. Разработка методов видеодетектирования автотранспорта, использование нейросетевых технологий прогнозирования транспортных потоков;
5. Магистральное управление транспортным потоком (зеленая волна);
6. Моделирование транспортных потоков, увязанных со временем работы предприятий города;
7. Разработка новых типов интеллектуального транспорта, и в том числе, роботизированного, беспилотного.

Работа лаборатории ведется в тесном взаимодействии с областным ГАИ, предприятием «Брестгортранс», Научно-исследовательским центром дорожного движения БНТУ (Минск), а также с подобными организациями в России и Украине. Сотрудничает лаборатория интеллектуальных транспортных систем Бр.ГТУ с исследователями по данному направлению из университетов Рима, Афин, Варшавы, Англии, Латвии, Литвы и др. стран.

Совместные научные исследования с зарубежными партнерами осуществляются по многим научным направлениям в области ИТС. О международном признании этих исследований свидетельствует значительное количество публикаций в авторитетных научных изданиях, в том числе зарубежных, участие в работе международных конференций, семинаров, выставок, а также договоры о сотрудничестве с зарубежными партнерами.

Конференция посвящена 50-летию университета и проводится в рамках проекта программы «TEMPUS» 544181-TEMPUS-1-2013-1-IT-TEMPUS-JPCR Belarusian Road Safety Network, софинансируемого Европейским Союзом.

# 1 СЕКЦИЯ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

УДК 004.89, 004.93

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРУКТУРНОГО ОПИСАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ И ТРЕКИНГА ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ

А.В. Агарков

Институт проблем искусственного интеллекта МОН Украины и НАН Украины,  
Киев, Украина

*В данной работе предложено решение задачи детектирования и трекинга объектов в видеоряде с неподвижным фоном на основе анализа движения в кадре и представления изображения и объектов как множества структурных элементов. Описание объектов имеет двухуровневую иерархию, что позволяет гибко адаптировать его при изменении объекта. Аддитивное описание объекта в виде множества структурных элементов позволяет осуществлять трекинг в условиях частичного перекрытия.*

### Введение

Трекинг (отслеживание) объектов в видеопотоке — определение их расположения на каждом кадре в видеопотоке. Для систем реального времени необходимо локализовать объект, имея информацию о расположении на предыдущем кадре. Трекинг нашел применение в системах видеонаблюдения для автоматизации распознавания тревожных ситуаций, в системах видеоаналитики для управления бизнес-процессами, в системах распознавания целевых объектов и т. д. К настоящему времени разработано множество методов и подходов для решения данной задачи. Актуальность решения задачи трекинга не падает — с развитием методов распознавания зрительных образов для её решения применяются все более новые методики.

В данной работе предложено решение задачи выделения и отслеживания объектов в видеоряде с неподвижным фоном на основе анализа движения в кадре и представления изображения и объектов как множества структурных элементов. Описание объектов имеет двухуровневую иерархию, что позволяет гибко адаптировать его при изменении объекта. Аддитивное описание-дескриптор объекта в виде множества структурных элементов позволяет осуществлять трекинг в условиях частичного перекрытия.

### 1. Структурные элементы изображений

Изображение  $I$  рассматривается как множество структурных элементов  $p$  -  $I = \{p_i\}$ . Видеопоследовательность - это последовательность статических изображений. Два последовательных изображения видеоряда отличаются слабо вследствие небольшой разности во времени, расположения камеры и объектов при их получении. Соответственно, видеопоследовательность  $V$  - это множество структурных элементов -

$$V = \{I_j\} = \bigcup_j \{p_i | p_i \in I_j\},$$

где  $j$ - номер кадра. Для каждого  $p_i$  заданы их наличие  $b(p_i, j)$  и положение  $\bar{r}(p_i, j)$  для каждого кадра  $I_j$  видеопоследовательности.

Отдельным объектам соответствуют подмножества отдельных структурных элементов (ОСЭ). При движении объекта в кадре их взаимное расположение меняется слабо, по крайней мере для близко расположенных ОСЭ. Как следствие — для соседних ОСЭ одного объекта межкадровое смещение

$$\bar{s}(p_i, j) = \bar{r}(p_i, j) - \bar{r}(p_i, j-1)$$

будет примерно совпадать. Таким образом, отдельным объектам в кадре соответствуют подмножества структурных элементов, для каждого из которых выполняется условие совпадения межкадрового смещения для соседей

$$\bar{s}(p_i, j) \approx \bar{s}(p_l, j) : (p_i, p_l) \in N_j, \quad (1)$$

где  $N_j$ - множество всех пар ОСЭ, которые являются соседними друг другу на  $j$ -м кадре. Разумеется, если два объекта в кадре находятся рядом и одинаково смещаются, то они будут отслеживаться как один объект до тех пор, пока они не разойдутся. Однако при сближении разных объектов их слияние происходить не должно.

## 2. Сегментация движения

При движении объекта в кадре все его части смещаются согласованно. Даже если отдельные его части описывают разные траектории (например, при ходьбе у человека руки и ноги двигаются относительно туловища), близко расположенные точки смещаются от кадра к кадру примерно одинаково, иначе нарушается целостность объекта. Таким образом, отдельному объекту на изображении соответствует подмножество структурных элементов изображения, для каждой пары соседей из которого выполняется условие подобия межкадрового смещения.

Из этого следует, что для выделения отдельного объекта на основе использования множества структурных элементов и их межкадрового смещения необходимо выделить подмножества ОСЭ, согласно условию (1). Данные подмножества не являются классами эквивалентности, поскольку условие транзитивности для подобия соседних ОСЭ в общем случае не выполняется. Эта процедура не является достаточной для выделения отдельных объектов, поскольку возможен случай, когда разные объекты при движении находятся рядом. Для их разделения необходимо применение дополнительных методов из области детектирования и распознавания объектов на изображении.

В данной работе для поиска данных подмножеств ОСЭ используется метод степного пожара. В простейшем случае межкадровое смещение двух соседних структурных элементов считается подобным, если модуль их разности меньше порога  $h$

$$|\bar{s}(p_i, j) - \bar{s}(p_l, j)| < h : (p_i, p_l) \in N_j. \quad (2)$$

Однако результаты выделения движущихся объектов при использовании данного условия являются неудовлетворительными — при медленном движении объектов они сливаются с фоном.

Для более качественного результата выделения движущихся объектов условие (1) было модифицировано. В данной работе для определения подобия межкадрового смещения для двух соседних ОСЭ используется адаптивный по-

рог, который вычисляется отдельно для каждого ОСЭ. Для каждого ОСЭ порог формируется на основе среднего отклонения по соседям, среднеквадратических отклонений модуля межкадрового смещения и его значений  $x$  и  $y$ . Межкадровые смещения двух соседних ОСЭ считаются подобными, если выполняется условие

$$f(i, j) \vee f_x(i, j) \vee f_y(i, j) \vee f(j, i) \vee f_x(j, i) \vee f_y(j, i),$$

где

$$\begin{aligned} f(i, j) &= |\bar{s}(p_i, j) - \langle \bar{s} \rangle(p_i, j)| < \langle |\bar{s}(p_i, j) - \langle \bar{s} \rangle(p_i, j)| \rangle : (p_i, p_l) \in N_j, \\ f_x(i, j) &= |x_{\bar{s}}(p_i, j) - x_{\langle \bar{s} \rangle}(p_i, j)| < \langle |x_{\bar{s}}(p_i, j) - x_{\langle \bar{s} \rangle}(p_i, j)| \rangle : (p_i, p_l) \in N_j, \\ f_y(i, j) &= |y_{\bar{s}}(p_i, j) - y_{\langle \bar{s} \rangle}(p_i, j)| < \langle |y_{\bar{s}}(p_i, j) - y_{\langle \bar{s} \rangle}(p_i, j)| \rangle : (p_i, p_l) \in N_j, \end{aligned}$$

$\bar{s}(p, j)$  - межкадровое смещение для структурного элемента  $p$  на  $j$ -м кадре,  $\langle \bar{s} \rangle(p, j)$  - средний по соседним вектор смещения структурного элемента  $p$  на  $j$ -м кадре,  $x_{\bar{s}}$ ,  $y_{\bar{s}}$  - компоненты вектора  $\bar{s}$ .

### 3. Формирование описания объектов трекинга

Описание объекта строится на основе использования множества структурных элементов, координаты которых от кадра к кадру изменяются. От кадра к кадру также изменяется множество ОСЭ, которое соответствует отдельному объекту, вследствие удаления и рождения части ОСЭ.

Несмотря на то, что соседние точки объекта смещаются похоже, характер движения его разных частей может отличаться. Это приводит к разбиению множества ОСЭ отдельного объекта на подмножества, каждому из которых соответствует часть (сегмент) объекта. Характер движения каждого из данных сегментов отличается от соседних. Таким образом, описание объекта представляет собой множество сегментов, каждый из которых представлен множеством ОСЭ.

$$O_k(j) = \{S_{k,l}^j\} = \bigcup_l \{p : p \in S_{k,l}^j\},$$

где  $O_k(j)$  - описание  $k$ -го объекта на  $j$ -м кадре,  $S_{k,l}^j$  - сегмент, принадлежащий  $O_k(j)$ ,  $p$  - структурный объект.

Несмотря, на разный характер движения, сегменты одного объекта от кадра к кадру остаются соседями. Данное постоянство позволяет выделять сегменты, относящиеся к одному объекту, как связанное подмножество множества ОСЭ.

### Заключение

В данной работе предложено решение задачи выделения и отслеживания объектов в видеоряде с неподвижным фоном на основе анализа движения в кадре и представления изображения и объектов как множества структурных элементов. Для этого видеоряд рассматривается как множество отдельных структурных элементов, для каждого из которых определены положение и наличие на каждом кадре.

Разработана методика детектирования объектов на основе анализа межкадрового смещения отдельных структурных элементов. Данная методика позволяет сегментировать изображение видеоряда на области с различным характером движения без использования информации о фоне.

Разработана методика формирования иерархического описания объектов. Данная иерархия имеет двухуровневую структуру - 1) объект описывается как множество сегментов, 2) сегмент описывается как множество отдельных структурных элементов. Таким образом, трекинг объектов при используемом подходе представляет собой выделение связных областей из структурных единиц (сегментов и ОСЭ).

Экспериментальная оценка качества предложенного метода трекинга объектов показала его устойчивость к изменению объекта, стабильное удержание подвижных и неподвижных объектов. При перекрытии объектов наблюдается неустойчивая работа - слияние объектов, потеря одного из объектов, что, видимо, связано с несовершенством процедуры сегментации по движению.

В данной работе предполагается, что фон является неподвижным, но данный подход позволяет отслеживать изменения фона, выделяя его как наибольший сегмент (при условии, что площадь объектов меньше, чем фон, что выполняется в подавляющем большинстве случаев).

## Список литературы

1. Fernando de la Torre Frade. Moving object detection and tracking system: a real-time implementation / Fernando de la Torre Frade, Elisa Martínez Marroquín, Eugenia Santamaría Pérez, Jose Antonio Morán Moreno // *Seizième colloque gretsi* — 15-19 septembre, 1997. — P. 375-378.
2. Yilmaz A. Object Tracking: A Survey / Alper Yilmaz, Omar Javed, Mubarak Shah // *ACM Computing Surveys*. – 2006. – Vol. 38. – No. 4. – Article 13. – P.1-45.
3. Vasilis Papadourakis. Multiple objects tracking in the presence of long-term occlusions / Vasilis Papadourakis, Antonis Argyros // *Computer Vision and Image Understanding*. — 2010 — vol.114. – P. 835–846.
4. Andres Alarcon Ramirez and Mohamed Chouikha. A New Algorithm for Tracking Objects in Videos of Cluttered Scenes / Andres Alarcon Ramirez, Mohamed Chouikha // *International Journal of Information Technology, Modeling and Computing (IJITMC)* – May, 2013. - vol.1, No.2, – P.72-83
5. Robert T. Collins. On-Line Selection of Discriminative Tracking Features / Robert T. Collins, Yanxi Liu // *Pattern Analysis and Machine Intelligence*. – 2005. – vol. 27, issue 10. – P. 1631 – 1643.
6. D. S. Bolme. Visual Object Tracking using Adaptive Correlation Filters / D. S. Bolme, J. R. Beveridge, B. A. Draper, Y. M. Lui // *Computer Vision and Pattern Recognition*. — June, 2010. — P. 2544 – 2550.
7. Martin Godec. Hough-based Tracking of Non-rigid Objects / Martin Godec, Peter M. Roth, Horst Bischof // *In Proc. International Conference on Computer Vision (ICCV)*. — 2011. – P. 81 – 88.
8. Zdenek Kalal. Online Learning of Robust Object Detectors During Unstable Tracking / Zdenek Kalal, Jiri Matas, Krystian Mikolajczyk // *In International Conference on Computer Vision*. – 2009.
9. Kalal Z. P-N learning: Bootstrapping binary classifiers by structural constraints / Kalal Z., Matas J., Mikolajczyk K. // *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. – 2010. – P. 49 – 56.
10. Boris Babenko. Robust Object Tracking with Online Multiple Instance Learning / Boris Babenko, Ming-Hsuan Yang, Serge Belongie // *Pattern Analysis and Machine Intelligence*. – 2010. – vol. 33, issue 8. – P. 1619 – 1632.
11. David A. Ross. Incremental Learning for Robust Visual Tracking / David A. Ross, Jongwoo Lim, Ruei-Sung Lin, Ming-Hsuan Yang // *International Journal of Computer Vision*. – 2008. – vol. 77, issue 1-3. – P. 125-141.

## **PROBLEM OF COMPLEXITY IN MODERN CYBERNETICS AND POLYMETRICAL ANALYSIS AS POSSIBLE WAY OF ITS RESOLUTION**

P.P. Trokhimchuck

Lesya Ukrayinka East European National University, Lutsk, Ukraine

*The problem of complexity in modern cybernetics is discussed. This problem must be resolved with help theory with change hierarchy. It was shown that this problem may be resolved with help theory of calculations. Basic peculiarities of polymetric analysis are represented and analyzed too.*

### **Introduction**

Problem of complexity is one of central problem in modern science, including mathematics and cybernetics [1 – 12]. This problem is caused in synthetically sciences. Roughly speaking it has two aspects: system (problem of century in cybernetics according S. Beer [1 – 4]) and computational (problem of computational complexity [1, 12]. Last problem is included in basic problems of modern mathematics (Smale problems) [1, 11].

Problem simplicity – complexity is included in Polymetric Aanalysis (PA) (universal system of analysis, synthesis and formalization of knowledge) as principle simplicity.

Hybrid theory of systems (HTS) is created on the basis principles (criteria) of reciprocity and simplicity [1–4]. Only 10 minimal types of formalization system may be used. But number of real systems may be infinite. It is may be represented as answer on the one of basic question of modern theory of systems [1, 7, 8] about possible number of systems and its classification with point of simplicity – complexity [1–4, 9].

Therefore HTS may be represented as variant of resolution the problem of century in cybernetics according S. Beer and may be used for the resolution problem of computational complexity (theory of informative calculations, TIC).

### **Results and discussions**

Polymetric analysis was created as alternative optimal concept to logical, formal and constructive conceptions of modern mathematics and theory of information [1]. This concept is based on the idea of triple minimum.

Basic elements of this theory and their bonds with other science are represented in Figure 1 [1].

Basic mathematical element of polymetric analysis is functional number (generalizing elements of square forms) [1]. As in Greece mathematics number is basic elements of its system. For these numbers generalizing mathematical transformations were constructed. 15 minimal types of its transformations are existed. Informative lattice is constructed on the basis if functional numbers and generalizing mathematical transformations. Theory of informative calculations is created for this lattice. Basic principle of this theory is the principle of optimal calculations.

For classification of systems of calculation hybrid theory of systems was created. This theory is based on two criterions: criterion of reciprocity – principle of creation of proper formal system, and criterion of simplicity – principle of optimality of this creation. For “inner” bond of two elements of informative lattice a parameter



of connectedness was introduced. Principle of optimal informative calculation is included in criterion of simplicity.

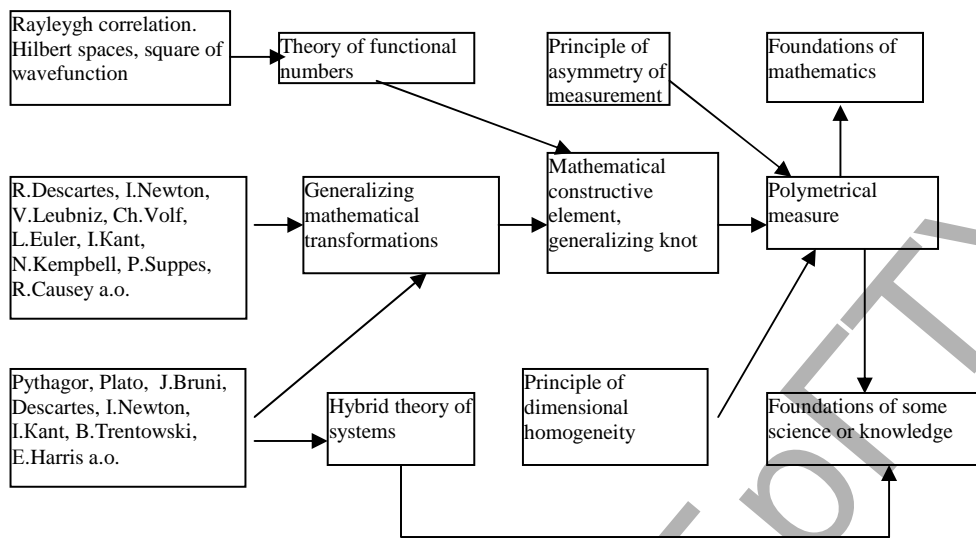


Fig. 1 Schema of polymetric method and its place in modern science [1]

At help these criteria of reciprocity and simplicity and parameter of connectedness the basic famous parts of knowledge and science may be represent as next 10 types of hybrid systems [1 – 4]:

1. The system with conservation all positions the criteria of reciprocity and simplicity for all elements of mathematical construction ( $N_{\varphi_j}$  and transformations) is called the *simple system*.

2. The system with conservation the criterion of simplicity only for  $N_{\varphi_j}$  is called the *parametric simple system*.

*Remark 1.* Further in this classification reminder of criteria of reciprocity and simplicity is absented. It mean that these criteria for next types of hybrid systems are true.

3. The system with conservation the criterion of simplicity only for general mathematical transformations is called *functional simple system*.

4. The system with nonconservation the principle of optimal informative calculation and with  $\sigma_i = 1$  is called the *semisimple system*.

5. The system with nonconservation the principle of optimal informative calculation only for  $N_{\varphi_j}$  and with  $\sigma_i = 1$  is called the *parametric semisimple system*.

6. The system with nonconservation the principle of optimal informative calculation only for general mathematical transformations and with  $\sigma_i = 1$  is called the *functional semisimple system*.

7. The system with nonconservation the principle of optimal informative calculation and with  $\sigma_i \neq 1$  is called *complicated system*.

8. The system with nonconservation the principle of optimal informative calculation only for  $N_{\varphi_j}$  is called *parametric complicated system*.

9. The system with nonconservation the principle of optimal informative calculation only for general mathematical transformations and with  $\sigma_i \neq 1$  is called *functional complicated system*.

10. The system with nonconservation the criteriums of reciprocity and simplicity and with  $\sigma_i \neq 1$  is called *absolute complicated system*.

With taking into account 15 basic types of generalized mathematical transformations we have 150 types of hybrid systems; practically 150 types the formalization and modeling.

HTS may be used for the classification and creation old and new chapters of computing science.

But four types of these systems aren't mathematical in classical sense [1]. Hybrid theory of systems is open theory. Parameters of openness are number of generalizing mathematical transformations and parameter of connectedness. Thereby we have finite number of types of systems, but number of systems may be infinite. Hybrid theory of systems allows considering verbal and nonverbal knowledge with one point of view [1, 4, 9]. Therefore this theory may be represented as variant of resolution S. Beer centurial problem in cybernetics [1].

TIS may be represented as application PA (HTS) to the problem of calculation [1, 3]. This theory was used for the problem of matrix computation and problem of arrays sorting [1, 3].

TIS may be connected with problem of computational complexity. This problem was appeared in modern cybernetics for resolution of problem the transition from infinite (analytical) to discrete representation of computing procedures [1, 3]. It may be connected with 4 and 5 Smale problems [1,11].

Mathematical constructive element may be represented as generalizing knot of informative lattice. Generalizing mathematical transformations are classified as quantitative and qualitative, left and right. Calculative (quantitative) transformations are corresponded to primary measurement and qualitative transformations – to derived (secondary) measurements. It allows formalizing N.R.Campbell concept [1, 2] about primary and derived measurements. Result of this formalization was named polymetric theory of measure and measurement. Basic principles of this theory are principle of asymmetry of measurement for calculative transformations and principle of dimensional homogeneity. This theory is optimal synthesis of all famous theories of measure and measurements and dimensional analysis [1]. N.R. Campbell concept is more general as “measuring” part of quantum mechanics. Therefore L.I. Mandelstam called Quantum Mechanics as science of derivative measurements [1, 2].

Polymetric analysis is the system of optimal formalization, synthesis and analysis of knowledge. But it is the nature of mathematics [17]. For creation of theory of foundations of mathematics we must include three aspects: synthesis, analysis and formalization. This theory must be open system. Therefore Russel – Whitehead “logic” concept, Hilbert – Bernayce “formal” concept and Brauer – Heiting “constructive” concept can't be full theories of foundations of mathematics [1]. It was cause of crisis in theory of foundations of mathematics. Therefore A.N. Whitehead made conclusion that logical concept can't be the theory of foundations of mathematics [1, 2]. But it must be “organismic” theory. Practically this concept was realized in cybernetics: theory of neuronets, systolic computers, theory of cellular automata a.o. [1]. Therefore polymetric analysis may be represented as variant of realization of Whitehead concept of “organism” mathematics and formalizing unification of proper cybernetic theories (Ivakhnenko concept of neurosets etc.)[1, 7, 8].

Polymetric analysis may be represented as optimal “dynamical” formalization of Errol E. Harris polyphasic concept of modern science [1].

Thus basic concepts of awakening, creation and development of synthesis with including of historical analysis of this problem are represented in [1]. Therefore with this point of view polymetric analysis is the necessary development of problem of formalized synthesis in modern science.

According to A Ershov basic problem of modern computer science is formalization of phrase of Canadian philosopher L. Hall: “Everything comes from the head – intelligent” [1]. Therefore PA may be represented as optimal formalization of this thesis and, as effect, theoretical basis of modern computing science (informatics) [1, 2].

## Conclusions

1. Problem of complexity in modern cybernetics and computing science is discussed.
2. Basic concept and chapters of polymetric analysis are analyzed.
3. It shown, that polymetric analysis is the necessary development of problem of optimal formalized synthesis in modern science.
4. It was shown that HTS may be represented as variant of resolution problem of century in cybernetics according by S. Beer and theory of informative calculations – as variant of resolution of problems of computational complexity.

## References

1. Trokhimchuck, P.P. Mathematical foundations of knowledge. Polymetrical doctrine/. P.P. Trokhimchuck. – Lutsk: Vezha-Print, 1969. (in Ukrainian)
2. Trokhimchuck, P.P. Polymetrical analysis: retrospective and perspective doctrine /. P.P. Trokhimchuck //Int. J. on Recent and Innovation Trends in Coputing and Communications. – 2016. – Vol. 4. – No.1. – P. 173 – 183.
3. Trokhimchuck, P.P. Theory of informative calculations: necessity of creation and problems of development / P.P. Trokhimchuck // Visnyk of Kherson National Technical University. – 2015. – №3(54). – P. 57-61.
4. Beer, S. We and complexity of modern World / S. Beer // Cybernetics today: problems and discussions. – Moscow: Znanie, 1976. – P.18–32. (in Russian)
5. Biryukov, B.V. About concept complexity / B.V. Biryukov, V.S. Tyuhtin // Logics and methodology of science.– Moscow:Nauka, 1967. (in Russian)
6. Castey J. Large systems. Connection, complexity and catastrophes. – Moscow: Mir, 1982. (in Russian)
7. Kuhtenko, A. I. Cybernetics and fundamental science / A.I. Kuhtenko. – Kyiv: Naukova Dumka, 1987. (in Russian)
8. Ivakhnenko, O.G. Continuity and discreteness. – Kyiv: Naukova Dumka, 1990.
9. Trokhimchuck, P.P. Polymetrical method and modern cybernetics /. P.P. Trokhimchuck // Electronics and information technologies. – 2016. – No. 3. – P.202-210. (in Ukrainian)
10. Ruzha, I. Foundation of mathematics / I. Ruzha. – Kyiv: Vyshcha shkola, 1981. (in Russian)
11. Smale, (2000). «Mathematical problems for the next century» / S. Smale / Mathematics: frontiers and perspectives. – New York: American Mathematics Society, 2000. – P. 271–294.
12. Hromkovič, J. Why the Concept of Computational Complexity is Hard for Virifiable Mathematics /J. Hromkovič // Electroniuc Colloquiun on Computational Complexity. – Zurich: ETH, 2015. – Report No. 159. – 14 p.

## К АНАЛИЗУ ЕСТЕСТВЕННО-ЯЗЫКОВЫХ ОТВЕТОВ В СИСТЕМАХ ТЕСТИРОВАНИЯ

А.С. Звенигородский<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт проблем искусственного интеллекта МОН и НАН Украины,  
Киев, Украина

*Представлена языковая модель-надстройка для анализа смысла ответов типа «предложение» в системах тестирования. Описан алгоритм анализа смысла языкового ответа и прагматических данных, содержащихся в нем.*

### Введение

Системы тестирования имеют важное значение во многих сферах человеческой деятельности и имеют тенденцию к широкому использованию методов искусственного интеллекта [1]. Проверка и оценивание знаний во многом зависит от способов получения ответов от пользователя, которые определяются типом вопроса. Так, в [2] вопросы классифицируются на восемь типов, семь из которых формализованы и представляют по сути разные варианты выбора пользователем ответов из набора, предлагаемого системой. При этом восьмой тип вопроса и ответа – это предложение, наиболее естественная форма для человека. Однако, по замечанию авторов, «...выполнять автоматизированный анализ вопросов с ответами типа "предложение" на современном этапе интеллектуализации программных средств невозможно, поэтому это единственный тип вопросов, анализ ответов на которые выполняется экспертом». Анализ данного типа ответа предполагает в первую очередь определение смысла предложения, а потом оценку или степень соответствия правильному ответу. Ответы можно рассматривать как ограниченное подмножество предложений. Ограничения включают размер предложения и словарный запас, так как ответы обычно связаны с ограниченными предметными областями (например, школьная дисциплина), поэтому, конструктивно определив эти ограничения, задача понимания ответа типа «предложение» может быть упрощена и решена.

### Анализ проблемы

Определим суть смысла ответа типа «предложение». Остановимся кратко на важных составляющих этого понятия для данной задачи.

1. Будем считать, что предметная область вопроса (ПОВ) узкая, т. е. ограничена темой, вопросом темы и т. п. Отсюда, ответ будет содержать ограниченные данные, относящиеся к ограниченной ПОВ, и иметь смысл только в этой ПОВ. Известно, что языковые выражения (предложения) с позиций лингвистики могут иметь несколько смыслов, но в нашем случае нет необходимости рассматривать смыслы вне ПОВ, а следовательно, ответ может иметь только один смысл.

2. Оценивание ответа зависит не только от правильности смысла, но и от прагматических данных, наполняющих этот смысл. Другими словами, в ответе должны содержаться численные или перечисляемые данные, конкретизирующие смысловые составляющие ответа.

3. ПОВ представим в виде фрейма со слотами, определяющим смысловые составляющие вопроса, а значения в слотах будут определять прагматические значения.

4. С ПОВ связана языковая модель (надстройка), определяющая словарный запас и грамматические правила, относящиеся к именам слотов и прагматическим значениям.

Определение 1. Ответ «предложение» имеет смысл, если по его языковому представлению можно построить фрейм, принадлежащий ПОВ.

Определение 2. Ответ «предложение» имеет прагматический смысл ПОВ, если значения слотов фрейма находятся в пределах прагматических значений (диапазонов) правильного ответа в ПОВ.

### **Постановка задачи**

В предметной области строится или построена заранее фреймовая модель ответа с языковой надстройкой и прагматическими данными. На основе анализа языкового ответа строится фрейм ответа с извлеченными прагматическими данными. Правильность ответа определяется сравнением построенного фрейма с фреймом правильного ответа, а не сравнением каких-либо лингвистических шаблонов или множеством всех возможных ответов на естественном языке. Оценка ответа определяется степенью совпадения фреймов и другими критериями, например, пороговыми. Таким образом, необходимо определить составляющие языковой надстройки ответа «предложение» и алгоритм анализа ответа типа предложение, построить языковую надстройку

### **Модель-надстройка ответа типа предложение**

Построению языковых моделей анализа смысла ответов посвящена работа [3]. Однако она освещает один ответ на один тип вопроса. Вопрос на перечисление и требует дальнейшего развития на более обобщенные типы вопросов. В этой работе языковую модель-надстройку представим в виде двойки:

$$R = \{A, L\},$$

где  $A$  – алфавит (множество символов языка и специальных символов ПОВ);

$L$  – множество лексем, употребляемых в данной ПОВ.

Множество  $L$  разбивается на три подмножества:

$$L = \{S, C, UL\},$$

где  $S$  – подмножество лексем, обозначающих смыслы объектов и ситуаций ПОВ и их свойств и прагматическое значение этих смыслов;

$C$  – подмножество лексем, не имеющих смыслового содержательного значения, но употребляемые в данной ПОВ для выразительности, следования правилам ведения диалога и т. п.;

$UL$  – подмножество недопустимых для употребления в профессиональном общении лексем и метафор (ненормативных).

Все остальные лексем, которых нет в языке, непреднамеренные ошибки пользователя, лексем из других ПОВ определяются как неизвестные и при анализе не рассматриваются.

Подмножество  $S$  разбивается на четыре составляющих:

$$S = \{K, NL, CS, M\},$$

где  $K$  – ключевые слова ПОВ;  
 $NL$  – лексемы-отрицания;  
 $SS$  – специальные лексемы и знаки;  
 $M$  – метафоры.

Опишем лексемы, образующие содержание, более подробно.

Ключевые слова ( $K$ ) – это базовые лексемы для определения наличия в сообщении смысла ПОВ и его оценки.

Лексема-отрицание ( $NL$ ) – это лексема, которая меняет прагматическое содержание объекта, ситуации ПОВ и их свойств, обозначенных следующей за ней лексемой. В большинстве случаев это лексема «не».

Специальные лексемы и знаки ( $SS$ ) – это лексемы и знаки для выражения сравнения (больше, меньше, равно,  $>$ ,  $<$ ,  $=$ , лучше и т. д.), знаки препинания и специальные знаки данной ПОВ.

Метафоры ( $M$ ) – это синонимы, сочетания из двух или трех лексем, обозначающих смысл (содержание) объектов и ситуаций ПОВ и их свойства.

### **Алгоритм анализа и оценки ответа «предложение»**

На рис.1 приведен разработанный в соответствии с постановкой задачи алгоритм анализа ответа в виде предложения. При работе алгоритма используется лексическая база данных ПОВ, содержащая ключевые слова, лексемы-отрицания, специальные лексемы и знаки, метафоры.

Языковая модель ПОВ содержит грамматические и другие правила употребления лексем в данной ПОВ. В прагматической базе содержатся диапазоны значений слотов фреймов. С помощью этой базы проводится семантический анализ, близкий к [4].

Сравнение фреймов производится с использованием логических правил типа «ЕСЛИ А ТО В». При сообщении пользователю результата указывается не только оценка ответа, но и допущенные грамматические ошибки, рекомендации по построению в будущем языковых ответов, использованию профессиональной лексики.

### **Выводы**

Использование разработанной языковой модели и алгоритма позволяет:

- оценить ответ, даже если в его составе кроме лексем, относящихся к предметной области вопроса, будут посторонние лексемы или символы;
- оценивать ответ, если в нем будут грамматические ошибки, не искажающие смысл ответа.

В последующих исследованиях в этом направлении необходимо конкретизировать представление ПОВ, возможно, выделить классы ПОВ для дисциплин.

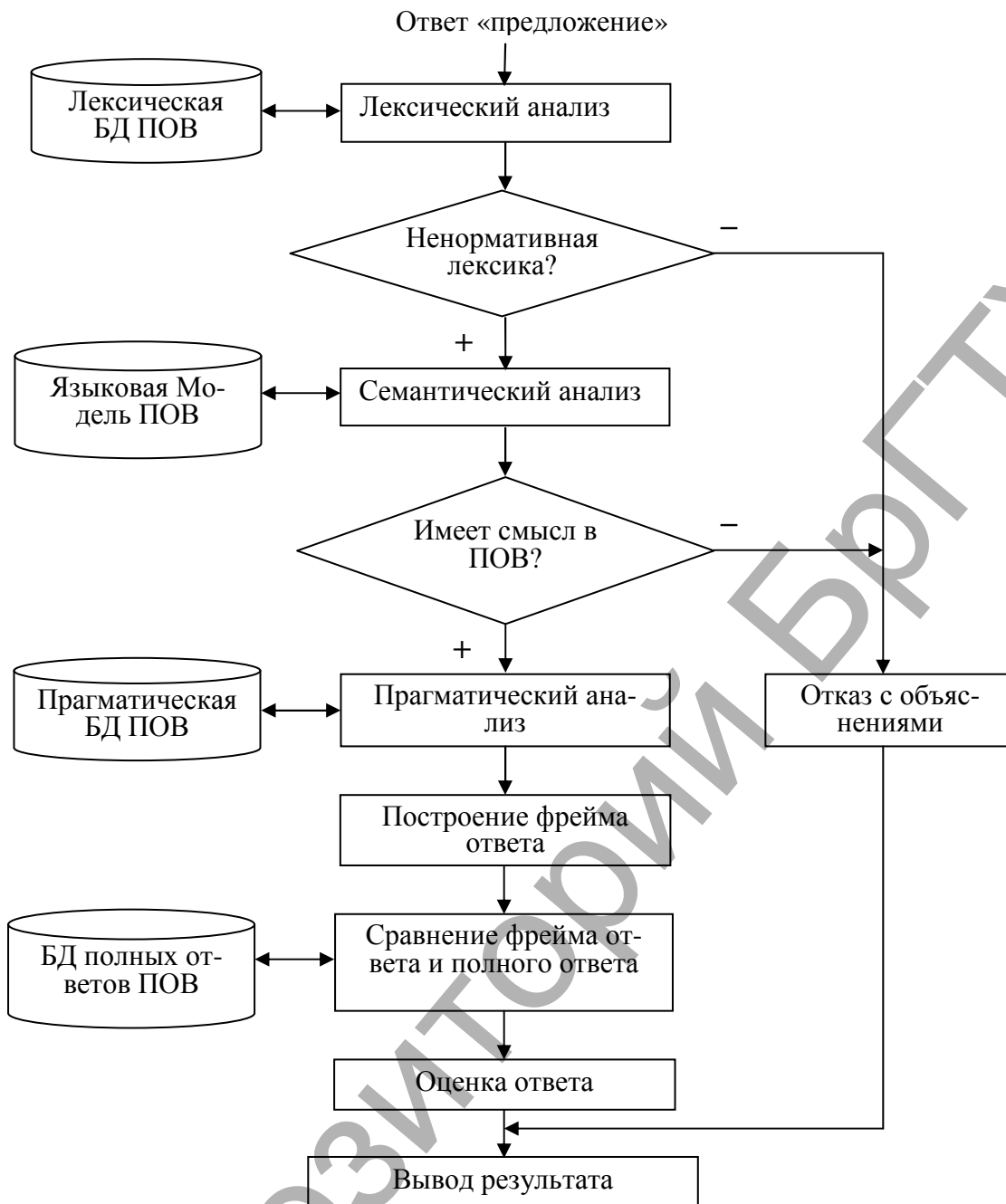


Рисунок 1 – Алгоритм анализа и оценки ответа типа предложение

## Список литературы

1. Шевченко А.І, Сальніков І.С., Полівцев С.О., Мащенко С.В., Іванова С.Б., Агарков А.В., Дорохіна Г.В.; Монографія. Антропоморфні та робототехнічні системи з функціями штучного інтелекту. - /ІПШ МОН України і НАН України/. - Донецьк. ІПШ «Наука і освіта», 2013. – 244 с.
2. Снитюк В.Е., Юрченко К.Н. Интеллектуальное управление оцениванием знаний. – Черкассы, 2013. – 262 с.
3. Звенигородский А.С. Модель одного ответа на вопрос в естественно-языковых системах тестирования. / А.С. Звенигородский, С.Б. Иванова, В.Н. Чернышова // Искусственный интеллект. – 2012 – №2 с.33–38
4. Палагін, О.В. ПОВ один підхід до аналізу та розуміння природно-мовних об'єктів / О.В. Палагін, С.Ю. Світла, М.Г. Петренко // Комп'ютерні засоби, мережі та системи. – 2008. – № 7. – С. 128 – 137.

## МЕТОД ФИЛЬТРАЦИИ ВЕКТОРОВ ПРИЗНАКОВ В ЗАДАЧЕ ТЕКСТОНЕЗАВИСИМОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИКТОРА

Н.С. Клименко

Институт проблем искусственного интеллекта  
МОН Украины и НАН Украины, Киев, Украина

*В статье предложена модификация метода идентификации при помощи фильтрации множества векторов акустических признаков как обучающей выборки, так и выборки тестируемого образца. Результаты численных исследований показали, что данная модификация позволяет повысить вероятность текстонезависимой идентификации на основе одного классификатора. Вместе с тем, объем вычислений сокращается в сравнении с использованным ранее решающим правилом, полученным бустинг-алгоритмом.*

### Введение

Данная работа является продолжением [1], где была рассмотрена адаптация алгоритма бустинга к задаче текстонезависимой идентификации диктора. Текстонезависимой является идентификация, выполняемая по произвольному фрагменту звукозаписи речи без информации о ее текстовом содержимом. Эта возможность усложняет реализацию текстонезависимых систем, понижает их надежность и скорость распознавания.

Бустинг – метод, основанный на комбинировании нескольких «слабых» классификаторов в один «сильный». Решающее правило, полученное бустинг-алгоритмом AdaBoost, показывает лучшую вероятность распознавания в сравнении с единичными классификаторами.

Работа заключается в повышении эффективности единичного классификатора для решения проблемы значительно возросшего объема вычислений, что привело к невозможности работы с большой акустической базой дикторов в режиме реального времени.

### Описание

Для выбора подхода фильтрации был рассмотрен ряд работ, посвященных как фильтрации множества векторов признаков, так и оптимизации подмножества самих признаков [2-4]. Метод минимальной избыточности и максимальной релевантности (minimum redundancy-maximum relevance, mRMR) успешно применяется для фильтрации пространства признаков в задачах распознавания образов [4].

Критерий максимальной релевантности находит такое подмножество признаков, что оно максимизирует среднее значение взаимной информации признака и класса по всем признакам, включенным в подмножество. Критерий был приспособлен для решения задачи фильтрации акустических признаков следующим образом:

$$mRMR(S) = \max_S \left[ \frac{1}{|S|} \sum_{x^i \in S} I(x^i, c_j) - \frac{1}{|S|^2} \sum_{x^i, x^j \in S} I(x^i, x^j) \right],$$



где  $x^i$  – вектор множества акустических признаков  $S$ ;

$c_j$  – акустическая модель диктора;

$S$  – подмножество признаков;

$I(x^i, c_j)$  – расстояние в пространстве признаков или критерий корреляции.

В качестве акустических признаков в данной работе выступают Мел-частотные кепстральные коэффициенты, зарекомендовавшие себя компактными и информативными признаками во множестве современных исследований как по распознаванию речи, так и диктора [5, 6]. Вектор признаков дополнен производными от аналогичных коэффициентов, полученных по соседним окнам, для учета динамической составляющей. Таким образом, общая длина вектора признаков равна 39.

В рамках данной работы для классификации использован метод гауссовых смесей. Этот классификатор может представлять собой аналогию скрытой марковской модели с одним состоянием. Модели гауссовых смесей отображают классы в пространстве признаков в виде многомерного вероятностного распределения. Класс описывается как взвешенная сумма  $M$  нормальных распределений. Таким образом, модель описывается векторами математического ожидания, ковариационными матрицами и весами смесей для каждого компонента модели [5]. Способом оценки параметров модели является метод максимизации правдоподобия.

Модификацией метода гауссовых смесей и главной особенностью предложенной схемы идентификации является учет широких фонетических классов (ШФК) – множества, характеризующего акустическое пространство голоса диктора. ШФК в данной работе представляют акустические события, на основании которых идет дальнейшая работа методов классификации. ШФК описывают определенные фонетические события (гласные, фрикативные и т. д.), по которым в отдельности формируются акустические модели, в совокупности представляющие «комплексную» модель диктора. По результатам численных исследований был использован состав из четырех ШФК: глухие, звонкие, сонорные и гласные. Такой состав признан оптимальным для звуков речи русского языка по параметрам межклассового и внутриклассового разбросов векторов признаков в ходе проведенного численного исследования [1].

С учетом предложенного критерия фильтрации на основе имеющихся разработок было сформировано множество классификаторов для проведения численного исследования. В него включены классификаторы на основе одного и всех широких фонетических классов, а также решающее правило на основе бустинг-алгоритма. Звукозаписи дикторов были взяты из общедоступной базы VoxForge [7]. Была получена выборка звукозаписей 50 дикторов. Звукозаписи представлены в виде wav-файлов с глубиной квантования 16 бит и частотой дискретизации 16-44,1 кГц. Все дикторы записаны динамическим микрофоном в спокойном эмоциональном состоянии, 38 дикторов — мужчины, 12 — женщины.

Исследования проводились на обучающих выборках с разным количеством распознаваемых классов (дикторов) от 2 до 50. Обучение проводилось на фрагментах речи дикторов продолжительностью от 8 до 35 секунд. Распознавание проводилось по фрагментам дикторов той же сессии звукозаписи продолжительностью 5-7 секунд.

Проведен сравнительный анализ эффективности идентификации диктора классификаторами по отдельным ШФК, комплексным классификатором на их основе и композицией классификаторов. Зависимость вероятности распознавания от размера обучающей выборки (количества моделей диктора)  $2 \leq N \leq 50$  позволяет установить:

– фильтрация увеличивает вероятность распознавания в среднем на  $3,9 \pm 1,81\%$  ( $p < 0,05$ ) при  $10 \leq N \leq 50$  по сравнению с полным множеством признаков;

– повышения вероятности распознавания возможно добиться обязательной фильтрацией обучающей выборки, в то время как фильтрация тестовых векторов признаков дает несущественный прирост (за исключением шипящих и глухих ШФК).

Сравнение эффективности комплексного классификатора с решающим правилом, построенным алгоритмом бустинга на множестве тех же классификаторов показало превосходство бустинга по доле верно идентифицированных дикторов в среднем на  $1,1 \pm 0,6\%$  ( $p < 0,05$ ) при  $10 \leq N \leq 50$ .

## Выводы

Предложено использование критерия фильтрации признаков для отсева векторов акустических признаков применительно к задаче текстонезависимой идентификации диктора, включающей предварительную сегментацию по широким фонетическим классам (ШФК). Показано, что фильтрация увеличивает вероятность распознавания в среднем на  $3,9 \pm 1,81\%$  ( $p < 0,05$ ) при  $10 \leq N \leq 50$  по сравнению с полным множеством признаков.

Получил дальнейшее развитие робастный метод классификации на основе гауссовых смесей. Его применения с возрастанием количества моделей дикторов показывает значительное сокращение объема вычислений по сравнению с решающим правилом на основе бустинг-алгоритма.

## Список литературы

1. Клименко, Н.С. Исследование эффективности бустинга в задаче текстонезависимой идентификации диктора / Н.С. Клименко, И.Г. Герасимов // Искусственный интеллект. – 2014. – №4(66). – С. 191-201.
2. Isabelle Guyon. An introduction to variable and feature selection / Isabelle Guyon, Andr e Elisseeff // Journal of Machine Learning Research 3 (2003): P. 1157-1182. 2003.
3. Molina L.C., Belanche L., Nebot A. Feature Selection Algorithms: A Survey And Experimental Evaluation // Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Data Mining, IEEE Computer Society: P. 306-313. 2002.
4. Peng H. C., Long F., Ding C. Feature selection based on mutual information: criteria of max-dependency, max-relevance, and min-redundancy // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 27(8): P. 1226-1238. 2005.
5. Сорокин В.Н. Верификация диктора по спектрально-временным параметрам речевого сигнала / В.Н. Сорокин, А.И. Цыплихин // Информационные процессы. – Т. 10, № 2. – С. 87-104.
6. Садыхов Р.Х. Модели гауссовых смесей для верификации диктора по произвольной речи / Р.Х. Садыхов, В.В. Ракуш // Доклады БГУИР. – 2003. – №4. – С. 95-103.
7. Downloads - voxforge.org [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://voxforge.org/ru/downloads>. – Дата доступа: 12.02.2016.

## РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С БИОАДАПТИВНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДЛЯ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ

И.В. Качур<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт проблем искусственного интеллекта Министерства образования и науки Украины и Национальной академии наук Украины, Киев, Украина;

*Обоснована необходимость интеллектуальных систем, направленных для коррекции психофизиологического состояния человека, находящегося в условиях надэкстремальных воздействий. Показана структура и функции управляющих блоков данной системы.*

### Введение

В современном мире, несмотря на высокую степень автоматизации промышленных процессов и применение технологий, удаляющих человека из контура управления опасными механизмами, оборудованием и т. п., высоким остается значение человеческого фактора при принятии решений.

Анализ зарубежных публикаций показывает, что в области исследований психофизиологических состояний человека прежде всего рассматриваются экстремальные условия для отдельных профессий: работников авиакосмической отрасли, водителей, операторов систем с высокой ответственностью за принятие решений, военнослужащих при выполнении профессиональных обязанностей во время боевых действий, представителей служб чрезвычайных ситуаций [1-5]. Особенное внимание уделяется изменениям когнитивного восприятия и скорости реакции.

При однозначном признании крайне негативного влияния действия стрессовых факторов, систем, которые бы решали проблему предупреждения и нивелирования стрессовых ситуаций, осуществляя психокоррекцию, особенно в экстремальных условиях, на данный момент не найдено [3].

Одной из проблем в этой области стала проблема реабилитации военнослужащих после пребывания в зоне боевых действий. Данная проблема не исследована в Украине, так как на протяжении многих лет не была актуальной для Украины. Сегодня наша страна столкнулась с вызовами, связанными с проведением антитеррористической операции на своей территории. Более 40% военнослужащих, вернувшись из зоны боевых действий, страдают посттравматическим стрессовым расстройством, которое имеет разрушительные последствия для психики, может приводить к асоциализации демобилизованных, депрессивным и агрессивным состояниям и даже суицидальным последствиям.

Современными исследованиями доказано, что эффективными средствами увеличения выносливости, восстановления функциональных резервов организма, профилактики развития неблагоприятных функциональных состояний, считают методы, к которым относят: физиологические средства (физические и дыхательные упражнения, водные процедуры, инфракрасное и ультрафиолетовое излучение, контрастные температурные воздействия, гипербарическую оксигенацию и т. д.); психофизиологические средства (аппаратные и компьютерные методики с информационной биологической обратной связью).

## Описание устройства

Предлагаемая интеллектуальная система психофизиологической реабилитации человека при пребывании в надэкстремальных условиях представляет собой совокупность методик оценки, диагностики и коррекции психофизиологического состояния организма человека и комплекс программно-технических средств для их реализации. Элементы программно-технических средств реализованы в Институте проблем искусственного интеллекта в виде робототехнических систем, систем и технологий распознавания зрительных и речевых образов.

Данная научно-техническая разработка Института проблем искусственного интеллекта (Киев, Украина) не решает всех проблем реабилитации, но предоставляет один из инструментов в этом направлении, так как основана на создании технических средств контроля физиологических показателей человека, с разработкой интеллектуальных технологий анализа состояния и управления им с учетом обратной биологической связи. Итак, целью работы стало создание новой высокоэффективной системы психофизиологической коррекции в условиях действия надэкстремальных факторов за счет разработки интеллектуальной системы диагностики и коррекции психофизиологического состояния человека на основе новых и усовершенствования существующих методик психофизиологической диагностики и коррекции.

В интеллектуальную систему (ИС) подаются сигналы с датчиков основных витальных показателей, которые являются маркерами реализации стресс – реакции (частота сердечных сокращений, показатели variability сердечного ритма, показатели дыхания, миографические показатели, температура тела, потенциал кожи и т. д.). Блок приема направлен на формирование баз данных информации; блок обработки информации преобразовывает и идентифицирует сигналы таким образом, что управляющий блок ИС принимает решение и формирует соответствующие управляющие сигналы возбуждения или торможения. База знаний, которая находится в блоке обработки информации, пополняется массивами информации, которая впоследствии интерпретируется экспертной системой для формирования того или иного типа воздействий.

Конструктивно система представляет собой шлем (с целью выполнения защитной функции), оснащенный виброактуаторами, устройствами для пневмокомпрессионного массажа рефлекторных участков головы, устройствами для подачи звуковых и видеорядов для достижения необходимого дозированного релаксирующего эффекта.

Система предусматривает применение в стационарных или полевых условиях для проведения психофизиологической коррекции непосредственно в зоне надэкстремальных воздействий.

Принцип действия интеллектуального шлема основан на эффекте биологической обратной связи, основной принцип – саморегуляция всех биологических систем, для осуществления этого пациенту в режиме реального времени предоставляется информация о состоянии организма и о необходимых направлениях изменений с целью устранения проблем или расширения возможностей. Физиологически действие шлема основано на биоадаптивном управлении.

Исследования интеллектуальной системы, которая в режиме реального времени осуществляет диагностику, мониторинг показателей психофизиологического состояния, выбирает процедуры, наиболее подходящие конкретному

человеку на основе принятия решений в экспертной системе. ИС имеет в составе базу данных о пациентах, текущую информацию о проведенных процедурах и их результатах, что позволяет оперативно анализировать результаты и вносить коррективы в процедуры и программное обеспечение системы. Кроме того, в дополнительном встраиваемом блоке, оснащено устройствами передачи информации, возможен он-лайн режим мониторинга состояния показателей человека на удаленный медицинский пункт.

Преимуществами данной интеллектуальной системы являются объективный контроль психофизиологического состояния пациента, возможность адаптации процедуры реабилитации к индивидуальным особенностям человека, адаптация самой процедуры непосредственно во время релаксации, сбор и статистический анализ данных о состоянии пациента с хранением информации в базе данных, изучение динамики состояния пациента с возможностью оценки состояния пациента с помощью телемедицины, информативность методов.

## Выводы

Результаты проекта будут иметь широкое внедрение, так как направлены на преодоление социально-экономических убытков для всего общества, усиление безопасности и обороноспособности; так как последствия стрессовых воздействий проявляются на протяжении многих лет после участия в боевых действиях и приносят потери вследствие психических заболеваний, сопоставимые по численности с боевыми потерями (по статистике потери среди военнослужащих США после пребывания во Вьетнаме, Ираке, Афганистане превысили боевые потери). Реализация данной интеллектуальной системы позволит решить ряд важнейших проблем и для восстановления работоспособности и снижению уровня стрессового воздействия и для представителей профессий, где необходимы ответственные принятия решений.

## Список литературы

1. Кузовик В.Д. Гордеев А.Д. Апаратно-програмний комплекс для оцінювання психофізіологічного стану оператора // Технологический аудит и резервы производства — № 1/5(15), 2014 с. 44-46.
2. В.В. Кальниш, А.В. Швець, О.Ш. Єщенко. Зміни розумової працездатності операторів за умов добової трудової діяльності / Фізіологічний журнал, 2011, Т.57, №2 /с.49-56.
3. Jordan A. Cannon, Pavlo A. Krokhmal, Russell V. Lenth, Robert Murphey An algorithm for online detection of temporal changes in operator cognitive state using real-time psychophysiological data Biomedical Signal Processing and Control, Volume 5, Issue 3, July 2010, Pages 229-236.
4. Ching-Hua Ting; Mahfouf, M.; Nassef, A.; Linkens, D.A. Real-Time Adaptive Automation System Based on Identification of Operator Functional State in Simulated Process Control Operations / Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on V40, №2, 2010, p. 251 – 262.
5. Wilson, G. Operator functional state assessment for adaptive automation implementation. In Biomonitoring for Physiological and Cognitive Performance during Military Operations; Caldwell, J.A., Wesensten, N.J., Eds.; SPIE: Orlando, FL, USA; pp. 100–104.
6. Математичні методи оптимізації та інтелектуальні комп'ютерні технології моделювання складних процесів і систем з урахуванням просторових форм об'єктів : монографія / [Грицик В.В., Шевченко А.І., Крак Ю.В. , Кісельова О.М. та ін.]. – Донецьк : ІІІІ «Наука і освіта», 2011. –650 с.

## КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ СОВМЕЩЕНИЯ КАДРОВ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ПОЛНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

С.М. Аваков<sup>1</sup>, В.В. Воронов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ОАО «КБТЭМ-ОМО» ГНПО точного машиностроения «Планар»,  
Минск, Беларусь

<sup>2</sup>Государственное научное учреждение «Объединенный институт  
проблем информатики НАН Беларуси»,  
Минск, Беларусь

*В работе предложен приближенный алгоритм для формирования полного изображения по совокупности растровых кадров изображений. Алгоритм основан на использовании специальных эвристик, что обеспечивает совмещение областей перекрытия без использования реперных точек.*

### Введение

Большие изображения, как правило, представляются совокупностью кадров с некоторым перекрытием соседних кадров. Задача формирования полного изображения по совокупности кадров получила название сшивки кадров. Если сшиваемые кадры имеют общие точки кадров (реперные метки либо некоторые другие опорные точки), то задача сшивки сводится к пересчету координат кадров в единую систему координат [1]. При этом, если реперами являются области, вначале находится положение, при котором сумма норм ошибок для выбранных  $K$  меток минимизируется:

$$M = \operatorname{argmin}_{m,n} \sum_{i=1}^K \|X_i - Y_i(m,n)\|, \quad (1)$$

где векторы  $X_i$  и  $Y_i$  представляют соответствующие  $i$ -е выбранные области кадров.

В ряде технических приложений совмещаемые кадры не имеют выделенных опорных точек, а известны лишь среднее значение перекрытия и некоторое допустимое отклонение от заданного значения. Примером таких изображений могут служить изображения, формируемые автономными роботами или БЛА. В этом случае сшивка кадров изображений основана на анализе информации в областях перекрытия соседних кадров и определении степени различия перекрывающихся областей или их сходства, которые бы с максимально возможной точностью и достоверностью позволяли локализовать фрагмент.

Мера сходства может быть определена через функцию расстояния: считается, что пиксели схожи, если  $d(p_1, p_2) \leq \lambda$ , где  $\lambda$  – некоторый установленный порог. Если в качестве меры различия в некотором пикселе  $(k, l)$  будем брать среднеквадратичную ошибку

$$\varepsilon^2(k,l) = \sum_x \sum_y [p_1(x,y) - p_2(x+k,y+l)]^2, \quad (2)$$

которая минимизируется перебором всех допускаемых сдвигов эталона по заданной области снимка. Считается, что в точке экстремума реализуется сходство, если  $\varepsilon^2(k,l) \leq \lambda$ , где  $\lambda$  – некоторый установленный порог.

Корреляционный подход характеризуется большой вычислительной сложностью, поэтому используются специальные преобразования, чтобы ускорить вычисления корреляции. Широко используется при построении наилучшего совмещения перекрывающихся областей способ, когда выбираются некоторые общие области, которые существенно меньше, чем заданные совмещаемые области. В докладе предлагается быстрый алгоритм такого типа, который состоит из двух шагов: корреляционный поиск ключевых точек и вычисление их дескрипторов; поиск положения кадров, минимизирующего корреляционную функцию совмещения по выделенным ключевым точкам.

## 1. Поиск ключевых точек

Для поиска ключевых точек были протестированы следующие алгоритмы поиска ключевых точек и описания дескрипторов: SIFT, SURF и ORB. Тестирование проводилось на следующих данных: размер кадра 640x480 пикселей, размер области перекрытия 46x28, число кадров 3542, общее число перекрытий 3234, размер одного изображения 455 Мб, число изображений 7 (общий размер данных 3185 Мб). В результате выбран алгоритм SIFT [2], который показал 96 % ошибок поиска ключевых точек (два других алгоритма 79 % и 76 % соответственно).

Оптимизация поиска выполняется на основании следующих ограничений:

1. Поиск смещений кадров ведется только в области перекрытия данных кадров и небольшой окрестности области перекрытия (размер окрестности меньше размера области перекрытия).

2. Искомый шаблон не имеет искажений геометрических характеристик на изображениях кадров.

## 2. Алгоритм сшивки

С учетом данных ограничений алгоритм сшивки кадров может быть расширен с использованием метода скользящего просмотра. Идея метода основана на поиске максимума корреляции имеющегося шаблона на заданной области поиска (рис. 1). При этом осуществляется последовательное сопоставление имеющегося образца с изображением в каждой точке.

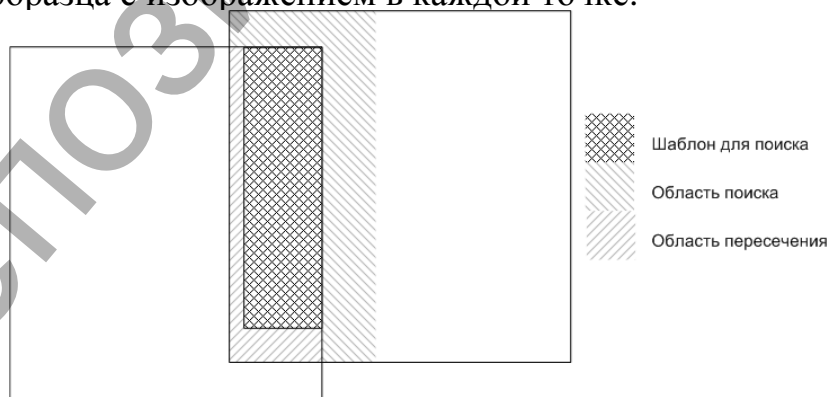


Рисунок 1 – Схема расположения области поиска и шаблона поиска для двух кадров изображения

Отсюда первый этап алгоритма будет следующим для всех соседних изображений кадров в области перекрытия:

1. Вычисление максимума корреляции в области перекрытия двух кадров.
2. Если найден единственный максимум, то переход п.б

3. Выполняется поиск ключевых точек и вычисление их дескрипторов.
4. Выделяются соответствующие друг другу ключевые точки.
5. Выделяется поднабор точек максимального размера с одинаковыми параметрами смещений, оставшиеся точки отбрасываются как ложные.
6. Вычисляются смещения и оценки качества для пар кадров.

Тестирование с использованием библиотеки `openCV` показало, что вычисление максимума корреляции выполняется в 3 раза быстрее, чем поиск ключевых точек и вычисление дескрипторов. При этом в зависимости от входных данных корректно единственный максимум определяются для 70-97% пар кадров.

### 3. Реализация алгоритма

Основным модулем является ядро GUI (`GraphicUserInterface`), реализующее редактор и средства формирования библиотеки фрагментов для поиска, осуществляющее также вызов других модулей: предобработки изображений (корректировки положения кадров, корректировки яркости) и поиска объекта или шаблона (рис. 2).

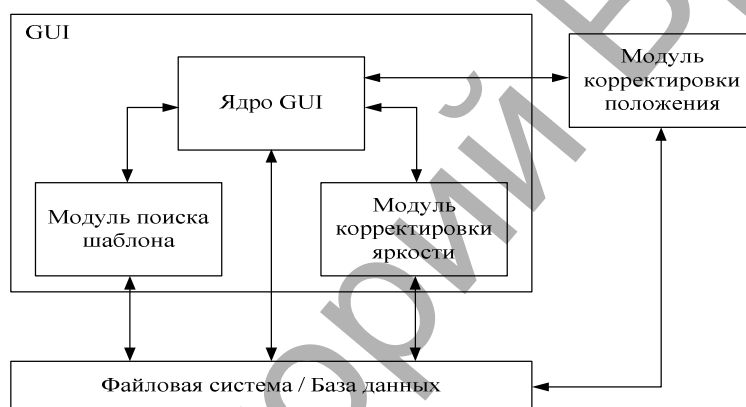


Рисунок 2 – Схема взаимодействия модулей

Алгоритмы реализованы. Модули разработаны на основе оригинальных алгоритмов с использованием распараллеливания на центральном и графическом процессоре с использованием технологий `OpenMP`, `CUDA` и/или `OpenCL` и библиотеки алгоритмов `OpenCV`, графический интерфейс разработан на базе кросс-платформенного инструментария `Qt`.

### Заключение

Все разработанные программные модули характеризуются высокой скоростью при обработке больших изображений и низким процентом ошибок сшивки при работе с зашумленными изображениями.

### Список литературы

1. Абламейко, С.В. Комбинированный метод оперативной координатной привязки аэрокосмических снимков и цифровых моделей карт / С.В. Абламейко, С.П. Боричев, А.Н. Крючков // Анализ цифровых изображений. – Минск: ОИПИ НАН Беларуси, 2002. – Вып. 1. – С. 122-130.
2. Chimitt, William J. Scene reconstruction from partially overlapping images with use of composite / W.J. Chimitt, Jr.G. Hasebrook, L.G. Hasebrook // J. Opt. Soc. Am. A. – 1999. – No. 16 (9). – P. 2124-2135.



## ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПОИСКА АНОМАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В СИГНАЛАХ

С.В. Артеменко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Брестский государственный технический университет,  
Брест, Беларусь

*Рассматривается создание интеллектуальной системы на основе искусственных нейронных сетей для поиска аномалий в сигналах. Показана модель слабо-связанного перцептрона для ускорения работы вычислительных алгоритмов. Представлено экспериментальное исследование на примере обнаружения аномальной активности в сигналах электроэнцефалограмм.*

### Введение

Задача анализа различных данных природного, технического или биомедицинского характера является актуальной на сегодняшний день. Одним из аспектов такого анализа является поиск аномальных изменений в этих данных, который приводит к нарушению работы системы, природным катаклизмам или обострению болезней. Данные для анализа, как правило, представляют собой дискретный сигнал или набор сигналов, характеризующий изменение состояния исследуемой системы во времени. Рассмотрим в качестве такой системы головной мозг человека и задачу поиска и обнаружения аномальной эпилептической активности в сигналах электроэнцефалограмм (ЭЭГ). Исследования ЭЭГ сигналов показали, что они являются нестационарными и хаотическими [1]. Поэтому применение линейных методов анализа является малоэффективным [2,3]. Существует разница в динамических свойствах ЭЭГ сигнала в нормальном и эпилептическом состоянии. При возникновении во время регистрации ЭЭГ всплеск эпилептической активности отмечается снижением сложности сигнала, что приводит к снижению степени хаотичности сигнала [3]. Для оценки таких изменений возможно применение теории хаоса и нелинейной динамики. В качестве диагностического критерия можно использовать корреляционную размерность и старший показатель Ляпунова [4]. Для обнаружения эпилептической активности необходимо разработать робастные алгоритмы определения хаотичности ЭЭГ сигналов.

### 1. Методика обнаружения аномалий

В данном разделе описывается обобщенный алгоритм для обнаружения эпилептической активности в сигналах ЭЭГ.

В качестве диагностического критерия используется значение показателя непредсказуемости сигнала, которое снижается при наступлении эпилептических припадков. На рисунке 1 представлена общая схема обнаружения эпилептической активности в сигналах ЭЭГ [5,6].

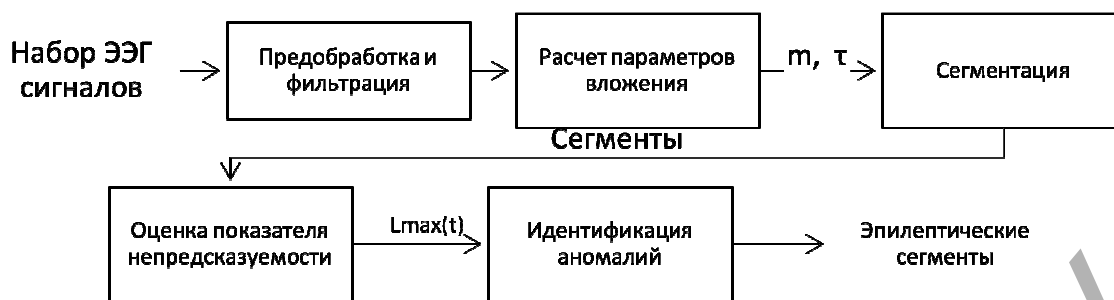


Рисунок 1 – Процесс обработки сигнала ЭЭГ для обнаружения эпилептической активности;  $L_{\max}(t)$  – ряд значений показателя непредсказуемости,  $m$  – размерность пространства вложения и  $\tau$  – временная задержка.

На вход системы поступает набор сигналов ЭЭГ одной регистрации. Эти сигналы описывают динамику нелинейной хаотической системы, которая характеризует электрическую активность нейронов головного мозга. Каждый ЭЭГ сигнал снимается с определенного участка головного мозга, характеризует электрическую активность множества нейронов соответствующего участка головного мозга и содержит различные артефакты (помехи, появляющиеся на ЭЭГ в результате моргания, движения подбородком и т. п.). Поэтому на первом этапе необходимо осуществить предобработку ЭЭГ сигналов, чтобы отфильтровать их от различного рода артефактов и получить максимально независимые сигналы. Для такой обработки ЭЭГ сигналов используется метод независимых компонент (ICA – Independent Component Analysis). Результатом предобработки являются чистые сигналы ЭЭГ, содержащие электрическую активность нейронов головного мозга. После этого происходит определение параметров вложения чистых сигналов ЭЭГ, что позволяет выполнить настройку нейронной сети и сформировать обучающие выборки. Каждый сигнал, полученный после ICA фильтрации, подвергается адаптивной сегментации при помощи многослойного персептрона (MLP). В результате сегментации происходит разбиение каждого сигнала на квазистационарные участки, где поведение сигнала не изменяется. Затем для каждого выделенного сегмента производится вычисление оценки показателя непредсказуемости. В результате получается детерминированный ряд показателей непредсказуемости для каждого чистого сигнала ЭЭГ. Если различные сегменты имеют одинаковые значения показателя непредсказуемости, то они объединяются в один сегмент. На заключительном этапе происходит идентификация эпилептической активности в соответствии с критерием снижения показателя непредсказуемости ниже порогового значения. Экспериментально выявлено, что данной пороговое значение равно нулю. В результате выполнения данной процедуры для каждого сигнала ЭЭГ выделяются временные сегменты с эпилептической и нормальной активностью.

## 2. Ускорение вычислений

Расчет показателя непредсказуемости сигнала выполняется при помощи прогнозирующей нейронной сети. Архитектура ИНС, обучаемой на прогнозирование, состоит из  $k$  входных,  $p$  скрытых и одного выходного нейронов (см. рис. 2). В процессе обучения выполняется настройка весовых коэффициентов  $w_{ij}$  и  $v_j$ ,  $i = 1, k$ ,  $j = 1, p$ .

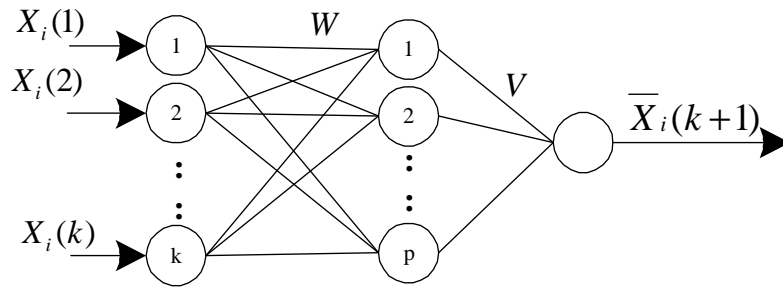


Рисунок 2 – Архитектура прогнозирующей ИНС

Для ускорения вычислений было предложено модифицировать архитектуру ИНС на этапе функционирования. Новая архитектура формируется на основе архитектуры обученной ИНС путем добавления одного нейрона во входной слой, удваиванием нейронов в скрытом и выходном слоях (см. рис. 3) [6]. Весовые коэффициенты рассматриваемой ИНС  $W'$  и  $V'$  формируются на базе матриц весовых коэффициентов  $W$  и  $V$ , путем добавления следующих весов:  $W'_{ij} = W'_{i,p+j} = W_{ij}$ ;  $W'_{k+1,p+j} = W'_{kj} = W_{kj}$ ;  $W'_{k+1,j} = W'_{k,j+p} = 0$ ;  $v'_{j1} = v'_{j+p,2} = v_j$ ;  $v'_{j+p,1} = v'_{j,2} = 0$ , где  $i = 1, k-1$ ,  $j = 1, p$ .

Применение предложенного нейросетевого модуля вместо классического многослойного персептрона позволяет сократить время расчета приблизительно на 10%, так как за одну итерацию работы вычисляется прогноз сразу двух близких траекторий временного ряда.

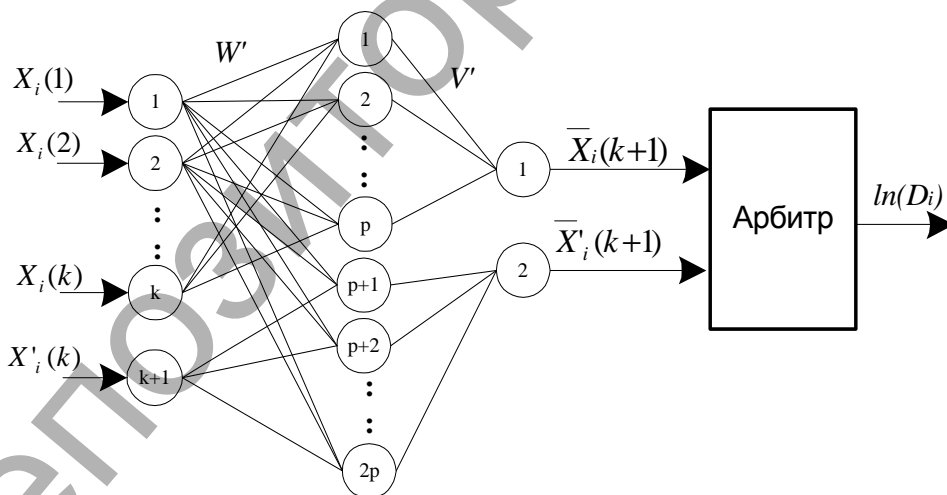


Рисунок 3 – Структура нейросетевого модуля для расчета показателя непредсказуемости

Результат ускорения является существенным, так как алгоритм расчета точечной оценки показателя непредсказуемости сигнала является основой разрабатываемой системы анализа сигналов ЭЭГ.

### 3. Описание экспериментальных данных

Экспериментальное исследование проводилось на 48 наборах ЭЭГ сигналов (регистраций), записанных у 20 пациентов различного возраста. Данные

предоставлены 5-й городской клинической больницей (г. Минск). Каждая регистрация представляла собой 16-канальную ЭЭГ длительностью по 8 секунд. Из 16 сигналов, каждой регистрации в результате ИСА было получено 6 сигналов, таким образом всего было проанализировано 758 сигналов, в результате фильтрации получено 288 сигналов. Для этих сигналов рассчитаны параметры вложения:  $\tau = 1$ , значение  $m < 8$  для разных сигналов после ИСА фильтрации.

#### 4. Результаты экспериментов

Нейронная сеть для эксперимента формируется из 7, 5 и 1 нейронных элементов во входном, скрытом и выходном слоях. Результаты экспериментов оценены при помощи статистических параметров (см. таблицу 1). Как следует из таблицы, ошибка первого рода  $\alpha = 0,3\%$ , что характеризует очень малое значение ложных срабатываний.

Таблица 1 – Значения статистических параметров

Статистические параметры	Значения
Специфичность TNR	99,7 %
Чувствительность TPR	93,1 %
Общая точность классификации ACC	99,6 %

#### Заключение

Основными преимуществами предложенной методологии определения эпилептической активности являются высокая точность классификации 99,6% и отсутствие необходимости обучения на эталонных наборах, а также способность выделять в сигналах ЭЭГ временные сегменты с эпилептической и нормальной активностью [5,6]. Предложенная система может применяться для анализа других данных хаотического характера и поиска аномалий в них.

#### Список литературы

1. Пригожин, И. Время, хаос, квант: к решению парадокса времени / И. Пригожин, И. Стенгер. – Москва : URSS, 2008. – 300с.
2. Iasemidis, L.D. Measurement and quantification of spatiotemporal dynamics of human epileptic seizures / L.D. Iasemidis, J.C. Principe, J.C. Sackellares // Nonlinear signal processing in medicine. – N.Y. : IEEE Press, 2000. – Vol. 2. – P. 1–27.
3. Nonlinear EEG Analysis and Its Potential Role in Epileptology / C.E. Elger [et al.] // Epilepsia. – Malden : Wiley-Blackwell, 2000. – Vol. 41. – P. 34–38.
4. Меклер, А.А. Применение аппарата нелинейного анализа динамических систем для обработки сигналов ЭЭГ / А.А. Меклер // Актуальные проблемы современной математики : ученые записки – СПб. : ЛГУ им. А.С. Пушкина, 2004. – Т. 13, вып. 2. – С. 112–140.
5. Golovko, V. Towards automatic epileptic seizure detection in EEGs based on neural networks and largest Lyapunov exponent / V. Golovko, S. Artsiomenka, V. Evstigneev, V. Kistsen // International Journal of Computing. – 2015. – Vol. 14 (1). – P. 36–47.
6. Артеменко С. В. Искусственные нейронные сети в задаче диагностики эпилепсии / С. В. Артеменко, В.А. Головки, В. В. Евстигнеев. – Saarbrücken : LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 140с.

## НЕЙРОСЕТЕВЫЕ АЛГОРИТМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АППАРАТУРЫ ПО ДАННЫМ ТЕЛЕМЕТРИИ

Е.Е. Марушко

Государственное научное учреждение «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси»  
Минск, Беларусь

*В работе предложены нейросетевые алгоритмы идентификации состояния подсистем космических аппаратов и режимов их функционирования по телеметрическим данным.*

### Введение

Программный комплекс идентификации режимов функционирования подсистем космических аппаратов (КА) и детектирования нештатных и аварийных ситуаций является одним из основных структурных составляющих экспериментального образца нейросетевой системы мониторинга состояния и поведения подсистем космических аппаратов по телеметрическим данным [1]. Основной его задачей является контроль за состоянием и режимами функционирования бортового оборудования на основе нейросетевых технологий обработки временных рядов значений телеметрических (ТМ) параметров (температуры давления жидкости и газа, электрического тока, положения и ориентации КА, уровня жидкости).

### 1. Основные алгоритмы

Для осуществления идентификации состояний подсистем КА разработаны следующие алгоритмы:

- алгоритм обучения нейросетевых модулей системы идентификации состояний подсистем КА;
- алгоритм синтеза многослойного персептрона;
- алгоритм идентификации нештатных ситуаций с использованием нейронных сетей (НС);
- алгоритм идентификации этапов функционирования подсистем КА с использованием НС;
- алгоритм инкрементного дообучения НС.

На основе описания режимов функционирования и допустимых диапазонов значений датчиков формируется обучающая выборка для модулей нейросетевой идентификации состояний систем КА. В качестве предварительной обработки данных проводится регуляризация по времени не регулярно представленных данных, с использованием аппроксимации значений, либо кусочно-линейным образом. Далее осуществляется преобразование исходных данных с учетом характера и типа проблемы, отображаемой нейросетевой моделью, и выбираются способы представления информации.

Выбор алгоритма обучения НС зависит от многих факторов, включая сложность задачи, число элементов обучающего множества, число настраиваемых

мых параметров сети и конечную ошибку. В результате экспериментов для обучения выбран алгоритм RPROP, который не требует использования процедур одномерного поиска и предъявляют незначительные требования к памяти. Работает достаточно быстро и может быть использован для решения задач большой размерности.

## 2. Формирование модуля обработки

Формирование нейросетевых модулей производится для каждого режима подсистем КА. Автоматическое решение задачи нахождения субоптимальной структуры предлагают конструктивные алгоритмы синтеза НС. Блок-схема представлена на рисунке рис.1.

При предположениях о репрезентативности обучающей выборки, возможной исходной избыточности набора независимых признаков задачи и старте синтеза структуры сети с минимального размера в качестве меняющих структуру НС операций предлагается следующий алгоритм синтеза нейронной сети:

1) Анализ параметров задачи (включая сложность задачи, число элементов обучающего множества) и выбор соответствующего алгоритма обучения НС.

2) Добавление нейрона в сеть.

а) Создание сети увеличенного размера, замещающей исходную, или использование одного шага конструктивного алгоритма нахождения того слоя НС, рост числа нейронов в котором приведет к максимальному улучшению точности решению задачи.

б) Обучение сети увеличенного размера.

с) Оценка ошибкой обобщения.

д) Повтор п.а, если не достигнуты необходимые свойства сети

3) Редукция некоторого числа избыточных синапсов или нейронов НС.

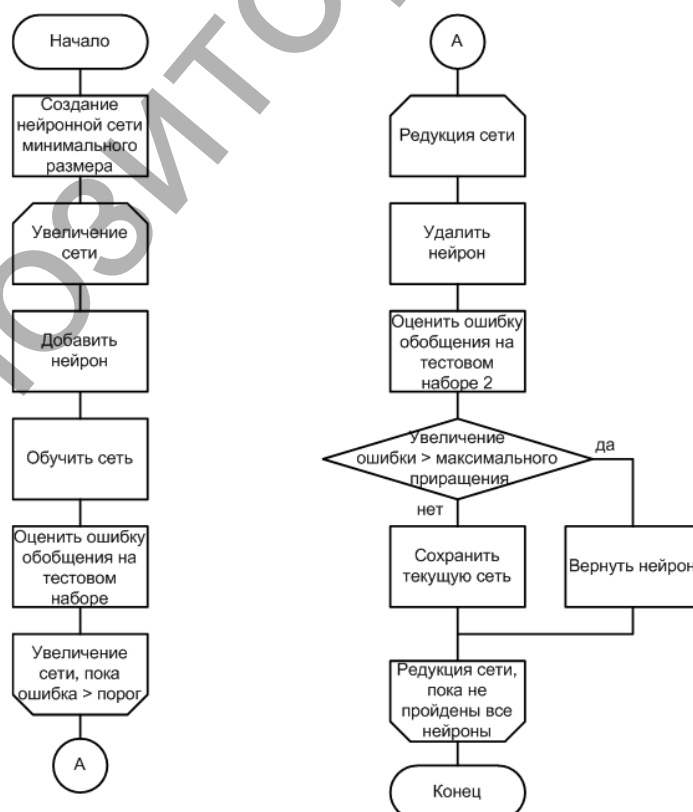


Рисунок 1 – Алгоритм синтеза и обучения нейросетевых модулей

В п.2 изменение размера сети происходит:

а) при достижении асимптоты или локального минимума критериев Бартлетта или Мураты-Амари [2], характеризующих обобщающие свойства модели (при достижении минимума прогностической ошибки обобщения выполняется переключение на операции, снижающие избыточность НС);

б) при превышении ошибкой обобщения (рассчитанной на независимой тестовой выборке или на основе критериев Бартлетта или Мураты-Амари) заданного пользователем максимально допустимого уровня ошибок.

В коридоре между значениями максимально допустимых ошибок обучения или обобщения и нулевым уровнем таких ошибок и ведется адаптация структуры НС при заданных критериях вторичной оптимизации (требование минимизации числа независимых признаков, минимизации числа нейронов и т.п.).

Нейросетевые модули, добавляемые в процессе функционирования на этапе дообучения, для одинаковых режимов организуются в ансамбли.

### 3. Алгоритм идентификации

Алгоритм идентификации этапов функционирования включает следующие шаги:

1. На основе данных массивов ТМ-информации формируется входной вектор  $X$  для обученных модулей нейросетевой идентификации набора.

2. На основе командно-программной информации и информации от подсистемы имитационного моделирования о текущем режиме определяется ансамбль модулей нейросетевой.

3. По входному вектору ансамблем вычисляется выходной вектор.

4. Из выходного вектора извлекается идентификатор этапа циклограммы.

Алгоритм инкрементного дообучения нейросетевых предназначен для обучения нейросетевых модулей в процессе функционирования, с целью учета изменений ТМ-информации со временем, вызванных дрейфом целевого значения.

Алгоритм инкрементного дообучения нейросетевых модулей идентификации состояний включает следующие шаги:

1. Производится оценка точности ансамбля модулей нейросетевой идентификации путем сравнения точности результата на предыдущем шаге функционирования и текущем.

2. Если точность не изменилась либо изменилась в заранее заданном диапазоне, алгоритм завершает работу.

3. Иначе формируется набор обучающих данных, который включает все накопленные данные с последнего дообучения.

4. Производится формирование и обучение нового нейросетевого модуля согласно алгоритму обучения нейросетевых модулей системы идентификации состояний ЦА.

5. Сформированный модуль добавляется в ансамбль.

6. Для всех нейросетевых модулей ансамбля производится пересчет весовых коэффициентов на основании их точности на последний данных.

Процедура дообучения повторяется для всех ансамблей.

Организовав АНС в два уровня, можно реализовать гетерогенность нейросетевого комплекса, где первый уровень структуры представляет собой набор ансамблей разнородных сетей, а второй представлен одним обобщающим мо-

дулем. На первом уровне могут использоваться различные алгоритмы обучения (BFGS, Левенберга-Марквардта, RPROP); подобные сети, с различными параметрами анализируемых данных (шаг дискретизации, горизонт прогнозирования); подобные сети с различными параметрами обучения, разнородные сети. Такая архитектура может использоваться для поиска оптимальных параметров нейросетевой модели.

В качестве эксперта второго уровня может использоваться ансамбль или одиночная сеть супервизор, обрабатывающие выходные значения всех элементов первого уровня.

## **Заключение**

Описанные алгоритмы предоставляют интеллектуальный инструмент решения задач анализа телеметрической информации для разрабатываемого в ОИПИ НАН Беларуси совместно с центром управления полетами БКА экспериментального образца нейросетевой системы мониторинга состояния подсистем космических аппаратов по телеметрическим данным. Положенный в основу мониторинга и диагностики аппарат искусственных нейронных сетей позволяет с высокой точностью обрабатывать телеметрическую информацию, поступающую с КА по радиоканалу, распознавать и классифицировать состояния подсистем и паттерны их поведения даже при неполных и зашумленных входных данных. Открытой задачей для дальнейшей разработки является разработка имитационной модели поведения бортовых объектов и ее взаимодействия с обученными нейросетевыми модулями, что позволит выявлять даже небольшие отклонения динамики поведения от штатно прогнозируемой и принимать соответствующие ситуации решения.

## **Список литературы**

1. Ганченко В.В. Нейросетевая модель обработки ТМ-данных для анализа состояния подсистем БКА / В.В. Ганченко и [др.] // VI Белорусский космический конгресс, 28-30 октября 2014 г. – Минск, 2014.
2. Marushko, Y. Using Ensembles of Neural Networks with Different Scales of Input Data for the Analysis of Telemetry Data / Y. Marushko // Proc. of the XV International PhD Workshop OWD 2013, Wisla, 19-22 October 2013. – Gliwice: Silesian University of Technology, 2013. – P. 386-391.



## 2 СЕКЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 656:681.32

### СОЗДАНИЕ И РАЗВИТИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ НА БАЗЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ

Д.В. Капский, В.А. Грабауров  
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

*В статье освещены вопросы создания и развития интеллектуальных транспортных систем на базе успешно функционирующих в областных городах и г. Минске автоматизированных систем управления дорожным движением. Даны рекомендации по созданию отдельных подсистем, а также оснащению ЦУП.*

#### Введение

В связи с постоянным ростом спроса на перевозки, который обусловлен развитием экономики, происходит увеличение парка транспортных средств, т.к. три четверти всего объема транспортного обслуживания приходится на автомобильный транспорт.

Автомобильный транспорт помогает человеку во всех сферах его деятельности, одновременно создавая массу проблем, на разрешение которых приходится уделять все больше и больше внимания. Именно поэтому следует уделять больше внимания интеграции систем и созданию единых интеллектуальных систем управления движением различного уровня иерархического соподчинения.

#### 1. Действующие системы

В городе Минске с 1981 года действует автоматизированная система управления дорожным движением «ГОРОД-М1», в состав которой на данный момент входит около 400 светофорных объектов.

Учет и оптимизацию движения на городском транспорте осуществляет АСДУ-А (автоматизированная система диспетчеризации управления автобусами).

Автоматизация управления остального городского транспорта, автомобилей-такси и стоянок транспорта не осуществляется. Таким образом, ситуация с интеграцией автоматизированных систем в области транспорта является актуальной.

Тем более что имеют место попытки совмещения АСУ дорожным движением, модернизация которой началась в 2002 году, с системами маршрутного ориентирования, специализированного пропуска общественного транспорта, в том числе трамваев, проезда железнодорожных переездов и контролирующими системами.

#### 2. Создание интеллектуальных систем

В девяностых годах прошлого века во многих странах мира (США, Японии, странах Западной Европы) начали реализовываться проекты интеллектуальных транспортных систем – «*Intelligent Transport System*». Во многих странах Европы пользуются термином «*Telematic Systems*».

Построение таких систем основывается именно на интеграции информационных и управляющих систем, которые создавались разрозненно, но связаны с автомобильным транспортом и подчинены одной и той же цели – повышению эффективности функционирования дорожного транспорта.

В рамках этих систем на сегодняшний день отдельно решаются вопросы повышения безопасности движения, снижения экологического воздействия на окружающую среду, улучшения качества транспортного обслуживания, повышения качества дорожного движения в целом и пр.

### **3. Перспективы развития**

Разрабатываемую интеллектуальную транспортную систему целесообразно создавать на базе автоматизированной системы управления дорожным движением (АСУ дорожным движением).

Автоматизированные системы управления дорожным движением постоянно совершенствуются в различных направлениях, развивались в территориальном и функциональном плане и модернизировались (за счет технического и математического обеспечения).

На сегодняшний день можно констатировать, что:

- внедрены новые вычислительные средства и аппаратура передачи данных;
- используются передовые линии связи (например, сотовые и спутниковые каналы);
- активно устанавливаются детекторы транспорта различных видов (по принципу действия и чувствительным элементам);
- происходит наращивание интеллектуальных возможностей используемых дорожных контроллеров;
- внедряются многопозиционные дистанционно управляемые дорожные знаки, указатели переменной скорости движения, предупреждающие табло;
- применяются более адекватные модели для описания транспортного потока и совершенствуется программно-алгоритмическое обеспечение.

На некоторых участках АСУ дорожным движением обеспечивает адаптивное управление светофорной сигнализацией в реальном времени. Но, к сожалению, это не относится ко всей улично-дорожной сети (не все светофорные объекты включены в систему или оснащены детекторами). Также только на Минской кольцевой автомобильной дороге производится автоматическое информирование водителей об условиях движения, а также, частично, и о маршрутах дальнейшего следования.

Как видно, явным недостатком системы является отсутствие управления общественным транспортом (особенно трамваями, поскольку в 70 % случаев посадка и высадка пассажиров производится с тротуара) и паркингами и стоянками. Управление ими позволит разгрузить центр города и повысить пропускную способность отдельных магистралей.

Совершенствуемая система управления дорожным движением должна обеспечивать также и автоматическую идентификацию дорожно-транспортных происшествий (их фиксацию) для экстренного вызова аварийно-спасательных служб и организации объездных маршрутов движения с информированием водителей о дорожно-транспортной ситуации.

Развитие систем детектирования позволит контролировать соблюдение участниками движения существующих ограничений (например, видеодетектирование), предоставлять водителям оперативную информацию об условиях движения, отслеживать скорость движения транспортного потока (использовать методы успокоения движения).

Использование экологических датчиков и детекторов позволит осуществлять экологический мониторинг улично-дорожной сети города. Также возможно осуществление контроля за выполнением расписания и мониторинга движения городского пассажирского транспорта (формирование заявок на замещение транспортного средства, вышедшего из строя на линии).

К контролирующей функции разрабатываемой системы можно отнести и фиксацию угонов и несанкционированного проникновения в транспортное средство.

Применение в составе интегрированной интеллектуальной системы АСУ дорожным движением *GPS*-технологий и сотовой связи позволит оптимизировать движение грузового транспорта (появится возможность детальной оперативной маршрутизации перевозок, связи с водителями, слежения за процессом перемещения, скоростных режимах, режимах труда и отдыха водителей).

Отдельно можно выделить подсистему информирования участников движения, которая будет обеспечивать подачу информации:

- водителям о наличии свободных мест на парковках (предпочтительных мест для стоянки и хранения автомобиля) и их стоимости; о кратчайшем маршруте следования и дорожных и погодных условиях на нем; о заторах и возможных маршрутах объезда; о наличии контроля со стороны ГАИ и возможном превышении скорости движения;

- пассажирам и пешеходам о дополнительных маршрутах городского транспорта; о расписании движения и его совмещении с пригородным транспортом; возможных пересадках и ориентировочном времени движения; погодных условиях; оплате проезда;

- водителям специальных и специализированных транспортных средств о маршрутах приоритетного пропуса;

- об опасном месте или местоположении аварии (происшествия, пожара, больного, требующего медицинского обслуживания, гололеда, наноса снега и т. д.).

В состав интеллектуальной системы могут входить *системы*:

- управления движением на путепроводах (мостах и в туннелях);
- сбора платы на платных международных дорогах (например, М1/Е30);
- весового контроля и создания таможенных коридоров (в том числе при организации движения крупногабаритных и опасных грузов);
- эксплуатации и содержания дорог и улиц; противоугонные;
- транзитного движения и маршрутного ориентирования,
- навигации и многие другие.

Управление может быть реализовано через модернизированный ЦУП АСУ дорожным движением, который позволяет осуществлять большое количество функций. Для удобства пользователя в составе ЦУП могут быть предусмотрены несколько мониторов, на которых одновременно может отображаться различная информация.

Для этих же целей место мониторов могут быть использованы профессиональные плазменные дисплейные панели. Это цветные светоизлучающие дис-

плеи с ярким (до 1000 кд/м<sup>2</sup>) и контрастным (3000:1) изображением. Может варьироваться и состав ЦУП (например, дополняться несколькими автоматизированными рабочими местами, на которых осуществляет деятельность специалисты различных специфических подсистем, входящих в состав интеллектуальной системы).

Конечно, развитие автоматизированных систем управления дорожным движением в этом направлении процесс трудоемкий и требует массу ресурсов, но значительная часть информации, которая необходима для функционирования входящих в ее состав «ведомственных» подсистем, является общей для них и основной для модернизируемой системы. А также создания на ее базе интеллектуальной транспортной системы любого уровня.

Например, в АСУ дорожным движением осуществляется сбор данных об интенсивности и скорости движения транспортных потоков, их составе, о состоянии дорожного покрытия (температуре, коэффициенте сцепления), идет экологический мониторинг, формируются заявки по ремонту технических средств системы, на приоритетный пропуск транспортных средств.

На сегодняшний день при модернизации АСУ дорожным движением используются два типа дорожных контроллеров: «БДКЛМ» и «ДУМКА». Оба этих контроллера, в основном, имеют схожие характеристики. Некоторые контроллеры не позволяют осуществлять управление детекторами транспорта (например, видеодетекторами, экологическими, дорожных условий), многопозиционными управляемыми дорожными знаками и знаками предписываемой скорости и пр. Необходимо отметить, что в г. Минске уже имеется положительный опыт функционирования в составе автоматизированной системы управления дорожным движением иностранного контроллера, позволяющего реализовывать управление дорожными светофорами не только по сигнальным группам, но и по отдельным регулируемым направлениям.

Поэтому предпочтительным для использования является контроллер, который уже сейчас устанавливается с детекторами транспорта (по входам) и функционирует с многопозиционными знаками, а также позволяет реализовывать управление дорожными светофорами по направлениям, что является наиболее перспективным.

## **Заключение**

Таким образом, АСУ дорожным движением, безусловно, имеет предпочтительные предпосылки для своего развития и функционирования в области интегрированных интеллектуальных систем.

Создание таких систем является очень важной государственной задачей, значимость которой повышается с каждым годом.

Недооценка значимости скорейшего создания интегрированных информационных систем, по мнению авторов, недопустима.

Учреждение межведомственной структуры управления дорожным движением в Республике Беларусь и интеграция с международными (например, Европейскими) системами значительно бы ускорило этот процесс.

## ПРОБЛЕМЫ ПРОДВИЖЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В БЕЛАРУСИ

В.А. Грабауров

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь

*Рассказано об использовании Интеллектуальных транспортных систем (ИТС) для решения усугубляющихся транспортных проблем. Показано, что ИТС являются сложной комплексной непрерывно развивающейся системой, в создании и продвижении которой принимает участие широкий круг заинтересованных сторон: транспортники, а также создатели автомобилей, автомобильных дорог, средств связи и обработки информации, муниципальные власти, промышленные фирмы, научные организации, учебные центры и т. д. Также освещены подходы к созданию ИТС как сложной системы, опыт развитых стран и специфика Беларуси.*

### 1. ИТС как средство решения транспортных проблем

В наше время автомобили становятся все мощнее, скорости их возрастают, и в конце концов они стали походить на могучих и безмозглых монстров. Количество автомобилей все росло, постепенно автомобили загрозили улицы городов, а скорости движения (например, 17 км в час в Минске) стали на порядок меньше технических возможностей автомобилей. Резко возросли проблемы безопасности движения и экологии. Все больше появляется заторов, причем не только в городах, но и на трассах. Увеличивать скорость движения за счет строительства дополнительных дорог, шоссе и транспортных развязок становится все накладнее.

Помощь в решении этих проблем пришла со стороны высоких технологий, в первую очередь информационно-коммуникационных технологий. В результате использования их на транспорте появились Интеллектуальные транспортные системы – Intelligent Transport Systems (ITS). Выгода очевидна и имеется в каждом секторе транспортной сферы [1], [2]:

- *Помощь в уменьшении заторов.*
- *Улучшение безопасности.*
- *Экологические преимущества.*
- *Производительность и эффективность.*
- *Факторы комфорта.*

### 2. ITS – это не просто несколько программно-технических решений

Так как ITS только входят в нашу жизнь, существует расхождение в понимании сути и задач ITS. Совсем небольшой и не очень удачный опыт создания ITS в Беларуси уже есть. Предыдущая попытка внедрения ITS в Минске сформировала у некоторых наших людей крайне упрощенное представление об ITS. Когда попытались заказать минскую ITS в Китае, то многим казалась, что ITS – это некая коробочка, лежащая на столе и управляющая светофорами. Достаточно программистам и электронщикам сделать хорошую коробочку, далее нужно нажать кнопку, и все заработает само собой. Такое представление об ITS сыг-

рало крайне негативную роль в последующем развитии ITS в Беларуси и на несколько лет отбросило нас назад. Насколько далеки реальные ITS от такой «коробочки» показывает опыт развитых стран, и подходить к решению проблем создания ITS нужно системно и с полной ответственностью [4].

ITS опирается на широкий диапазон технологий и функций:

- *Коммуникации.*
- *Географическое положение.*
- *Географические информационные системы.*
- *Получение, накопление и обмен данных.*
- *Системы камер и искусственного наблюдения.*
- *Обнаружение и классификация.*
- *Системы в транспортном средстве.*
- *Цифровая картография.*

Фактически ITS реализуют подход «**Умные автомобили на умных дорогах**».

Главными заинтересованными пользователями ITS являются транспортники, а создатели автомобилей, автомобильных дорог, средств связи и обработки информации – основными исполнителями. Транспортники – это широкий круг пользователей: специалисты по перевозкам, организации движения, милиция, МЧС, скорая помощь, военнослужащие и др. Помимо них в создании и эксплуатации ITS, как показывает опыт развитых стран, принимают участие муниципальные власти, промышленные фирмы, научные организации, учебные центры и многие другие структуры и объединения. Т.е. ITS – это гигантская, непрерывно развивающаяся система.

Развитие и распространение ITS за рубежом в последние 15 лет привело к формированию трех центров: в Евросоюзе – под руководством организации ERTICO ITS Europe [3], а также в Сев. Америке и Японии. В России также ведутся работы по формированию организации «ITS-Россия». В Японии в работе по развитию национальной ITS участвуют 5 министерств по руководством премьер-министра!

Впечатляют усилия по развитию ITS в Европе. Работа ведется во всех странах ЕС. Регулярно публикуются новости ERTICO как в печатном виде, так и в Интернете. Функционирует специальный портал ITS, обсерватория ITS. В 2016 году в Глазго состоится уже 11 европейский конгресс ITS. Важно подчеркнуть, что между национальными структурами ITS осуществляется тесный контакт, им оказываются методическая и иная помощь со стороны международных центров.

Ключевым моментом в создании сложной комплексной ITS является ее архитектура. В прошлом системы управления дорожным движением часто создавались, чтобы оказать только одну или две услуги, с помощью работающих независимо отдельных подсистем. В то время как есть риски конфликтов многих подсистем, имеются также существенные возможности для объединения этих подсистем для совместной работы. Архитектура ITS нужна для того, чтобы определить, что именно нужно делать и кто это должен делать. Существуют два вида архитектуры ITS: *логическая* и *физическая*.

*Логическая архитектура ITS* определяет, что именно нужно делать. Поэтому логическая архитектура ITS уникальна для каждой страны или региона. Эта архитектура составляется как компромисс мнений всех заинтересованных участников и служит основой для планирования и выполнения ITS,.

*Физическая архитектура ITS* характеризует основные процессы и участников ITS. В первичном представлении физическая архитектура ITS состоит из трех уровней: сетевого, транспортного и институционального.

1. Сетевой уровень с каналами связи. Здесь собирается и обрабатывается информация.

2. Транспортный уровень, ради которого существует интеллектуальная транспортная система. На этом уровне происходит перемещение пассажиров и грузов.

3. Институциональный уровень: организации, политика, механизмы финансирования и бизнес-процессы, необходимые для создания и эксплуатации ITS. Сюда входят государственные органы, научные и проектные институты, промышленные предприятия, университеты и образовательные центры, финансовые организации и т. д.

Транспортный уровень существует изначально, так как в нем реализуются перевозки. Сетевой уровень создается усилиями инженеров – здесь все достаточно ясно. А институциональный уровень требует серьезных организационных усилий. Главным действующим лицом в формировании институционального уровня ITS является государство, заинтересованное в повышении скорости перевозок, снижении ДТП и сохранении экологии. В странах с рыночной экономикой побудительным мотивом участия в ITS частных предприятий является стремление к прибыли.

### **3. Специфика Беларуси**

Беларусь относится к странам с переходной экономикой, поэтому рассмотрим специфику внедрения в них ITS. Существуют четыре мифа о ITS в переходных странах, которые опровергаются фактами.

Миф 1: “ ITS технология является слишком сложными и дорогостоящими и, следовательно, неподходящими для переходных стран.” *Действительность: уже есть широкий диапазон ITS применений в этих странах, и ITS Toolkit Всемирного банка привел 70 примеров в этих странах.*

Миф 2: “ Переходные и развивающиеся страны нуждаются не более, чем в ITS продуктах, купленных в главных индустриально развитых странах.” *Действительность: ITS развертывание намного более сложно, чем просто покупка и управление необходимым оборудованием.*

Миф 3: “ ITS могут использоваться, чтобы полностью заменить дорожные капиталовложения в инфраструктуру.” *Действительность: ITS может помочь использовать существующую дорожную инфраструктуру и уменьшить инвестиции в будущей инфраструктуре. ITS должны использоваться наряду с дополнительными дорожными капиталовложениями в инфраструктуру.*

Миф 4: “Наша потребность в новых способах решить проблемы транспортировки настолько срочна, чтобы мы предприняли развертывание крупномасштабных ITS, не тратя время для того, чтобы провести исследования.” *Действительность: Реальные ITS требуют тщательного планирования. ITS развертыванию должно предшествовать составление плана структуры, ITS архитектуры и т. д.*

Беларусь имеет ряд специфических особенностей:

- Беларусь является транспортным коридором между Европейским союзом и Россией, и далее Китаем. Поэтому вся дорожная инфраструктура, в том числе ITS должна соответствовать европейским и российским требованиям.

- В Беларуси наблюдается парадоксальная ситуация: с одной стороны, уровень развития информационных технологий (ИТ) очень высок, с другой стороны, использование ИТ на транспорте носит не системный, а выборочный характер. Фактически отсутствует полноценное взаимовыгодное сотрудничество.

- Имеются отдельные разработки и использование элементов ITS. Но единой национальной белорусской ITS пока нет. Отсутствует также единый координирующий правительственный орган по ITS.

- Профиционалов по ITS в Беларуси никто не готовит. До сих пор БНТУ не организовал анонсированную подготовку специалистов по ITS, владеющих знаниями как в транспортной сфере, так и области ИТ.

## **Выводы**

Таким образом, основной проблемой Беларуси в создании ITS является не техническая, а институциональная проблема. Так как ITS нужны транспортникам, органам дорожного движения, ГАИ, МВД, МЧС, скорой помощи, органам городского управления и др., то возглавлять структуру ITS должен высокий орган государственной власти РБ, объединяющий все эти министерства и структуры.

## **Список литературы**

1. Грабауров, В.А. Интеллектуальная транспортная система как инновационная концепция развития транспорта// Наука и техника. – 2014. - № 1. С. 63-69.
2. ITS Handbook/ <http://road-network/>.
3. ERTICO Network/ [website@erticonetwork.com/](http://website@erticonetwork.com/)

УДК 004.896

## **АЛГОРИТМ АВТОНОМНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ НАЗЕМНОГО РОБОТА С УЧЕТОМ ПРОГНОЗА МЕСТНОСТИ**

Д.В. Багаев<sup>1</sup>, А.А. Кобзев<sup>2</sup>, И.Н. Клопов<sup>1</sup>, В.В. Немонтов<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>ФГБОУ ВПОГ «Ковровская государственная технологическая академия имени В.А. Дегтярева», Ковров, Россия;  
<sup>2</sup>ФГБОУ ВПОГ «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых», Владимир, Россия

*Рассмотрена структура системы управления траекторным движением наземного робота с прогнозирующим управлением траектории движения. Показаны алгоритмы формирования программной траектории. Приведены алгоритмы управления движением наземным роботом в автономном, полуавтономном и дистанционном режимах с прогнозированием рельефа местности.*

## **Введение**

Как показывает опыт использования наземных роботов (НР), особенно военного назначения [1], разработка новых алгоритмов управления движением наземным роботом имеет цель – преодоление принципиальных ограничений и недостатков дистанционного управления.



Дальнейшее развитие наземной робототехники связано с повышением автономности НР в результате передачи функций, выполняемых человеком-оператором бортовым средством. Такая «интеллектуализация» НР требует решения бортовыми средствами следующих основных задач [2]:

- дистанционное определение геометрических и опорных характеристик поверхности – зоны маневрирования;
- определение текущих координат и ориентации НР;
- формирование оперативной (локальной) и тактической (глобальной) моделей внешней среды с учетом показания бортовых датчиков и сенсоров, а также картографические данные о районе маневрирования;
- согласованное планирование траекторий движения на оперативной и тактической моделях внешней среды;
- отработка траекторий движения.

Анализ известных систем управления НР показал, что достаточно хорошо разработаны и реализованы принципы построения систем управления роботами, перемещающихся по заранее известным траекториям, которые определяются директивными способами. Эти системы могут предусматривать достаточно сложное поведение роботов:

- переход с одной возможной траектории на другую;
- анализ препятствий местности;
- оптимальное групповое управление.

Однако ни одна из них не учитывает возможности объезда препятствий с отклонением от заданной траектории. Известны экспериментальные системы управления роботами, позволяющие объезжать препятствия, но они не находят оптимальной траектории объезда. Одним из эффективных видов управления движением НР в условиях неопределенности рельефа местности и трассы является прогнозирующее управление [3, 4, 5, 6]. Функциональная схема управления НР приведена на рис. 1, где использованы следующие обозначения: НР – наземный робот, ИМ – исполнительный механизм (двигатель с корпусом НР); ЛГ – левая гусеница, ЛП – правая гусеница;  $V_L$ ,  $V_R$  – скорости движения, создаваемые соответственно левой и правой гусеницами.

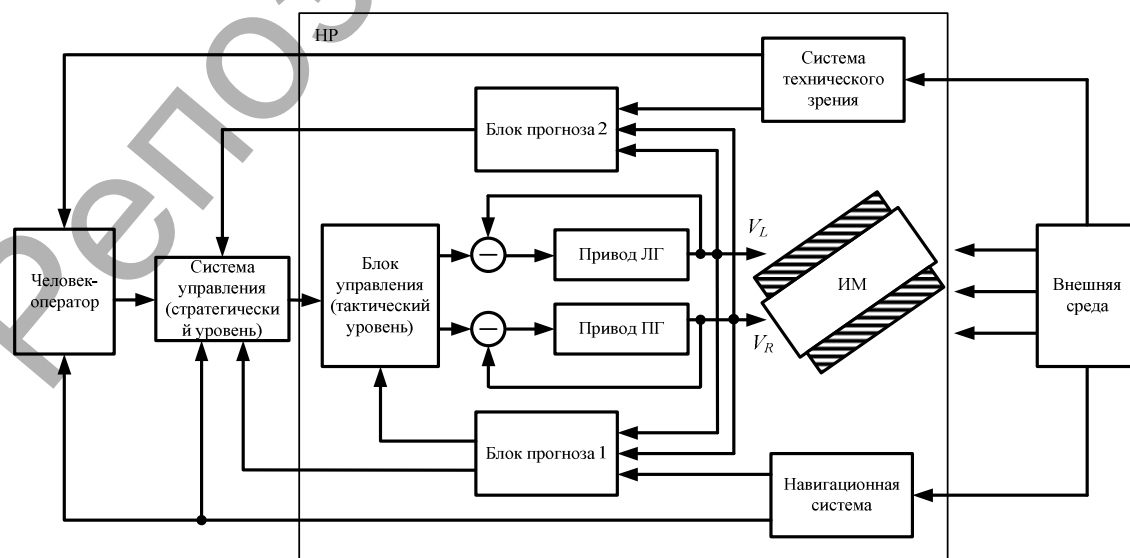


Рисунок 1 – Функциональная схема управления НР

Одним из вопросов при разработке таких систем является выбор метода прогнозирования и прогнозирующих функций. В настоящее время существуют различные методы технического, экономического и социального прогнозирования. Для этого могут быть использованы полиномы Ньютона, Лагранжа, на основе метода наименьших квадратов, тригонометрических функций и др. Наиболее приемлемым, как показали исследования, является полином Ньютона [5].

Разработку алгоритмов управления движением наземных роботов в автономном, полуавтономном и дистанционном режимах с прогнозированием рельефа местности можно представить в виде обобщенной схемы выполняемых процедур при управлении движением НР с прогнозированием траектории и рельефа местности (рис. 2). На рис. 2 использованы следующие обозначения функций:  $F(x_n, y_n, z_n)$  – программная траектория движения;  $F(x_n^*, y_n^*, z_n^*)$  – скорректированная по прогнозу траектория;  $V_L, V_R$  – скорости движения, создаваемые соответственно левой и правой гусеницами;  $x_\phi(t), y_\phi(t), z_\phi(t)$  – фактические составляющие вектора скорости НР соответственно по трем декартовым осям координат.

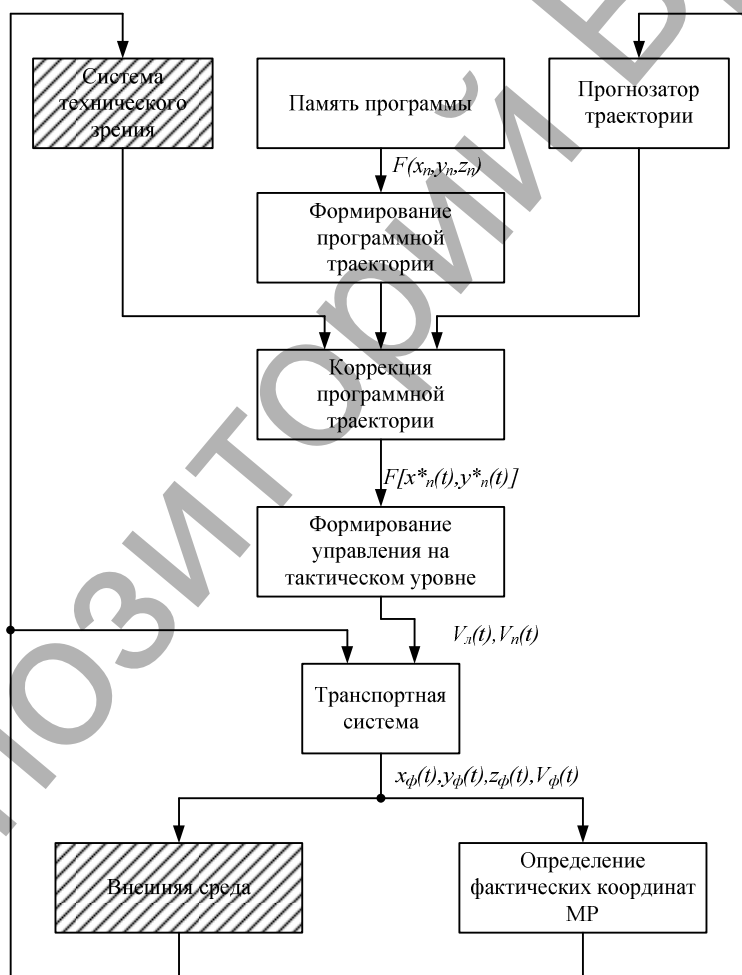


Рисунок 2 – Обобщенная схема выполняемых процедур

В процессе траекторного управления НР реализуется три группы алгоритмов: прогнозирования траектории; формирование программной траектории управляющей подсистемами скоростного вращения гусениц; прогнозирующего управления траекторией движения.

**Автономный режим. Алгоритмы прогнозирования траектории.** Задача состоит в прогнозировании траектории по трем декартовым координатам в системе НР. Первичная информация о текущих (мгновенных) координатах поступает с навигационной системы. Прогнозатор формирует значения последующих координат трассы движения с интервалом на некоторое время вперед (время прогнозирования).

**Алгоритмы формирования программной траектории.** В настоящей работе для управления движением НР по заданной траектории в автономном (программном) режиме рассматриваются методы и алгоритмы разложения заданной траектории на управляющие воздействия для приводов гусениц, применяемые в технологическом оборудовании (станки с ЧПУ, промышленные роботы). Сегодня эти методы и их модификации, использующие модели виртуальной реальности, позволяют решить следующие задачи интеллектуального управления НР:

1. Оптимальное или адаптивное планирование маршрута движения НР в среде с препятствиями и использованием локальной (сенсорной) или глобальной (супервизорной) информации;
2. Моделирование в виртуальном пространстве НР окружающей среды и его поведения;
3. Распознавание ситуаций и принятие оптимальных решений;
4. Программирование (интерполяция) и адаптивная коррекция движения НР по спланированному маршруту;
5. Адаптивное управление движением НР.

Наиболее известное решение задачи управления движением наземным роботом основывается на построении системы управления по принципу следящей системы (задача слежения за программной траекторией). В этом случае желаемая траектория задается в параметрической форме. Для ее построения в систему управления включают генератор желаемых сигналов (интерполятор). Однако, точностные требования, предъявляемые к интерполяторам, а также низкий уровень совместимости с сенсорной информацией существенно ограничивают возможности применения следящих систем управления.

Метод траекторного управления предполагает использование текущих значений отклонений от заранее заданной траектории и исключает необходимость привлечения генераторов эталонной модели. Здесь желаемая траектория движения представляется отрезками гладкой кривой, заданной в неявной форме. Задача контурного управления заключается в стабилизации робота относительно заданной траектории и поддержании требуемой скорости перемещения вдоль нее.

Для управления движением НР по заданной траектории с произведенной топографической съемкой местности могут использоваться известные алгоритмы интерполяции с коррекцией расчетных координат в зависимости от типа привода НР.

Алгоритмы, работающие по методу оценочной функции, решаются с помощью классических методов дискретного целочисленного программирования. Суть этих алгоритмов заключается в том, что в каждом цикле расчета приращений необходимо минимизировать соответствующие целевые функции в форме с неотрицательными коэффициентами и переменными.

**Режим дистанционного управления.** Режим дистанционного управления выполняется оператором с пункта дистанционного управления, расположенного вне НР. При этом человек-оператор кроме воздействия на джойстики выполняет следующие процедуры:

- устанавливает вид режима управления (стратегический уровень) - дистанционное; при этом локальные системы управления скоростью гусениц по управляющему для них воздействию переключаются на джойстик оператора;
- анализирует информацию с системы технического зрения (СТЗ);
- принимает решение об учете прогноза траектории и соответственно управляет органами управления (джойстиками), (прогнозатор формирует координаты траектории с упреждением, и они выводятся на индикацию).

**Режим полуавтономного управления.** Режим полуавтономного управления представляет сочетание дистанционного и автономного управления. При потере связи оператора в режиме дистанционного управления с НР, последний переходит в режим автономного управления. При этом формируется фрагмент модуля для движения в режиме программного управления с прогнозированием. Используются алгоритмы, рассмотренные для автономного режима.

## **Заключение**

Прогнозирующее управление траекторными перемещениями НР возможно с реализацией по двум алгоритмам для систем управления скоростями гусениц: 1) с формированием абсолютной составляющей дополнительного управления; 2) с коррекцией программы на этапе разложения ее на задающие воздействия НР. Функции и полиномы для задач прогноза траектории НР должны учитывать частотные возмущения, порождаемые взаимодействием наземного робота с поверхностью при его движении, и частотные свойства и характеристики как непосредственно транспортной системы НР, так и подсистем управления скоростями гусениц.

## **Список литературы**

1. Лапшов, В.С., Носков, В.П., Рубцов, И.В. Опыт создания автономных мобильных робототехнических комплексов специального назначения. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. "Машиностроение". 2011. – с.7-23.
2. Красовский, А.А. Прогнозирование и оптимальное автоматическое управление // Изв. АН СССР. Техн. Кибернетика. 1986, №4. – С. 115-122.
3. Кабанов, С.А. Управление системами на прогнозирующих моделях. С.Пб.: СПбГУ. 1997. – 198с.
4. Кобзев, А.А., Малышев, А.Н., Мишулин, Ю.Е., Мишулин, Е.Ю. Прогнозирующее управление мобильными роботами // Оборонная техника. - 2014, №5-6. –С. 189-192.
5. Кобзев, А.А., Филиппов, С.И. Управление программным движением мобильных роботов военного назначения с прогнозированием рельефа местности // Информационно измерительные и управляющие системы военной техники: материалы III Всерос. научно-технической конф. – М.: РАН, 2012. – С.228-230.
6. Шашок, В.Н., Филиппов, С.И., Багаев, Д.В., Малышев, А.Н., Кобзев, А.А., Соловьев, В.А., Мишулин, Ю.Е., Немонтов, В.А. Планирование маршрута движения наземным роботом в недетерминированной местности // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 11: В 2 ч. Ч.2. Тула: Изд-во ТулГУ, 2015. – С.149-159.

## ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ «ИНФОБУС»

Пролиско Е.Е., Шуть В.Н.

Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь

*Предлагается математическая модель работы самоуправляемой транспортной системы перевозки пассажиров «Инфобус». Произведена оптимизация работы системы при известных параметрах маршрута движения и вероятностных характеристик потоков пассажиров. Результаты проверены методами имитационного моделирования.*

### Введение

Ранее предложенная модель транспортной системы «Инфобус» [1] рассматривала случай, при котором для любого момента времени на маршруте было не более одного поезда. Поставим задачу построения модели данной системы, если очередной поезд выходит в рейс в то время, когда предыдущий (предыдущие) еще не завершили свое движение.

Основные концепции, лежащие в основе функционирования данной транспортной системы и важные с точки зрения решаемой проблемы:

- 1) клиент (пассажир) на остановочном пункте во время оплаты через терминал указывает также и остановку, до которой желает ехать;
- 2) информация с терминалов поступает на диспетчерский пункт;
- 3) из депо по маршруту отправляется поезд из нескольких самоуправляемых вагонов, количество которых можно изменять;
- 4) емкость вагонов, интервалы времени движения между остановками и время стоянки на остановках для данной системы известны.

Рассмотрим основные этапы подготовки движения поезда:

- 1) при формировании состава в депо имеется как точная информация о пассажирах на станциях (сколько и до каких остановок едут), так и некоторая вероятностная информация о «будущих» пассажирах, которые подойдут на эти станции до прихода поезда;
- 2) если данный поезд не первый, то надо учитывать, что впереди идущие поезда также собирают пассажиров;
- 3) на основе всей этой информации формируется состав, т. е. определяется количество вагонов по какому-либо критерию, например, собрать всех пассажиров с заданной доверительной вероятностью.

Концептуальная модель данной системы должна учитывать следующие моменты:

- 1) будем считать, что оба направления движения имеют совершенно симметричные свойства, поэтому без потерь адекватности можно рассматривать только одну ветвь маршрута;
- 2) на маршруте имеется  $k$  станций;
- 3) интервал времени движения поезда от депо до 1-й станции равен  $\Delta t_1$ , а от  $(i - 1)$ -й до  $i$ -й станции равные  $\Delta t_i$  ( $i = 2, \dots, k$ ) считаем известными с любой точностью;

4) пассажиры начинают подходить на станции за некоторый интервал времени  $\Delta t_{\text{доп}}$  до выхода первого поезда;

5) поезда выезжают из депо через равные интервалы времени  $\tau$ ;

6) известна интенсивность, с которой подходят новые пассажиры  $\lambda_i(t)$ , где  $i=1, \dots, k$  – номер станции.

Критерием оптимальности выберем определение минимального количества вагонов, выходящих за одну поездку, которые «соберут всех» пассажиров на остановках с заданной доверительной вероятностью  $\alpha$ .

## 1. Расчет загрузки поезда

На основе данных с терминалов на остановках на момент отправления поезда можно построить матрицу корреспонденций  $M$

$$M = \begin{pmatrix} 0 & m_{1,2} & m_{1,3} & \dots & \dots & m_{1,j} & \dots & m_{1,k} \\ 0 & 0 & m_{2,3} & \dots & \dots & m_{2,j} & \dots & m_{2,k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & m_{i,i+1} & \dots & m_{i,j} & \dots & m_{i,k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 & m_{k-1,k} \\ 0 & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & 0 \end{pmatrix}, \quad (1)$$

где  $k$  – количество остановок,  $m_{i,j}$  – количество пассажиров, севших на  $i$ -й остановке с целью доехать до  $j$ -й остановки ( $i, j=1, \dots, k$ ). Все элементы матрицы  $M$  на главной диагонали и под главной диагональю равны нулю (т.к. пассажир не может выйти на остановке, на которой сел в вагон, и не может ехать «назад»).

По матрице корреспонденций можно рассчитать общее количество пассажиров садящихся на  $i$ -й остановке  $m_i$ , которое определяется как сумма элементов  $i$ -й строки матрицы  $M$

$$m_i = \sum_{j=1}^k m_{i,j} = \sum_{j=i+1}^k m_{i,j}, \quad i=1, \dots, k \quad (2)$$

и количество выходящих на  $i$ -й остановке  $m_i$ , как сумму элементов  $i$ -го столбца

$$m_i = \sum_{j=1}^k m_{j,i} = \sum_{j=1}^{i-1} m_{j,i}, \quad i=1, \dots, k. \quad (3)$$

Тогда после отъезда от остановки с номером  $r$  количество пассажиров в вагонах

$$s_r = \sum_{i=1}^r m_i - \sum_{i=1}^r m_i = \sum_{i=1}^r (m_i - m_i), \quad r=1, \dots, k. \quad (4)$$

Формулы (1) – (4) учитывают только пассажиров «известных» на момент выезда поезда из депо. Но за время движения поезда на остановки подходят новые пассажиры. Учет этих «дополнительных» пассажиров требует знания априорной вероятностной информации о режиме поступления этих пассажиров по каждой станции и о распределении вероятности их «пожеланий» доехать до какой-либо из последующих станций. Тогда, по, например, предварительным статистическим наблюдениям нам должны быть известны значения  $p_{i,n}$  – вероятно-

сти того, что за заданное время на  $i$ -ю станцию подойдет ровно  $n$  пассажиров ( $i = 1, \dots, k-1, n = 0, 1, 2, \dots$ ) и матрицу вероятностей  $Q$ , заданной как

$$Q = \begin{pmatrix} 0 & q_{1,2} & q_{1,3} & \cdots & \cdots & q_{1,j} & \cdots & q_{1,k} \\ 0 & 0 & q_{2,3} & \cdots & \cdots & q_{2,j} & \cdots & q_{2,k} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & \cdots & 0 & q_{i,i+1} & \cdots & q_{i,j} & \cdots & q_{i,k} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 & q_{k-1,k} \\ 0 & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & 0 \end{pmatrix},$$

где  $q_{i,j}$  – вероятность того, что пассажир, севший на  $i$ -й остановке, выйдет на  $j$ -й.

Очевидным является условие нормировки. Для каждой строки с номером  $i$  матрицы  $Q$

$$\sum_{j=1}^k q_{i,j} = \sum_{j=i+1}^k q_{i,j} = 1, \quad i = 1, \dots, k.$$

В частности,  $q_{k-1,k} \equiv 1$ , т.к. пассажир с предпоследней  $(k-1)$ -й станции достоверно едет на последнюю  $k$ -ю станцию.

Рассмотрим случай, когда потоки пассажиров являются пуассоновскими с известными интенсивностями  $\lambda_i(t)$ ,  $i = 1, \dots, k-1$  (на последней  $k$ -й остановке, очевидно, никто не садится). Данное предположение является достаточно корректным, поскольку доказано, что сумма большого количества независимых ординарных случайных потоков стремится к пуассоновскому потоку [2]. При этом сумма пуассоновских потоков с известными интенсивностями является также пуассоновским потоком, интенсивность которого равна сумме интенсивностей потоков-слагаемых, а при прореживании пуассоновского потока получается также пуассоновский поток, интенсивность которого уменьшается в соответствующее количество раз.

Основной проблемой при построении математической модели является учет возможных пассажиров, которые могут остаться на станциях после отхода поезда. Их невозможно точно учесть, поскольку очередной поезд выезжает задолго до того, как данный поезд проезжает эти станции. Но из результатов, полученных в [1], известно, что для любой заданной доверительной вероятности «забрать всех» используемый алгоритм имеет некоторый «запас прочности». В результате если даже какой-либо поезд и оставит пассажиров на станции, то следующий за ним будет иметь ресурс их забрать с очень высокой вероятностью.

Введем величину  $\Delta T_i$ , которая определяется как

$$\Delta T_i = \sum_{j=1}^i \Delta t_j, \quad i = 1, \dots, k$$

интервал времени от выхода поезда из депо до отъезда от  $i$ -й станции.

Тогда количество дополнительных пассажиров на  $i$ -й остановке будет описываться распределением Пуассона с параметром  $\Lambda_i$ . Для первого поезда в прогоне данный параметр можно вычислить как [1]

$$\Lambda_i = \sum_{j=1}^{i-1} \left[ \int_0^{\Delta T_j} \lambda_j(t) dt \cdot \prod_{l=j+1}^i (1 - q_{j,l}) \right] + \int_0^{\Delta T_i} \lambda_i(t) dt, \quad i = 1, \dots, k-1.$$

Для каждого из последующих поездов

$$\Lambda_i = \sum_{j=1}^{i-1} \left[ \int_0^{h_j} \lambda_j(t) dt \cdot \prod_{l=j+1}^i (1 - q_{j,l}) \right] + \int_0^{h_i} \lambda_i(t) dt, \quad i = 1, \dots, k-1,$$

где верхний предел каждого из интегралов  $h_i$   $i = 1, \dots, k-1$  определяется по правилу

$$\begin{cases} h_i = \Delta T_i, & \text{если } \Delta T_i \leq \tau \\ h_i = \tau, & \text{если } \Delta T_i > \tau \end{cases}$$

Откуда можно получить распределение количества дополнительных пассажиров

$$p_{i,n} = \frac{(\Lambda_i)^n}{n!} e^{-\Lambda_i}, \quad i = 1, \dots, k-1, \quad n = 0, 1, 2, \dots$$

Т. к., была поставлена задача «собрать всех» пассажиров с заданной вероятностью  $\alpha$ , то для каждой остановки с номером  $r$  определим такое число  $z_r$ , что вероятность появления на данной остановке дополнительных пассажиров в количестве, не превышающем  $z_r$ , равна  $\alpha$ . Очевидно,

$$z_r = \min \left( i : \sum_{j=1}^i p_{r,j} \geq \alpha \right). \quad (5)$$

Тогда, учитывая известных на момент выезда из депо пассажиров, задаваемых формулой (4), и дополнительных пассажиров определяемых формулой (5) можно утверждать, что с заданной вероятностью  $\alpha$  после выхода со станции с номером  $r$  в вагонах будет пассажиров не более чем

$$s'_r = s_r + z_r.$$

Получим  $S' = \max_r (s'_r)$ , а затем найдем необходимое число вагонов

$$W = \left\lceil \frac{S'}{V} \right\rceil, \quad (6)$$

где  $V$  – ёмкость вагона, а квадратные скобки обозначают, в данном случае, округление вверх.

## 2. Проверка расчетов

Для проверки полученных соотношений были проведены имитационные эксперименты. Моделировалась транспортная система, имеющая  $k = 10$  остановок; пассажиры начали подходить на станции за  $\Delta t_{\text{доп}} = 10$  условных временных единиц до начала движения; все интервалы времени передвижения между соседними станциями  $\Delta t_i$ ,  $i = 1, \dots, k$  одинаковые и равны  $\Delta t$  условным временным единицам; интенсивности появления дополнительных пассажиров не зависят от времени, одинаковые для всех остановок и получены оценки модели для значений от  $\lambda = 0,01$  и до  $\lambda = 5$ , при этом каждый из пассажиров с равной вероятностью может ехать до любой из следующих остановок; емкость вагона  $V = 50$ ; интервалы между выходами поездов  $\tau$ ; количество прогонов для каждого слу-



чая  $N = 10^4$ . Используя формулу (6) для каждого конкретного случая, оценивалось необходимое количество вагонов.

На рис. 1 и 2 приведены результаты имитационных экспериментов – доля «полностью обслуженных» рейсов, т. е. которые не оставляли пассажиров на станциях, при доверительной вероятности  $\alpha = 70\%$ . Поскольку для заданного критерия оптимизации количества вагонов возможны лишние вагоны, то пунктиром показана доля рейсов, в которых имеется хотя бы один пустой вагон. Штрихпунктирной линией на рисунках отображен уровень доверительной вероятности  $\alpha = 70\%$

На рис.1 изображен случай, когда  $\Delta t = 10$ , а  $\tau = 40$ , т. е. в момент выхода очередного поезда предыдущий уже проехал часть станций. На рис. 2 – обратная ситуация  $\Delta t = 40$ , а  $\tau = 10$ , т. е. в момент выхода очередного поезда предыдущий еще не доехал даже до первой станции.

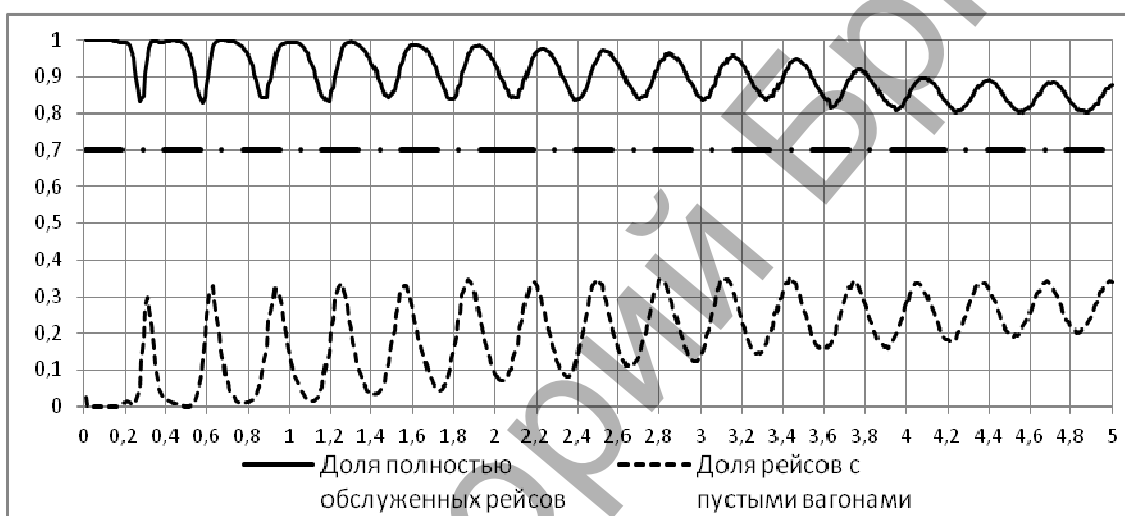


Рисунок 1 – Результаты моделирования при  $\Delta t = 10$ ,  $\tau = 40$

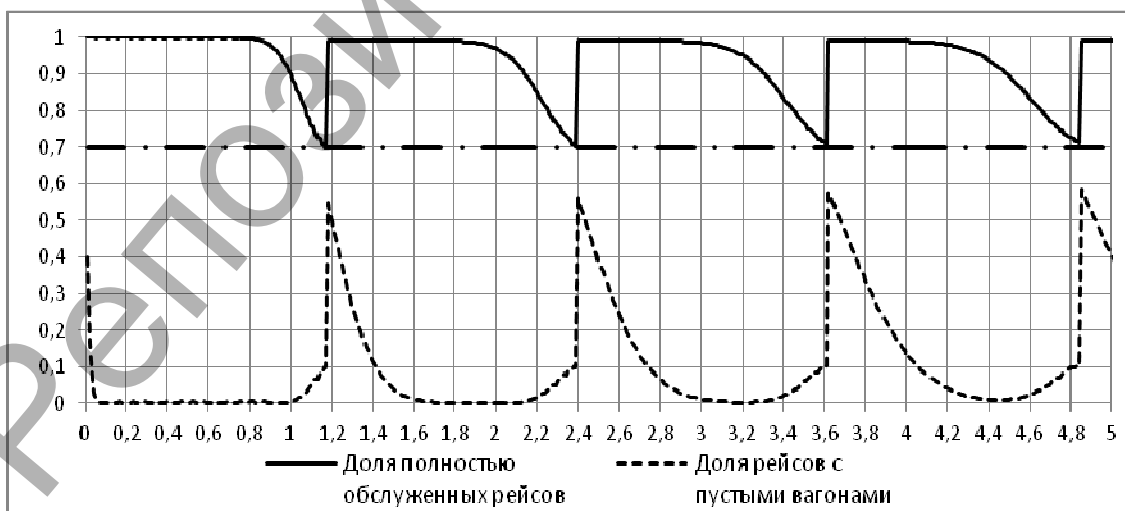


Рисунок 2 – Результаты моделирования при  $\Delta t = 40$ ,  $\tau = 10$

Из данных графиков видно, что предложенная методика расчета оптимального количества вагонов позволяет проделывать это с заданной надежностью.

## Список литературы

1. Пролиско, Е.Е. Математическая модель работы «ИНФОБУСОВ» / Е.Е. Пролиско, В.Н. Шуть. Матеріали VII-ої Українсько-польської науково-практичної конференції «Електроніка та інформаційні технології (ЕЛІТ-2015)», 27-30 серпня 2015 р., Львів-Чинадієво, 2015 – с. 59-62.
2. Большаков, И.А. Прикладная теория случайных потоков / И.А. Большаков, В.С. Ракошиц. М : Советское радио, 1978 – 248 с.

UDC 681.32

## CITYMOBIL2 – CHALLENGES AND OPPORTUNITIES OF FULLY AUTOMATED MOBILITY

A.Alessandrini<sup>1</sup>, A. Cattivera<sup>1</sup>, C. Holguin<sup>1</sup>, D. Stam<sup>1</sup>

<sup>1</sup>CTL – research Centre for Transport and Logistics of “Sapienza”  
University of Rome

### Abstract

*Main benefits of road automation will be obtained when cars will drive themselves with or without passengers on-board and on any kind of roads, especially urban areas. This will allow the creation of new transport services, forms of shared mobility, which will enable seamless mobility from door to door without the need of owning a vehicle. To enable this vision vehicles will not just need to become “autonomous” when automated, they will need to become part of an Automated Road Transport System (ARTS).*

*The CityMobil2 EC project mission is progressing toward this vision defining and demonstrating the legal and technical frameworks necessary to enable ARTSs on the roads. After a thorough revision of the literature allowing to state that automation will give its best when it will be full-automation and vehicles will be allowed to circulate in urban environments, the paper identifies where these transport systems perform at their best, with medium size vehicle as on-demand transport services feeding conventional mass transits in the suburbs of large cities, on radial corridors as complementary mass transits with large busses and platoons of them and as main public transport for small cities with personal vehicles; then defines the infrastructural requirements to insert safely automated vehicles and transport systems in urban areas. Finally it defines the vehicle technical requirements to do so.*

## 1. Introduction

CityMobil2 is a European project which deals with automating mobility. The CityMobil2 vision can somehow clash with other based on the automation of the single vehicle which is supposed to bring all kinds of benefits without requiring neither communication nor the involvement of the infrastructure. The first section of this paper is dedicate to analysing the claims and quantifies the expected benefits of automation demonstrating that only driverless communicating vehicles which are capable of driving themselves out of the motorway can really provide the promised breakthrough.

Established that automating mobility is much more than just automating vehicles, not all automation forms are useful whenever and wherever; each environment has a best performing system and sometimes, though sustainable in the long term, the

implementation of automated road transport system might require legislative intervention to make possible and sustain the start-up of new transport concepts. Building on the results of its predecessor CityMobil project, CityMobil2 uses a geographical classification to identify the transport tasks better suitable to each transport system based on road vehicle automation. CityMobil2 has 12 cities studying how best integrate (and where in the city) automated road transport systems. 5 of them will become real life demonstrators.

Where does this vehicle have to run then? How safely (and legally) insert them on urban roads? CityMobil2 defined where these system should run and how adapting roads to make them as safe as rail transport though as flexible as cars. Section 1.3 reports on these findings of the project.

Final section of the paper, before conclusions, reports on the development of a list of technical requirement for automated vehicles to be part of an automated road transport system.

## 2. Vehicle automation levels and their benefits

NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) and SAE have recently classified automated road vehicles in levels on the basis of how many and which ones of their functionalities are automated.

NHTSA has defined 5 levels of automation [1], from Level 0 (no automation) to level 4 (full self-driving automation) where *[...]the driver [...] is not expected to be available for control at any time during the trip. This includes both occupied and unoccupied vehicles.* SAE is currently defining 6 levels of automation (they will be reported in standard SAE J3016, currently work in progress) [2], from level 0 (non-automated) to level 5 (full automation) where the vehicle automatically manages *[...] all aspects of the dynamic driving task under all roadway and environmental conditions [...]*.

The potential benefits of automating road vehicles are: increased road capacity, increased safety, lower environmental impact, opportunity for new business models. However different levels of automations bring to different levels of achievable benefits. In this section the achievable benefits coming from different levels of automation will be discussed and analyzed.

Both SAE and NHTSA fail to include in their definitions of automation levels cooperative systems; V2V (vehicle to vehicle) and V2I (vehicle to infrastructure) communications can be crucial to claim some of the benefits.

**Safety.** Piao and McDonald argue in [3] that only cooperative systems allow to reach safety and efficiency benefits. For example ACC (Adaptive Cruise Control) allows to maintain a desired time gap from the preceding vehicle but for driving comfort convenience the braking capacity is limited and the driver has to take over the control when a higher level of braking is needed. Such situations can bring to not negligible safety issues. Many studies addressed this topic; among them [4, 5, 6 and 7], agree that Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) while increasing safety one side might decrease it on several others:

- some drivers might fail to intervene effectively in automation failure scenarios; ADAS seemed to make drivers less likely to reclaim control in an emergency-braking, the measured brake time was 3 times higher and the brake reaction time 2 seconds higher than the corresponding ones in a fully manual scenarios;

- it is conceivable that newly qualified drivers with basic training could immediately use a vehicle equipped with ADAS; this may improve their performance in the short-term, but since novice drivers do not possess the knowledge or experience to react in a critical situation, there will be no over-learned reactions to emergency situation and errors may occur.

Level 4 (according to NHTSA) and levels 4 and 5 (according to SAE) on the other hand will need to embed recovery strategies and fail-safe and safe-life protected failure modes not having the possibility to rely on the driver presence in case of automation failure strengthening safety.

**Capacity.** Many studies have been carried out to investigate the effects of ADAS on road capacity. In short road capacity is mainly a matter of time gap between 2 adjacent vehicles. In [8] the effects of both autonomous and cooperative ACC on highway capacity have been evaluated in a simulation of a single-lane highway. They represent the typical results that can be obtained in terms of road capacity using ACC. Setting an average time gap of 1.4 s they found the greatest impact is from 20% to 60% of ACC penetration in the flow but, even in this best case, the estimated capacity increase with ACC remain quite modest, at best less than 10%. This means going from the 2100 v/h of the reference scenario to the 2250 v/h of the best scenario. Moreover, increasing ACC penetration above 60% leads to modest loss of capacity. The conclusion is that sensor-based (autonomous) ACC can only have little or no impact on highway capacity even under the most favourable conditions.

Time gap between vehicles can be reduced using communication-based (or cooperative) systems. Reducing the time gap under 1.4 s leads both to user acceptance and safety issues if driver intervention is still expected in emergency situations. These issues can be solved non contemplating driver intervention at all through CACC or platooning. According to [8] CACC set with a time gap of 0.5 s can potentially double the capacity of a highway lane at a high market penetration. In this paper it is worth to consider that such a result can be reached only at a 100% market penetration: even just a single vehicle not communicating with the other vehicles and/or with the infrastructure would create a non-negligible safety concerns.

Furthermore there is a legal issue to consider on this regard. Road code indicates the brick-wall-stop as the criterion to calculate the safety distance from the preceding vehicle. Setting an average deceleration of  $5 \text{ m/s}^2$  and a reaction time of 1 s this criterion returns a maximum lane capacity of 1500 v/h at 25 km/h that decreases increasing the speed: 1300 v/h at 50 km/h, 1125 v/h at 70 km/h and so on. Basing on this criterion a lane capacity of 2100 v/h is already illegal and, in a certain way, the introduction of partial automation tends to force drivers to go against the law reducing even more the time gap between the vehicles. Platooning will only be possible if amendments to the road code are made as explained in appendix 1 to [13].

**Environment.** A recent study [9] comparing an automated highway system (AHS) and ADAS in terms of environmental impact, technical feasibility and economic affordability found that AHS are the most promising technology for increasing capacity and reducing CO<sub>2</sub> emissions.

An in-depth overview of many ICT-based solutions and their contribution to CO<sub>2</sub> reduction is reported in [10]. Among the most promising technologies of road automation platooning is the one guaranteeing the greatest CO<sub>2</sub> reduction, approximately between 5 and 7.5%. At second place it can be found ACC, with an addressed CO<sub>2</sub> reduction slightly above 2.5%. Benefits of platooning in terms of CO<sub>2</sub> reductions are

addressed in many other studies. Among those in [11] a 15% reduction is reported for three trucks driving at 80 km/h with a gap of 4 m. In [12] a fuel save between 7 and 15% is reported for three cars with a gap of 8 m following two heavy trucks at 85 km/h.

A vehicle consumes less energy in a smooth driving at constant speed rather than in stop and go conditions and it consumes less energy at high speed closely following another vehicle because it has less aerodynamic drag. Therefore from the environmental point of view the major contributors of automation to fuel consumption, keeping the total driving mileage constant, are reducing congestion and smoothing driving conditions and platooning to reduce aerodynamic drag at high speed.

As explained in 1.1.2 before full automation (and the necessary legal amendments) there is little contribution to be expected in reducing congestion and allowing platooning.

***Lifestyle and business model.*** Automation, the full automation which allow to send empty vehicles to relocate themselves where needed most, allows implementing shared mobility and transit systems much more flexible and comfortable than conventional ones especially in those areas traditionally badly served by public transport.

The eventual increase of public transport (and shared mobility) share that might result because of automation implies economic changes too, the greatest being represented by the overall business model of the road transportation system. There will be the real chance to substitute the one person-one vehicle business model with other business models. Such a topic deserves an in depth argumentation that, however, goes beyond the aims of this section. On this regard part of the work going on in the CityMobil2 project is focused on assessing the socio-economic impact of automated road transport systems. Findings from this work will help to define the economic scenario of the future and to set the proper path to make it real and convenient.

### **3. Which automated transport in which part of the city**

A new mobility based on automated road vehicles providing door-to-door seamless mobility (on-demand and/or scheduled) with the aim of replacing private cars and, in some contexts, even traditional public transport is the subject of several subsequent research projects funded by the European Commission.

ARTS, Automated Road Transport Systems, as lately defined by the CityMobil2 project, range from large buses to be used on corridors to small individual vehicle to dual mode city cars and have been tested in several European Research Projects and some of them are now operating in different cities and contexts. Such ARTS can be summarized in the following four following categories.

- Personal Rapid Transit (PRT): automatic individual transport systems that use 4-place vehicles running in dedicated lanes<sup>1</sup>. PRTs work like taxis, carrying passengers from origin to destination without intermediate stops [14-17].

- CyberCars (CC): automated road vehicles ranging from 4 to 20 passengers. Such vehicles work in a network as a collective taxi, in which the passengers can have different origins and destinations. The lane used by the network can be segregated or not [15-19].

---

<sup>1</sup> The traditional PRT concept is to keep the entire network dedicated and segregated to the point that most PRT networks are conceived on elevated monorails; however the same concept might apply using road lanes non-necessarily fully segregated and this concept has been exploited here.

- High Tech Buses (HTB): vehicles for mass transport using an infrastructure which can be either exclusive for the buses or shared with other road users. They can use various types of automated systems, either for guidance or for driver assistance or for full automation and platooning [15-16].

- Dual-Mode Vehicles (DMV): city vehicles with zero or ultra-low emission and driver assistance systems, parking assistance, collision avoidance, also supporting full automated driving in certain circumstances (e.g. platooning for relocation, [16-17].

According to the service required, the four ARTS perform best in different contexts inside and outside the cities.

An approach to evaluate where the ARTS perform best has been developed in the framework of the EU project CityMobil (2006-2011) [20], where the four ARTS were tested in 13 European cities through large scale demonstrators, showcases, and city studies. They were evaluated by collecting indicators of social, environmental, economic, legal and technological impacts of the ARTS [20].

A Passenger Application Matrix (PAM), consisting in a two-dimension symmetrical matrix where the results of the evaluations of the ARTS are grouped according to their origins and destinations (respectively rows and columns of the PAM), was developed to consolidate and cross-compare results of different demonstration, study or simulation.

Ten possible origins and ten possible destinations are in the PAM.

They are:

- City centre,
- Inner suburbs,
- Outer suburbs,
- Suburban centre,
- Major transport nodes (e.g. airport, central station),
- Major parking lots,
- Major educational or service facilities (e.g. university campus, hospital),
- Major shopping facilities,
- Major leisure facilities (e.g. amusement parks),
- Corridor.

The cells of the PAM represent all the possible OD pairs, as reported in figure 1, where the final PAM of the CityMobil project is reported, filled with the results of the evaluations made (the grey cells are those with evaluations available, whereas the white cells have no evaluations within CityMobil).

The PAM identifies which automated transport is best suitable to each cell and helps evaluate pros and cons of the implementation of the different technologies in each particular environment.

O	D	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1. City centre		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2. Inner suburbs		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
3. Outer suburbs		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
4. Suburban centre		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
5. Transport node		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
6. Parking lot		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
7. Service facility		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
8. Shopping facility		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
9. Leisure facility		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
10. Corridor		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

■ with evaluation    □ without evaluation

Figure 1 – The Passenger Application Matrix

An example of the evaluations in the cells is reported in figure 2, where an extract of the CityMobil PAM, concerning the city centre and inner suburbs rows and columns, is showed.

Looking at the city centre to city centre cell, three ARTS were tested in seven European cities: Cybercars in four cities, Personal Rapid Transit in five cities, and Dual-Mode Vehicles in two cities. For each of them different indicators were measured. The main outcomes on the ARTS after comparing the evaluations, extensively reported in [21-22], are:

- The dual-mode vehicles are considered by the users as easy to use, useful and safe, in order to substitute the conventional cars.
- People are willing to pay more than conventional public transport to use the innovative service provided through the ARTS and well disposed to substitute the private car with such new technology.
- PRT resulted to be more convenient than the other ARTSs in terms of performance and emissions reduction, but applicable only in small to medium size cities while conventional mass transits are the best option for the centres of large cities.
- As final result, in the city centre of small/medium cities both Dual-Mode vehicles and PRT can be applied, being well-accepted by the users and providing good improvement to the city mobility.

	D	City centre	Inner suburbs
O			
City centre		CC (Gateshead, Madrid, Trondheim, Wien) PRT (Gateshead, Madrid, Trondheim, Wien, Uppsala) DMV (La Rochelle, Orta San Giulio)	CC (Gateshead, Trondheim) PRT (Gateshead, Trondheim, Uppsala) HTB (Gateshead, Madrid, Trondheim, Wien)
Inner suburbs		CC (Gateshead, Trondheim) PRT (Gateshead, Trondheim, Uppsala) HTB (Gateshead, Madrid, Trondheim, Wien)	CC (Gateshead, Madrid, Trondheim, Wien) PRT (Gateshead, Trondheim, Daventry, Uppsala) HTB (Gateshead, Madrid, Trondheim, Wien)

Figure 2 – An extract of the Passenger Application Matrix

This is an example on how to use the PAM; the other main results which can be found in [21-22], are:

- with medium size vehicle as on-demand transport services feeding conventional mass transits in the suburbs of large cities,
- on radial corridors as complementary mass transits with large busses and platoons of them and
- as main public transport for small cities with personal vehicles.

CityMobil2 [23] will contribute to populating the PAM with the results of its 12 ARTSs studies and 5 demonstrators in European cities.

#### 4. How to integrate automated road transport systems in urban areas

ARTS have the main purpose of providing passenger transportation services in urban areas, but deploying an ARTS in public urban roads must be done, first and foremost, safeguarding both the ARTS' users and the road users in the surrounding environment [25]. Of all road users, special attention must be given to Vulnerable

Road Users (VRU). In fact, pedestrians' road fatality in urban areas is above 70%, both in Europe and in the US [26 and 27], with the elderly representing the highest fatality rates [28 and 29]. Since elderly-related incidents have greater impact and likelihood of occurrence [30], elderly safety should define the baseline for the safe integration of ARTS in urban areas. Thus, the focus in the definition of the ARTS' safety requirements in CityMobil2 has been shifted, from a driver-vehicle-centric approach, to a comprehensive, road-safety approach. Other objectives, like the improvement of traffic conditions or users' comfort, were subordinated to safety. Though seemingly conservative, this approach aims might finally help to make road transport as safe as rail one.

Up to date, the most relevant legal experience of an ARTS using at-grade infrastructure was the CityMobil Rome, Italy. In order to grant the construction and testing clearance<sup>2</sup> to the system, the Ministry of Infrastructure and Transport (MIT) demanded, besides an extensive series of tests of all the safety-related subsystems, that the ARTS' vehicle track be entirely segregated with physical barriers [31].

## 5. Conclusions

After examining the quantification of potential benefits of partial automation available in literature, the paper highlighted how most of the promised benefits will be delivered by automation when it will be "full" and on urban roads. The new automated road transport systems, that can become extensively applicable, will make seamless mobility from door to door possible without the need of owning a vehicle and deeply impacting the economy and the society.

The paper then reported the main findings of the CityMobil project, which highlighted how Automated Road Transport Systems suitable for different trips might range from individual to ridesharing to collective mobility depending on the city area. It finally showed how the infrastructure first and the vehicles and communication system then should be made to make ARTS fully safe, even in non protected environments.

Main conclusions of this paper are:

- a legal and public intervention is needed to understand that inserting automated transport on roads is much more than automating a vehicle, but requires to revamp the law, the roads, and even the communication infrastructure; much less road and much more rail finally bring road safety to acceptable levels;
- automated vehicles would not need to be autonomous, they would need to be constantly connected and a supervising system (much like the air traffic control) should be established;
- further research and standardisation is needed in the communication field to allow large scale applications of these new transport systems.

## References

1. Marshall, J.W., NHTSA Role in The Future of Automated Vehicles, Presentation given Monday, July 15, 2013 at the 2013 AAMVA Region I Conference in Dover, DE - [http://www.aamva.org/uploadedFiles/MainSite/Content/EventsEducation/Event\\_Materials/2013/2013\\_Region\\_I\\_Conference/Monday\\_July\\_15\\_Presentations/2%20-%20Autonomous-VehiclesOverview.pdf](http://www.aamva.org/uploadedFiles/MainSite/Content/EventsEducation/Event_Materials/2013/2013_Region_I_Conference/Monday_July_15_Presentations/2%20-%20Autonomous-VehiclesOverview.pdf)



2. SAE On-Road Automated Vehicle Standards Committee Open Meeting, Handout: Definitions and Levels of Automation, TRB's Second Annual Workshop on Road Vehicle Automation, July 15 - 19, 2013, Stanford University. Available on-line at: <https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=ZGVmYXVsdGRvbWFpbmZlZWhpY2x1YXV0b21hdGlbn-dvcmtzaG9wfGd4OjNkZmMyZm13OGFmOGU5YmM>
3. Piao, J. and McDonald, M., Advanced Driver Assistance Systems from Autonomous to Cooperative Approach, *Transport Reviews: A Transnational Transdisciplinary Journal*, 28:5, pp. 659-684, 2008. DOI: 10.1080/01441640801987825.
4. Stanton, N.A. and Young, M.S., Vehicle automation and driving performance, *Ergonomics*, 41:7, pp. 1014-1028, 1998. DOI: 10.1080/001401398186568.
5. Stanton, N.A., Young, M.S., Walker, G.H., Turner, H. and Randle, S., Automating the driver's control tasks. *International Journal of Cognitive Ergonomics*, 5(3), pp. 221-236, 2001.
6. Young, M.S. and Stanton, N.A., Back to the future: Brake reaction times for manual and automated vehicles, *Ergonomics*, 50:1, pp. 46-58, 2007. DOI: 10.1080/00140130600980789.
7. Young, M. S. and Stanton, N. A., What's skill got to do with it? Vehicle automation and driver mental workload, *Ergonomics*, 50:8, pp. 1324-1339, 2007. DOI: 10.1080/00140130701318855.
8. Vander Werf, J., Shladover, S. E., Miller, M. A. and Kourjanskaia, N., Effects of Adaptive Cruise Control Systems on Highway Traffic Flow Capacity, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, Volume 1800 Issue 1, 2002.
9. Psaraki, V., Pagoni, I. and Schafer, A., Techno-economic assessment of the potential of intelligent transport systems to reduce CO2 emissions, *IET Intell. Transp. Syst.*, 2012, Vol. 6, Iss. 4, pp. 355-363, 2012.
10. Klunder, G.A., Malone, K., Mak, J., et al., Impact of information and communication technologies on energy efficiency in road transport - final report, TNO report for the European Commission, Delft, The Netherlands, 2009.
11. Tsugawa, S. and Kato, S., Energy ITS: Another Application of Vehicular Communications, *IEEE Communications Magazine*, November 2010.
12. Davila, A., Report on Fuel Consumption, Deliverable 4.3 of SARTRE European Project, 15/01/2013.
13. Walker Smith, B. (2012), Automated Vehicles are Probably Legal in the United States, The Center for Internet and Society, Stanford, CA, November 1, 2012.
14. Cottrel W. D., O. Mikosza, "New-Generation Personal Rapid Transit Technologies: Overview and Comparison", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2042/2008, August 2008, cat. Public Transportation, pp. 101-108.
15. Benmimoun A., M. Lawson, A. Marques, G. Giustiniani, M. Parent, "Demonstration of Advanced Transport Applications in CityMobil Project", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 2110/2009, December 2009, cat. Public Transportation, pp. 9-17.
16. Parent M., "New Technologies for Sustainable Urban Transportation in Europe", *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, vol. 1986/2006, 2006, cat. Public Transportation, pp. 78-80.
17. Alessandrini A., M. Parent and C. Holguin, "Advanced city cars, PRT and cybercars, new forms of urban transportation", *Proceedings of the Transport Research Arena (TRA) Europe Conference*, Ljubljana, Slovenia, 2008.
18. Parent M., "Cybercars: new technologies for sustainable transport", *Proceedings of the Transport Research Board Conference*, Washington, DC, 2009.
19. Filippi F., A. Alessandrini, D. Stam, T. Chanard and M. Janse, "Final evaluation report", Deliverable D6.3, *CyberMove EU Project*, 2004.  
CityMobil project website: [www.citymobi-project.eu](http://www.citymobi-project.eu)
20. CITYMOBIL CONSORTIUM, 2006, CityMobil evaluation framework, deliverable D5.1.1 of CityMobil project

21. CITYMOBIL CONSORTIUM, 2010, Field trial B ex-ante evaluation report, deliverable D5.2.1b of CityMobil project
22. CITYMOBIL CONSORTIUM, 2010, Evaluation report for the ex-ante study, deliverable D5.3.1b of CityMobil project
23. CityMobil2 project website: [www.citymobil2.eu](http://www.citymobil2.eu)
24. Bly, P., Lawson, M.V., Deliverable 1.2.2.1 of the EC FP6 project CityMobil, 2010.
25. Koymans, A., Llimao, S., Functional specifications of vehicles and related services, Deliverable 15.1 of the EC FP5 project CityMobil2, 2013.
26. Pace J. F., et. al., Basic Fact Sheet "Urban Areas", Deliverable D3.9 of the EC FP7 project DaCoTa, 2012.
27. NHTSA, Traffic safety facts, 2010 data – Pedestrians. DOT HS 811 625, Washington DC, 2012. Available online: <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/Pubs/811625.pdf>
28. Pace J.F., et. al., Traffic Safety Basic Facts "Pedestrians", EC FP7 project DaCoTa, 2011.
29. Naumann, R., Beck, L., Motor vehicle traffic-related pedestrian deaths – United States, 2001-2010, Centers for Disease Control and prevention, MMWR 2013 (62), No. 15, pp.277-282, 2012.
30. van Dijke, J. P., et. al., Safe Sites and Systems, Deliverable 3.2 of the EC FP5 project CyberMove, 2004
31. Giustiniani, G., Buccino, N.M., et. al., Certification of the CTS, Deliverable 1.3.1.5 of the EC FP6 project CityMobil, p. 9, 2011.

UDC 007:681:510.2

## **HIGH CAPACITY ROBOTIC URBAN CLUSTER-PIPELINE PASSENGERS TRANSPORT**

Luca Persia<sup>1</sup>, Jo Barnes<sup>2</sup>, Vasili Shuts<sup>3</sup>, Evgenii Prolisko<sup>3</sup>, Valerii Kasjanik<sup>3</sup>,  
Denis Kapskii<sup>4</sup>, Aliaksandr Rakitski<sup>3</sup>

<sup>1</sup>University of Rome «Sapienza» UNIROMA, Italy, Rome, <sup>2</sup>Loughborough Design School (LDS), Loughborough University UK, England, <sup>3</sup>Brest State Technical University, Belarus, Brest.

*A project of intelligent transport system is discussed in the article. The system is based on mass transportation of passengers by means of mobile autonomous robots. The robots are assembled in caravans on cluster basis. This new type of public transport system is aimed to increase mobility and flexibility of public conveyance. It also ensures significant economic benefits - since efficiency is almost equal to metro transportation but at the same time the cost of manufacturing and maintenance is much lower. The project is at the stage of conceptual design. Ongoing research is related to computer simulation of the system in different conditions and intensity of passenger traffic.*

***Keywords:** traffic, adaptive control, passenger traffic, rate of vehicle utilization, intelligent transportation system.*

### **1. Introduction**

The increase in motorization and transport mobility of the population has led to increase of the city streets transport flow, causing reevaluation of principles of traffic management, as well as an incentive to develop new forms of public transport. Statistical data of traffic on the main streets of the United States and Europe show that

people spend (on average) from 1 to 2.5 hours a day to move around the city. That causes significant interest in improving traffic management and public transport in the city roads and main streets. The annual increase in the traffic load on the main highway is leading to a steady decrease of transport speed and the creation of traffic jams.

Private transport is not able to provide a high capacity as each car moves with an average of 1.2-1.5 person[1]. Therefore in order to avoid traffic jams it is necessary to unload the transport lines by expanding the performance of ground public transport approaching the performance of the metro. The costs of metro construction are too high (1km. of metro costs 40-60 mln. dollars) [2].

Transport with high performance should not interfere with other traffic participants or with the road network infrastructure, for example traffic lights. Achieving such an effect may be done by the diversification of different traffic flows through the levels. Hence, accordingly we have an underground, ground and elevated transport. The last one moves using overpasses. Construction of overpasses is about 4-8 times less expensive than construction of underground transport (metro). And from the standpoint of the safety of passengers such trucks are much safer than the subway. But elevated transport lines badly fit in urban infrastructure and distort the appearance of the city.

Thus, ground public transport with mass transportation of passengers is the best alternative urban transport of the future. Is it possible under conditions of intense ground transport flow? Oddly enough, but the answer is yes.

In this work we propose a new type of urban public transport - based on robots and information. It is capable of operating in an intensive environment of the streets and roads without interference from the other vehicles and also of transportation of the large numbers of passengers comparable to the subway. In contrast to the metro this type of transport is more energy efficient, as there are no escalators to move passengers to a station and to lift them from it.

The proposed type of transport is a system in which information processes (information gathering, information processing, decision-making) are carried out continuously and form the basis of the information transport systems. Violation of any of these processes, making the system unworkable. The vehicle in such a system is an electric car (without driver) called infobus with ability to carry up to 50 people. In contrast to the known means of passenger transport (bus, trolleybus, tram, etc.) that operate autonomously INFOBUS can only function as part of an information transport system.

## **2. Analysis of the urban transport of passengers**

In transport practice in order to characterize needs of the urban population in the transportation and to analyze systematically the conditions of passengers carriage category 'passenger traffic' is used [3], which is described by its' intensity. Data on the intensity of traffic flow is used to select means of transport with required capacity and to determine the necessary number of vehicles.

On each route can be used vehicles with the similar or different capacity. Selection and justification of the vehicle with necessary capacity for qualitative passenger service, more rational and efficient use of vehicles is a complex management task in conditions of incomplete and often inaccurate information. The capacity of the vehicle is set according to the distribution of passenger traffic and the uneven nature of

its time, the length of the route and the direction it follows. Information is probabilistic in nature and presented in the form of points of the first, second and third distribution order of the random variable (ie the math expectation, variance and capacity excess in passenger traffic).

The decision-maker (DM) [4] in such difficult circumstances, should have the relevant qualifications, experience and even intuition. Wrong decisions lead to losses. For example, the use of small vehicles in case of a high traffic capacity increases the required number of passenger vehicles (drivers) and increases the load of the streets. On the contrary, exploitation of large vehicles on the route with the low intensity of passenger traffic results in too large intervals of motion, unnecessary passenger waiting time and, in connection to that, in the great inconvenience to the public. The main criterion for the choice of optimal capacity of the vehicle for a particular route is primarily suitable motion interval.

Thus, the current state of passenger traffic has the following disadvantages:

- The lack of accurate, objective information in real time about the capacity of passenger traffic on the route which prevents the adoption of optimal solutions and leads to economic losses;
- The presence of the human factor in making responsible decisions.

And third, very important, and perhaps the most important drawback is the small range of vehicles of various capacities for more accurate coverage of the changing traffic flow. This disadvantage in the modern logistics of urban passenger transport can not be overcome, because the industry is not able to produce, say, twenty types of buses of various capacities.

Even if hypothetically assume that the desired range is made, it is difficult to find a person to effectively manage it. Moreover, the control decisions are based on an integrated (averaged) last information on passenger traffic. And the second question. Where and how to store such a diverse fleet of vehicles?

Since the first urban passenger vehicles appeared (more than 100 years ago) and provided transportation through urban transport routes for the population, the organization of transportation has not been changed. Here the 'organization' refers to the whole range of activities related to the planning, control and management of passenger vehicles in the city. This stability is caused by the immutability of the vehicles themselves.

The development of information technologies makes it possible to reconsider the concept of the organization and management of modern public transport. At the same time the diversity of urban passenger transport vehicles should be abolished and reduced to a transport unit of rated capacity - infobus. Depending on the capacity of passenger traffic on the route (measured by sensors in the automatic mode) computer sends on the route a number of infobuses so that to their total capacity was equal to or slightly greater than the capacity of passenger traffic.

This infobuses then are to be gathered into cassettes (hence the term "cassette type of transport"), consisting of a number of different units. The cassette can consist of different number of infobuses: one, two, etc. It depends on the capacity of passenger traffic at the current time. Perhaps collect a vehicle of any capacity required on the route now, quickly and at no cost, as the mechanical connections in the cassette absent. Connection virtual as in road trains [5]. The minimum safety distance between INFOBUS cassette provides electronics.

This transport system is adaptive to passenger traffic. It is timely and operative changing and adapting to the passenger traffic capacity. In connection with this points system is the most economical one and best meets the transport needs of the population as vehicles will not be run half-empty or too crowded.

### 3. The base of cassette assembly of buses - European system SARTRE

One of the promising projects that could change the current situation in the use of private and public transport by creating a safe caravan or the so-called road trains is a system SARTRE. Founded by the European Commission in September 2009, the project Safe Road Trains for the Environment (SARTRE) allows several machines to move along the road in an organized column. SARTRE was initiated to study the creation of strategies and technologies for testing the caravan of vehicles on regular public roads [5]. The project could not be better suited to address a similar problem - cassette assembly of infobuses into a single trailer.

The project is a system in which the cars follow the leading truck vehicle with professional driver. Cars line up with a distance of 6 m and fully repeat the movements of the leading truck that allows drivers to rest, eat, talk on the phone. Each one of the vehicles is able to leave the column on request. The composition of the column changes from time to time: some drivers take control in their hands, others join and "inferior wheel '(Figure 1).

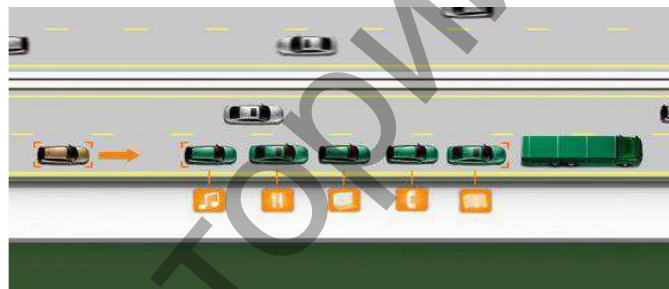


Figure 1 – The road train of the SARTRE project

The driver knows it is possible to join the road train moving ahead by satellite navigation, the driver transmits a signal of the intention "to become the wagon" to the head car chauffeur. Similarly, it should signal the intention to continue the path on their own.

Insertion of trucks on the roads with private vehicles provides a number of benefits (approximately 20% reduction of emissions), security benefits (reduction of accidents caused by the action of the driver) and the reduction of congestion (smoother traffic flow with a potential gradual increase in traffic bandwidth) .

In January 2012, the SARTRE project entered its final phase with the demonstration of a leading train truck driven three cars. Testing was conducted on Hällered polygon in Sweden. The test vehicles have proved to be excellent at a speed of about 90 km / h, fully repeating the move of the leading truck.

To implement the system in the information transport system (or in other words - cassette assembly of infobuses) it is required to equip each infobus with rangefinders, onboard computers and wireless communications. Fig. 2 shows a train consisting of N infobuses. The number of infobuses joined into a train is determined by the ca-

capacity of passenger traffic on the route line at the current time. Information about the number of passengers from the route stops comes from the camera to the server, which calculates the required number of infobuses to join the trucks.

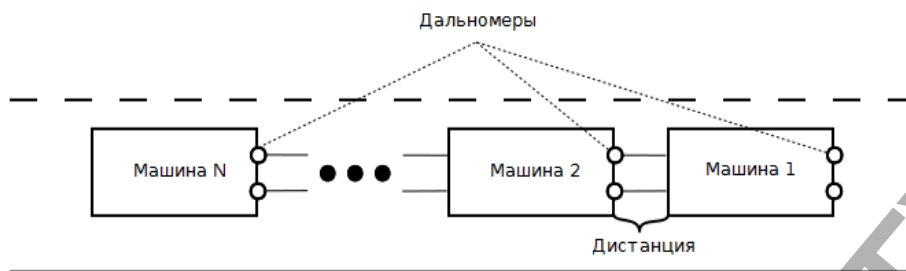


Figure 2 – The road train with N infobuses

The process looks like this. The driver of the infobus at the last stop gets the signal to start the route. When he moves to the beginning of the route his leading car is followed by the number of infobuses that is necessary exactly to cover passenger capacity on the route. The server performs calculations for each stop on the route to predict the possibility of increasing of the number of passengers as a stop service is performed with a delay in the arrival time on a specific train stop. After the route assignment and before the next lap to the train can be joined or detached a number of infobuses depending on the situation with passenger traffic on the route for the upcoming tour.

Thus the control system of the vehicles in this project is adaptive to the main parameter - passenger capacity on the route. This ensures high efficiency of the system and its attractiveness to passengers in terms of comfort of travel in the evenly filled infobus cabin, as well as guaranteed acceptable waiting time for the vehicle at the bus stop. Such features are not available in currently operating management systems of urban passenger transport.

#### 4. The movement of buses in the streets environment

It is necessary that the streets environment was as neutral as possible to the infobus motion. It is impossible to fully achieve zero impact on the infobus vehicle, like that can be done with the subway. You can reduce this impact through the provision of special lanes as is done for public transport such as bus or trolley.

The disadvantage of this separation is reduction of the number of lanes for the other road users and with this the decrease in road bandwidth. Hence the requirement for the width of infobus: it should be minimal and be like 1-1.5 meters. This choice is made because of two factors. The highway lane width is equal to 3-3.5 meters. One lane can be divided into two strips - and as a result we get two lanes (forward and reverse) for the infobuses.

Infobuses lanes are directly adjacent to the curb and is separated from it by fencing and from the main road - by a solid line (Fig. 3). In some cases, can be used the simple fencing made of a continuous line of plastic cones. The second reason why the infobus should be narrow is connected with the process of loading the passengers in the cabin. For quick discharging (download) the infobus has a low floor (on the same level the platform is) and also has a lot of doors.



Time of unloading and loading passengers is limited and shall not exceed, in best case, the duration of the cycle of traffic lights (80-120 sec.), or be aliquot to it. This will let infobuses to cross intersections with traffic lights without stopping in a coordinated 'green' wave, because after stopping it starts to move from the very place in traffic light cycle where it was stopped.



Figure 3 – The road buses of the two infobuses at the crossroads

The time of loading and unloading passengers in the system is 20 seconds. That means every 20 seconds the infobus departs from a stop with the maximum number of vehicles in a train up to six at rush hour. Limits for the number of infobuses in a train are connected with the recommended length of the stop (30 meters). With a infobus length of 5 meters on the stop up to 6 infobuses can be placed. With the capacity of 50 passengers infobus train which consists of 6 vehicles within one minute transports up to 1,000 passengers, and for 1 hour - up to 60 000, which is comparable to the performance of the metro.

If the traffic lights object is off-line (not included in the plan for coordination) the system responds with the start time from the stop in order to pass the current traffic lights smoothly. To do this the "Mobile Assistant to the driver" [6] system is used, which at any stage of infobus movement indicates the time remaining for a green phase of traffic lights. The system indicates the recommended speed for non-stop travel. Some complex intersections infobus can pass through the underground crossing as shown in Figure 4.

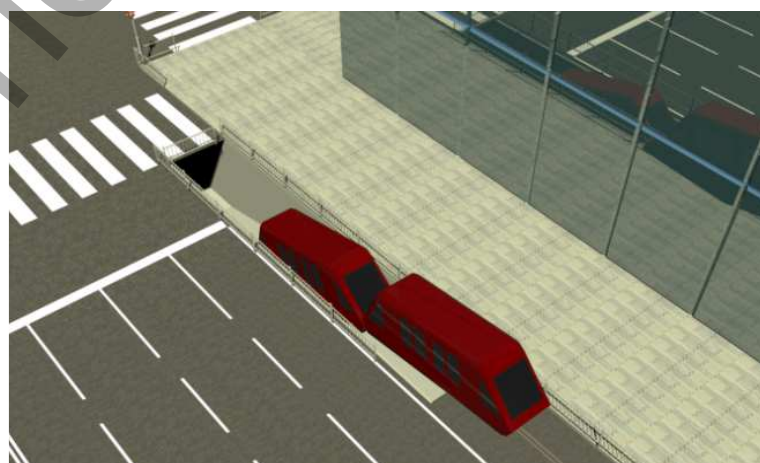


Figure 4 – Underground crossing on difficult crossroads

Each INFOBUS is equipped with a computer, GPS-navigator, the device for communication with the main managing computer in the system and with other info-buses, sensors providing security. On-board computer monitors all activities (tracking the position of the car, speed, doors, etc.). [7] Infobus has a different security systems, including a buffer, which is a rubber seal on the back and the front.

## 5. Conclusions

A new type of urban public transport is informational. This type of transport is capable of operating in a high-capacity environment of the street without interference from the other vehicles and transport large numbers of passengers comparable to the subway. This type of transport is more energy efficient than the existing transport systems. This transport system has no negative influence of the human factor since the system is fully autonomous and operates automatically to service requests from the passengers.

The proposed form of transport is a system in which information processes (information gathering, information processing, decision-making) are carried out continuously and form the basis of the information transport systems. Violation of any of these processes makes the system unworkable. The identity of a vehicle is an electric car (without driver) which can transport up to 50 people (called infobus). In contrast to the known means of passenger transport (bus, trolleybus, tram, etc.) that operate autonomously infobus can only function as a part of an information transport system.

This work was supported by the European grants «Grant Agreement Number 2013-4550 / 001-001» project Be-Safe - Belarusian network of safe roads, together with three European universities: Sapienza University (Rome), National Technical University of Athens and the University of Laffboro (England).

## References

1. A Mikhailov. Modern trends in the design and reconstruction of the street and road networks / A Mikhailov, IM Head. Nauka, 2004. 266 pp.
2. The cost of building 1 km of subway in Minsk from 40 to 60 million [Elektronresurs]. - Access mode:<http://minsknews.by/blog/2014/08/19/stoimost-sooruzheniya-1-km-metro-v-minske-sostavlyaet-ot-40-do-60-mln-dollarov>
3. A. Varelopulo. Organization of traffic and transport in the urban passenger transport. M., Transport, 1981. 93 p.
4. A. Aristov, K. Morgachev. Computer decision support system for traffic management // Proceedings of the II scientific research and practical conference "Scientific and Technical Creativity of Youth - the path to a society based on knowledge" - M., MGRS, 2010. - p. 205.
5. Project Safe Road Trains for the Environment (SARTRE) – Access mode: [http://en.wikipedia.org/wiki/Safe\\_Road\\_Trains\\_for\\_the\\_Environment](http://en.wikipedia.org/wiki/Safe_Road_Trains_for_the_Environment)
6. V Kasyanik, V Shut Mobile assistant driver in choosing the strategy of driving - "Artificial Intelligence" number 3, 2012, Donetsk: IAI "Nauka i osvita" - S. 253-259.
7. Vasili Shuts, Valery Kasyanik. Mobile Autonomous robots – a new type of city public transport. / Transport and Telecommunication // Volum 12, No 4, 2011 – P. 52-60.



## **ОПЫТ СОЗДАНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА БАЗЕ МИНИ-ТРАКТОРА «БЕЛАРУС 132Н»**

С.Н. Поддубко, А.В. Белевич, В.И. Луцкий  
ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»,  
г. Минск, Республика Беларусь.

*Представлен опыт создания робототехнического комплекса, обеспечивающего возможность отработки технологий проектирования элементов беспилотных транспортных систем для использования в составе серийных машин отечественного производства и отработки промышленных технологий применения мобильных роботов.*

### **Введение**

Круг потенциальных приложений для использования беспилотных транспортных систем значителен, имеет отчетливо выраженный тренд к росту и включает следующие основные области:

- сельское хозяйство (платформы для транспортировки продукции, внесения удобрений, уборки, мониторинга и т. д.);
- промышленность (платформы для транспортировки комплектующих, мониторинга процессов, очистки технологических путепроводов и т. д.);
- безопасность (платформы для мониторинга, разминирования взрывоопасных объектов, перевозки грузов на опасных территориях и т. д.);
- пассажирский и коммерческий транспорт.

При этом, основным фактором сдерживающим массовое применение беспилотного транспорта в промышленности и сельском хозяйстве, является его дороговизна и потенциальная опасность для жизни и здоровья окружающего персонала.

### **1. Основные подходы в создании беспилотного транспорта**

В настоящее время создание мобильных роботов и беспилотных транспортных систем ведется по двум основным направлениям:

- разработка специализированных роботов под конкретную задачу;
- созданием робототехнических комплексов на базе серийных машин.

Разработка специализированных роботов позволяет создавать «идеальные» технологические машины, стоимость которых для потребителя при единичном и мелкосерийном производстве часто превращает их в «выставочные экспонаты», в то время как крупносерийное производство сдерживается допустимой областью применения.

Сборка робототехнических комплексов на базе серийных машин является более экономически целесообразной, т. к. использует готовые (предварительно отработанные в автономных условиях) технические решения (как правило, модульного типа), монтируемые на серийное шасси. При этом может сохраняться возможность управления шасси в «штатном» режиме (водителем), что позволяет его использовать в зоне массового скопления людей. Поэтому на начальных этапах развития беспилотного транспорта, включающих как этапы отработки конструкции самих роботов, так и технологии их применения в различных от-

раслях хозяйственной деятельности, этот путь развития, с нашей точки зрения, является наиболее перспективным.

В настоящее время предприятиями республики разработаны и изготовлены следующие образцы беспилотных транспортных средств:

- роботизированный карьерный самосвал БелАЗ-75131 (выполнен на базе серийного автомобиля);
- роботизированная платформа на базе мини-трактора «Беларус 132Н» (выполнен на базе серийного шасси);
- автоматизированный дистанционно-управляемый наблюдательно-огневой комплекс «АДУНОК» (выполнен на базе специализированного шасси);
- беспилотные авиационные комплексы «Бусел», «Бусел-М» и «Буревестник» (специальная разработка).

## 2. Опыт проектирования

Одним из последних отечественных образцов робототехнических комплексов является роботизированная платформа на базе мини-трактора «Беларус 132Н», ориентированная на применение в условиях закрытых сельскохозяйственных объектов и местах чрезвычайных ситуаций. Данная разработка выполнена Объединенным институтом машиностроения НАН Беларуси совместно с ООО «Интеллектуальные процессоры» в рамках НИОКР «Разработка и создание высокотехнологичного производства робототехнических мобильных комплексов», Государственной программы инновационного развития г. Минска на 2011-2015 гг. В качестве первого заказчика комплекса выступает Министерство по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь, а в качестве первого образца – роботизированная платформа (рисунок 1) с дистанционно управляемым лафетным стволом пожаротушения (ОАО «Линтера»).

Всего для роботизации мобильной платформы использовано 11 мехатронных систем управления, из которых 9 - унифицированы по конструкции, а 8 из них – по конструкции и программно-алгоритмическому обеспечению. Столь высокая степень унификации обеспечивает такую важную характеристику, как ремонтнопригодность, что особенно важно для машин, работающих в сложных условиях.



Рисунок 2 – Роботизированная платформа на базе мини-трактора «Беларус 132Н»

Данная разработка является своего рода ходовым макетом для отработки конструкторских и программно-алгоритмических решений роботизации всей номенклатуры мобильных машин отечественного производства. Создание платформы позволило в полной мере апробировать основы методологии модульного комплексирования беспилотных транспортных систем с использованием компонентов единой программно-аппаратной платформы, разработанной специалистами лаборатории бортовых мехатронных систем мобильных машин Объединенного института машиностроения НАН Беларуси [4]. Данная методология включает следующие основные этапы:

- выбор базового шасси из номенклатуры мобильных машин отечественного производства и определение функционально значимых агрегатов, управление которыми обеспечивает возможность реализации комплекса показателей функционального назначения определенных техническим заданием на робототехнический комплекс;
- выбор технических средств автоматизации на основании типоразмерного ряда мехатронных систем управления;
- моделирование и разработку алгоритмов и программных средств поддержки функционирования типоразмерного ряда мехатронных систем управления;
- разработку механизмов адаптации исполнительных устройств из состава типоразмерного ряда для использования в составе автоматизируемых узлов и агрегатов;
- настройку мехатронных систем управления узлами и агрегатами в составе роботизированного комплекса.

Бортовая система управления роботизированной платформы выполнена на базе распределенной архитектуры с использованием унифицированных электронных модулей. Общий вид структуры и конструкции интегрированной электронной системы управления роботизированной платформы представлен на рисунке 2.

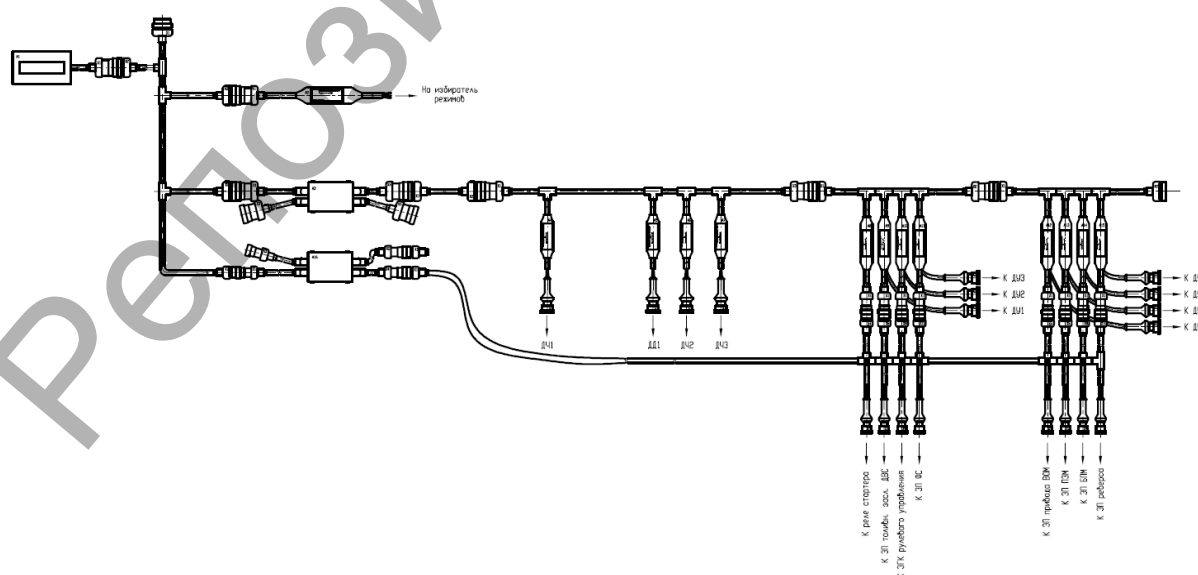


Рисунок 3 – Структура интегрированной электронной системы управления роботизированной платформы. Общий вид.

Использование данного подхода обеспечивает возможность применения унифицированных электронных модулей, обеспечивающих снижение трудозатрат на разработку программного обеспечения, а главное, в значительной степени повышающих живучесть системы за счет возможностей ее оперативного восстановления.

Учитывая предложенную структуру системы, ее функциональное развитие, необходимое для монтажа на роботизированную платформу технологических систем различного функционального назначения, достигается подключением дополнительных периферийных модулей либо созданием отдельных подсистем со своим уровнем управления. Общий вид робототехнического комплекса, оснащенного гидравлическим манипулятором и управляемым отвалом, приведен на рисунке 3.

Как говорилось выше, данный образец роботизированной платформы, изготовленный в количестве трех штук, в первую очередь является инструментом для отработки технологии использования робототехнических комплексов в различных отраслях промышленности. В частности, один из образцов передан в подразделение МЧС для отработки методов его боевого применения в условиях чрезвычайных ситуаций, второй образец продан в Республику Казахстан для отработки технологий точного земледелия с использованием робототехнических комплексов, и третий образец находится в институте для проведения дальнейших работ по отработке алгоритмов автономного функционирования комплекса.



Рисунок 4 – Роботизированная платформа на базе мини-трактора «Беларус 132Н». Комплектация 2, общий вид

## Список литературы

1. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.vistgroup.ru/mof/>;
2. Комплекс блочно - модульных мехатронных систем управления типоразмерного ряда перспективных трансмиссий с фрикционными муфтами тракторов «Беларус». Белевич А.В., Красневский Л.Г., Луцкий В.И., Шарангович А.И. Развитие национальной базы НИОКР: сборник статей VIII Международного автомобильного научного форума, Москва 20 октября 2010 г. / г. Москва, Труды НАМИ, №246, 2011;
3. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://adunok.by/catalog/adunok-m.html>;
4. Электронный ресурс. Режим доступа: <http://www.558arp.by/ru/products-and-services-rus/products-rus/manufacture-new-samples-armament-military-equipment-rus/uac-berkut-rus>.

УДК 681.32+629.113.06+612.821+612.223+616.2

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПОТОКИ В ИТС: РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ «ЧЕЛОВЕК–МАШИНА»**

В.В. Савченко

Объединенный институт машиностроения Национальной академии наук Беларуси, Минск, Беларусь

*Развитие ИТС и ее компонентов позволяет ставить и решать принципиально новые задачи по безопасности функционирования транспортных систем “человек–машина”, причем автоматический анализ разнородных информационных потоков дает синергетический эффект.*

### **Введение**

Известно, что сегодня основными задачами интеллектуальных транспортных систем (ИТС), при эксплуатации автомобильного транспорта, являются: обеспечение безопасности дорожного движения, повышение эффективности использования дорог, повышение эффективности использования транспортных средств, предоставление участникам движения информационных (телематических) сервисов. Это очень емкие, со сложной иерархической структурой, задачи. В настоящее время исследовательскими центрами и организациями, ориентированными на получение прикладных результатов проводятся работы, в том числе по определению приоритетных информационных потоков обмена информации, в рамках протоколов транспортное средство – транспортное средство (vehicle-to-vehicle) V2V и транспортное средство – внешняя инфраструктура V2I (vehicle-to-infrastructure). Очевидно, что информационные потоки и определяют прикладную реализацию очевидных сегодня основных функций ИТС и сформируют приоритеты развития на среднесрочную перспективу. Появление в информационных потоках признаков, характеризующих динамику текущего изменения функционального состояния водителя и абсолютных значений психофизиологических функций, непосредственно влияющих на эффективность выполнения водителем алгоритмов деятельности по управлению автомобилем, например (но не только), время простой сенсомоторной реакции, позволяет ста-

вить и решать задачи по расширению функциональных возможностей ИТС. Интеллектуальная дорожная сеть адаптируется к текущим фактическим изменениям обстановки в реальном режиме времени, информация об интенсивности трафика, фактическом состоянии узлов и агрегатов транспортных средств, инцидентах и авариях становятся доступными для всей сети.

## **Иерархическая структура ИТС**

Иерархическая структура ИТС достаточно подробно, с учетом системного подхода и междисциплинарных позиций, изложена в работе С.В. Жанказиева [1], выделяется пять слоев (уровней). Первый слой представляет собой самый низкий уровень системы, которая образована как детекторами, так и исполнительными элементами, и в нем проводится как сбор данных, так и действия по управлению. Второй слой характеризует оперативное управление небольшими участками транспортных сетей, отдельных терминалов или транспортных средств. Третий слой характеризует всю транспортную сеть больших участков и, в большинстве случаев, речь идет об обработке, унификации и извлечении информации из подсистем второго слоя. Четвертый слой отражает государственную транспортную политику и ее необходимых части, как, например, создание фонда развития транспорта, финансирование транспортной инфраструктуры, нагрузка транспортной инфраструктуры, оценка потерь от происшествий, статистическая обработка данных и т. д. Телематические элементы можно рассматривать как источник информации для определения этих параметров. Пятый слой представляет европейский (мировой) уровень и транспортную политику стран – членов Европейского Союза (либо глобальную транспортную политику) [1].

Первый слой ИТС характеризуется сбором статических и динамических данных о транспортно-эксплуатационных качествах пути, транспортных средствах и транспортных терминалах. Характерным для этого слоя, кроме сбора данных, является осуществление управления с помощью исполнительных элементов. На автомобильном транспорте это следующие приложения [1]:

- сбор данных о транспортно-эксплуатационном состоянии автомобильной дороги (интенсивность и состав движения, плотность и скорость движения, метеорологические данные и т.д.);

- сбор данных о транспортных средствах (слежение за опасным грузом, мониторинг угнанных автомобилей, автоматическое оповещение о дорожно-транспортных происшествиях и т.д.);

- сбор данных о транспортных терминалах (занятость парковок, состояние логистических центров и т.д.);

- состояние и изменение исполнительных элементов (изменение состояния управляемых дорожных знаков, изменение состояния светофоров и т.д.).

Коммуникационная среда между первым и вторым слоями предъявляет самые жесткие требования к защите, надежности и доступности передачи информации.

## **Состав и характеристики информационных потоков**

Среди специалистов сегодня нет единого понимания относительно состава и характеристик передаваемых данных в первом слое ИТС. Серьезная проблема лежит и в фактических используемых протоколах обмена информацией в бор-

товых системах и комплексах, и если на коммерческом транспорте устанавливаются бортовые шины передачи данных, самая распространенная из которых – шина CAN (единый формат кодировок, передаваемых по шине CAN параметров, описанный в стандарте SAE J1939-71), и разработан унифицированный протокол передачи данных (стандарт FMS), то для легкового автотранспорта, такой формализации нет. Это связано с тем, что базы данных декодирования CAN сообщений у всех производителей легкового автотранспорта индивидуальные и, более того, они могут отличаться даже для разных моделей автомобилей одного производителя и относятся к конфиденциальной информации, поскольку рассматриваются ими как дополнительная степень защиты от возможных угонов автомобилей.

Специалисты МАДИ считают, что для коммерческого транспорта (по протоколам V2V и V2I) в сеть ИТС бортовые системы должны передаваться следующие наборы данных [2]:

1) географические данные положения автомобиля (долгота, широта, абсолютное время, курсовой угол, эллиптическая высота), полученные с применением бортовой системы навигации;

2) кинематические параметры движения (приведенная скорость автомобиля, продольное и боковое ускорения, приведенная угловая скорость вращения кузова автомобиля относительно вертикальной оси);

3) данные об управляющих воздействиях на автомобиль со стороны водителя (положение педали газа, нажатие на педаль тормоза, угол поворота рулевого колеса, режим работы указателей поворота, режим включения аварийной сигнализации);

4) параметры, характеризующие условия движения (значение температуры окружающей среды, режим работы системы головного освещения автомобиля, режим работы стеклоочистителей, индикатор срабатывания систем активной безопасности ABS, TC, ESP и других);

5) идентификаторы автомобиля (категория транспортного средства, масса, длина, ширина, высота, идентификационный номер).

Отмечается, что практически все перечисленные выше параметры (в зависимости от оснащенности автомобиля) присутствуют в том или ином виде в бортовой сети передачи данных, и целесообразно использование имеющейся информации с сенсорных датчиков автомобиля, вместо дооснащения телематического модуля дополнительными датчиками, дублирующими штатные [2].

## **Развитие методологии безопасности функционирования транспортных систем «человек–машина»**

Основные положения методологии безопасности функционирования транспортных систем «человек–машина», развиваемой автором, изложены в публикациях [3–5 и др.]. Развитие ИТС, появление в системах разнородных информационных потоков, адаптация под них перспективных транспортных средств и бортовых систем позволяет ставить и решать новые задачи:

разрабатывать модели и, на их основе, информационно-аналитические системы превентивного прогнозирования развития ситуационных сценариев и управления рисками в обеспечении комплексной безопасности объектов ИТС по фактическому состоянию, где исходными будут фактические, динамично

меняющиеся в реальном масштабе времени, данные, характеризующие основные процессы в системах «человек–машина», в том числе динамику функционального состояния конкретного водителя;

анализ разнородной информации с бортовых систем, ориентированных на минимизацию негативных аспектов человеческого фактора (системы активной безопасности, «**продвинутые**» **системы помощи водителю** (Advanced Driver Assistance System – ADAS), тахограф) во взаимосвязи с кинематическими параметрами движения, данными об управляющих воздействиях на автомобиль со стороны водителя, географическими данными о положении автомобиля, фактическом состоянии дороги, в том числе обусловленном метеорологическими условиями, плотности транспортного потока, вычислительными мощностями ИТС позволит получить синергетический эффект.

Подготовлен проект, ориентированный на разработку бортовой информационно-аналитической системы определения местоположения транспортного средства и информирования об аварийной ситуации, позволит в автоматическом режиме, с точностью от 0,1 до 3 м, определять местоположение транспортного средства с привязкой к цифровой карте местности и автоматически информировать об аварийной ситуации (совместно с группой компаний «НТЛаб», РБ). Как дополнительная опция (разрабатывает ЗАО «Нейроком», РФ), система в автоматическом режиме определяет опасные состояния водителя (глубокая релаксация, потеря сознания, смерть) с вероятностью опасной ошибки метода (ошибка 2-го рода) не более  $4 \cdot 10^{-4}$  и потоком вероятности опасных отказов, приводящих к ДТП, не хуже  $10^{-9}$  час<sup>-1</sup>; и с использованием штатных бортовых систем диспетчеризации, передает в диспетчерский центр перевозчика и/или по стандартным протоколам в ИТС.

Сегодня активно обсуждается возможность дальнейшего расширения функционального назначения бортовых систем обеспечения вызова экстренных оперативных служб (e-Call), например, в “ЭРА–ГЛОНАС”, как полицейского способа борьбы с угонщиками и нарушителям правил дорожного движения [6]. Полицейские смогут дистанционно отключать зажигание у преследуемого автомобиля, а учитывая, что в краткосрочной перспективе навигационные системы смогут работать с сантиметровой точностью, контроль за соблюдением правил дорожного движения транспортных средств, оборудованных такой системой, может быть автоматический и тотальный.

## **Вывод**

Развитие ИТС и ее компонентов позволяет ставить и решать принципиально новые задачи по безопасности функционирования транспортных систем “человек–машина”, причем автоматический анализ разнородных информационных потоков дает синергетический эффект.

## **Список литературы**

1. Жанказиев, С.В. Интеллектуальные транспортные системы: учеб. пособие / С.В. Жанказиев. – М.: МАДИ, 2016. – 120 с.
2. Иванов, А. М. Разработка системы межобъектного взаимодействия интеллектуальных транспортных средств / А. М. Иванов, С. С. Шадрин // Известия ВолгГТУ. – 2013. – Т. 7. – № 21. – С. 74–77.



3. Савченко, В.В. Методы и средства повышения эффективности функционирования операторов транспортных систем «человек-машина» / В.В. Савченко // Весті НАН Беларусі. Сер. фіз-тэхн. навук. – 2005. – №2. – С. 9–37.
4. Савченко, В.В. Развитие методологии мониторинга функциональных состояний операторов транспортных систем «человек-машина» / В.В. Савченко // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2013. – №6. – С. 27–32.
5. Савченко, В.В. Оптимизация параметров семантической биологической обратной связи в системах мониторинга функционального состояния операторов / В.В. Савченко // Проблемы управления и информатики. – 2009. – № 1. – С. 124–129.

УДК 681.327

## **АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА (БЛА) ДЛЯ БЫСТРОЙ ОЦЕНКИ КАРТ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ**

Н.В. Богданов, В.В. Ганченко

Государственное научное учреждение «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси»  
Минск, Беларусь

*Предложен аппаратно-программный модуль для беспилотного летательного аппарата (БЛА), предназначенный для корректировки карты состояния сельскохозяйственных полей. Модуль позволяет выполнять быструю оценку фотоизображений поля по маршруту следования летательного аппарата, формировать команды о необходимости корректировки карт и соответствующие управляющие сигналы для БЛА.*

### **Введение**

Точное земледелие в настоящее время получает все большее распространение во многих странах. Технология точного земледелия рассматривает каждое сельскохозяйственное поле как неоднородное по рельефу, почвенному покрову, агрохимическому содержанию и подразумевает применение на каждом участке поля разных агротехнологий [1, 2]. Основой технологии являются карты состояния растительности, построенные методами дистанционного зондирования Земли с космоса, которые требуют корректировки перед проведением агротехнических мероприятий. Для корректировки используют фотоизображения, получаемые наземными или воздушными робототехническими комплексами сельскохозяйственного назначения.

Существующие БЛА такого типа характеризуются низкой производительностью обработки данных, невозможностью хранения больших объемов данных и отсутствием стабильной связи с базовой станцией. В связи с этим, разработка представленного в докладе аппаратно-программного модуля для быстрой оценки состояния растительности является актуальной.

### **1. Описание работы модуля**

Аппаратно-программный модуль представляет собой одноплатный компьютер, на котором выполняется программа, состоящая из четырех основных

подпрограмм (подсистем, рис. 1.): выделения исследуемого участка, сравнения участка и эталона, корректировки положения БЛА и формирования данных для отправки.



Рисунок 1 – Структурная схема программной части модуля

*Подсистема выделения исследуемого участка* реализовывает поиск и копирование участка для исследования. Она выделяет границу исследуемого изображения по заданным паттернам и отделяет его от общего изображения для дальнейшего анализа. При этом результат работы модуля сохраняется в промежуточном файле для удобства дальнейшей работы самой программы.

*Подсистема корректировки положения БЛА* следит за паттернами которые находятся на полученном изображении, и сравнивает их с теми, что должны идти по заданному маршруту. В случае смещения полученные координаты вычитаются из тех, в которых должен находиться БЛА. Результат этого вычитания формирует и отправляет сигнал для системы управления БЛА.

*Подсистема формирования данных для отправки* выделяет из данных, которые сохраняются на карту памяти, координаты участков, необходимых для дальнейшего изучения.

*Подсистема сравнения* использует качественный коэффициент, который вычисляется по значениям изображения в цветовом пространстве HSV. Это сделано для снижения влияния условий освещения.

Значение оттенка *Hue* вычисляется по формуле:

$$Hue = \arctan \left( \frac{\sin(\frac{2}{3}\pi) \cdot g - \sin(\frac{2}{3}\pi) \cdot b}{r + \cos(\frac{2}{3}\pi) \cdot g + \cos(\frac{2}{3}\pi) \cdot b} \right), \quad (1)$$

а насыщенности *Sat* – по формуле

$$Sat = \max(r, g, b) - \min(r, g, b). \quad (2)$$

Оттенок *Hue* может принимать значения от  $-\pi/2$  до  $\pi/2$ , а насыщенность *Sat* – от 0 до 255. В таблице 1 приведенные значения *Hue* и *Sat* для различных

типов сегментов (данные о значениях оттенка и насыщенности получены экспертом на основании анализа цветовых характеристик изображений отдельных растений и аэроснимков поля картофеля [3]).

Таблица 1 – Значения диапазонов цвета

Тип сегмента	Диапазон оттенка Hue	Диапазон насыщенности Sat
Здоровый (зеленый)	$[0.1; \pi/2]$	$[110; 255]$
Больной (желтый)	$[1.0; \pi/2]$	$[170; 255]$
Больной (буро-зеленый)	$[1.0; \pi/2]$	$[128; 175]$

Значения координат пространства HSV вычисляются для каждого пикселя.

После определения значений производится подсчёт количества пикселей здорового сегмента. Так же считается количество пикселей, которые не попали ни в один из диапазонов. Из общего количества пикселей вычитается количество пикселей, которые не попали ни в один из диапазонов. Для вычисления качественного коэффициента берётся отношение количества пикселей из здорового сегмента к полученному после вычитания количеству пикселей. По сути, данный коэффициент характеризует состояние сельскохозяйственного участка.

Важным моментом при проектировании аппаратно-программного модуля является необходимость реализации связей одноплатного компьютера с бортовыми системами (рис. 2). Поэтому, помимо основной программы, описанной выше, на одноплатном компьютере функционирует ряд сервисных подпрограмм, формирующих сигналы управления для систем отправки данных, фото-съемки, управления и др.

Для совмещения бортового напряжения и напряжения, необходимого для работы аппаратно-программного модуля, необходим адаптер питания.

Связь может осуществляться через установленные на большинстве одноплатных компьютерах интерфейсы (USB, Ethernet) [4].

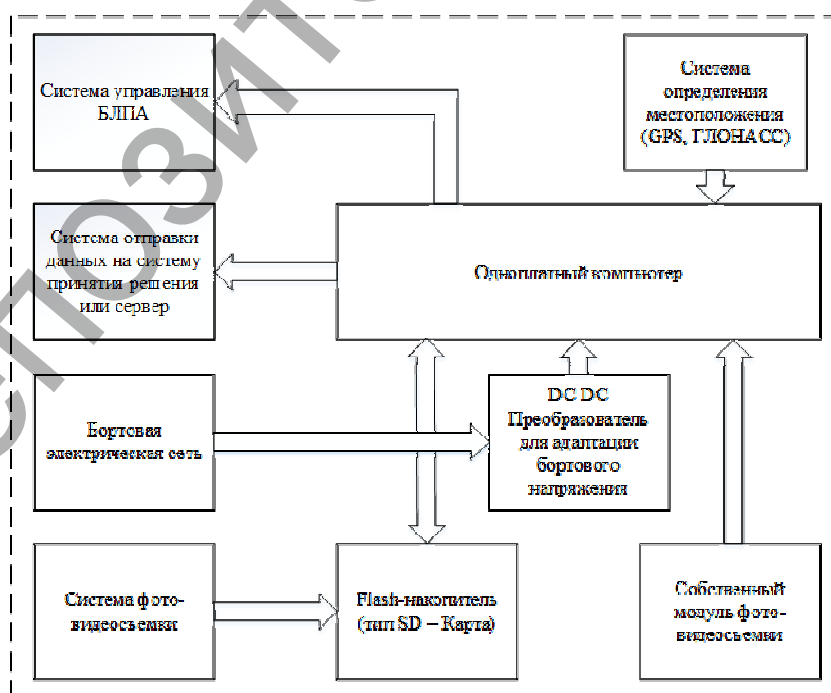


Рисунок 2 – Аппаратное представление связей модуля и систем БПЛА

## 2. Алгоритм работы программной части системы

Алгоритм функционирования программы модуля содержит следующие шаги:

1. Проводится выравнивание баланса белого полученного изображения.
2. Выполняется поиск на полученном изображении участка для исследования. Эталонные участки для сравнения формируются заранее.
3. Найденный участок копируется в оперативную память устройства. Так же копируется имя файла
4. Если участок не находится, происходит быстрый поиск по паттернам. В случае нахождения паттерна из другой области вычисляется отклонение и подаются сигналы на узлы управления БЛПА. Если не найден ни один паттерн, то подаётся сигнал о возвращении на базу.
5. Вычисляется качественный коэффициент участка и производится сравнение полученного коэффициента с эталонным значением качественного коэффициента для данного участка.
6. При наличии значительных отклонений (граница отклонений устанавливается оператором системы принятия в зависимости от типа растительности и периода вегетации), имя файла участка передается в систему отправки данных для их обработки в системе принятия решений. Так же для возможной наземной обработки коэффициент сохраняется в отдельный массив.

Алгоритм повторяется, пока не будет считан последний файл для сравнения или пока не будет принята команда от оператора.

### Заключение

Результатом работы является разработанный алгоритм работы программы модуля и схема его аппаратного взаимодействия с бортовым оборудованием. Программа выполняет экспресс-оценку и функцию мониторинга состояния растительности, что позволяет уменьшить траты на сельскохозяйственную деятельность за счёт уменьшения количества участков для более тщательного анализа. Так же программа модуля отслеживает маршрут летательного аппарата и корректирует его в случае необходимости путём управления узлами БЛПА. Использование одноплатного компьютера позволяет упростить наладку оборудования для конкретных задач и позволяет расширить функциональность при необходимости.

### Список литературы

1. Greenbelarus [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://greenbelarus.info/files/downloads/zashchita\\_rasteny\\_v\\_organicheskom\\_selskom\\_hozyaystve.pdf](http://greenbelarus.info/files/downloads/zashchita_rasteny_v_organicheskom_selskom_hozyaystve.pdf). – Дата доступа: 22.02.2016.
2. Nsu [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nsu.ru/xmlui/bitstream/handle/nsu/318/03.pdf;jsessionid=F6A19137B3C6CC404E3CF081A2FEDF8F?sequence=1#page=2&zoom=auto,-202,556>. – Дата доступа: 09.02.2016.
3. Zastosowanie technik analizy obrazu do wczesnego wykrywania patogenów w ziemniaka. Praca nie publicowana / B. Sobkowiak [et al.]. – Poznań: PIMR, 2006.
4. SBC [Электронный ресурс]. – Режим доступа [https://dl.dropboxusercontent.com/u/4035896/a320\\_downloads/SBC\\_comparison44.pdf](https://dl.dropboxusercontent.com/u/4035896/a320_downloads/SBC_comparison44.pdf). – Дата доступа: 20.03.2016.

## СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ И ВЕРИФИКАЦИИ ПРОГРАММЫ АВТОНОМНОГО ПОЛЕТА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА (БПЛА)

В.В. Ганченко, А.А. Дудкин, Е.Е. Марушко, Л.П. Поденок  
Государственное научное учреждение «Объединенный институт проблем  
информатики Национальной академии наук Беларуси»,  
Минск, Беларусь

*Представлена система формирования программы автономного полета (ПП) БПЛА самолетной схемы из входного набора узловых точек маршрута. ПП представляет собой последовательность команд траекторного управления БПЛА, а также функциональных команд, предназначенных для выполнения некоторого протяженного во времени и/или пространстве процесса, не связанного с траекторным управлением. ПП формируется с учетом основных динамических характеристик БПЛА, физических и конструкционных ограничений, а также аэродинамических характеристик планера.*

### Введение

Развитие БПЛА идет по пути повышения эффективности эксплуатации и, как следствие, современные БПЛА становятся дорогостоящими и специализированными [1]. Эта тенденция требует повышения безопасности полетов и оптимизации полетных заданий.

Основой полетного задания БПЛА является программа полета, которая представляет собой временную последовательность геопривязанных путевых точек, в каждой из которых помимо геодезических координат (долгота, широта, высота), задаются время ее прохождения, параметры полета (режим, скорость, допустимые траекторные и временные отклонения), функциональная нагрузка (сброс груза, фото и видеосъемка, доставка тепла и света) и прочее.

Критерием качества полетного задания является оценка точности его выполнения, в первую очередь, точности выполнения программы полета (прохождения всех путевых точек и участков между ними, а также исполнения функциональных событий) с минимальным траекторным и временным отклонениями в условиях возмущенной атмосферы (ветер, турбулентность).

В случае пилотируемой авиации пилот является частью управляющей системы (УС) и в динамическом режиме с необходимым упреждением эффективно решает существенно нелинейные задачи управления, выбирая моменты и параметры исполнения маневров и активации событий, реализующих предписанную программу полетного задания согласно заданным критериям качества. Этот выбор, как правило, осуществляется на основе теоретических знаний и опыта пилота.

В случае БПЛА более надежным и эффективным является делать такой выбор на Земле и формировать куда более детальную ПП, чем те, которые используются в пилотируемой авиации. С этой целью применяются методы имитационного моделирования маневров с учетом аэродинамики БПЛА, его динамических свойств и возможностей УС, а также прогнозируемых на момент исполнения ПП метеоусловий. ПП, составленные без учета вышеназванных факторов зачастую не могут быть выполнены с заданной траекторной и временной точностью, что создает определенные сложности при решении групповых задач.

Автономный полет БПЛА по программе характеризуется тем, что основные навигационные измерения, необходимые для траекторного управления, осуществляются исключительно по геофизическим полям. В качестве источника таких измерений обычно выступает инерциальная навигационная система (ИНС). В зависимости от требований к точности траекторного управления и характеристик ИНС в ряде случаев осуществляется периодическая корректировка положения собственной системы координат ИНС по результатам внешних навигационных измерений.

Чаще всего под программой полета имеют в виду просто последовательность узловых точек маршрута (УТМ), в которых БПЛА изменяет курс, высоту или инициирует те или иные события. В рамках настоящей работы под программой автономного полета понимается последовательность команд траекторного управления и функциональных команд, предназначенных для выполнения некоторого протяженного во времени и/или пространстве процесса, не связанного с траекторным управлением (далее — путевые точки). Последовательность путевых точек (ПТ) дополняет множество УТМ. В них изменяются состояния актуаторов, что приводит к выполнению той или иной фазы маневра. Последовательность таких ПТ и составляет суть программы [автономного] полета.

## 1. Формирование ПП

Предполагается, что БПЛА выполнен по классической самолетной схеме [2] и включает следующие аэродинамические элементы управления (актуаторы) — руль высоты (стабилизатор), руль направления, элероны, двигательная установка и интерцептор (используется в модели для расширения диапазона углов снижения с постоянной скоростью).

Траекторное движение рассматривается как последовательность элементарных движений и маневров, выполняемых отдельно в вертикальной и горизонтальной плоскостях. В результате траектория ПП состоит из участков прямолинейного движения (вдоль ортодромии) под углом к горизонту в вертикальной плоскости и координированных разворотов в горизонтальной. Исходные данные для формирования ПП представляют собой последовательность УТМ, которая формируется вне рассматриваемой системы (рисунок 1).

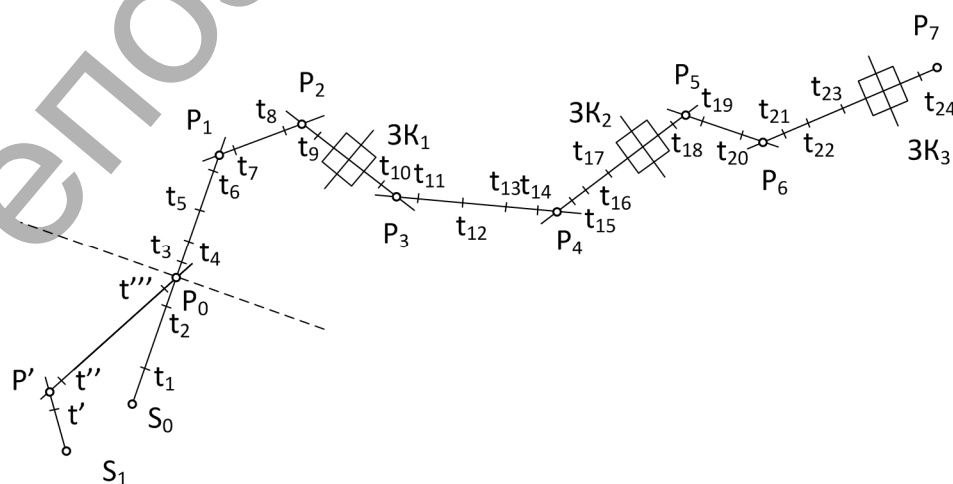


Рисунок 1 – Последовательность узловых точек маршрута

Каждая УТМ характеризуется типом, положением в выбранной геодезической системе координат и скоростью. Узловые точки делятся на три класса — точки изменения вертикального режима полета (ВУТ), отмеченные на рисунке как  $t_k$ , точки разворотов (УТР), отмеченные на рисунке как  $P_k$ , и узловые точки событий (УТС), отмеченные на рисунке как  $ЗК_k$ . Между УТР БПЛА движется по ортодромии, вдоль которой в произвольном порядке и располагаются все ВУТ и УТС.

Сформированная ПП представляет собой последовательность ПТ. ПТ смены режима полета (ПТР) формируются из УТР и ВУТ с учетом динамических характеристик и УС БПЛА. ПТ событий (ПТС) формируются из УТС с учетом временных и пространственных требований.

Каждой УТР соответствует аэродинамический маневр координированного разворота в горизонтальной плоскости, состоящий из конечных по времени фаз входа, исполнения и выхода, для которых в ПП формируются соответствующие ПТ, а также ПТ выхода на новую ортодромию.

Каждой ВУТ соответствует аэродинамический маневр изменения угла наклона траектории, состоящий из фаз начала и завершения, для которых формируются соответствующие ПТ, а также ПТ начала нового вертикального режима.

Каждой УТС соответствует выполнение некоторого протяженного во времени и/или пространстве процесса, не связанного с изменением режима движения. Для такой УТС формируется комплементарная пара путевых точек начала и завершения события.

Расчет положения ПП и режимов полета в процессе выполнения маневров выполняется на основе динамической модели (ДМ) БПЛА, которая включает ДМ продольного движения, ДМ вращения вокруг продольной оси, ДМ балансировки, выработку топлива, а также ДМ УС. На рисунке 2 представлена схема выполнения вертикального маневра «снижение — набор высоты».

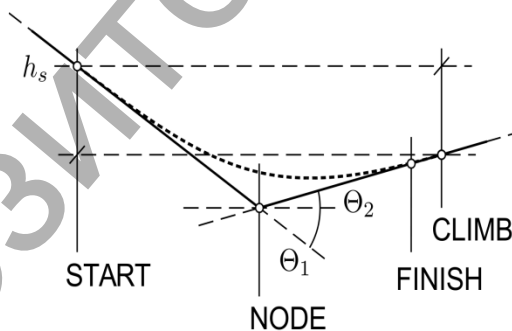


Рисунок 2 – Схема выполнения вертикального маневра

NODE — узловая точка маршрута. START — начало маневра. Для этой ПТ рассчитываются необходимые установки руля высоты и тяги для выполнения наиболее «компактного» в вертикальной плоскости маневра, допустимого ограничениями на прочность крыла. FINISH — завершение маневра, обеспечивающее выход на прямую с заданным углом наклона траектории  $\Theta_2$ . CLIMB — точка начала участка набора высоты. В связи с тем, что предельные углы контролируемого снижения ограничиваются аэродинамическим качеством ЛА (чем оно выше, тем углы снижения меньше), с целью расширения диапазона углов снижения в модель для повышения коэффициента лобового сопротивления введен интерцептор.

На рисунке 3 представлена схема выполнения горизонтального маневра. Путьевая точка TURN\_START определяет начало маневра. Маневр начинается с отклонения элеронов, что вызывает начало вращения. Отклонение элеронов в обратную сторону останавливает вращение, при этом угол крена устанавливается в положении TURN\_WP, которое необходимо для выполнения координированного разворота с заданным радиусом. TURN\_FINISH определяет завершение координированного разворота и выход БПЛА в режим прямолинейного горизонтального полета (CRUISE\_WP). Расположение путевых точек определяется исходя из динамики угловой скорости вращения и крена.

Разворот на малый угол характеризуется тем, что половина времени его выполнения оказывается меньше, чем время выхода в координированный разворот, и участок дуги постоянного крена отсутствует. В этом случае разворот выполняется переключением ортодромии в точке начала малого разворота, в результате которого разворот будет выполнен управляющей системой, как реакция на боковое отклонение и отклонение по курсу для новой ортодромии. Положение точки начала малого разворота устанавливается исходя из равенства влияния бокового отклонения и отклонения по курсу на отклонение элеронов.

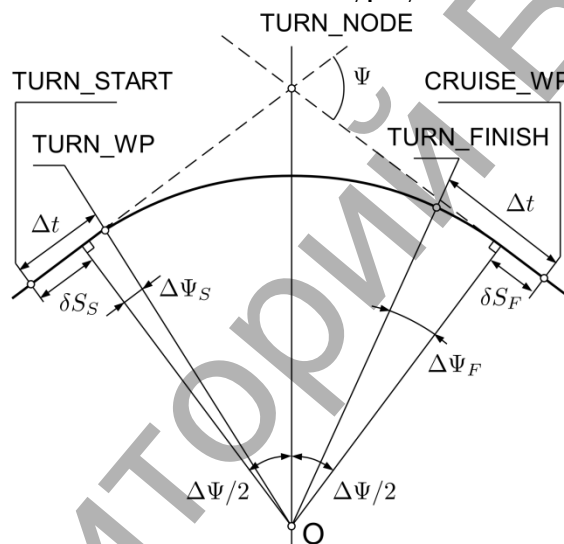


Рисунок 3 – Схема выполнения горизонтального маневра

## 2. Верификация перечня узловых точек маршрута

Первая фаза верификации выполняется на стадии формирования ПП из перечня УТМ. Контролируются следующие параметры:

- углы подъема и снижения;
- расстояния между узловыми точками;
- возможность выйти на режим прямолинейного горизонтального полета к моменту начала навигационных измерений в зоне коррекции;
- возможность скорректировать траекторию после коррекции ИНС по результатам навигационных измерений до выхода на очередную ПТ;
- достижимость цели по запасу топлива.

## Список литературы

1. Kenzo Nonami, et al. Autonomous Flying Robots. Springer 2010. ISBN 978-4-431-53855-4. – 329 P.
2. Лебедев А.А., Чернобровкин Л.С. Динамика полета БПЛА. – М.: «Машиностроение», 1973. – 616 С.



## МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОНОМНОГО ПОЛЕТА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА (БЛА) ПО ПРОГРАММЕ

А.А. Дудкин, Л.П. Поденок

Государственное научное учреждение «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси»,  
Минск, Беларусь

*Представлена система моделирования автономного полета беспилотного летательного аппарата (БЛА) самолетной схемы по программе. Моделирование выполнялось с учетом погрешностей инерциальной навигационной системы, динамики и аэродинамики БЛА, а также метеоусловий.*

### Введение

Целью моделирования является верификация выполнимости программы полета (ПП) и/или определения вероятности ее невыполнения методом Монте-Карло. Моделирование полета выполнялось с учетом погрешностей инерциальной навигационной системы (ИНС), особенностей динамики и аэродинамики беспилотного летательного аппарата (БЛА), а также метеоусловий.

ПП – базовая компонента автономного полетного задания БЛА, представляет собой последовательность команд траекторного управления БЛА, а также функциональных команд, предназначенных для выполнения некоторых протяженных во времени и/или пространстве процессов, не связанных с траекторным управлением. Траекторное движение БЛА в рамках модели рассматривается как последовательность прямолинейных участков установившегося полета и маневров, которые выполняются раздельно в вертикальной и горизонтальной плоскостях. ПП формируется из последовательности узловых точек маршрута (УТМ), в которых БЛА изменяет курс, высоту или инициирует те или иные события. УТМ делятся на три класса – точки изменения вертикального режима полета (ВУТ), УТМ разворотов (УТР), и УТМ событий (УТС). Между УТР БЛА движется по ортодромии. В результате целевая траектория состоит из участков горизонтального полета в плоскости ортодромии и координированных разворотов в горизонтальной. УТМ представлены в геодезической СК (1, 0, 1). Элементы ПП – путевые точки (ПТ) – в ортодромической СК, и связанной с ней метрической, в качестве которой используется СК Ламберта.

Модель предполагает, что БЛА выполнен по классической самолетной схеме и включает следующие аэродинамические элементы управления – руль высоты (цельноповоротный стабилизатор), руль направления, элероны, двигательную установку и интерцептор. БЛА в рамках принятой модели предполагается аэродинамически безусловно устойчивым. Динамическая модель (ДМ) БЛА включает ДМ продольного движения, ДМ вращения вокруг продольной оси, модели балансировки, а также ДМ управляющей системы. Параметры модели:

- прочностные параметры планера (максимальная положительная и отрицательная нагрузка на крыло), которые используются при расчете допустимых перегрузок в процессе маневрирования;
- полетные характеристики (пустой и максимальный веса, средний удельный расход топлива, характеристическая площадь, максимальная и минимальная воздушные скорости);

- аэродинамические характеристики, в частности, зависимости коэффициентов подъемной силы и лобового сопротивления от угла атаки, скольжения и скорости;

- характеристики двигательной установки (время установления статического уровня тяги, функция передачи управления тягой на уровень установившейся тяги, максимальное и минимальное значения тяги);

- характеристики элеронов (максимальное отклонение, значение критического крена, время установления скорости крена, передача отклонения элеронов на установившуюся скорость крена);

- характеристики рулей высоты (максимальное отклонение, время установления угла атаки, передача отклонения рулей на установившийся угол атаки);

- характеристики рулей направления (максимальное отклонение, время установления угла скольжения, передача отклонения руля на установившийся угол скольжения).

Функционирование модели управляющей системы основано на сопоставлении планируемых параметров движения и полученных по результатам навигационных измерений с помощью феноменологической модели ИНС и выработке управляющих воздействий на актуаторы и тягу. Параметры модели системы управления включают:

- параметры двигательной установки (передача отклонения по дальности и скорости на тягу);

- параметры управления рулем высоты (передача отклонения высоты, тангажа/наклона траектории и угловой скорости тангажа на угол отклонения руля высоты);

- параметры управления элеронами (передача отклонения курса, отклонения по крену и угловой скорости крена, а также бокового отклонения на угол отклонения элеронов);

- параметры управления рулем направления (передача отклонения по скольжению на угол отклонения руля направления).

В основе аэродинамической модели лежит классическая модель длиннопериодических движений ЛА на основе дифференциальных уравнений движения центра масс и дифференциальных уравнений для моментов [1], при этом предполагается, что короткопериодические движения по тангажу, крену и рысканью стабилизированы.

## 1. Алгоритм моделирования полета по ПП

Кинематическое состояние БЛА характеризуется следующими параметрами:

- геодезические координаты местоположения  $(\lambda, \varphi, h)$ . Эти три параметра определяют положение сопровождающего геодезического трехгранника, в котором задаются остальные параметры;

- скорость движения определяется как модулем  $v$  и двумя углами – курсовым  $\psi$  и наклоном траектории  $\Theta$ , так и компонентами  $v_x, v_y, v_z$ ;

- ориентация в пространстве определяется углами скольжения  $\beta$ , тангажа  $\theta$  и крена  $\gamma$  в полускоростной СК;

- скорость вращения определяется тремя компонентами угловой скорости  $\omega_x, \omega_y, \omega_z$  в конструкционной системе координат БЛА.

Набор параметров  $\mathbf{X} = [\lambda, \varphi, h, v_x, v_y, v_z, \beta, \theta, \gamma, \omega_x, \omega_y, \omega_z]$  составляет вектор кинематического состояния БЛА.

В рамках модели мы различаем истинное кинематическое состояние  $\mathbf{X}_c$ , которое является ненаблюдаемой величиной, и наблюдаемое  $\mathbf{X}_m$ , которое измеряется инерциальной навигационной системой (ИНС). Последовательность команд траекторного управления из ПП определяет планируемую последовательность кинематических состояний  $\mathbf{X}_r^k = \mathbf{X}_r(t_k)$  для каждого модельного момента времени  $t_k$ .

Истинное кинематическое состояние изменяется во времени. Закон изменения  $\mathbf{X}_c = \mathbf{X}_c(t)$  определяется состоянием и динамикой актуаторов, характером и интенсивностью внешних воздействий  $\mathbf{F}_e$  со стороны атмосферы (аэродинамика), динамическими свойствами БЛА, а также динамикой УС и возможностями ИНС.

Алгоритм моделирования полета в целом выглядит следующим образом — управляющая система на основании данных, извлекаемых из ПП, периодически рассчитывает очередное значение планируемого состояния  $\mathbf{X}_r^k$  и сравнивает его с состоянием  $\mathbf{X}_m^k$ , которое сформировано моделью ИНС для истинного состояния  $\mathbf{X}_c^k$ . По результатам сравнения устанавливается новое состояние актуаторов. Для нового состояния актуаторов рассчитывается динамика ориентации БЛА, значения аэродинамических влияний на планер и в конечном счете динамика полного кинематического состояния. Так продолжается, пока не закончится ППЗ. Период оценки рассогласования запланированного состояния от истинного и выдача команд актуаторам задается независимо от шага модельного времени.

### 3. Модель ИНС

Предполагается, что ИНС в составе модели БЛА учитывает вращение Земли. Модель ИНС симулирует вековой дрейф начала собственной системы координат (ССК) и вековой поворот ССК вокруг вертикали. Дрейф ССК моделируется по степенному закону, дрейф поворота — по линейному. Остальной дрейф и погрешности измерений не моделируются — предполагается, что ИНС имеет встроенные возможности корректировки вертикали и оптимальной фильтрации измерительного шума.

Модель ИНС содержит следующие компоненты (каналы), каждый из которых моделируется независимо — канал курса, канал ориентации, канал счисления пройденного пути. Также симулируется выдача воздушной скорости, барометрической высоты, давления и температуры.

Курсовая ошибка определяется ошибкой выставки начального курса (распределена по Гауссу) и конечной скоростью дрейфа курса (распределена по Релею).

Ошибка счисления пройденного пути является накопленной ошибкой и определяется многими факторами, среди которых, в том числе, и ошибки измерения углов. С достаточной для расчетов в рамках модели точностью погрешность выдачи пройденного пути описывается суммой ошибки начальной установки и вековой ошибки, которая моделируется эмпирически по степенному закону. Показатель степени и ошибка начальной установки принимаются распределенными по Гауссу.

#### 4. Модель радиовысотомера

Навигация по рельефу осуществляется на базе данных, выдаваемых имитационной моделью радиовысотомера низких высот (РВНВ). В качестве исходных данных для РВНВ используются цифровые модели рельефа (ЦМР) и местности (ЦММ). Модуль имитационного моделирования РВНВ реализует следующий функционал:

- моделирование выдачи данных о высоте над подстилающей поверхностью на основании входных данных о положении на местности и высоте полета;
- моделирование стохастики на основании сведений о характере и свойствах подстилающей поверхности;
- формирование файла с процессом селектора уровней ЦМР/ЦММ.

Значение высоты, выдаваемое РВНВ формируется на основе ЦМР, ЦММ, и классе подстилающей поверхности в области, накрываемой пятном диаграммы направленности РВНВ. Подстилающая поверхность моделируется как два отражающих уровня, один из которых соответствует уровню рельефа, второй – уровню местности (лес, кустарник, дорога, ...). Сигнал каждого из уровней обладает своими стохастическими характеристиками. Каждый из типов покрытий при этом характеризуется своей парой отражающих уровней.

#### 5. Учет атмосферных явлений и стохастики

Воздействие атмосферных явлений на движение учитывается в рамках классического подхода – разложение на скорость среднего ветра  $V_w$  и пульсационную (турбулентную)  $V'$ . В процессе автономного полета УС стремится поддерживать заданную скорость относительно земной поверхности, поэтому влияние  $V_w$  учитывается только в расходе топлива. Турбулентное воздействие влияет, в основном, на ориентацию БЛА и его боковое и вертикальное движение и моделируется как случайный процесс с заданной спектральной плотностью. Моделируются три компоненты – подъемная сила  $F'_z$  и два момента, приведенные к углам – скольжение  $\beta$  и крен  $\gamma$ . Для генерации случайного процесса с заданным ограниченным спектром используется метод Фурье-Релея.

#### Заключение

Выходные данные системы моделирования представляют собой последовательность кинематических состояний в модельном времени и выводятся в табличном виде, который позволяет их использовать для визуализации средствами программы gnuplot. Система моделирования написана на языке C++ (gcc 5.3.1). Время симуляции полета по маршруту продолжительностью 2700 с на платформе Intel Core2 Quad CPU Q9550 2.83GHz под Linux 4.4.6 составляет менее 3 с при шаге модельного времени 0.01 с, что позволяет использовать систему для оценки вероятности выполнимости полетного задания методом Монте-Карло.

#### Список литературы

1. Лебедев, А.А. Динамика полета БЛА / А.А. Лебедев, Л.С. Чернобровкин. – М.: Машиностроение, 1973. – 616 С., ил.
2. Гуськов, Ю.П. Управление полетом самолетов / Ю.П. Гуськов, Г.И. Загайнов. – М.: Машиностроение, 1980. – 213 С., ил.

## МНОГОАГЕНТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ КАРТ СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ

К.В. Романовский<sup>1</sup>, В.В. Ганченко<sup>2</sup>, А.И. Петровский<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Научно-производственное общество с ограниченной ответственностью «Висма-Планар», Минск, Беларусь;

<sup>2</sup>Государственное научное учреждение «Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси», Минск, Беларусь

*Описана система для построения карт сельскохозяйственных полей в основе которой лежит экспресс-анализ фотографий, получаемых с квадрокоптера.*

### Введение

При принятии решений в процессе мониторинга сельскохозяйственных полей основным является распознавание пораженных заболеваниями участков и составлении карт для их дальнейшего использования роботами и экспертами. Для решения данной задачи предложен многоагентный подход [1]. Разработана многоагентная программно-аппаратная система, включающая пост оператора, сервер и беспилотный летательный аппарат (квадрокоптер). Серверная часть предполагает использование мощного компьютера. Она представлена подсистемами параллельной обработки изображений и принятия решений. Первая из них включает в себя наиболее часто используемые методы обработки фотоаэроснимков, вторая – отвечает за выбор способа построения информационных признаков на основе данных дистанционного зондирования Земли. В результате эксперт получает возможность детального изучения обработанных фотоаэроснимков различными методами, сэкономив при этом время на обработку за счет распараллеливания на современных вычислительных системах.

Пост оператора (мобильный комплекс) – это программные средства (мобильное приложение) и аппаратные средства (пульт управления), предоставляющие возможность отображать информацию о состоянии сельскохозяйственной растительности на карте, которая является набором упорядоченных по географическим координатам цифровых фотографий. Данная подсистема оснащена возможностью экспресс-оценки состояния растительного покрова и определения зон (сегментов) с нарушением фотосинтеза, позволяет получать наглядную информацию о состоянии растительности в рамках целого поля или о его отдельных участках. Скорость обработки данных обуславливается нахождением мобильной платформы непосредственно у изучаемого участка – цифровые фотографии попадают в систему сразу после окончания процесса съемки, без их длительной транспортировки на сервер, а трансляция видео во время полета на пульт управления.

### 1. Структура многоагентной системы

Многоагентная система состоит из мобильного и серверного комплексов (рис. 1).



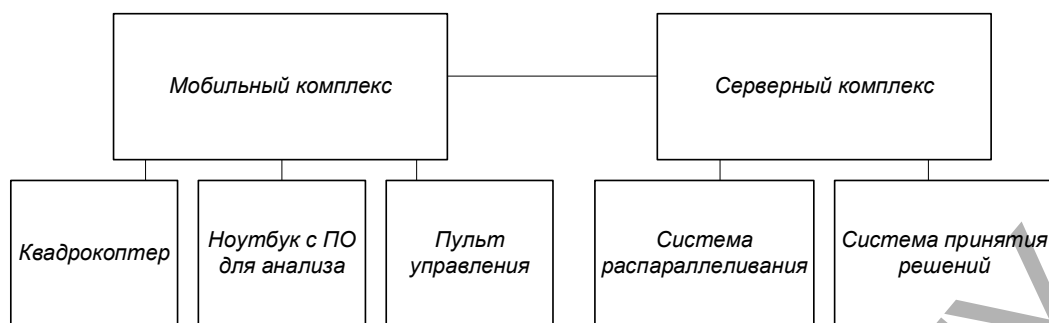


Рисунок 1 – Структура многоагентной системы принятия решений

*Мобильный комплекс* представляет собой источник фотографий (квадрокоптер) и пост оператора, включающий пульт дистанционного управления (ДУ) и ноутбук с установленным приложением для экспресс-анализа состояния сельскохозяйственной растительности и построения информативной карты. Использование мобильного комплекса позволило ускорить процесс принятия решений и построения информативной карты при мониторинге состояния растительности за счет более ранней обработки и экспресс-анализа, проводимых уже на этапе получения информации, а также за счет сокращения объема данных, посылаемых для обработки на сервер.

*Сервер-комплекс* представляет собой мощный стационарный компьютер с системами распараллеливания данных и принятия решений, включающие в себя большой набор разнообразных методов обработки и анализа изображений.

Важной особенностью получаемых снимков является их большой размер, что, вместе с ограниченными вычислительными ресурсами мобильных компьютеров, накладывает определенные требования к алгоритмам обработки данных изображений: возможности их оперативной обработки и распараллеливания, ограничения по типу (точечный, локальный или глобальный) и сложности алгоритмов [1, 2].

С точки зрения вычислительной сложности и необходимости лишь экспресс-анализа на мобильном компьютере предпочтительнее будет использовать алгоритм точечного типа с использованием цветовой модели RGB (Red, Green, Blue – красный, зеленый, синий).

*Источником данных* был выбран беспилотный летательный аппарат (БПЛА), а именно один из современных квадрокоптеров, появившийся в открытой продаже в марте 2016 года - Phantom 4 (Фантом 4). Дальность его полета составляет 5 километров, что позволит охватить поле площадью до 78 квадратных километров расположив пульт управления в его центре. Видеокамера HD 4K с частотой кадров 24,25,30 в секунду непрерывно транслирует видеоизображение на пульт управления. Размер изображения в 4000 на 3000 пикселей – более чем достаточно для качественного мониторинга экспертом. Настраиваемая фотосъемка позволяет делать фотографии качеством в 12 Мп с диапазоном выдержек от 8 с до 1/8000 с. Фотографии создаются в формате JPEG и RAW прямо во время полета. Программа, вшитая в контроллер, позволяет задавать точки облета для получения фотографий в точно заданных местах, что решает проблему построения точной карты. Квадрокоптер, используя спутниковое позиционирование GPS или Глонасс, добавит необходимые метаданные к каждой фотографии, которые необходимы для сортировки и склейки изображений при облете поля.

Пульт ДУ – это многофункциональное устройство беспроводной связи, которое объединяет систему видео по входящей линии связи на земле и системы дистанционного управления квадрокоптером. Видео по входящей линии связи и система дистанционного управления квадрокоптером работают на частоте 2,4 ГГц. Пульт ДУ управляет функциями камеры, такими как принятие и просмотр фотографий и видео, а также управлением движения. Пульт ДУ питается от аккумуляторной батареи 2S. Для построения карты пульт поддерживает настраиваемый режим серийной съемки. Держатель мобильного устройства служит креплением для мобильных устройств (рис. 2). Мобильное устройство подключается к пульту ДУ посредством кабеля USB.

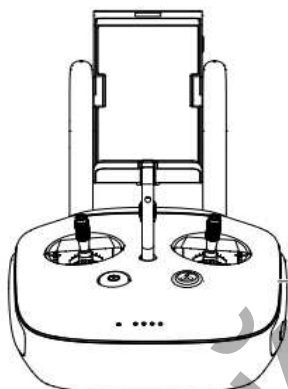


Рисунок 2 – Пульт дистанционного управления с держателем для мобильного устройства

Приложение DJI Pilot, которое необходимо для управления всеми функциями квадрокоптера, совместимо с мобильными устройствами под управлением iOS 8.0 или более поздней версии или android 4.1.2 или более поздней версии. Следующие устройства рекомендуются: iPhone 6 Plus, iPad Air 2, iPad mini 3, Google Nexus 9, Nubia Z7 mini, Note 3. Поддержка других Android устройств возможна после тестирования.

Для проведения экспресс-анализа фотографии необходимо передать на ноутбук с установленным на него мобильным приложением. Необходимо подключить кабель USB к Data Port камеры (рис. 3).



Рисунок 3 – Загрузка фотографий с камеры на ноутбук

Разработанное мобильное приложение включает четыре основных модуля (рис. 4): приемки и передачи информации, обработки изображений, построения карты, хранения данных.

## 2. Алгоритм работы программы построения информативной карты

Алгоритм обработки фотографий и построение карты состоит в следующем:

1. На основе полученных фотографий задаются основные параметры – выбирается пять эталонных цветов, их диапазон и пороговое процентное содержание на фотографии.

2. Производится обработка всех фотографий. Подсчитывается количество пикселей для каждого эталона, выполняется проверка, не превышает ли это количество заданный диапазон. Всякое превышение регистрируется и показывается пользователю на информативной карте.

3. Производится обработка GPS-координат фотографии. Данные берутся из информации, закрепленной за каждой цифровой фотографией согласно стандарту EXIF. Упорядочивая снимки по долготе и широте, формируется информативная карта (на ней указаны проблемные участки сельскохозяйственного поля).

### Заключение

Разработаны структура и алгоритм работы мобильного приложения системы распознавания состояния сельскохозяйственной растительности, что позволило решить задачу построения информативной карты и экспресс-анализа состояния сельскохозяйственной растительности с возможностью задействования мощностей стационарного сервера и производить экспресс-анализ растительности непосредственно возле исследуемого участка, существенно ускоряя работу эксперта.

### Список литературы

1. Бондаренко, И.Б. Принятие технических решений с помощью многоагентных систем / И.Б. Бондаренко [и др.] // Кибернетика и программирование. – 2013. – № 1. – С.16-20. DOI: 10.7256/2306-4196.2013.1.8305 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://e-notabene.ru/kp/article\\_8305.html](http://e-notabene.ru/kp/article_8305.html). – Дата доступа: 20.03.2016.
2. Chao, K. Machine vision technology for agricultural applications / K. Chao, Y.R. Chen, M.S. Kim // Elsevier science transactions on computers and electronics in agriculture. – 2002. – Vol. 36. – P. 173–191.



### 3 СЕКЦИЯ

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ

УДК 681.32

### РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «УМНАЯ ОСТАНОВКА»

А.Н. Жогал<sup>1</sup>, М.М. Концевой<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>КТУП «Брестгортранс», Брест, Беларусь

<sup>2</sup>Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь

*В докладе рассматривается информационная система «Умная остановка». Предлагается расширение ее функционала на основе разработки соответствующего мобильного приложения в контексте интеграции информационной системы «Умная остановка» в современную городскую транспортную инфраструктуру на основе концепции «Умный город».*

#### Введение

Развитие современной городской среды осуществляется на основе «интеллектуальных транспортных систем» (Intelligent Transport Systems, ИТС) – системной интеграции современных информационных и коммуникационных технологий и средств автоматизации с транспортной инфраструктурой, транспортными средствами и пользователями, ориентированной на повышение безопасности и эффективности транспортного процесса [1]. Проектирование, внедрение, продвижение и эффективное использование ИТС представляет собой многокритериальную и многоуровневую задачу [2]. В рамках концепции «Умного города» можно выделить следующие направления развития ИТС: «Умный транспорт», «Умная парковка», «Умная остановка».

#### 1. Информационная система «Умная остановка»

Информационная система «Умная остановка» предназначена для повышения качества транспортного обслуживания населения на основе оперативного информирования пассажиров о работе транспортного комплекса города. Информационная система «Умная остановка» обеспечивает на стационарные мониторы остановочных пунктов отображение информации о реальном времени прибытия транспортных средств на данную остановку и смежные остановки частично дублирующих маршрутов (два маршрута являются частично дублирующими, если с них также можно доехать до требуемого места, цели поездки).

Информационная система «Умная остановка» использует базы данных, в которые собираются данные о маршрутах транспортных средств, оснащенных системами спутникового мониторинга (приемниками GPS).

Информационная система «Умная остановка» основана на использовании клиент-серверной архитектуры. Работа с данными осуществляется на сервере в автоматическом режиме как для безопасности и сохранности данных, так и для оперативного времени их обработки.

Программное обеспечение информационной системы «Умная остановка» в автоматическом режиме осуществляет контроль графика движения по всем маршрутам и видам транспорта; сигнализирует об отклонениях, превышающих заложенные допуски; осуществляет статистику опозданий по маршрутам и водителям отдельно; идентифицирует опоздания, связанные с железнодорожными переездами и с пробками на дорогах. Важным фактором повышения эффективности и развития ИТС является реализация и поддержка их информационно-коммуникационной составляющей на основе мобильных приложений.

## **2. Мобильное приложение «Умная остановка»**

Основные информационные данные предоставляются пассажирам с помощью цифровых мониторов остановочных пунктов. Для полномасштабной реализации информационно-коммуникационного функционала систему «Умная остановка» предлагается дополнить мобильным приложением на базе Android как наиболее популярной операционной системы для мобильных устройств.

Мобильное приложение «Умная остановка» позволит пользователю выбирать временные отрезки и типы сообщений, которые он будет получать на мобильное устройство. Все оповещения пользователь сможет просмотреть в качестве списка сообщений или на интерактивной карте. Пользователь также сможет просмотреть маршруты отдельных транспортных средств, детальное описание выбранного маршрута, а также контактные данные по транспортным средствам. Предполагается, что мобильное приложение предоставит пользователю возможность позвонить или выслать электронное сообщение соответствующему участнику ИТС прямо из окна просмотра уведомления.

Мобильное приложение «Умная остановка» позволит рассчитать время маршрута на общественном транспорте с учетом расписания автобусов и узнать, через сколько минут придет автобус; подскажет сразу несколько вариантов маршрута (пассажиры смогут выбрать самый быстрый и дешевый); установить «будильник», который предупредит о прибытии автобуса через заданное время.

В области ИТС рассматривается много приложений различной природы, требования которых значительно различаются друг от друга. Приложения безопасности дорожного движения, например, требуют высокой надежности, быстрого действия и работы в реальном режиме времени. Приложения, отвечающие за комфорт и эффективность трафика, предъявляют более низкие требования к задержкам по времени, в то время как голосовые и видеоприложения имеют менее высокие требования по надежности. Выбор набора используемых телекоммуникационных технологий доступа всегда должен соответствовать требованиям приложений и сетевой инфраструктуры. Для мобильного приложения «Умная остановка» оптимальной будет сеть передачи данных WiFi, созданная для высокоскоростных интернет-приложений и обеспечивающая высокую скорость и надежность, но, как правило, не в режиме реального времени.

## **3. Транспортные мобильные приложения**

Мобильные приложения сегодня развиваются опережающими темпами. Согласно исследованию Altarix, в 2013 году число пользователей мобильных устройств достигло 6.8 млрд человек, большинство которых использовали уст-

ройства на базе платформы Android, причем профиль посетителей мобильного интернета смещен в сторону молодежи [3]. Высокой популярностью среди транспортных мобильных приложений во всех регионах мира пользуются мобильные сервисы заказа такси, оплаты проезда, парковки, информирования о маршрутах и остановках общественного транспорта.

Как показывают исследования, все более востребованными становятся мультифункциональные транспортные мобильные приложения (сочетание сразу нескольких видов общественного транспорта в одном приложении, заказ такси, поиск и оплата парковок и т.д.). Таким образом, на основе мультифункционального мобильного приложения может быть осуществлена интеграция различных транспортных (и других) уровней концепции «Умный город» и существенно повышен уровень адаптации городской транспортной инфраструктуры к фактическим изменениям обстановки в реальном режиме времени.

#### **4. Семиотический подход к реализации мобильного приложения «Умная остановка»**

Уникальность описываемого мобильного приложения «Умная остановка» заключается в том, что оно реализуется на основе семиотического подхода к логистике городских пассажирских перевозок как совокупности проектных решений, технических средств, методов организации и управления, обеспечивающих заданный уровень удовлетворения транспортных потребностей пассажиров при минимальных затратах [4].

В контексте предлагаемого семиотического подхода пассажирский транспорт анализируется как единство движения материальных и информационных (знаковых, символических) ресурсов. Город в семиотическом контексте рассматривается как сложно организованный многоуровневый гипертекст, а его транспортные потоки могут быть поняты в качестве особой системы знаково-символических коммуникаций. Пассажирские перевозки не просто сопровождаются сопутствующими им потоками информации, но все больше мотивируются последними, удовлетворяя именно информационные, знаково-символические потребности пассажиров.

Предлагаемый семиотический подход позволяет по-новому осуществить декомпозицию логистической системы, выявить новые существенные связи, которые с необходимостью определяют интегративные качества системы, и, в конечном итоге, оказать нужную услугу необходимого качества в нужное время в нужном месте с минимальными затратами, адаптируясь к изменяющимся условиям среды. Семиотические аспекты предполагается реализовать в дизайне и средствах персонализации, повышающих релевантность и пертинентность отклика на поисковые запросы, с большей эффективностью удовлетворяя базисные транспортные потребности пользователя.

#### **Список литературы**

1. Шуть, В.Н. Расширение возможностей оптимального управления транспортными потоками в улично-дорожной сети города / В.Н. Шуть / Електроніка та інформаційні технології. – 2013. – Випуск 3. – С. 193–201 / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://electronics.lnu.edu.ua/elit/pdf/3\\_20.pdf](http://electronics.lnu.edu.ua/elit/pdf/3_20.pdf). Дата доступа: 27.04.2016.

2. Vasilij Shuts. New possibilities in traffic management in the city road network / Shuts Vasilij / The 14th International Conference «RELIABILITY and STATISTICS in TRANSPORTATION and COMMUNICATION – 2014» / [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.tsi.lv/sites/default/files/editor/science/Conferences/RelStat14/shuts.pdf>. Date of access: 27.04.2016.

3. Исследование городских транспортных приложений для Android и iOS (Altarix, 2013) / [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://altarix.ru/assets/themes/web/upload/transport\\_apps\\_research.pdf](http://altarix.ru/assets/themes/web/upload/transport_apps_research.pdf). Дата доступа: 27.04.2016.

4. Концевой, М.М. Семиотический аспект оптимизации логистики пассажирских перевозок / М.М. Концевой // Инновации в технологиях и образовании: сб. ст. участников VII Международной научно-практической конф., 5–6 марта 2015 г.: в 5 ч. – г. Белов, Изд-во ун-та «Св. Кирилл и Св. Мефодия», Велико Тырново, Болгария, 2015. – Ч. 1. – С. 254–258.

УДК 681.32

## О КЛАСТЕРНОЙ МОДЕЛИ ПОТОКОВ В ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ ГОРОДОВ

П.М.Струсинский<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет, Москва, Россия

*В работе исследуется кластерная модель потоков и ее применение для анализа транспортных систем городов. Рассматриваемая модель является новым подходом к моделированию, который учитывает больше параметров, по сравнению с классической волновой теорией (скорость, плотность, интенсивность) и значительно меньше, чем в агентных моделях, где большое количество характеристик приводит к росту погрешности в результатах и усложняет процесс исследования на больших участках городских сетей при длительном времени моделирования. В статье продемонстрированы примеры практического использования модели на городской транспортной сети.*

### 1. Кластерная модель. Основные понятия

#### 1.1. Кластер

**Кластер** – это предельное устойчивое движение двух и более частиц (автомобилей, клеток и т.д.) на одинаковом расстоянии друг от друга в модели следования за лидером. Модель кластера – это прямоугольник, имеющий длину  $d$  и высоту (плотность)  $y$  [1], [2], [3], [4]. Площадь фигуры равна количеству частиц в кластере или массе кластера  $M = y \cdot d$ . Кластер совершает движение по сети со скоростью  $v$ , зависящей от  $y$  [6].

#### 1.2. Кластеры в транспортном потоке

Кластер – это группа автомобилей, движущихся с одинаковой скоростью на равном расстоянии друг от друга. Он имеет длину ( $m$ ), плотность (авт/м) и скорость (м/с). Плотность кластера ( $y$ ) вычисляется с помощью интенсивности ( $q$ ) транспортного потока и его скорости ( $v$ ). Сбор данных производится с по-

мощью последовательного анализа кадров на видео и определения автомобилей на снимке посредством сравнения двух кадров и определения разницы в цветовой схеме. Тогда интенсивность – количество автомобилей, проехавших через отметку на видео, за единицу времени, скорость – отношение расстояния между двумя отметками к времени, за которое автомобиль проехал эти отметки.

При исследовании многополосных носителей поток разделяется на типы: грузовой или медленный и легковой или быстрый, состоящие соответственно из грузовых и легковых транспортных средств. Медленные грузовые кластеры перемещаются преимущественно по крайним правым полосам, быстрые легковые по крайним левым.

На сетях существуют местный (локальный) и транзитный (сквозной) потоки. Соответствующие кластеры могут либо перемещаться только по своему кольцу (местные кластеры), либо по кольцам всей сети с возможностью перехода между ними (сквозные).

### 1.3. Взаимодействие кластеров

Взаимодействие кластеров автомобилей продемонстрировано на примере регулируемого перекрестка.



Рисунок 1 – Взаимодействие групп автомобилей разных плотностей

Приближаясь к перекрестку, скорость автомобилей и расстояние между ними уменьшается постепенно, что является аналогом *локального распространения информации* в кластере. Ближе к пробке автомобили останавливаются, трансформируясь из догоняющего кластера в кластер-пробку, аналогично результату взаимодействия двух и более кластеров на прямой. Взаимодействие кластеров происходит в условиях *тотально-связного потока*, количество транспортных средств *сохраняется* во время взаимодействия.

В самой модели взаимодействие кластеров реализуется с помощью системы дифференциальных уравнений, где каждое уравнение описывает скорость перемещения границы взаимодействия кластеров.

$$\begin{cases} \dot{x}_0 = v_1 \\ \dot{x}_1 = \frac{v_2 y_2 - v_1 y_1}{y_2 - y_1} \\ \dot{x}_2 = \frac{v_3 y_3 - v_2 y_2}{y_3 - y_2} \\ \dots \\ \dot{x}_{n-1} = \frac{v_n y_n - v_{n-1} y_{n-1}}{y_n - y_{n-1}} \\ \dot{x}_n = v_n \end{cases}$$

Результат взаимодействия кластеров, полученный с помощью компьютерной модели, подтверждается наблюдаемыми результатами взаимодействия транспортных потоков на практике.



Рисунок 2 – Взаимодействие кластеров в модели

#### 1.4. Кластерная модель потоков на улично-дорожной сети

Любой замкнутый участок дороги аппроксимируется в виде кольца, где общая протяженность дороги будет составлять его длину. Масса потока на кольце разбивается на кластеры в зависимости от скорости (интенсивности или плотности) потока. В одномерной сети, рассматриваемой на примере городской УДС, учитываются размеры колец и расположение узлов. Общие точки (узлы) на сети являются точками конфликта потоков разных колец. На УДС города такие точки обозначают регулируемые и нерегулируемые перекрестки, прямолинейные участки дороги, общие для двух колец, круговые развязки и места соединения разветвления дорог.

При необходимости аналогичным образом участки городской сети можно представить в виде многополосных носителей [7] или двумерных сетей, позволяющих получить дополнительную информацию и учесть большее число параметров потока. Частными случаями двумерных сетей являются *правильные сети*, встречающиеся в городской УДС города Барселона (Испания).

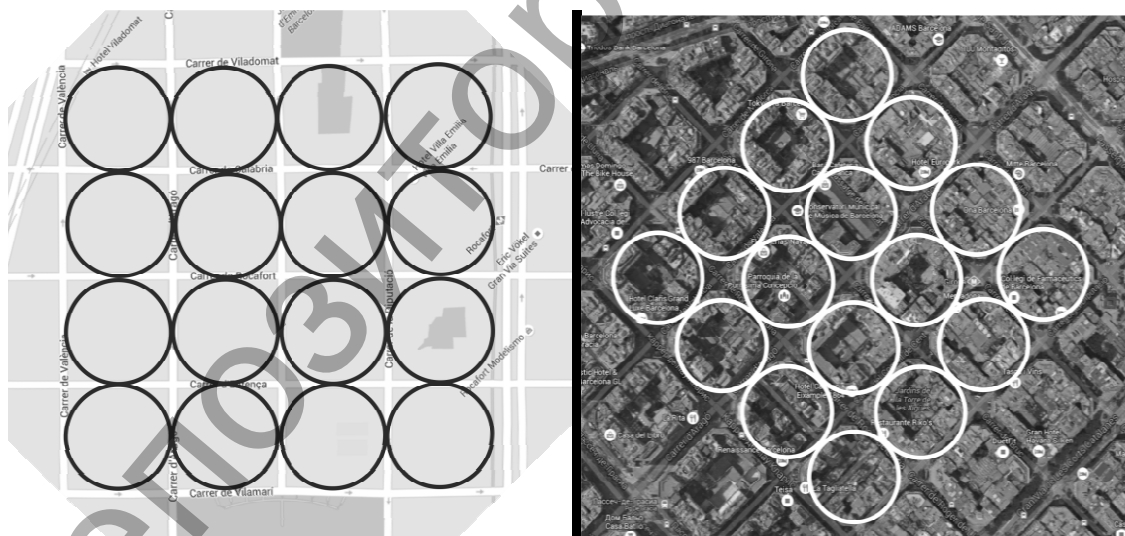


Рисунок 3 – Участок УДС в центре Барселоны в виде правильной двумерной сети

## 2. Исследование взаимодействия транспортных потоков на примере городской УДС

В примере исследуются два простых варианта многополосной сети: двухполосная и трехполосная одномерная замкнутая сеть из двух многополосных колец. На каждой сети распределены локальный и сквозной потоки одинаковой массы 62800 транспортных средств.

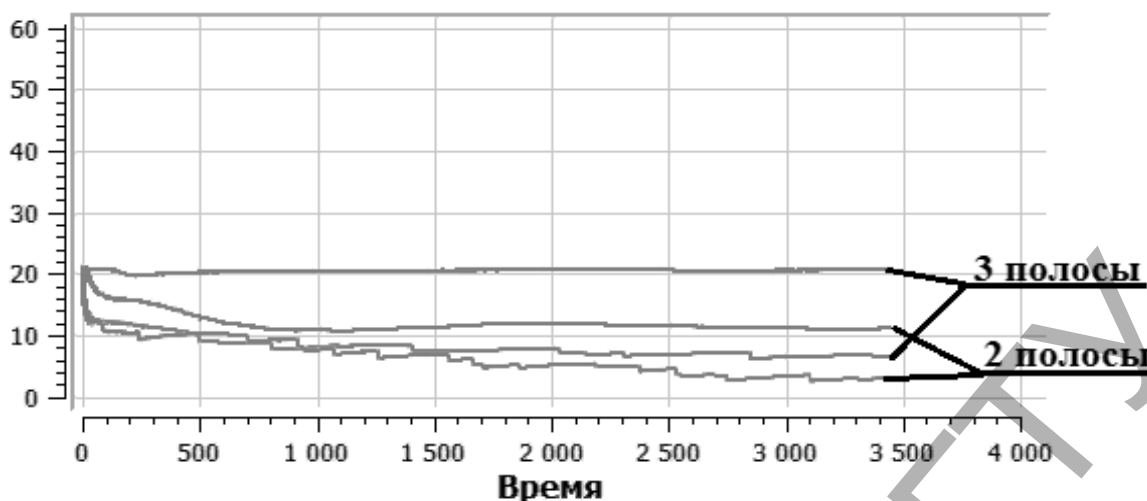


Рисунок 4 – Сравнение средней скорости двух типов потока на 2-х и 3-х полосах

Локальные кластеры перемещаются только по своим кольцам преимущественно по внутренним полосам. Сквозные движутся только по крайней внешней полосе и меняют кольцо при приближении к перекрестку. В результате компьютерного моделирования получена средняя скорость локального и сквозного потоков. Проведено сравнение полученных результатов: скорость локального потока во втором случае *возросла на 90 %*, сквозного *на 40 %*.

## Список литературы

1. Bugaev A.S. Distributed problems of monitoring and modern approaches to traffic modeling / A.S. Bugaev, A.P. Buslaev, V.V. Kozlov, M.V. Yashina // 14<sup>th</sup> International IEEE conference on intelligent transportation systems (ITSC-2011) – Washington, USA, 2011. – P. 477-481.
2. Buslaev A.P. Cluster flow models and properties of appropriate dynamic systems / A.P. Buslaev, A.G. Tatashev, M.V. Yashina // Journal of Applied Functional Analysis – 2012. – V.8. – P. 54-76.
3. Buslaev A.P. Stability of Flows on Networks / A.P. Buslaev, A.G. Tatashev, M.V. Yashina // Proceedings of the International Conference “Traffic and Granular Flows -2005” – Springer, 2006. – P. 427-435.
4. Kozlov V.V. Metropolis traffic modeling: from intelligent monitoring through physical representation to mathematical problems / V.V. Kozlov, A.P. Buslaev // International conference on computational and mathematical methods in science and engineering – 2012. – V.1. – P. 750-756.
5. Buslaev A.P. Cluster flow of totally-connected flow with local information / A.P. Buslaev, M.V. Yashina // International conference on computational and mathematical methods in science and engineering (CMMSE) – 2012. – V.1. – P. 225-232.
6. Buslaev A.P. Computer simulation analysis of cluster model of totally-connected flows on the chain mail / A.P. Buslaev, P.M. Strusinskiy // New results in dependability and computer systems, 8<sup>th</sup> DepCoS-RELCOMEX 2013. – Springer, 2013. – P.63-71.
7. Strusinskiy P.M. On cluster flow models on multi-lane supporters / P.M. Strusinskiy // Proceedings of the 14<sup>th</sup> International Conference on Computational and Mathematical Methods in Science and Engineering, CMMSE 14. – 2014. – P. 1208-1218.

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХЖИДКОСТНОЙ МОДЕЛИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА

Д.В. Капский<sup>1</sup>, В.В. Касьяник<sup>2</sup>, О.А. Капцевич<sup>3</sup>, В.Н. Кузьменко<sup>1</sup>,  
Д.В. Мозалевский<sup>1</sup>, А.В. Евтух<sup>2</sup>, В.Н. Шуть<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь;

<sup>2</sup>Брестский государственный технический университет, Брест, Беларусь;

<sup>3</sup>ОАО «Агат – системы управления» – управляющая компания холдинга  
«Геоинформационные системы управления»), Минск, Беларусь

*В статье рассмотрены метод оценки параметров транспортных потоков с использованием двухжидкостной математической модели Германа-Пригожина и разработанная на основе предложенного метода система оценки параметров на основе пассивной обработки навигационных данных о движении транспортных средств.*

### Введение

В настоящее время в большинстве развитых стран мира актуальной проблемой в сфере транспорта является перегруженность дорожных сетей движением. Прежде всего, эта проблема характерна для ключевых магистралей, по которым осуществляются значительные объемы грузовых и пассажирских перевозок, а также для улично-дорожных сетей городов, где сосредоточена большая часть парка личного автотранспорта.

На сегодняшний день в мире накоплен значительный опыт реализации мероприятий, направленных на решение этой проблемы. Эти мероприятия подразделяются на три основные группы:

– меры, направленные на повышение максимальной пропускной способности дорожной сети (строительство и реконструкция дорожных объектов);

– меры, направленные на повышение эффективности использования пропускной способности существующей дорожной сети (совершенствование организации дорожного движения, включая применение автоматизированных систем управления дорожным движением);

– меры, направленные на регулирование объема и структуры транспортного спроса (введение различных ограничений на движение и парковку автотранспортных средств, снижение потребностей экономики и населения в перевозках за счет мероприятий в сфере территориального планирования и т.д.).

При этом методологической основой для разработки подобных мероприятий и принятия научно обоснованных решений для их реализации все в большей степени служит применение методов математического моделирования функционирования существующих и проектируемых транспортных систем, использование которых позволит:

– оценить эффективность планируемых мероприятий, как с использованием эксплуатационных, так и экономических показателей;

– выявить возможные отрицательные последствия их внедрения;

– разработать научно обоснованную программу их реализации.



Прогнозирование эффекта от различных мер по управлению пропускной способностью дорожной сети требует решения различных задач транспортного моделирования:

- прогнозирование эффекта от строительства или реконструкции дорожных объектов требует моделирования распределения ТП на дорожной сети;
- оценка эффективности мер по совершенствованию организации дорожного движения, как правило, требует моделирования движения индивидуальных автомобилей в ТП;
- оценка эффективности мер по регулированию транспортного спроса требует моделирования объема и структуры потребности населения и экономики в поездках.

## 1. Постановка задачи

Объектами исследования являются транспортные потоки (ТП) на магистралях Республики Беларусь, навигационная информация и другие источники информации, алгоритмы их обработки с целью получения оценок параметров ТП.

Основными направлениями исследования являются вопросы научно-методического и алгоритмического обеспечения процессов мониторинга параметров ТП на основе обработки данных о движении транспортных средств (ТС) для оценки параметров ТП с использованием навигационной информации.

Основными задачами при этом являются:

- разработка метода расчета основных параметров ТП с использованием двухжидкостной математической модели Германа-Пригожина на основе пассивной обработки навигационных данных о движении ТС на магистралях и улично-дорожных сетях (УДС) с учетом особенностей их движения;
- разработка системы оценки параметров ТП, обеспечивающей сбор навигационных данных, хранение, верификацию данных треков, управления данными дорожных участков (улиц), расчет параметров ТП с использованием вышеуказанного метода и кластеризацию дорожных участков (улиц) по полученным параметрам.

## 2. Описание модели транспортного потока

Одной из наиболее популярных моделей, применяемых для решения задач оценки параметров ТП на магистралях и УДС, является двухжидкостная модель ТП Германа-Пригожина [4].

В качестве основных характеристик ТП для расчетов с использованием двухжидкостной математической модели Германа-Пригожина рассматриваются: интенсивность, объем движения, средняя скорость движения, время сообщения, коэффициент загрузки движением.

С использованием данной модели определяются нелинейные зависимости между удельным временем в пути, затрачиваемым на единицу расстояния, и удельным временем задержек на единицу расстояния.

Модель Германа-Пригожина очень привлекательна для практического использования, поскольку она по сравнению с другими моделями легко применима при проведении регулярных обследований условий дорожного движения, и

целесообразность ее применения была обоснована в ранее проведенных научных исследованиях по данной тематике [6].

Предлагаемая модель Германа-Пригожина позволяет осуществлять интегральную оценку качества организации движения с использованием данных, поступающих от навигационного оборудования.

Важное свойство кинетической теории описания ТП Р. Германом и И. Пригожиным заключается в том, что могут быть рассмотрены и отображены два различных режима движения [2]. Это индивидуальный и коллективный потоки, которые функционально зависимы от концентрации ТС (плотности потока).

При незначительной плотности потока движение осуществляется в режиме индивидуального потока. При повышении плотности потока движение переходит в состояние коллективного потока. В данном случае поток становится в значительной мере независимым от желаний индивидуальных водителей в выборе режима движения.

На основании того, что кинетическая теория изучает многополосное движение (более присущее городскому движению), Р. Германом и И. Пригожиным была выдвинута теория двух потоков движения, как характеристики движения коллективного потока по дорожной сети. При этом ТС в составе потока движения разделены на две группы – движущиеся и остановившиеся ТС. Последние включают ТС, остановившиеся в самом потоке, т.е. остановившиеся на перекрестках, остановившиеся из-за помех движению (например, по причине загрузки или разгрузки ТС, которые блокируют полосу движения), остановившиеся по причине обычного затора движения и т.д., но исключают находящиеся вне движения средства (например, припаркованные автомобили).

Модель двух потоков представляет макроскопическое измерение качества функционирования дорожной сети. Модель базируется на двух исходных предположениях:

- средняя скорость движения по дорожной сети пропорциональна доле ТС, находящихся в движении;
- длительность задержек ТС, двигающегося по дорожной сети, пропорциональна количеству ТС, остановившихся в данный момент времени.

Параметры, используемые в модели Германа-Пригожина, состоящей из двух потоков (движущиеся и стоящие ТС), представляют средние данные, определенные в масштабе всей дорожной сети за данный период времени.

Рассмотрим более подробно эти параметры.

В соответствии с приведенными выше положениями ТП в любой момент времени состоит из двух частей:

$f_r$  – движущихся ТС;

$f_s$  – стоящих ТС (очереди на подходах к перекресткам, транспортные заторы).

При этом соблюдается условие  $f_r + f_s = 1$ , а сама доля стоящих ТС  $f_s$  определяется отношением

$$f_s = \frac{1}{T_s}, \quad (1)$$

где  $T_s$  – удельные затраты времени, вызванные задержками (на перекрестках, в транспортных заторах и т.д.), мин/км.

Средние удельные затраты времени (или темп движения)  $T$ , (мин/км) являются суммой среднего удельного времени движения  $T_r$  (мин/км) и удельного времени задержек  $T_s$  (мин/км):

$$T = T_r + T_s. \quad (2)$$

Средняя скорость движущихся ТС  $V_r$  определяется как произведение:

$$V_r = V_m \cdot f_r^n, \quad (3)$$

где  $V_m$  – средняя максимальная скорость движения на дорожной сети или на рассматриваемом ее участке;

$n$  – показатель, характеризующий качество функционирования дорожной сети или ее рассматриваемого участка, указывающий, как по мере роста загрузки сети падает скорость движения.

С учетом задержек средняя скорость движения по дорожной сети или ее рассматриваемому участку  $V$  рассчитывается как:

$$V = V_m \cdot f_r^{n+1}. \quad (4)$$

Учитывая балансовое равенство  $f_r + f_s = 1$ , уравнение (4) может быть представлено в виде

$$V = V_m \cdot f_r^{n+1} = V_m \cdot (1 - f_s)^{n+1} \quad (5)$$

при этом граничные условия модели (5):

если  $f_s = 0$ , то  $V = V_m$ ,

если  $f_s = 1$ , то  $V = 0$ .

Принимая время поездки в расчете на единицу длины  $T$ , время в движении в расчете на единицу длины  $T_r$  и среднее время задержек при проезде участка единичной длины  $T_s$ , получаем соотношения:

$$T = \frac{1}{V} \quad \text{и} \quad T_m = \frac{1}{V_m},$$

где  $V$  – средняя скорость движения по дорожной сети с учетом задержек;

$T_m$  – среднее минимальное время проезда участка единичной длины.

Параметр  $T_m$  характеризует минимальные удельные затраты времени на движение в свободных условиях, т.е. при очень низком уровне загрузки сети, при котором отсутствует взаимодействие между ТС в потоке.

Это позволяет полагать, что  $T_m$  соответствует условиям свободного движения и отражает геометрические характеристики дорожной сети, линейную плотность размещения перекрестков, пешеходных переходов, примыканий и т.д.

В свою очередь, параметр  $n$ , получивший название критерия Германа-Пригожина, отражает влияние уровня загрузки на снижение скорости движения ТП. Его можно рассматривать как индикатор качества обслуживания ТП.

Второе исходное положение двухжидкостной модели заключается в том, что длительность задержек ТС, двигающегося по дорожной сети, пропорциональна количеству ТС, остановившихся в данный момент времени. В соответствии с этим второе предположение модели математически отображается как:

$$f_s = \frac{T_s}{T}. \quad (6)$$

Соотношение (6) показывает, что условия движения по дорожной сети могут быть оценены на основе фиксации характеристик движения любого ТС, которое находится на данной дорожной сети [1].

Уравнение (4) можно переформулировать для осуществления оценки условий поездки по удельным затратам времени следующим образом:

$$T = T_m(1 - f_s)^{-(n+1)},$$

$$T = T_m\left(1 - \frac{T_s}{T}\right)^{-(n+1)},$$

$$T_r = T_m^{\frac{1}{(n+1)}} \cdot T^{\frac{1}{(n+1)}}.$$

В этом случае общая формула модели Германа-Пригожина получает следующий вид:

$$T_s = T - T_m^{\frac{1}{(n+1)}} \cdot T^{\frac{1}{(n+1)}}. \quad (7)$$

Представленные выше модель и критерий Германа-Пригожина  $n$  позволяют получить системную оценку транспортной ситуации на дорожной сети в целом, т.е. возможность количественно измерять чувствительность условий движения к изменению загрузки дорожной сети.

Уникальность модели состоит в том, что при оценке влияния уровня загрузки дорожной сети на условия движения не требуется определять уровень загрузки, т.е. определять интенсивность ТП и пропускную способность элементов дорожной сети. Для оценки параметров  $n$  и  $T_m$  необходимы лишь данные об удельных показателях времени поездки  $T$  и времени простоя  $T_s$ .

Логарифмическое преобразование равенства (7) в следующий вид:

$$\ln T_r = \frac{1}{(n+1)} \cdot \ln T_m + \frac{n}{(n+1)} \cdot \ln T, \quad (8)$$

обеспечивает возможность применения линейной регрессии для получения зависимости между параметрами  $n$  и  $T_m$ .

С целью использования линейной регрессии выражение (8) преобразуют к виду:

$$\ln T_r = \ln T_m + n(\ln T - \ln T).$$

Уравнение линейной зависимости упрощает саму процедуру регрессионного анализа и позволяет пользоваться стандартными статистическими методами оценки параметров ТП.

Исследования подтвердили положения теории двух потоков [3, 5]. Одновременно было установлено, что дорожные сети могут быть охарактеризованы двумя параметрами модели  $-n$  и  $T_m$ . Это подтверждается вычислениями на основе экспериментальных данных, полученных по результатам обследований дорожных сетей крупнейших городов мира.

Модель Германа-Пригожина может применяться:

- для сравнения дорожных сетей между собой или сравнения участков в пределах одной дорожной сети;
- для сравнения особенностей поведения водителей и движения отдельных типов ТС;
- для детальной оценки влияния геометрических и других параметров дорожной сети на условия дорожного движения;
- в моделировании ТП с целью оценки прогнозируемых условий движения.

Классификация дорожных сетей на основе параметров, входящих в состав модели Германа-Пригожина, позволяет прогнозировать скорости сообщения и затраты времени на передвижение на любом заданном участке дорожной сети.

Классификация может быть построена, например, с применением кластерного анализа экспериментально установленных значений параметров  $T$ ,  $T_r$  и  $T_s$  [7].

По степени влияния уровня загрузки дорожным движением на темп движения  $T$  дорожные сети классифицируются следующим образом:

- не реагирующие на увеличение загрузки (1, 2 классы) –  $n = 0$ ;
- имеющие слабую реакцию (5 класс) –  $n = 1,22$ ;
- имеющие умеренную реакцию (6, 8, 9 классы) –  $n = 2,50-2,90$ ;
- имеющие сильную реакцию (3, 7 классы) –  $n = 3,70-4,90$ ;
- имеющие максимальную реакцию (4, 10 классы) –  $n = 5,40-7,01$ .

Полученные классы или аналогичные могут использоваться:

- для детальной оценки условий движения и качества организации движения с использованием навигационного оборудования автомобилей (систем GPS и ГЛОНАСС);
- для верификации результатов микро- и макро моделирования ТП

### **3. Реализация системы оценки параметров транспортных потоков**

На базе двухжидкостной модели Германа-Пригожина реализована программная система, которая позволяет производить количественную оценку параметров дорожного движения с использованием навигационных данных, а также их визуализацию с использованием геоинформационной системы Google Maps [2, 4, 19].

Программный комплекс, предлагаемый для решения поставленных задач, реализован на базе клиент-серверной архитектуры (рисунки 1 и 2).

Клиентская часть реализована и представлена двумя типами устройств – встроенным навигационным модулем в составе ТС или мобильным приложением на базе ОС Android.

Визуальная часть разработана в соответствии с требованиями Google [14] для интерфейса Android приложений.



Рисунок 1 – Архитектура системы оценки параметров транспортных потоков



Рисунок 2 – Состав системы оценки параметров транспортных потоков

При получении физического адреса текущего местоположения был использован стандартный Geocoder [8].

Данные пользователя отправляются на облачный сервер Parse.com для последующего хранения и экспорта в нужном формате. Для работы с данными для Parse.com была использована библиотека Parse.com [11].

Серверная часть реализована в виде веб-приложения, которое предназначено для решения следующих задач:

1. Загрузка треков из файла. При этом могут использоваться как собственные треки в формате JSON [10], полученные с помощью клиентского приложения, так и треки сторонних организаций в формате CSV.
2. Обработка треков с использованием модели Германа-Пригожина.
3. Визуализация полученных результатов с наложением на картографический сервис Google Maps [10].
4. Кластеризация участков дорожной сети с использованием параметров модели Германа-Пригожина [17].

Для отображения в web был использован Фреймворк Flask [9]. В качестве картографической основы использовался сервис Google Map v3 [13]. Для мани-

пуляции с картой: построения точек, маршрутов, был использован язык программирования JavaScript [12].

Для работы с базой данных использовалась ORM SQLAlchemy [15], в качестве СУБД был применен SQLite [16].

По окончании анализа треков и расчета параметров с использованием модели Германа-Пригожина строится отчет, который представляет собой файл в текстовом формате.

Техническое обеспечение программного комплекса оценки параметров ТП включает в себя:

- мобильное устройство для сбора информации о движении – навигационный модуль в составе ТС или мобильное устройство с GPS-приемником (операционная система Android версии 4.0 и выше) с активированной функцией передачи данных;
- SDK Parse.com [11] для ОС Android – библиотека, которая упрощает работу с платформой Parse.com на мобильном устройстве;
- программные продукты транспортных компаний, которые предоставляют навигационные данные в формате CSV;
- автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора, включающее персональный компьютер под управлением операционной системы семейства Linux. При разработке АРМ использовались виртуальное окружение (virtual env), а также Фреймворк Flask [9], веб-приложение разработано использованием языка программирования Python [18];
- облачный сервис Parse.com [11] для хранения передаваемых данных от клиентов.

#### 4. Апробация программного комплекса оценки параметров транспортных потоков с использованием экспериментальных данных

Для проверки функционирования работы модели Германа-Пригожина в составе программного комплекса оценки параметров ТП были использованы маршруты, созданные и добавленные по результатам работы модуля определения дорожных участков, а также набор треков, полученный по результатам работы модуля выделения треков, совпадающих с созданными маршрутами.

Для тестирования данного функционала разработанной системы был выбран участок магистрали М-1 от Кобрина до Дзержинска (рисунок 3).



Рисунок 3 – Участок международной магистрали М-1 выбранный для анализа

Отчет по результатам расчета параметров ТП с использованием модели Германа-Пригожина для данного участка транспортной магистрали представлен на рисунке 4.

```

=====
Номер маршрута: 230
Адрес: Е30, Дзержинск-Кобрын, Беларусь
Начальная точка: [53.64997985644802, 27.07310199737549]
Конечная точка: [52.23320787003185, 24.430932998657227]
Расстояние по прямой: 236813 метра(ов)
Расстояние по дороге: 246949 метра(ов)
Скорость: 80.8 км/ч
=====
#   TT      RT      logTT      logRT      TT*TT      TT*RT      x-avg(x)      (x-avg(x))^2
1   15686.014942.09.6605238737726   9.6119313185357   93.3257215157306   92.8562919757772   0.1298575119255   0.0168629784035
2   11637.011628.09.3619449561081   9.3611712616798   87.6460138611975   87.6387700765374   -0.1687214057390   0.0284669127546
3   14062.012944.09.5512314027591   9.4693876392983   91.2260213090517   90.4347613539618   0.0205650409120   0.0004229209077
4   13398.012620.09.5028607210682   9.4430381360982   90.3043618840211   89.7358761910483   -0.0278056407789   0.0007731535591
5   15686.014942.09.6605238737726   9.6119313185357   93.3257215157306   92.8562919757772   0.1298575119255   0.0168629784035
6   12669.012669.09.4469133436021   9.4469133436021   89.2441717215265   89.2441717215265   -0.0887530182451   0.0070145680652
=====

x - logTT      y - logRT

Полгономочные параметры для y=kx+b
k              =   0.822026497023356
b              =   1.656101885896798

Параметры модели Германа-Пригожина
n              =   4.618813942945377
Tmin          =   10996.456542833406274
Tmin_ud       =   44.529261275945260

Статус: ОК
=====

```

Рисунок 4 – Отчет по результатам расчета параметров Германа-Пригожина

Как видно из данного отчета, участок трассы имеет длину 246 километров, средняя скорость ТС на данном участке составляет 81 км/ч. Качество обслуживания для данного участка равно 4.61, что соответствует максимальной реакции на увеличение загрузки транспортной магистрали на основании ранее приведенной классификации.

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что на данном участке магистрали при увеличении нагрузки средняя скорость движения будет сильно уменьшаться, а время проезда может существенно увеличиваться.

Таким образом, учитывая исключительную важность данной магистрали, при организации дорожного движения необходимо прорабатывать варианты совершенствования инфраструктуры магистрали с целью уменьшения влияния нагрузки на характеристики и качество транспортного сообщения.

## Заключение

Разработан метод оценки основных параметров ТП с использованием двухжидкостной математической модели Германа-Пригожина на основе пассивной обработки навигационных данных о движении ТС на транспортных магистралях и УДС городов.

Основным достоинством и новизной разработанного метода (в отличие от традиционного использования математической модели Германа-Пригожина на основе активной обработки навигационных данных) является пассивная обработка GPS-треков, что позволяет существенно повысить качество и адекватность результатов модели.

Разработана система оценки параметров ТП, включающая модули сбора навигационных данных, хранения, верификации данных треков, управления данными дорожных участков (улиц), подсистемы расчета параметров ТП с ис-



пользованием математической модели Германа-Пригожина и кластеризации дорожных участков (улиц) по полученным параметрам.

Основными достоинствами и новизной разработанной системы являются:

- облачная обработка данных (использование для хранения больших объемов данных облачного хранилища);
- наличие клиентского мобильного приложения для ОС Android для сбора данных в дополнение к возможности работы с уже собранными навигационными данными от навигационно-информационного центра и других источников;
- поддержка форматов современных GPS-трекеров;
- использование для расчетов и обработки данных современных веб-технологий;
- масштабируемость и настраиваемость системы.

Работоспособность предложенных алгоритмов, математических моделей оценки параметров ТП и системы в целом подтверждена в ходе ее апробации с использованием набора треков на основных магистралях Беларуси.

Полученные результаты оценки параметров ТП могут применяться с целью повышения эффективности и качества деятельности государственных органов, служб и компаний в сфере транспорта для поддержки принятия решений по учету и перераспределению ТП в пределах транспортных магистралей и УДС, анализу транспортной нагрузки, оптимальной организации дорожного движения, а также при модернизации существующих и проектировании новых дорожных сетей.

## Список литературы

1. Ardekani, S.A. Urban Network-Wide Variables and Their Relations / S.A. Ardekani, R. Herman // *Transportation Science*. – 1987. – Vol. 21, No. 1.
2. Herman, R.A Two-Fluid Approach to Town Traffic / R. Herman, I. Prigogine // *Science*. – 1979. – Vol. 204. – P. 148–151.
3. Nelson, P. The Prigogine-Herman kinetic model predicts widely scattered traffic flow data at high concentrations / P. Nelson, A. Sopasakis // *Transportation Res.* – 1998. – Part B, 32. – P. 589–604.
4. Prigogine, I. Kinetic theory of vehicular traffic / I. Prigogine, R. Herman. – N.Y.: Elsevier, 1971.
5. Studying the EBB and flow of stop-and-go; Los Alamos Lab using cold war tools to scrutinize traffic patterns Alan Sipress Washington Post Staff Writer, Thursday, August 5, 1999, Last updated 1/31/00.
6. Разработка системы оценки параметров транспортных потоков в рамках транзитных транспортных коридоров на территориях государств – участников СНГ на основе обработки навигационных данных о движении транспортных средств: отчет о НИР «Поток-СНГ-РБ» / ОАО «Агат – системы управления» – управляющая компания холдинга «Геоинформационные системы управления»; научн. рук. О.А. Капцевич. – Минск, 2015. – 319 с.
7. Румянцев, Е.А. Совершенствование методов оценки условий движения транспортных потоков на городской улично-дорожной сети / Е.А. Румянцев // *Вестник Иркутского Государственного Технического Университета*. – 2012. – № 9. – С. 148–151.
8. Directions Service // Сайт «Google Developers» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/directions>.
9. Flask // Сайт «Flask (A Python Microframework)» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://flask.pocoo.org/>.

10. Google Maps Javascript API // Сайт «Google Developers» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://developers.google.com/maps/documentation/javascript/examples/event-simple>.
11. Parse Android Developers Guide // Сайт «Parse» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://parse.com/docs/android/guide>.
12. jQuery API Documentation // Сайт «jQuery» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://api.jquery.com/>.
13. Location and Sensors APIs // Сайт «Android developers» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://developer.android.com/guide/topics/sensors/index.html>.
14. Material design // Сайт «Google design guidelines» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.google.com/design/spec/material-design/introduction.html>.
15. SQLAlchemy // Сайт «SQLAlchemy – The Database Toolkit for Python» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sqlalchemy.org/>.
16. SQLite Documentation // Сайт «SQLite» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sqlite.org/docs.html>.
17. Алгоритмы семейства FOREL // Сайт «Википедия» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Алгоритмы\\_семейства\\_FOREL](https://ru.wikipedia.org/wiki/Алгоритмы_семейства_FOREL).
18. Лутц, М. Изучаем Python / М. Лутц. – 4-е изд. – 2010. – 1280 с.
19. Блинкин, М.Я. Системная оценка условий движения на базе модели Германа-Пригожина (часть 1) / М.Я. Блинкин (НИИТДХ), Б.А. Ткаченко (ЦИТИ) // Сайт «Транспортные системы городов и зон их влияния» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://waksman.ru/Russian/Org&B/2008/blinkin1.htm>.

**УДК 656.07**

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АРХИТЕКТУРНОГО ПОДХОДА ПРИ ВЫБОРЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ**

В.М. Курганов<sup>1</sup>, А.Н. Дорофеев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Тверской государственный университет, Тверь, Россия;

<sup>2</sup>Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,  
Москва, Россия

*Как показывает практика, приобретение программного обеспечения для автоматизации транспортно-логистического процесса часто происходит исходя из субъективной оценки лиц, принимающих решения. При этом в большинстве случаев определяющим фактором является стоимость продукта и сопутствующих услуг. А стратегические цели, миссия, видение, анализ требований различных заинтересованных сторон и формализация бизнес-процессов практически не применяется. Однако, именно эти этапы являются основными при использовании архитектурного подхода, в том числе при рассмотрении TMS как объекта инвестиций с целью повышения доходности транспортного бизнеса.*

В современном мире стратегия развития практически любого предприятия неразрывно связана с использованием информационных и телекоммуникационных технологий. В последние десятилетия средства вычислительной техники кардинальным образом изменили методы и подходы ведения бизнеса во многих отраслях экономики, в том числе в организации и управлении цепями поставок.

Так, для повышения степени координации использования материально-технических ресурсов при оказании логистических услуг определяющую роль играют интегрированные IT-решения [1]. При этом следует отметить, что существенное повышение эффективности и конкурентоспособности транспортно-логистического обеспечения компании достигается при значительной роли человеческих ресурсов, за счет тесной взаимосвязи стратегии предприятия, его бизнес-процессов, организационной структуры и IT-инфраструктуры [2]. Такое объединение различных составляющих деятельности организации в единое целое получило название Архитектура Предприятия (Enterprise Architecture).

Концепция архитектурного подхода получила свое начало в работе Дж. Захмана [3], которая в дальнейшем послужила основой для разработки других моделей – DoDAF, TOGAF, CIMOSA, GERAM и др. Модель Захмана можно использовать в качестве инструмента, позволяющего анализировать и классифицировать различные схемы систем управления транспортной деятельностью. Модель представляет собой матрицу, состоящую из шести столбцов, описывающих основные сферы менеджмента предприятия, а также пяти (шести) строк, содержащих точки зрения сотрудников различных уровней управленческой иерархии с соответствующим уровнем детализации – владелец компании, ее директор, руководители подразделений, персонал среднего звена и т.д. Очевидно, что у директора компании и диспетчера будет разное видение на то, каким образом должна функционировать компания, чтобы успешно работать на рынке логистических услуг. На каждом уровне иерархии необходимо ответить на вопросы «Что? Как? Где? Кто? Когда? Почему?».

- Что? - какие данные необходимы для управления транспортной деятельностью компании;
- Как? - как эти данные использовать в процессах управления цепями поставок;
- Где?- где эти данные рождаются и куда отправляются для последующей обработки согласно сетевой топологии;
- Кто? - какие сотрудники будут использовать эти данные;
- Когда? - на каких этапах те или иные данные будут использоваться в процессах управления транспортной деятельностью;
- Почему? - с какой целью эти данные будут использоваться для управления.

В настоящее время на рынке присутствует довольно большое количество информационных систем управления перевозочным процессом, получивших название TMS «Transportation Management System». Их функционал варьируется в широком диапазоне и охватывает обширный круг задач (рис. 1).

Среди этих систем представлены как российские разработки, так и зарубежные. Среди иностранных TMS известны решения мировых производителей ERP-систем, таких как IBM, SAP, Oracle. TMS здесь представляют собой специализированные модули, являющиеся частью мощных пакетов класса управления предприятием. Российский сегмент программного обеспечения для управления транспортно-логистической деятельностью можно условно разделить на 1С и не-1С решения. Известно, что 1С является платформой для разработки собственных IT-решений в различных отраслях, в том числе и в управлении перевозочными процессами. Можно выделить следующие информационные системы на платформе 1С, присутствующие на рынке: «1С-РАРУС: Транспортная логистика и

экспедирование», «1С-РАРУС: Управление автотранспортом», «БИТ: Экспедирование», «БИТ: Управление транспортной логистикой», «1С:TMS Логистика», «AXELOT: TMS Управление транспортом и перевозками».

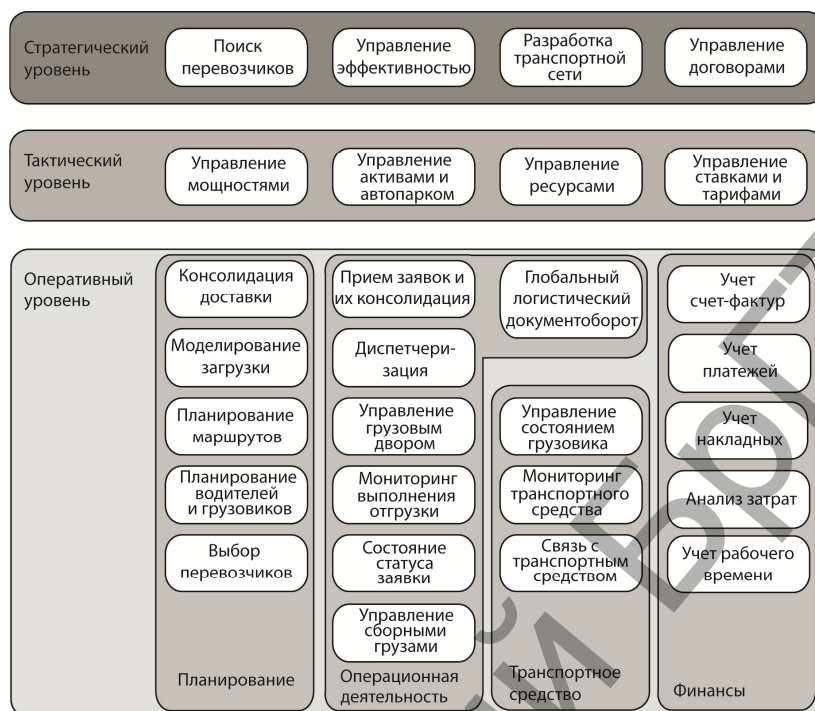


Рисунок 1 – Функциональные модули Transportation Management System

В настоящее время в России продукция компании 1С является лидером в сегменте программного обеспечения для автоматизации бухгалтерии. Система реализуется в рамках концепции «база данных - платформа - приложение». В понятие «платформа» включаются метаданные, объекты, собственный язык программирования, что позволяет разработчику делать гибкие настройки конфигурации системы, включая глубокую модификацию интерфейса и бизнес-логики.

В то же время немалая часть транспортно-логистических компаний предпочитает не привязываться к платформе 1С, несмотря на то, что нередко используют бухгалтерское программное обеспечение этой фирмы. Эти предприятия по различным причинам ориентируются на TMS-решения, независимые от 1С. Такими примерами являются известные на рынке следующие информационные системы управления транспортом и логистикой: «Транс-Менеджер», «Mercury TMS», «IT-Box Грузоперевозки, Логистика, Склад», «BPMonlineCargo», «Antor LogisticMaster», «SmartTruck», «Автобаза». В представленных TMS в различной степени реализован функционал, ориентированный как на решение задач оперативного управления, так и на поддержку тактического и стратегического планирования деятельности, связанной с эксплуатацией автомобилей, а также диспетчеризацией и маршрутизацией.

Рассматривая реализацию проекта TMS с точки зрения архитектурного подхода, следует иметь в виду, что, кроме непосредственно внедрения программного обеспечения, анализу и возможной трансформации подлежат бизнес-процессы и организационная структура предприятия, а также аппаратное обеспечение. Очевидным фактом является то, что в «коробочной» информационной системе (commercial-off-the-shelf, COTS) реализована та бизнес-логика,

которую в нее заложили разработчики. Соответственно, в процессе внедрения той или иной TMS необходимо осуществить «подгонку» ее под технологию работы конкретного предприятия.

Следует отметить, что процесс выбора TMS является мультикритериальной задачей (англ.- multiple criteria decision making (MCDM)) и в настоящее время имеет ряд методов и подходов ее решения. В частности, как следует из анализа литературных источников, популярными являются метод взвешенной суммы критериев (МВСК, англ. – weighted sum method (WSM)), метод анализа иерархий (МАИ, англ. Analytical Hierarchy Process (AHP)), метод ELECTRE и т.д. Так при использовании МАИ (AHP) исходя из основной цели выстраивается иерархия, в которой на разных уровнях происходит последовательная детализация факторов, влияющих на достижение цели. На каждом уровне лица, принимающие решения, проводят парные сравнения и дают оценки каждой из альтернатив. Иерархическую сеть процесса выбора TMS можно представить в виде следующей модели [4] (Рис.2)

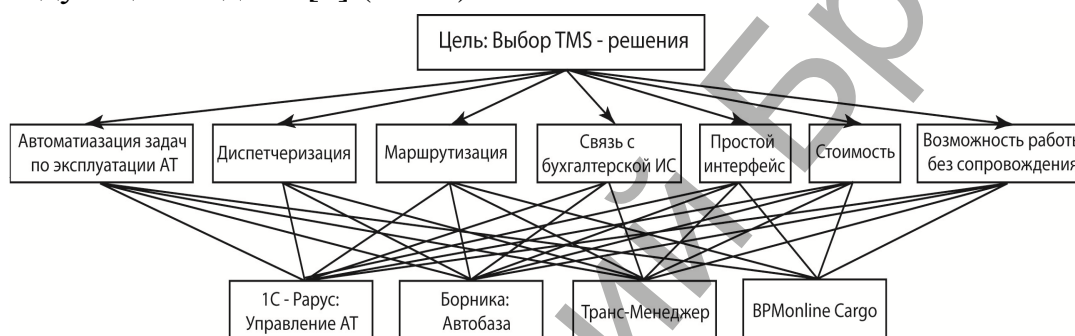


Рисунок 2 – Иерархическое представление задачи выбора TMS

Используя МАИ как инструмент принятия решений, можно более точно сформулировать ответы соответствующих разделах «Что? Как? Где?» с необходимой степенью детализации, тем самым сфокусировав и выделив управленческую проблему с точки зрения бизнес-правил [5]. Кроме того, благодаря этому методу, можно также лучше понять социальные аспекты, обозначенные разделами «Кто? Когда?», касающиеся структуры организации, а также мотивационные – раздел «Почему?». Рассматривая этот подход при выборе TMS в контексте Архитектуры Предприятия в сопоставлении с моделью Захмана, можно получить оценки наиболее предпочтительных альтернатив для каждой из точек зрения владельца/директора компании, руководителей подразделений, менеджеров, пользователей информационной системы

## Список литературы

1. Laurence Saglietto, François Fulconis, Gilles Pache Strategic alignment as a key factor of success for the 4PL development: A research program, perspective.// IRMA International Conference. -2007-. P. 1178-1179
2. Rémi Founou. The role of IT in logistics. Competitive advantage or strategic necessity?// 2nd Swiss Transport Research Conference, - 2002
3. Zachman J., A Framework for Information Systems Architecture, IBM Systems Journal, - Vol. 26,- №3, - 1987, - P.276-292
4. Дорофеев А. Н., Курганов В. М. Информационные системы для автомобильных перевозок // Мир транспорта. 2015. Т. 13. № 3. - С. 156-171.
5. Feglar, T., Levy, J.K.: Dynamic Analytic Network Process: Improving Decision Support for Information and Communication Technology.// ISAHP - 2005

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПОЛНЯЕМОСТИ АВТОБУСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ

И.А. Горяева, Е.Н. Вавилова

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

*Проведено исследование влияния количества пассажиров в автобусе на давление в шинах и расход топлива с использованием спутниковой навигации. Исследование проводилось с использованием оборудования АвтоГраф и PressurePro. Установлены зависимость давления в шинах автобуса и расхода топлива от количества пассажиров.*

### Введение

Современные приборы спутниковой навигации позволяют фиксировать параметры в приложении к месту и времени с автоматической передачей данных. Для многих предприятий пассажирского транспорта актуальной проблемой является определение пассажиропотоков [1], так как продажа билета фиксирует только факт поездки, но не её продолжительность. Идеальным дополнительным параметром для определения пассажиропотоков является наполняемость автобусов. Нами было проведено исследование возможности определения количества пассажиров в автобусе по давлению в шинах и расходу топлива, так как каждый пассажир имеет вес, который воздействует на шины. Предположение о влиянии количества пассажиров на расход топлива основывается на том, что нормы расхода топлива для грузовых автомобилей учитывают влияние загрузки (расход топлива на транспортную работу), хотя фактический расход несколько отличается от нормативных значений [2].

### 1. Действующие нормативы и международный опыт

Действующий ГОСТ Р 54723-2011 «Глобальная навигационная спутниковая система. Системы диспетчерского управления городским пассажирским транспортом. Назначение, состав и характеристики решаемых задач подсистемы анализа пассажиропотоков» предусматривает наличие автоматизированной системы мониторинга и анализа пассажиропотоков на маршрутах городского пассажирского транспорта, схема которой представлена на рис. 1.

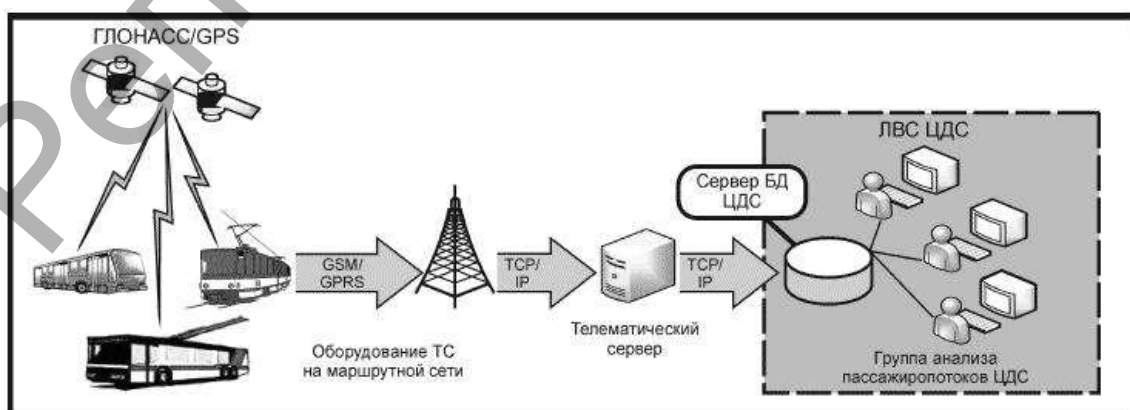


Рисунок 1 – Схема автоматизированной системы по ГОСТ Р 54723-2011

В настоящее время наибольшее распространение получили комбинированные методы автоматизированного обследования пассажиропотоков, потому что они обеспечивают большую точность обследования. Так автоматизированная система, применяемая на предприятии пассажирского транспорта RATP [3] (Сен-Дени, Париж, Франция) включает в себя учёт входящих пассажиров с помощью автоматического турникета, а учёт выходящих пассажиров с помощью специального устройства у выходной двери, срабатывающего от воздействия ноги пассажира при выходе.

Практика использования данной системы французскими перевозчиками показала, что погрешность такой автоматизированной системы не превышает 5%.

Исходя из вышесказанного, очевидно, что для повышения надёжности автоматизированного обследования пассажиропотоков лучше использовать комбинированные методы, поэтому возникло предложение определять количество пассажиров по расходу топлива и давлению в шинах, учитывая встроенные возможности спутникового и бортового оборудования автобусов.

## 2. Исследование

Для проведения исследования был оборудован автобус марки Ford Transit. Вместимость автобуса составляет 14 пассажирских мест, то есть он относится к категории М2. Автобус немецкого производства.

Необходимое оборудование включало:

1. Бортовой контроллер мониторинга "Автограф-GSM+" (основной навигационный модуль, который собирает в себя всю информацию и передает на сервер).

2. Датчики давления V8 PressurePro (устанавливаются на каждое колесо – 6 штук).

3. Монитор давления в шинах PressurePro на 16 колес (является концентратором для показаний датчиков и визуализирует информацию).

4. Универсальный конвертор RS-232 <-> RS-485 (обеспечивает подключение системы контроля давления к бортовому контроллеру "Автограф-GSM+").

5. Адаптер CAN-LOG (обеспечивает считывание данных от транспортного средства, передаваемых по CAN-шине).

6. CAN-считыватель бесконтактный niCAN (обеспечивает подключение к CAN-шине транспортного средства без нарушения изоляции проводов).

7. RS232 кабель питания и скачивания информации (питание на монитор + передача данных из монитора).

8. Антенна монитора давления (обеспечивает связь датчиков с монитором).

Указанное оборудование позволяет собирать информацию о расходе топлива и давлению в шинах в реальном масштабе времени с привязкой к местоположению транспортного средства.

Монитор давления в шинах PressurePro с помощью антенны собирает данные с датчиков давления. Датчики давления крепятся снаружи непосредственно на ниппель. Такая конструкция выбрана для того, чтобы минимизировать затраты на шиномонтаж, минусом является незначительный дисбаланс колеса.



Для установления зависимости между давлением в шинах, расходом топлива и количеством пассажиров проводилось обследование по маршруту №12.

Разработка программного модуля по передаче данных по расходу топлива и давлению в шинах с привязкой к данным спутникового мониторинга сделала возможным автоматизированное получение данных по расходу топлива и местоположению в задаваемых фиксированных точках (остановках общественного транспорта). Выгрузка данных из системы АвтоГраф осуществлялась в формате CSV.

Пример визуализации данных по давлению в шинах и расходу топлива представлен на рис. 2.

Статистические данные собирались по разным дням недели и времени суток. Полученные результаты по влиянию количества пассажиров на расход топлива представлены на рис. 3, а на давление в шинах на рис. 4.

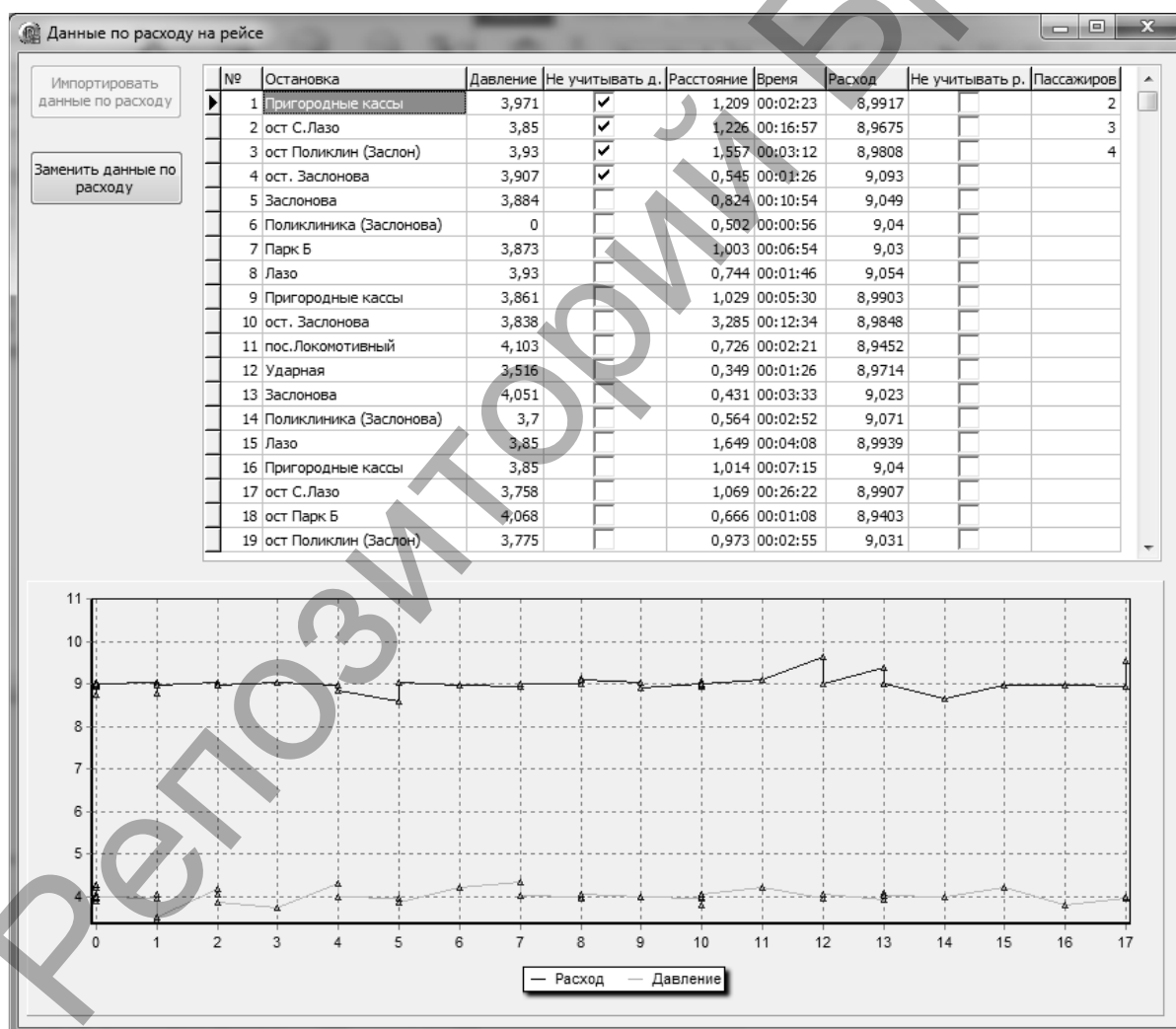


Рисунок 2 – Визуализация данных



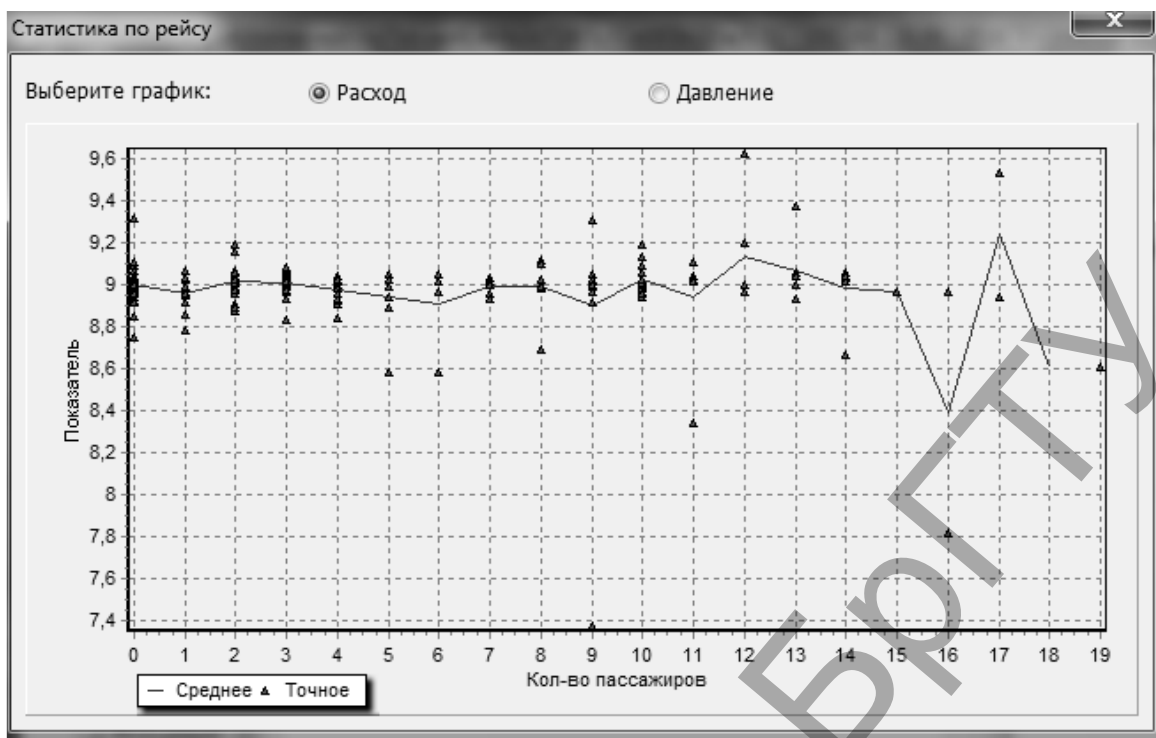


Рисунок 3 – Расход топлива

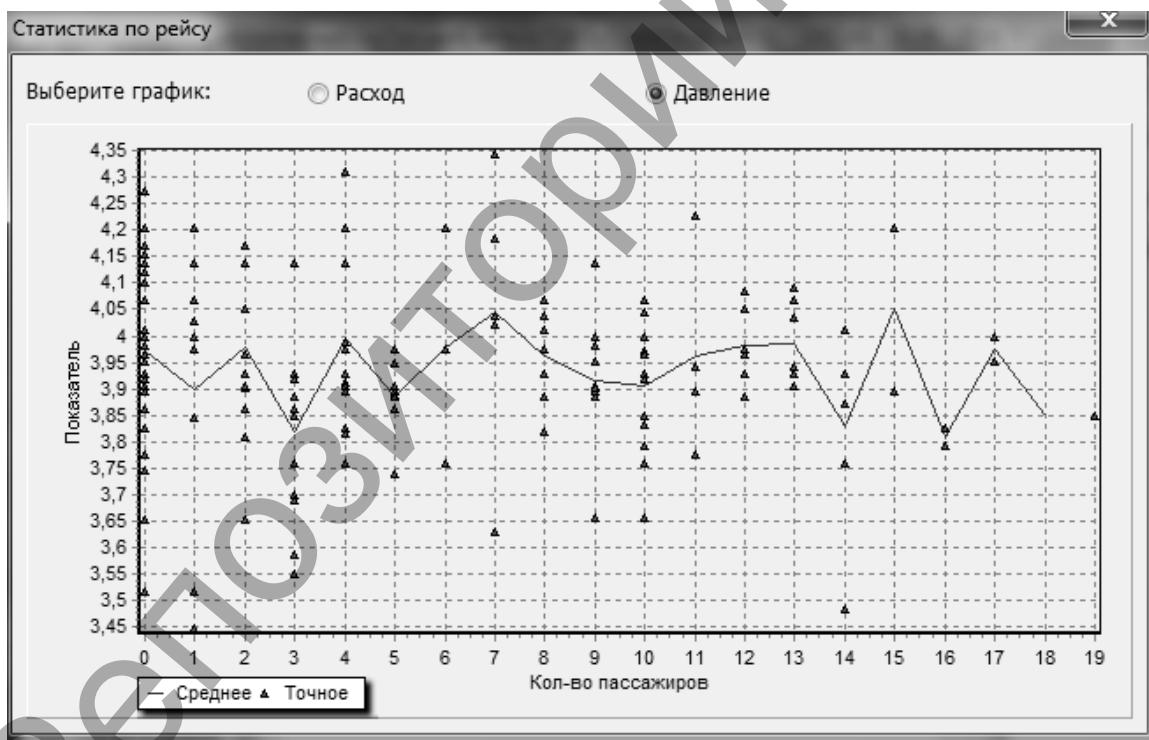


Рисунок 4 – Давление в шинах

### 3. Выводы

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что количество пассажиров в автобусе незначительно влияет на расход топлива и давление в шинах. Так как эта зависимость носит не достоверный характер для рассматриваемых условий, определение наполняемости автобусов по данным косвенным показателям не представляется возможным.

## Список литературы

1. Ларин, О.Н. Особенности управления пассажирскими перевозками в муниципальных образованиях / О.Н. Ларин, В.Н. Смолин. – Транспорт Урала. – 2009, №2. – С. 9–10.
2. Горяев, Н.К. Совершенствование нормирования расхода топлива на транспортную работу / Н.К. Горяев, Е.Н. Вавилова. – Вестник Южно-Уральского государственного университета, серия «Экономика и менеджмент». – 2014, Т. 8, № 2. – С. 195–197.
3. Горяев, Н.К. Опыт организации пассажирских перевозок в Париже / Н.К. Горяев. Проблемы и перспективы развития Евроазиатских транспортных систем: материалы четвёртой Международной научно-практической конференции, под ред. О.Н. Ларина, Ю.В. Рождественского. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – С. 84–88.

УДК 656.13

## ОПТИМИЗАЦИЯ НОРМИРОВАНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ

Н.К. Горяев

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

*Существующие нормы расхода топлива, утвержденные Министерством транспорта Российской Федерации, не соответствуют современным дорогам и транспортным средствам. Главным недостатком этих норм является постоянный уровень расхода топлива на транспортную работу, вне зависимости от полной массы транспортного средства. Были собраны и проанализированы данные по расходу топлива при междугородных перевозках. Были выявлены основные факторы, влияющие на расход топлива. С использованием спутниковой навигации были предложены методические рекомендации по совершенствованию нормирования расхода топлива.*

### Введение

В России нередки случаи, когда водители допускают несанкционированное использование подвижного состава и слив топлива, что приводит к увеличению расхода топлива. Для снижения расхода топлива транспортные средства оборудуются спутниковой навигацией (GPS/ГЛОНАСС) с приборами учёта расхода топлива. Однако, такое решение приводит к существенным дополнительным затратам. Для снижения затрат предлагается использовать спутниковую навигацию для совершенствования нормирования расхода топлива. Объективные нормы расхода топлива дисциплинируют водителей и стимулируют к экономичному стилю вождения.

### 1. Действующие нормативы и ранее проведённые исследования

В настоящее время в соответствии с нормами расхода топлива, утверждёнными Министерством транспорта России, расход топлива при междугородных перевозках рассчитывается по формуле:

$$Q=(H_{tr}+H_{fi}(G_{s/tr}+G_{load}))(1+0,01K), \quad (1)$$

где  $H_{tr}$  – базовый расход топлива для седельного тягача, литров на 100 км ( $H_L = 17$  – среднее значение);

$H_{ft}$  – расход топлива на транспортную работу, литров на 100 тонно-км ( $H_W = 1,3$  – постоянная для дизельного топлива);

$G_{s/tr}$  – снаряженная масса полуприцепа, тонн;

$G_{load}$  – масса груза, тонн;

$K$  – суммарный поправочный коэффициент, %.

Суммарный поправочный коэффициент включает в себя более 10 коэффициентов, учитывающих условия перевозок, климатические условия, возраст подвижного состава. Последний коэффициент очень важен, потому что средний возраст подвижного состава в России превышает 10 лет. Этот коэффициент в настоящее время следующий: для подвижного состава 5–8 лет расход топлива увеличивается на 5%, а для подвижного состава старше 8 лет на 10%. Очевидно, что реальное увеличение расхода топлива в процессе эксплуатации подвижного состава происходит плавно и не носит такой ступенчатый характер. Ранее проведенные исследования для седельных тягачей VOLVO FH12 с полуприцепами SCHMITZ [1] показали, что расход топлива увеличивается на 1% за каждый год в эксплуатации.

Расход топлива для подвижного состава полной массой 40 тонн в соответствии с формулой один (1) составляет около 50 литров на 100 км, в то время как контрольные измерения показывают уровень 38–40 литров для этих условий. Аналогичные данные финских исследователей показывают, что средний расход топлива при междугородных перевозках составляет 39,6 литра на 100 км [2]. Очевидно, что существующие нормы расхода топлива неадекватны. Основным несоответствием является постоянный норматив расхода топлива на транспортную работу на 100 тонно-км для подвижного состава различной массы. Так, в работе Копфера [3] указывается, что по общепринятой в Германии методике расход топлива на транспортную работу (в литрах на 100 тонно-км) существенно зависит от полной массы транспортного средства (таблица 1).

Таблица 1 – Расход топлива на транспортную работу

Категория ТС	Полная масса (тонн)	Расход топлива на транспортную работу (литров на 100 тонно-км)
$ТС_{40}$	40	0,36
$ТС_{12}$	12	0,76
$ТС_{7,5}$	7,5	1,54
$ТС_{3,5}$	3,5	3,31

## 2. Исследование

Для сбора данных была использована система спутниковой навигации GPS/ГЛОНАСС с устройством контроля расхода топлива. Оборудование показано на рис. 1.



Рисунок 1 – Оборудование для сбора данных

Данное оборудование позволяет точно определить пробеги и расход топлива. Получаемые с заданной периодичностью данные передаются с использованием мобильной связи на сервер. Для просмотра получаемых данных имеется программа, которая сразу рассчитывает расход топлива за каждую езду (рис. 2).

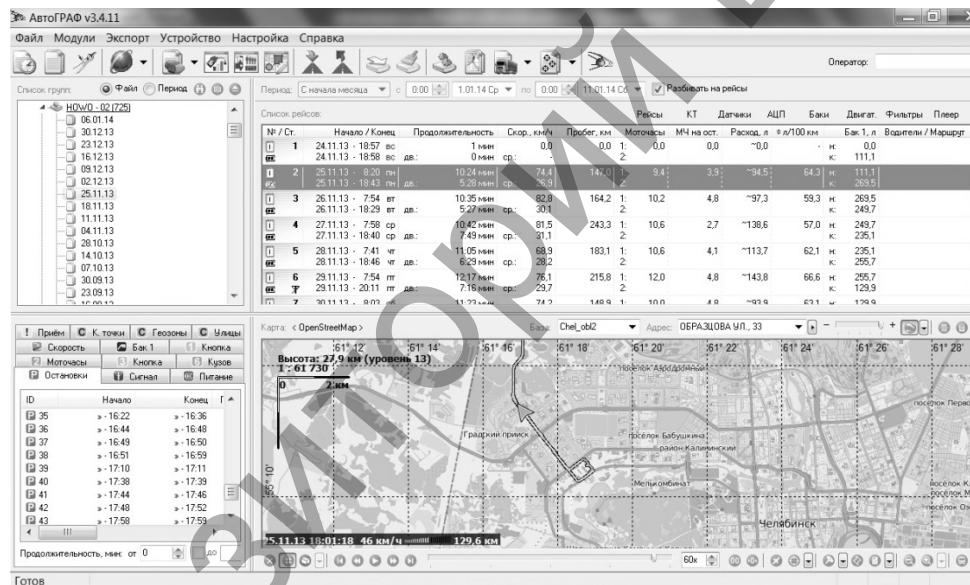


Рисунок 2 – Программа для анализа данных

Для определения реального уровня расхода топлива на транспортную работу было проведено исследование по данным ООО «ЮжУралМониторинг» для седельных тягачей DAF XF105 с полуприцепами Schmitz S01, произведенных в 2008, 2011 и 2012 годах, которые находятся в эксплуатации в различных транспортных компаниях. Была собрана информация о 160 езках, выполненных в конце 2012–2013 годов.

Вначале были проанализированы данные по порожним пробегам. Пример данных по порожним пробегам новых DAF XF 105 представлен в таблице 2. Средний расход топлива для седельных тягачей DAF XF105 с полуприцепами Schmitz S01 составил 22,3 литров на 100 км с учётом поправки на возраст подвижного состава. Данный результат соответствует существующим Российским нормам расхода топлива.

Таблица 2 – Данные по порожним пробегам

Ездка (откуда – куда)	Расход топлива (литров на 100 км)
Челябинск – Уфа	21,2
Тверь – С-Петербург	22,9
Самара – Челябинск	23,3
Тверь – Рязань	22,9
Уфа – Курган	21
Саратов – Воронеж	22,6
Троицк – Челябинск	20,8
Пласт – Челябинск	20,1
Челябинск – Юрюзань	20,9
Челябинск – Миасс	22,5

Как было сказано выше, основным недостатком существующих норм являлся постоянный норматив расхода топлива на транспортную работу. Для его определения были собраны данные по груженным езлкам. Пример данных по гружёным езлкам для нового седельного тягача DAF XF 105 с полуприцепом Schmitz S01 представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Данные по гружёным езлкам

Дата	Ездка (откуда – куда)	Груз, тонн	Расход топлива (литров на 100 км)
11.01.13	Челябинск – С-Петербург	10	25,7
15.01.13	С-Петербург – Челябинск	22	39,8
22.01.13	Челябинск – Москва	20	37,8
27.01.13	Москва – Новосибирск	20	35,9
02.02.13	Новосибирск – Челябинск	20	37,0
07.02.13	Челябинск – Москва	20	39,0
15.02.13	Москва – Челябинск	20	36,0
19.02.13	Челябинск – С-Петербург	22	40,1
24.02.13	С-Петербург – Челябинск	22	39,9
04.03.13	Челябинск – Москва	20	36,1

### 3. Выводы

Исследование расхода топлива на транспортную работу показало, что реальный уровень существенно ниже существующего норматива и составляет 0,76 литра на 100 тонно-км для автопоездов с седельными тягачами DAF XF 105 с полуприцепами Schmitz S01.

В соответствии с вышесказанным, для расчёта расхода топлива при междугородных перевозках предлагается следующая формула:

$$Q = (H_{rt} + H_f G_{load}) (1 + 0,01T), \quad (2)$$

где  $H_{rt}$  – базовый расход топлива для автопоезда, литров на 100 км (рассчитывается в соответствии с общепризнанной методикой с учётом всех коэффициентов, включая возрастной);

$H_f$  – расход топлива на транспортную работу, литров на 100 тонно-км ( $H_w = 0,76$  – для двухосных магистральных автопоездов);

$G_{load}$  – масса груза, тонн;

$T$  – возраст подвижного состава.

Предложенная формула расчёта расхода топлива является более простой и адекватнее определяет расход топлива при междугородных перевозках.

## Список литературы

1. N. Goryaev. The effectiveness of long-distance haulage in the context of market reforms in Russia. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, volume 54, 4 October 2012, pp. 286–293.
2. H. Liimatainen, P. Stenholm, P. Tapio, A. McKinnon. Energy efficiency practices among road freight hauliers. *Energy policy*, 2012, pp. 833–842.
3. H. Kopfer. Emissions minimization vehicle routing problem: approach subjected to the weight of vehicles. Flexibility and adaptability of global supply chains, *Proceedings of the 7th German-Russian Logistics Workshop DR-LOG 2012*, St. Petersburg, pp. 245–250.

УДК 656:681.32

## ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ РАЗРЕШАЮЩЕГО СИГНАЛА ДЛЯ ПРОПУСКА МАКСИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ, РАСПРЕДЕЛЕННЫХ В ВИДЕ ИМПУЛЬСОВ ИНТЕНСИВНОСТИ ПРИБЫТИЯ

Д.В. Капский<sup>1</sup>, Д.В. Навой<sup>2</sup>, Д.В. Рожанский<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь;

<sup>2</sup>УГАИ ГУВД Мингорисполкома, Минск, Беларусь

*В статье рассмотрены подходы к учету распределения импульса интенсивности в рамках светофорного цикла и созданный алгоритм определения продолжительности разрешающего сигнала для пропуска максимального количества транспортных средств, распределенных в виде импульсов интенсивности прибытия в структуре светофорного цикла.*

## Введение

АСУ ДД представляет собой комплекс технических средств, реализующий определенные технологические алгоритмы управления транспортными потоками [1, 2, 3].

**По пространственному критерию** все алгоритмы светофорного регулирования делятся на локальные и сетевые [3, 4, 5].

Алгоритм светофорного регулирования является локальным, если для определения параметров регулирования на перекрестке используется только информация о транспортных потоках на подходах к этому перекрестку и в зоне перекрестка [6, 7, 8]. При этом локальный алгоритм может использовать информацию, полученную как непосредственно на стоп-линиях, так и на отдаленных подходах к перекрестку (200–400 м от стоп-линии). Локальные алгоритмы определяют цикл регулирования, последовательность фаз регулирования, их длительности или моменты переключения фаз, параметры промежуточных тактов. Для определения перечисленных параметров используется информация о гео-

метрических характеристиках перекрестка, интенсивности и составе транспортных потоков на подходах к нему и/или на геометрических направлениях проезда через перекресток, наличии и/или отсутствии транспорта и пешеходов в различных зонах перекрестка (на стоп-линиях, в конфликтных точках).

Особенностью сетевых алгоритмов является использование для определения параметров регулирования информации о транспортной ситуации на нескольких перекрестках, обычно связанных в единую сеть, характеризующуюся значительной интенсивностью движения транспорта между соседними перекрестками и небольшими (до 600–700 м) расстояниями между ними. Как правило, на сетевом уровне определяются циклы регулирования для группы перекрестков и сдвиги. Для определения этих параметров используется информация о топологии сети, геометрических характеристиках входящих в нее перекрестков, интенсивности и составе транспортных потоков на подходах к ним и/или на геометрических направлениях проезда через перекрестки, временах проезда между соседними стоп-линиями.

**По временному критерию** все алгоритмы светофорного регулирования делятся на методы, реализующие управление дорожным движением по прогнозу и методы, действующие в реальном времени (адаптивные алгоритмы) [3, 8, 9]. При этом к адаптивным методам традиционно относятся и алгоритмы, использующие краткосрочный прогноз транспортной ситуации на ближайшие 3–15 мин. Управление по прогнозу (или жесткое управление) не исключает достаточно частого (до 3–5 раз в суточном цикле) изменения параметров регулирования, однако эти параметры определяются не исходя из текущей транспортной ситуации, а методом ее прогноза, основанного на выполненных ранее (за сутки, неделю или более длительный период) наблюдениях.

Промежуточное положение между адаптивными и неадаптивными алгоритмами занимают методы, основанные на ситуационном управлении. Методы этой группы предполагают предварительный расчет параметров регулирования для различных классов транспортных ситуаций и создание библиотеки типовых режимов регулирования. Выбор конкретного режима из библиотеки производится в реальном времени на основании текущей информации о транспортной ситуации и отнесении ее к одному из классов транспортных ситуаций.

Однако все вышеперечисленные алгоритмы недостаточно обеспечивают эффективное использование времени основного и промежуточного тактов, что достигается учетом времени прибытия (импульса интенсивности) автомобилей в расчетный период времени [10, 11, 12].

### **Алгоритм определения продолжительности разрешающего сигнала**

Распределение импульса интенсивности в светофорном цикле задано функцией  $f$ , определенной на отрезке  $[a, b]$ , где  $a$  – время начала цикла,  $b$  – время окончания цикла. Для определения максимального объема движения, необходимого для пропуска в течение горения времени разрешающего сигнала, требуется найти отрезок  $[u, v]$  в цикле светофора длины  $T$ ,  $a \leq u, v \leq b$  такой, что объем движения транспортного потока (площадь) под графиком функции  $f$  на отрезке  $[u, v]$  была максимальной (рисунок 1).

Функция  $f$  описывает интенсивность прибытия транспортных средств к перекрестку по одному направлению.

Обозначим левый край искомого отрезка  $[u, v]$  через  $x$ . Тогда искомая площадь равна

$$S(x) = \int_x^{x+T} f(t) dt.$$

Получаем следующую задачу на экстремум функции одной действительной переменной:

$$S(x) = \int_x^{x+T} f(t) dt \rightarrow \max;$$

$$a \leq x \leq b - T.$$

Для решения этой задачи продифференцируем функцию  $S(x)$ :

$$S'(x) = \left( \int_x^{x+T} f(t) dt \right)' = \left( \int_a^{x+T} f(t) dt - \int_a^x f(t) dt \right)' =$$

Известно, что точкой, в которой функция  $S$  достигает максимума, является либо точка  $a$ , либо точка  $b - T$ , либо точка  $x$  такая, что  $S'(x) = f(x + T) - f(x) = 0$ . Таким образом, для того чтобы решить задачу (1), нужно решить уравнение  $f(x+T) - f(x) = 0$ . Для этого предложен алгоритм. Новизна алгоритма заключается в использовании для расчетов продолжительности цикла и разрешающего сигнала такого параметра, как импульс интенсивности, распределенный в цикле регулирования.

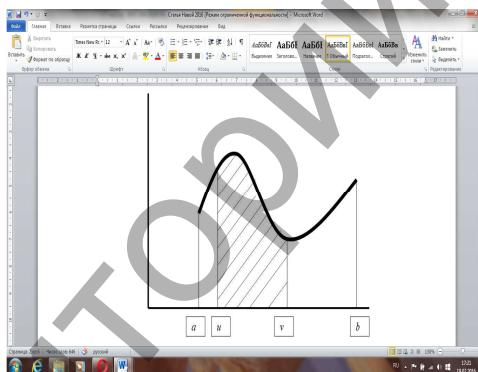


Рисунок 1 – График функции  $f$  на отрезке  $[u, v]$

А точка  $u$  дает представление о сдвиге начала включения разрешающего сигнала в не только в структуре цикла, но и по отношению к соседним регулируемым перекресткам, что позволяет моделировать приход «пачки» к соседним перекресткам и минимизацию потерь на магистрали.

### Список литературы

1. Воробьев, Э.М. АСУ дорожным движением / Э.М. Воробьев, Д.В. Капский. – Минск: УП НИИСА, 2005. – 88 с.
2. Координированное управление дорожным движением: монография / Ю.А. Врубель [и др.]. – Минск: БНТУ, 2011. – 230 с.
3. Системы и средства автоматизированного управления дорожным движением в городах / Е.Б. Хилажев [и др.]. – М.: Транспорт, 1984.
4. Иносэ, Х. Управление дорожным движением / Х. Иносэ, Т. Хамада; пер. с англ. – М.: Транспорт, 1983. – 248 с.
5. Капитанов, В.Т. Управление транспортными потоками в городах / В.Т. Капитанов, Е.Б. Хилажев. – М.: Транспорт, 1988. – 144 с.



6. Врубель, Ю.А. Управление дорожным движением: учебно-методическое пособие / Ю.А. Врубель. – Минск: БНТУ, 2007.
7. Врубель, Ю.А. Организация дорожного движения: в 2 ч. / Ю.А. Врубель. – Минск: Белорусский фонд безопасности дорожного движения, 1996. – 634 с.
8. Капский, Д.В. Концепция развития автоматизированных систем управления дорожным движением в Республике Беларусь / Д.В. Капский, Е.Н. Кот // Научно-технический журнал «Вестник БНТУ». – 2005. – № 5 – С. 63–66.
9. Микропроцессоры в управлении транспортными потоками / Е.Б. Хилажев [и др.]. – М.: Транспорт, 1987.
10. Рожанский, Д.В. Разработка методик применения периферийного оборудования в моделировании АСУ ДД / Д.В. Рожанский, Д.В. Навой // Наука – образованию, производству, экономике: 4-я МНТК. – Минск. – 2006. – Т. 1.
11. Рожанский, Д.В. Математическое моделирование процесса движения транспортного потока на перегоне магистральной улицы / Д.В. Рожанский, Д.В. Навой // Научно-технический журнал «Вестник БНТУ». – 2006. – № 4. – С. 65–68.
12. Рожанский, Д.В. Совершенствование применения периферийных устройств при модернизации АСУ дорожным движением / Д.В. Рожанский, Д.В. Навой // Безпека дорожнього руху України: збірник наукових трудов ВАК України – К.: ГНИЦ БДД ДДПСММ МВС України. – 2006. – № 1-2.

УДК 656.13

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ**

З.В. Альметова, Д.С. Захарова  
ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (НИУ),  
Челябинск, Россия

*В работе рассматривается влияние интеллектуальных транспортных систем (ИТС) на сложившуюся ситуацию в сфере дорожного движения. Сделан вывод о том, что создание российской ассоциации ИТС – самый очевидный метод развития, используя при этом высоко развивающиеся темпы внедрения технологий и учитывая потребность общества в эффективном использовании транспортных средств при одновременном снижении людских потерь в результате ДТП.*

Дорожное движение в современном обществе следует рассматривать как одну из самых сложных и важных составляющих социально-экономического развития городов и стран в целом. В данной сфере должны использоваться самые современные технологии сбора и обработки информации о параметрах транспортных потоков.

В последние десятилетия увеличивается несогласованность между потребностями в транспортных услугах и реальными пропускными возможностями видов транспорта. Возможности экстенсивного пути удовлетворения потребностей общества в наращивании объемов перевозок пассажиров благодаря увеличению численности транспорта в значительной степени исчерпаны – особенно в

больших городах. В настоящее время в России ведется разработка и внедрение интеллектуальных транспортных систем (ИТС) разного масштаба. Однако незрело создание интеллектуальной транспортной системы нового поколения, соответствующей сценарию инновационного развития, вектор которого задан Транспортной стратегией Российской Федерации на период до 2030 года. Создание российской ассоциации ИТС – наиболее очевидный путь развития, учитывая высокие темпы внедрения инновационных технологий и насущную потребность для страны в более эффективном использовании транспортного ресурса при одновременном снижении отрицательных последствий автомобилизации и сокращении людских потерь.

При чрезмерной загруженности дорог транспортными средствами скорость их движения, особенно в крупных городах, снижается настолько, что автомобиль полностью утрачивает одно из своих важнейших достоинств – динамичность, кроме того, увеличивается количество ДТП. Безопасность дорожного движения (ДД) относится к наиболее приоритетным задачам развития страны. Государства мира рассматривают обеспечение безопасности населения как важный элемент обеспечения национальной безопасности и стараются найти технические и организационные средства и методы для ее решения [1].

Анализ существующих в России проблем в сфере безопасности дорожного движения показал, что не решены принципиальные вопросы обеспечения безопасности дорожного движения, и, как следствие, создавшаяся ситуация в условиях бурного роста автомобилизации страны постоянно ухудшается. Ежегодно на автомобильных дорогах городов России погибают 30-35 тыс. человек и получают ранения более 200 тыс. человек. Относительная опасность автомобильного транспорта превышает относительную опасность воздушного транспорта более чем в 3 раза, а железнодорожного – в 10 раз. На 1 млрд. пасс.-км на автомобильном транспорте приходится двадцать погибших, на воздушном – шесть, на железнодорожном – два. По сравнению со странами с развитой рыночной экономикой в России число ДТП на 1 000 ед. транспортных средств в 7-10 раз выше, чем в США, Японии, Германии, Франции, Финляндии и других странах.

В связи с вышесказанным следует отметить, что:

- применение новых компьютерных и телекоммуникационных технологий в информатизации деятельности по обеспечению безопасности ДД является одним из важных приоритетов в развитии транспортной инфраструктуры региона;
- мероприятия, направленные на снижение аварийности и улучшение организации движения транспорта и пешеходов, в значительной степени могут быть решены интеллектуальными системами, созданными на основе современных информационных технологий.

Значение и важность применения новых технологий в этой области увеличиваются по мере того, как область применения ИТС расширяется от своего первоначального предназначения по управлению дорожным движением, информационному обеспечению участников движения и электронным платежам. Сегодня направления развития ИТС охватывают также: работу транспортных сетей и деятельность по обслуживанию транспорта; мобильность коммерческого транспорта и интермодальную совместимость; мультимодальные перемещения в части, включающей в себя дотранспортную информацию, информацию на маршруте и планирование перевозок.

В дополнение к вышесказанному развитие ИТС обнаруживает связи с более обобщенными направлениями развития и областями вне транспортного сектора. Например, системы сбора дорожных платежей взаимодействуют с деятельностью в секторе электронной коммерции и могут таким образом использовать стандарты и принципы банковской индустрии, а также общепринятые бухгалтерские технологии. Направление развития ИТС, связанное с национальной безопасностью, также требует обращения к специальным национальным требованиям, относящимся к гражданской обороне, средствам связи при чрезвычайных ситуациях и другим процедурам. Эти взаимодействия, лежащие в большей степени вне сферы деятельности по стандартизации в области ИТС, тем не менее, оказывают ощутимое влияние на функционирование различных сервисов, поддерживаемых доменами и группами ИТС [2].

С 1 июля 2008 года в России вступают в силу изменения, вносимые в Кодекс РФ об административных правонарушениях, связанные с фиксацией административных правонарушений на дорогах при использовании специальных технических средств, работающих в автоматическом режиме.

К административной ответственности будет привлекаться владелец транспортного средства в том случае, если он не сможет предоставить достоверные сведения о лице, во владении которого транспортное средство находилось в момент фиксации правонарушения, либо о том, что транспортное средство выбыло из его обладания в результате противоправных действий других лиц. Конечно, новый законопроект не понравится людям, практикующим продажу своих личных автомобилей по генеральной доверенности. Однако это не очень большая плата за ту эффективность в борьбе с нарушениями ПДД и дорожно-транспортными происшествиями, которой, как показывает зарубежный опыт, можно достичь при грамотном внедрении автоматической системы регистрации.

Борьба с нарушителями не единственная задача интеллектуальных транспортных систем. Другой важной стороной их внедрения является автоматическое регулирование транспортных потоков и, как следствие, повышение пропускной способности дорог и снижение количества заторов. Один из способов регулирования потоков автомобилей – создание так называемых зеленых волн: светофоры настраиваются таким образом, что при определенной скорости движения потока при проезде одного светофора на зеленый свет большая часть машин подъедет к следующему светофору, когда там будет включен зеленый сигнал, – и так далее. Однако при ограничении скорости движения в городе 60 км/ч поток зачастую движется быстрее.

Основой единой транспортной системы является платформа «Интеллект». «Интеллект» – многофункциональная открытая программная платформа, предназначенная для создания комплексных систем безопасности любого масштаба. Платформа компании ITV оптимальна для построения больших систем с распределенной архитектурой. Она уже используется как основа для решений «Безопасный город», внедряемых в Москве, Санкт-Петербурге, Донецке, Новосибирске, Красноярске, Шлиссельбурге, Электростали, Нижнем Новгороде и Житомире. Благодаря открытой архитектуре и широкому спектру интегрированного оборудования, «Интеллект» позволяет объединить все используемые системы в единый комплекс, организовать центральные пункты мониторинга и неограниченное количество удаленных рабочих мест. Кроме того, платформа ITV имеет встроенные средства удаленной проверки работо-

способности подключенного оборудования. Эти качества жизненно необходимы для создания таких систем, как единая интеллектуальная транспортная система городского масштаба. «Интеллект» дает возможность интегрировать средства регулирования дорожного движения и управлять ими в соответствии с запрограммированными алгоритмами, собирать дорожную статистику и передавать информацию во внешние системы. В платформе «Интеллект» есть также специализированные программные модули, позволяющие решать задачи, связанные с контролем дорожно-транспортной обстановки и автоматической регистрацией нарушений [3].

Наличие модуля распознавания автомобильных номеров позволяет автоматически определять и распознавать номера автомобилей в поле зрения камеры. Позволяет фиксировать и сохранять в базе данных распознанный номер, а также изображение транспортного средства, часть кадра с номерным знаком и время регистрации. Таким образом, формируется база всех транспортных средств, прошедших через зону контроля, с возможностью добавления текстового комментария к каждому распознанному номеру. Дополнительный модуль «Радар» позволяет применять для определения скорости автомобилей сертифицированные аппаратные средства – радары.

Модуль контроля характеристик транспортных потоков ведет учет статистических характеристик транспортного потока – количества проехавших автомобилей, их скорости, загруженности дороги и других характеристик. Данные, предоставляемые модулем, позволяют реализовать алгоритмы регулирования дорожного движения с учетом реальной дорожно-транспортной обстановки, автоматически фиксировать факты ДТП и автомобильных пробок, определять типы транспортных средств и рассчитывать интенсивность движения на заданном участке [4].

С использованием описанных выше модулей на платформе «Интеллект» можно создавать распределенные системы, ведущие централизованный сбор дорожной статистики, регистрирующие ДТП, пробки и нарушения правил дорожного движения. Например, используя данные о скорости автомобилей вместе с распознанными номерами, можно создать базу всех нарушений скоростного режима, содержащую данные нарушителей, время фиксации и видеоролик с записью факта нарушения. Вся необходимая информация может оперативно передаваться на ближайшие посты ГИБДД. Так, все распознаваемые номера могут сравниваться с внешней SQL-базой номеров – например, это может быть база автомобилей, числящихся в розыске. При совпадении номера проехавшего автомобиля с одним из номеров в базе «Интеллектом» будет подано сообщение оператору, что позволит незамедлительно принять меры по задержанию автомобиля. Удобная система поиска в базе данных по различным критериям с фильтрацией по скорости и типам транспортных средств позволяет быстро находить нужную информацию [5].

Таким образом, пока не используются многие возможности модуля контроля характеристик транспортных потоков, входящего в состав «Интеллекта». Однако в дальнейшем планируется расширить как саму систему, так и круг решаемых ею задач. Тем не менее, создание российской ассоциации ИТС – самый очевидный метод развития, используя при этом высоко развивающиеся темпы внедрения технологий и учитывая потребность общества в эффективном использовании транспортных средств при одновременном снижении людских потерь в результате ДТП.

## Список литературы

1. Новиков Д.А., Суханов А.Л. Модели и механизмы управления научными проектами в вузах / Д.А. Новиков, А.Л. Суханов // М.: Ин-т упр. образованием РАО. – 2005. – С. 64–68.
2. ГОСТ Р ИСО 14813-1-2011-Национальный стандарт Российской Федерации: Интеллектуальные транспортные системы. // Схема построения архитектуры интеллектуальных транспортных систем. // Часть 1. 2011. С.15–23.
3. Experience the Next // Интеллектуальные системы и безопасность дорожного движения. 2008. С. 134–139.
4. Частиков А.П., Гаврилова Т.А., Белов Д.Л. Разработка экспертных систем / А.П. Частиков, Т.А. Гаврилова, Д.Л. Белов // Среда CLIPS // СПб: БХВ-Петербург – 2003. – С. 28–32.
5. Инновационные процессы логистического менеджмента в интеллектуальных транспортных системах / Л.А.Андреева [и др.]; под ред. Миротина Л.Б., Левина Б.А. – Том 2. Формирование отраслевых логистических интеллектуальных транспортных систем – М.: Издательство: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2015. — 343 с.

УДК 656.13

### **К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ЦИФРОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТАБЛО В ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ**

**З.В. Альметова, Д.С. Чикранова, О.В. Гераскина**  
ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» (НИУ),  
Челябинск, Россия

В работе рассматриваются различные типы информационных табло, технологии и возможности их применения в транспортной отрасли. Приводятся их основные технические характеристики. Анализируется опыт применения информационных устройств на остановочных пунктах в г. Челябинске. Рассматривается возможность дальнейшего использования электронных информационных табло на рынке рекламных технологий и работе транспорта.

В настоящее время цифровые вывески достаточно быстро заменяют обыкновенные в транспортных приложениях. Наряду с отображением информации о расписании, цифровая вывеска может также выполнять функцию рекламы товаров и услуг, тем самым получая дополнительный доход.

Цифровая вывеска стала частью транспортной отрасли. Например, в аэропорту цифровая вывеска сообщает нам время прибытия и отправления, направляет нас к нужному месту посадки и обеспечивает информацией о погоде, местности и свежих новостях. В самолете цифровые экраны, вмонтированные в сидения, развлекают пассажиров во время полета. Цифровые вывески на такси показывают информацию о местных достопримечательностях, а экраны на станциях метро и автобусных остановках предупреждают нас о следующем прибытии транспорта. Даже на станциях технического обслуживания цифровые экраны на бензоколонках помогут скоротать время, а иногда и отвлечь нас в то время, как насос продолжает работать. Во время сбоев в работе транспорта эти

вывески покажут информацию, которая предупредит потенциальных пассажиров о текущих неполадках на маршруте.

Возможности, которые предоставляет размещение цифровых табло в области транспорта, немалые.

Интерактивные сенсорные экраны показывают информацию о прибытии и отправлении транспорта, показывают соответствующие обновления, позволяют планировать оптимальные маршруты для поездок и могут отображать карту района и близлежащие достопримечательности.

Одна из основных функций электронных табло на транспорте – информирование пассажиров о прибывающих и отправляющихся маршрутах. Изначально данная задача выполнялась благодаря механическим щитам с вращающимися цифрами, а уже потом была заменена на мониторы. Однако эти мониторы были склонны к возгораниям и были визуалью непривлекательным.

Другие варианты включают светодиодные табло, где с помощью красных светодиодов на черном фоне формируются буквы и цифры [1].

Следующий шаг в развитии цифровых табло известен под названием FIDS – система, предназначенная для визуального информирования людей в аэропорту и прилегающих к нему территориях (автобусные остановки, парковки, отели аэропорта и пр.). FIDS показывает информацию о текущих рейсах, погоде, также содержит в базе фотографии мест назначения [2].

Система IS-FIDS позволяет не иметь отдельного диспетчера, следящего и управляющего расписанием терминала и движением рейса по технологической цепочке. Система IS-FIDS получает данные из нескольких источников и устанавливает статусы рейсов:

- от агентов службы перевозок на технологических местах. Например, диспетчер выхода на посадку при наступлении времени посадки пассажиров в воздушное судно подтверждает начало посадки или указывает причину задержки;
- посредством обработки сообщений радиовещания ADS-B от воздушных судов;
- посредством обработки сообщений MVT, DIV.

Таким образом, работа по диспетчеризации прилетов и вылетов происходит полностью автоматически, а технологические статусы рейсов (посадка, задержка) выставляются распределенно агентами службы перевозок [3].

Все более широкое использование цифровых вывесок на транспорте предполагает использование технологии отслеживания для оценки расстояния, проходимого на автобусе, поезде или метро и уведомления пассажиров через цифровые табло о прибытии нужного им маршрута.

Ранние версии системы включали использование GPS-локаторов на транспортных средствах, связанных со станциями через беспроводные сети передачи данных, но, к сожалению, передача данных от транспортного средства к сети может быть медленной, а, следовательно, неточной [2].

В результате многие системы перешли на RFID – технологии (Radio Frequency Identification – радиочастотная идентификация) – это технология нового поколения, основанная на использовании радиочастотного электромагнитного излучения. Технология применяется для идентификации и учета объектов. RFID-система отлично выполняет свою работу там, где требуется контроль перемещения объектов в реальном времени, интеллектуальные решения автоматизации, способность работать в жестких условиях эксплуатации, безошибочность, скорость и надежность [4].

Что касается России, то в настоящее время цифровые табло установлены во многих крупных городах (Москва, Санкт-Петербург, Омск и др.).

Табло «узнает» время прибытия ближайшего автобуса или троллейбуса, благодаря установленным в транспорте GPS/ГЛОНАСС-датчикам. Они передают информацию о местоположении в автоматизированную систему управления городским пассажирским транспортом. АСУ ГПТ собирает данные со всех маршрутов, обрабатывает их и передает для отображения в специальных транспортных сервисах. Эта же система просчитывает и прогнозируемое время прибытия различных маршрутов транспорта на каждую остановку. Именно из АСУ ГПТ информация будет поступать на электронные табло.

Табло покажет номер маршрута, прогнозируемое время прибытия, наименование направления маршрута и укажет, будет ли прибывающий автобус или троллейбус низкопольным [5].

В 2012 году в г. Челябинске презентовали электронные табло на остановках общественного транспорта. Как передает корреспондент «Нового Региона», на тот момент подобные табло были установлены на 5 остановках: «Дворец спорта «Юность», «Алое поле», «Площадь Революции», «ЮУрГУ» и «Комсомольская площадь». На прямоугольном табло (1 метр 27 сантиметров на 40 сантиметров) отображается время, дата и температура воздуха, но самое главное – там указывается через какой промежуток времени придет тот или иной троллейбус или автобус. Буквы и цифры на светодиодном табло видны как в темноте, так и на ярком солнце.

Весь общественный транспорт оснастили системой «ГЛОНАСС», определяющей нахождение троллейбуса и автобуса в конкретный промежуток времени. Эти табло распознают каждое транспортное средство, и горожане могут точно узнать, через какое время на остановке появится тот или иной автобус или троллейбус. Кроме электронного табло, главе администрации представили челябинское ноу-хау: расписание автобусов и троллейбусов, помещенное в специальные антивандальные крутящиеся цилиндрические устройства. Ни в одном городе России пока такого нет [6]. Однако, опять же, большинство таких табло по прошествии нескольких лет не работают. Из основных характеристик существующих информационных табло можно выделить следующие: число знакоместных и бегущих строк; число знакомест в строке; индикация времени/температуры; высота цифр и знаков; регулировка яркости свечения индикаторов. При числе маршрутов более двух отображение ведется в режиме скроллинга, табло имеют (как опцию) систему обогрева и диагностики до каждого светодиода, вводы силовых и интерфейсных цепей имеют защиту от промышленных помех. Корпуса табло изготовлены из специально разработанного для этих целей и запатентованного алюминиевого профиля, обеспечивают степень защиты IP65 (подтверждено испытаниями) и вместе с тем простоту и удобство доступа к электронным блокам. Лицевая панель выполнена из ударопрочного поликарбоната. Табло сертифицированы на электробезопасность и ЭМС [6].

Таким образом, светодиодные экраны и информационные электронные табло получают всё большее распространение, всё чаще используются в целях рекламы на улицах крупных городов или в качестве информационных экранов [7]. Эксперты развития рынка рекламы сходятся в едином мнении о том, что с каждым годом доля светодиодных информационных табло на рынке рекламных технологий будет только возрастать. Действительно, электронные информационные табло сочетают в себе все основные преимущества существующих визу-

альных рекламных технологий. Табло расписаний используются на вокзалах, аэропортах для отображения информации о времени, маршруте и его состоянии, посадке/высадке, месте остановки или номере терминала, погоде и сервисной информации [8].

Основная проблема данного вида информационных технологий – это недостаточная налаженность оборудования и подверженность поломке. Но мы считаем, что электронные табло – это выгодное вложение в развитие и улучшение транспортных коммуникаций.

Таким образом, несомненно, это благая инициатива, которую нужно довести до логического завершения: обустроить все остановки такими табло, наладить их работу, нормализовать движение транспорта по расписанию.

## Список литературы

1. Guide\_LG\_Uses of Digital Signage in Transportation –<http://www.lg.com/us/commercial/documents>.
2. FIDS. – <http://www.dps.aero/solutions/resa/vista.html>
3. Система визуального информирования пассажиров IS-FIDS. – <http://initsys.ru/products/navigation/fids>.
4. RFID-технология. – <http://www.rst-invent.ru/about/technology>.
5. Петербургский дневник. – <http://www.spbdnevnik.ru>
6. Табло «Остановка общественного транспорта». – <http://www.trekom.ru>
7. Инновационные процессы логистического менеджмента в интеллектуальных транспортных системах / Л.А.Андреева [и др.]; под ред. Миротина Л.Б., Левина Б.А. – Том 2. Формирование отраслевых логистических интеллектуальных транспортных систем – М.: Издательство: Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2015. — 343 с.
8. Pogotovkina, N.S., Gorchakov, Y.N., Kosyakov, S.A., Khegay, V.D. Almetova, Z.V. Motorization in Russia: Challenges and solutions // International Journal of Applied Engineering Research.– 2015. – Т. 10. № 4. – P. 34443–34448.

УДК 656.02

## К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ АВТОПОЕЗДОВ

Шепелев В.Д.<sup>1</sup>, Александрова Т.А.<sup>1</sup>, Шепелёв С.Д.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

<sup>2</sup>Южно-Уральский государственный аграрный университет, Челябинск, Россия

*В данной статье рассмотрено влияние основных технико-экономических показателей на производительность подвижного состава. С целью повышения эффективности перевозок авторами предлагается ввести коэффициент использования подвижного состава, который учитывает сокращение производительности автомобиля в зависимости от срока службы.*

## Введение

На сегодняшний день, в условиях спада рыночной экономики, ограниченности средств, а так же острой конкуренции, для любого автотранспортного предприятия характерно стремление наиболее эффективно использовать



имеющиеся ресурсы. Поэтому одной из приоритетных задач является повышение эффективности перевозок, в частности наиболее продуктивное использование подвижного состава.

Одним из важнейших показателей, влияющих на эффективное использование транспортных средств, является его часовая производительность.

Часовой производительностью называется количество перевезенного автомобилем груза за 1 час работы. Она определяется следующим образом:

$$W_{\text{ч}} = \frac{q_n \cdot \gamma \cdot l_{\text{з.е}} \cdot \beta \cdot V_m}{l_{\text{з.е}} + t_{\text{пр}} \cdot \beta \cdot V_m}, \quad (1)$$

где  $q_n$  – номинальная грузоподъемность автомобиля, т;

$\gamma$  – статистический коэффициент использования грузоподъемности;

$l_{\text{з.е}}$  – длина ездки с грузом, км;

$\beta$  – коэффициент использования пробега за ездку;

$V_m$  – техническая скорость автомобиля, км/ч;

$t_{\text{пр}}$  – время погрузки-разгрузки, ч.

## 1 Влияние основных показателей на производительность подвижного состава

Для определения резервов производительности подвижного состава важно установить, какое влияние оказывают на нее основные эксплуатационные показатели: длина ездки с грузом, техническая скорость автомобиля и время под погрузочно-разгрузочными работами. Основные показатели работы автотранспорта могут быть получены с помощью спутниковой системы мониторинга транспортных средств «АвтоГРАФ». Данное программное обеспечение позволяет производить мониторинг транспорта и получать отчетность, проанализировав которую, можно выявить проблемные места в использовании подвижного состава и управлении системой транспорта в целом [2].

Эксплуатационные показатели снимались в процессе работы с 7-ми единиц подвижного состава. В общей сложности, с помощью системы мониторинга, было проанализировано 50 ездок, по данным которых нами было определено, что средняя техническая скорость равна 63,5 км/ч, среднее суммарное время простоя под погрузкой и разгрузкой составляет 10,3 ч, а длина ездки с грузом – 1301,6 км.

Для определения влияния технико-эксплуатационных показателей на часовую производительность используем следующий прием: показатель, влияние которого устанавливается, примем величиной переменной, а другие показатели в этот момент примем постоянными, значения которых будут лежать в пределах, соответствующих условиям эксплуатации данного подвижного состава.

В соответствии с Правилами дорожного движения Российской Федерации максимально разрешенная скорость грузовых автомобилей не может превышать 70 км/ч, а в соответствии с данными, полученными с помощью диспетчерского программного обеспечения средняя техническая скорость равна 63,5 км/ч, следовательно, повышение данного показателя для увеличения производительности подвижного состава не является оптимальным.

Время простоя под погрузкой и разгрузкой может изменяться в широких пределах. Поскольку данный показатель находится в знаменателе формулы 1, значит, производительность обратно пропорциональна времени простоя под-

вижного состава, что выражается нисходящей гиперболой на графике, показанном на рисунке 1. Чем лучше организованы погрузочно-разгрузочные работы и меньше простои, тем выше коэффициент использования рабочего времени и выше эффективность использования транспортных средств [1].

Проанализировав формулу 1, можно выявить влияние показателя расстояния перевозки груза на производительность подвижного состава. При расчете влияния длины ездки на производительность в тоннах данная зависимость будет, как и зависимость от времени простоя под погрузкой и разгрузкой, выражаться нисходящей гиперболой, ввиду нахождения этой переменной только в знаменателе. При этом, как видно из рисунка 1, влияние будет достаточно серьезным, а изменения показателя с ростом расстояния будет достигать многократного уменьшения. На производительность в тонно-километрах длина ездки оказывает влияние аналогичное технической скорости. При увеличении расстояния перевозки груза производительность в тонно-километрах увеличивается. Чем больше расстояние перевозки, тем меньшее влияние оказывает изменение этого показателя на производительность подвижного состава.

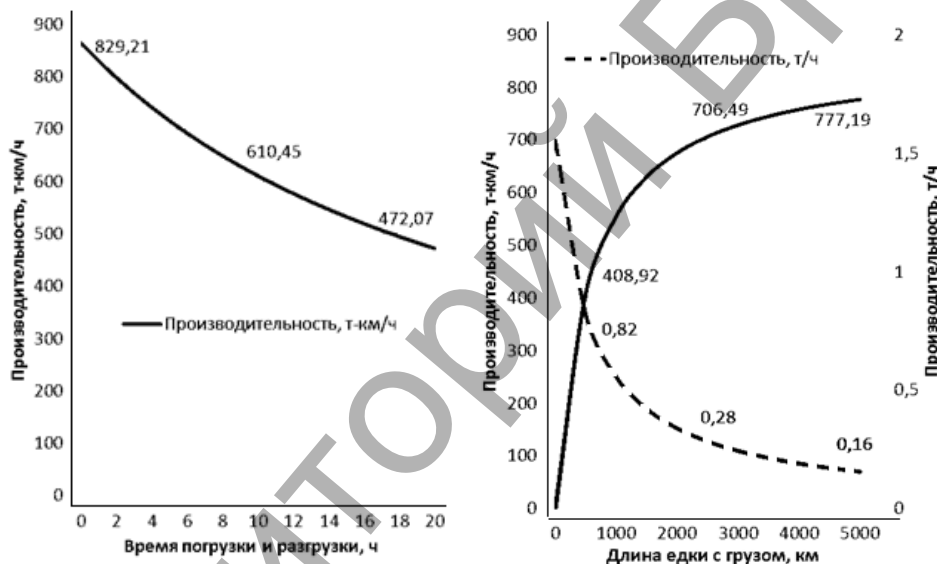


Рисунок 1 – Влияние показателей на производительность подвижного состава в тонно-километрах

Из анализа формулы производительности, видно, что такие показатели, как грузоподъемность, коэффициент использования грузоподъемности и коэффициент использования пробега находятся в числителе и при неизменной величине всех других показателей, входящих в формулу, прямо пропорционально влияют на производительность.

Коэффициент использования грузоподъемности зависит от правильного выбора подвижного состава. Для повышения данного коэффициента необходимо обеспечить полную загрузку транспортного средства, что не всегда возможно ввиду специфических требований и свойств некоторых грузов. Увеличение коэффициента использования грузоподъемности так же приводит к дополнительным затратам вследствие роста расхода топлива и повышения нагрузки на подвижной состав, что в свою очередь значительно влияет на срок эксплуатации транспортного средства [4]. Повышению *коэффициента использования пробега способствует* тщательная разработка маршрутов движения подвижно-

го состава. Чем больше длина ездки с грузом и меньше холостые пробеги, тем выше данный коэффициент, следовательно, его изменение невозможно без изменения расстояния перевозки грузов.

Анализ влияния технико-эксплуатационных показателей производился на основе изменения одной из переменных, остальным присваивалось какое-либо постоянное значение, однако очевидно, что изменение одного из показателей в той или иной степени оказывает влияние на другой.

## 2. Коэффициент использования подвижного состава

Несмотря на то, что технико-эксплуатационные показатели имеют огромное влияние на производительность подвижного состава, эффективность использования транспортных средств так же зависит от совершенства конструкции грузового автомобиля и соответствия условий его эксплуатации [3].

Ухудшение технического состояния автомобиля снижает время пребывания автомобиля на линии. Для отражения этой зависимости предлагается ввести новый коэффициент использования подвижного состава  $\tau$ , который с ростом срока эксплуатации будет отражать сокращение производительности автомобиля с увеличением его срока службы. Это обусловлено в первую очередь ростом количества поломок и простоев на ремонт, что сокращает среднегодовой пробег автомобиля, а значит и производительность тягача. К тому же снижаются его тяговые свойства, вследствие чего автомобиль уже не может развивать большую скорость, уменьшая тем самым преодолеваемое расстояние.

Для нахождения данного коэффициента найдем отношение среднегодового пробега автомобиля  $i$ -го срока эксплуатации к максимально возможному среднегодовому пробегу (1-го года эксплуатации):

$$\tau = \frac{L_{ср.г.}^i}{L_{ср.г.}^{max}}, \quad (2)$$

где  $\tau$  – коэффициент использования подвижного состава;

$L_{ср.г.}^i$  – среднегодовой пробег автомобиля  $i$ -го срока эксплуатации;

$L_{ср.г.}^{max}$  – максимальный среднегодовой пробег для данной марки.

На рисунке 2 отражена динамика изменения данного коэффициента.

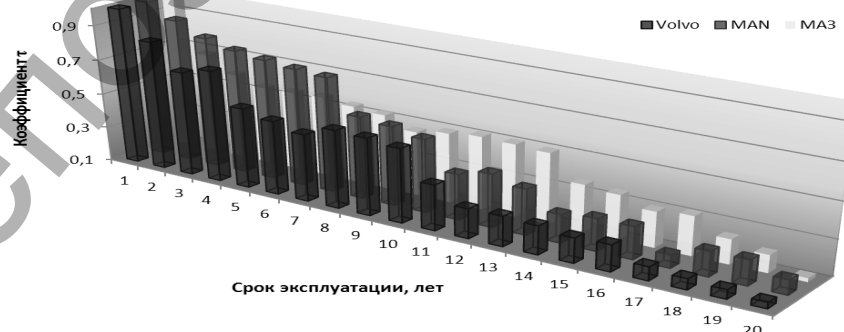


Рисунок 2 – Динамика изменения коэффициента  $\tau$ , для выбранных марок автомобилей

Как видно из рисунка, с изменением срока эксплуатации подвижного состава прослеживается определенная динамика снижения его производительности в зависимости от марки тягачей. Таким образом, учитывая срок службы ПС, можно прогнозировать его потенциальную годовую производительность.

Учитывая полученные данные, собственники получают возможность приобрести и наиболее эффективно использовать существующий парк грузового транспорта, в зависимости от планируемого объема работы, что в свою очередь существенно влияет на первоначальные затраты по приобретению ПС и себестоимость перевозок.

## Список литературы

1. Клецов А. В. Сравнение рекомендуемых норм и реального расхода времени на погрузку-разгрузку подвижного состава [Текст] / А. В. Клецов, А. Н. Тавешев // Научное сообщество студентов : материалы VI Междунар. студенч. науч.-практ. конф. / Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2015. — С. 36–38.
2. Шепелёв В.Д., Александрова Т.А., Герль К.Э. Повышение эффективности подвижного состава с помощью спутниковых систем мониторинга / В.Д. Шепелёв, Т.А. Александрова, К.Э. Герль // **Экономика и управление: проблемы, тенденции, перспективы развития**. сб. мат. науч.-практ. конф. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2015. – с. 306-309.
3. Шепелёв В.Д., Шепелёв С.Д., Александрова Т.А. Оценка эффективности использования подвижного состава на междугородних перевозок /В.Д. Шепелёв, С.Д. Шепелёв, Т.А. Александрова // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сб. тр. науч.-практ. конф. – Воронеж: ФГБОУ ВО «ВГЛТУ», 2015. - № 4 ч.1. – с. 437 – 439.
4. Шепелёв В.Д., Александрова Т.А., Герль К.Э. Техничко-эксплуатационные показатели использования полуприцепов / В.Д. Шепелёв, Т.А. Александрова, К.Э. Герль // Проблемы функционирования систем транспорта: сб. статей. – Тюмень, 2015. - С. 247-249.

УДК 65.011.56

## ФОРМИРОВАНИЕ ЕДИНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА

А.В. Королев, В.В. Шкуратов  
Белорусский научно-исследовательский институт транспорта  
«Транстехника», Минск, Беларусь

*Внедрение автоматизированных систем пассажирского транспорта Республики Беларусь носит локальный характер, что не позволяет в полной мере реализовать их потенциал. Как следствие, нет единых информационных и финансовых потоков. Для эффективного и оперативного управления транспортными процессами и предоставления достоверной и полной информации пассажирам целесообразно объединить локальные автоматизированные системы в единую информационную систему пассажирского транспорта.*

На современном этапе можно рассматривать следующие направления повышения эффективности пассажирского транспорта:

- 1) организовать систематический учет и анализ пассажиропотоков;
- 2) на основе изучения пассажиропотоков оптимизировать маршрутную сеть;
- 3) увязать между собой расписания различных видов пассажирского транспорта;

4) создать систему взаиморасчетов между участниками процесса перевозок пассажиров;

5) внедрить единый инструмент для оплаты проезда на транспорте;

6) организовать взаимодействие имеющихся автоматизированных систем на пассажирском транспорте со вспомогательными системами (система видеодетектирования дорожного движения, система управления дорожным движением, система управления платными парковками и стоянками, система ориентирования и навигации и т.д.).

В сфере пассажирского транспорта Республики Беларусь функционирует ряд автоматизированных систем, которые направлены на диспетчеризацию и управление перевозками, оплату проезда, бронирование и продажу билетов (рис. 1).



Рисунок 1 – Автоматизированные системы пассажирского транспорта

Автоматизированные системы решают основные задачи, стоящие перед пассажирским транспортом, однако имеют ряд недостатков (проблем) (табл. 1).

Таблица 1 – Задачи и недостатки (проблемы) автоматизированных систем пассажирского транспорта

Наименование автоматизированных систем	Выполняемые задачи	Недостатки/проблемы
Автомобильный и городской электрический транспорт		
Автоматизированная система диспетчерского управления (АСДУ)	Оперативный контроль и управление пассажирским транспортом; планирование пассажирских перевозок и обеспечение регулярности движения; разработка расписаний, повышение контроля и учета выполнения транспортной работы; информационное обеспечение пассажиров на остановочных пунктах; информационное обеспечение пассажиров в транспортных средствах; предоставление отчетной информации по итогам работы водителей и предприятия в целом	Отсутствие связи между системами разных перевозчиков, других видов транспорта и городских служб; отсутствие онлайн-управления пассажирским транспортом; не все предусмотренные задачи выполняются или выполняются формально

Продолжение таблицы 1

Автомобильный и городской электрический транспорт		
Автоматизированная система оплаты и контроля проезда (АС ОКП)	Контроль оплаты проезда; гибкая тарифная политика; предоставление возможности оплаты проезда единым инструментом; эмиссия транспортных карт, персонализация оборудования считывания и контроля транспортных карт; формирование аналитической отчетности	Отсутствие дифференцированной оплаты; отсутствие единого инструмента оплаты; локальность системы и сложность масштабирования
Специальная компьютерная система централизованной продажи билетов (СКС)	Концентрация расписания движения автобусов в единой базе; информационное обеспечение пассажиров о расписании, наличии свободных мест, стоимости билета; продажа билетов	Система для одного вида транспорта; отсутствует взаиморасчет между участниками системы; нет взаимодействия с другими системами продажи билетов
Железнодорожный транспорт		
Автоматизированная система диспетчерской централизации «Неман»	Оперативный контроль и управление движением поездов; реализация планового графика движения поездов; дистанционный контроль, управление и выявление предотказного состояния объектов	Внедрена не на всей территории республики; отсутствует связь с системами диспетчерского управления на других видах транспорта
Автоматизированная система оплаты и контроля проезда в поездах городских линий (АС ОКП)	Аналогично системе на автомобильном транспорте	Аналогично системе на автомобильном транспорте
Автоматизированная система управления обслуживания пассажиров железнодорожного транспорта (АСУ «Экспресс»)	Автоматизация билетно-кассовых операций; получение статистической отчетности по пассажирским перевозкам; формирование единой базы по расписанию, наличию свободных мест, стоимости билетов	Система для одного вида транспорта; нет взаимодействия с другими системами продажи билетов

Основной проблемой автоматизированных систем на пассажирском транспорте является их недостаточное взаимодействие друг с другом и с другими смежными системами, а в отдельных случаях их полная автономность.

Системы оплаты и контроля проезда в поездах городских линий и подвижном составе ГП «Минсктранс» имеют связь лишь на уровне носителя информации (бесконтактная карта), содержащем информацию о приобретенных проездных билетах, но нет единого проездного билета. Системы продажи билетов на автомобильном и железнодорожном транспорте автономны друг от друга.

В качестве инструмента для решения обозначенных проблем на пассажирском транспорте можно рассматривать создание единой информационной системы пассажирского транспорта, на основе информационного взаимодействия и интеграции существующих локальных систем (рис. 2).



Рисунок 2 – Схема единой информационной системы пассажирского транспорта

Единая информационная система пассажирского транспорта может быть создана как в границах отдельной территориальной единицы (город, район, область), так и в пределах республики.

Для эффективного функционирования системы необходимо определить оператора системы. Оператором системы может быть оператор автомобильных перевозок или оператор перевозок пассажиров городским электрическим транспортом и метрополитеном, которые в соответствии с Законом Республики Беларусь от 14.08.2007 № 278-З «Об автомобильном транспорте и автомобильных перевозках» и Законом Республики Беларусь от 05.05.2014 № 141-З «О городском электрическом транспорте и метрополитене» осуществляют формирование схемы маршрутной сети, изучение пассажиропотоков, координацию расписаний либо интервалов движения и другие функции по отношению к пассажирскому транспорту.

Использование единой информационной системы пассажирского транспорта предоставит возможность:

заказчикам пассажирских перевозок – определять потребность в перевозке, планировать бюджетные средства на пассажирский транспорт, контролировать выполнение транспортной работы, контролировать качество и уровень безопасности предоставляемых транспортных услуг;

перевозчикам – планировать свою транспортную работу с учетом других участников процесса перевозки и имеющегося пассажиропотока, оперативно управлять и контролировать собственный подвижной состав с учетом всех влияющих факторов, при наличии системы взаиморасчетов упростить финансовые потоки, повысить безопасность и скорость перевозки;

пассажирам – получать актуальную информацию о расписании, наличии свободных мест и стоимости билетов на все виды транспорта, использовать единый

инструмент оплаты проезда (единый проездной документ), выбрать оптимальный маршрут поездки и вид транспорта с учетом индивидуальных требований.

Формирование единой информационной системы пассажирского транспорта позволит повысить его эффективность, снизить себестоимость перевозок и оптимизировать бюджетные расходы.

УДК 656.1, 656.022, 656.025.6, 656.072

## **ИНФОРМАЦИОННО-РЕКЛАМНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА “ЭЛЕКТРОННЫЙ ГИД”: СОВОКУПНОСТЬ GPS МОНИТОРОВ, СЕРВЕРА УПРАВЛЕНИЯ И МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ**

Ф.М.Трухачев, А.И.Гуторов

ГУВПО Белорусско-Российский университет, Могилев, Беларусь

*Разработана система «Электронный гид» для общественного транспорта: совокупность информационно-рекламных мониторов, устанавливаемых в салоны автобусов (троллейбусов и др.), управляемых с центрального сервера. Мониторы, в автоматическом режиме передают видео-акустическую информацию о маршруте (текущее местоположение и ближайшие остановки), георекламу, прогноз погоды, курсы валют и др. Монитор выполняет функцию GPS трекера и видеорегистратора, с возможностью передачи «картинки» на сервер в реальном времени, что может использоваться специальными службами. Сервер анализирует информацию о пробках, что полезно для служб города.*

### **Введение**

Концепция *умный город* включает в себя ряд составляющих, таких как: энергоэффективность, эффективная транспортная инфраструктура, эффективность коммунальных и инженерных систем, привлекательность для туристов и инвесторов, удобство для жителей города. Также актуальной является задача обеспечения общественной безопасности. Полная имплементация концепции – дорогостоящая задача, которую в состоянии решить мегаполисы стран с развитой наукой, информационными технологиями и др.

Здесь мы остановимся на решении задачи создания «умного» общественного транспорта. Общественный транспорт (далее ОТ) – ключевой элемент инфраструктуры современных мегаполисов, основная задача которого – перевозка пассажиров. Однако, используя современные технологии, представляется возможным раскрыть информационный потенциал ОТ, тем самым существенно повысить эффективности и удобство его использования.

Процесс передачи информации об остановочных пунктах автоматизирован в недостаточной степени и требует участия водителя. Кроме того, пассажиры получают информацию только о текущей и следующей точке маршрута. Создание системы автоматического определения остановочных пунктов с использованием технологий GPS, GLONAS позволит облегчить работу водителя.



ОТ пользуются туристы, разработка и внедрение современных информационных технологий для транспорта позволит развить инфраструктуру туризма, повысить степень информатизации в городе.

Жители городов, которые могут получать real-time информацию о местоположении объектов общественного транспорта через интернет будут лучше планировать маршрут и рационально использовать рабочее время, что отразится на производительности труда.

ОТ предполагается использовать в качестве источника информации о состоянии транспортной ситуации в городе, а также в качестве системы передвижных камер видеонаблюдения, информацию с которых можно получить в реальном времени. Повышение общественной безопасности – важная задача, актуальность которой в последнее время повышается.

Актуальным также является создание новой рекламной площадки с потенциально широкой аудиторией с широкими возможностями контроля рекламного контента (привязка рекламы ко времени и к местоположению).

## **1. Состояние проблемы**

Проблема информирования пассажиров общественного транспорта решена к настоящему времени несколькими способами:

1. Объявление водителем остановочных пунктов по громкой связи. Данный способ в настоящее время не используется, поскольку не может обеспечить высокое качество передачи информации, кроме того, в значительной мере отвлекает внимание водителя.

2. Цифровое воспроизведение информации о маршруте с кнопочным управлением. Этот способ является логическим продолжением предыдущего, обеспечивает высокую разборчивость речевой информации, а также облегчает работу водителя. Тем не менее, система требует ручного управления.

3. Вывод текстовой информации на информационные табло с кнопочным управлением. Данный метод позволяет выводить информацию в текстовом виде, что актуально для слабослышащих пассажиров и в целом повышает качество использования ОТ, в особенности в зимний период и в темное время суток. Система предполагает ручное или автоматическое управление. В частности, в поездах компании Stadler, курсирующих в Минске и Минской области, установлены информационные экраны с автоматическим управлением [1].

Все указанные способы информирования пассажиров общественного транспорта обладают рядом недостатков, главными из которых являются:

- а) низкая информационная насыщенность;
- б) участие водителя в управлении системой;
- в) передача информации на одном языке.

## **2. Система «Электронный гид»**

В предлагаемой работе описана новая автоматизированная информационная система «Электронный гид» для общественного транспорта с расширенными возможностями. В основе информационной системы лежат технологии GPS, ГЛАННАС. Элементы системы работают под управлением операционных систем Android и Windows. Разработанная система может работать как источник

данных о положении транспортных средств для диспетчеров автопарков [2], поскольку использует элементы с GPS и 3G модулями.

Информационно-рекламная система «Электронный гид» представляет собой совокупность информационных экранов в транспортных средствах, управляющих устройств с модулями GPS и 3G, установленных в кабине водителя, а также сервера, содержащего СУБД и средства администрации системы.

Информационный экран – ударопрочный жидкокристаллический дисплей размером 20 – 30 дюймов, стационарно устанавливаемый в салоне автобуса (троллейбуса и т.д.), предназначенный для отображения визуальной информации о маршруте и другой информации.

Управляющее устройство – блок под управлением ОС Android (Linux), который на основе GPS данных выдает на информационный экран необходимую информацию. Управляющее устройство может передавать информацию о местоположении и скорости транспортного средства на головной сервер оператора транспортных средств (автобусный парк и др.) посредством 3G канала связи. Управляющее устройство может работать в offline режиме при отсутствии 3G канала связи.

Центральный сервер – сервер, обрабатывающий информацию о местоположении транспортных средств и представляющий ее авторизованным клиентам. Сервер также содержит средства управления базой данных, содержащей всю информацию о маршрутах, которая может быть отображена на информационных экранах. Клиентами могут быть любые устройства (мобильные или стационарные), подключенные к сети интернет. Правила доступа к информации на сервере устанавливает администратор сервера.

### 3. Элементы системы

#### 3.1. Информационный экран

Информационные экраны, устанавливаемые в салоны автобусов (троллейбусов и др.), являются основным средством передачи визуальной информации. Внешний вид информационного экрана представлен на рисунке 1.

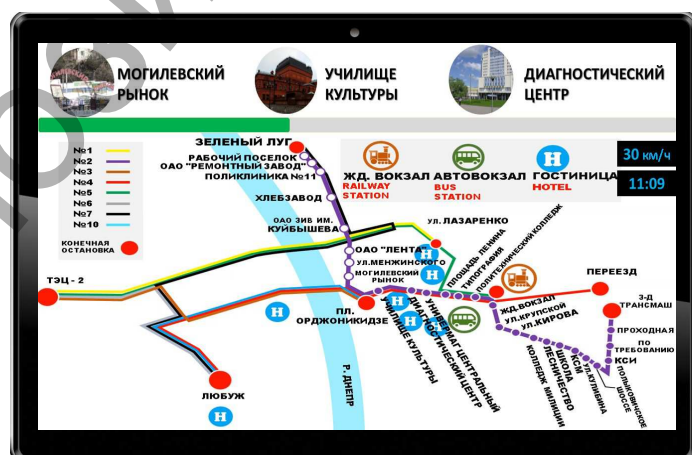


Рисунок 1 – Информационный экран с диагональю 22-30 дюймов

На экране отображен маршрут следования, текущая и две следующие остановки, карта города и др. Программное обеспечение, автоматически (по GPS данным) определяет местоположение троллейбуса (автобуса) и визуально подсвечивает текущую и следующие остановки.

Непосредственно на остановках на экран крупным шрифтом выводится название остановки (на нескольких языках). На перегонах между станциями на экран может быть выведена видеoinформация о культурных и архитектурных объектах, расположенных поблизости от остановок маршрута, а также информация о гостиницах, спортивных сооружениях, вокзалах, прогноз погоды, курсы валют и др. Кроме того, рекламная информация (магазины, кафе, рестораны) может быть выведена в привязке к местности и времени. Например, днем может выводиться реклама ресторана, расположенного около данной остановки с обеденным меню, а вечером реклама того же ресторана с вечерней программой и т.д.

### 3.2. Расположение информационного экрана

Устройство располагают так, чтобы экран был виден пассажирам, например, в передней части автобуса (троллейбуса), как на рисунке 2.

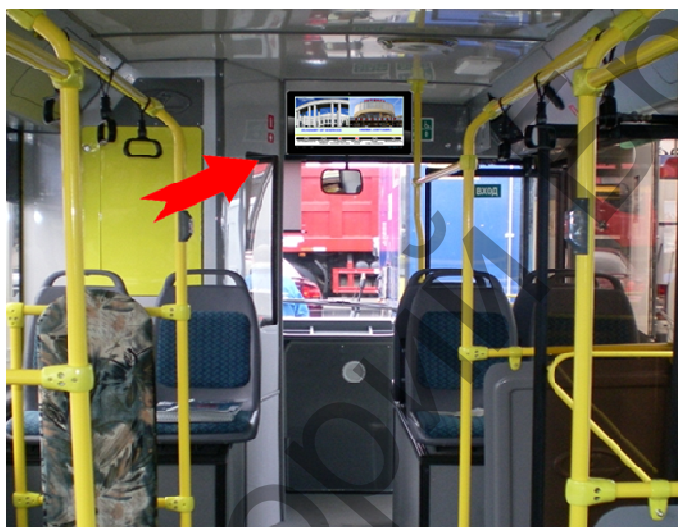


Рисунок 2 – Примерное расположение информационного экрана в салоне автобуса

### 3.3. Центральный сервер и клиенты

Информация о местоположении каждого транспортного средства может передаваться на диспетчерский пункт в автопарке в режиме реального времени через 3G канал связи (режим GPS трекера). Информация с центрального сервера может передаваться клиентам, в качестве которых могут выступать любые устройства, подключенные к сети интернет. Администрация транспортного предприятия определяет правила доступа к серверу. Имеется возможность передавать данную информацию на смартфоны пользователей через интернет. Система также выполняет функцию видеорегистратора с возможностью передачи «картинки» на сервер в реальном времени, что может использоваться специальными службами. Сервер анализирует информацию о пробках, что полезно для служб города. Пилотный проект системы «Электронный гид» внедрен в троллейбусном парке № 1 города Могилева.

### Список литературы

1. Сарвилов, Н. Новый формат пассажирских перевозок / Н. Сарвилов // Наука и инновации. Научно-практический журнал. – 2011. – 2(96). – С. 16-18.
2. Старовойтова, Е. На новый уровень /Е. Старовойтова // Газета «Транспортник Столицы». – 2009. – Вып. 855.

## 4 СЕКЦИЯ

### УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ

#### НАСТРОЙКА АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕГУЛИРУЕМЫМ ПЕРЕКРЕСТКОМ

В.В. Михайлов<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, С.Б. Соболевский<sup>1</sup>, к.т.н., доцент,  
А.Г. Снитков<sup>2</sup>, м.т.н.

<sup>1</sup>Белорусский научно-исследовательский институт транспорта «Транстехника»,  
Минск, Беларусь

<sup>2</sup>ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси»,  
Минск, Беларусь

*Ключевые слова:* перекресток, транспортные потоки, алгоритм, моделирование, полный факторный эксперимент, интенсивность, управление

*В работе предложен алгоритм получения длительности сигнала управления светофором для одноуровневого перекрестка со случайными транспортными потоками и различными характеристиками фиксированных зон затормаживания и остановки перед ним.*

#### Введение

Согласно обзору последних инновационных продуктов, представляемых на рынок передовых технологий, например как в [1], транспортное проектирование интеллектуальных разработок проводят в следующих направлениях (в порядке сложности):

- транспортно-экономические изыскания; - транспортное планирование; - транспортное моделирование; - интеллектуальные транспортные системы.

Современные GPS - технологии позволяют с достаточной степенью точности определять количество находящихся на выделенном контрольном участке автомобилей, их средние скорости, замедления, ускорения и иную информацию. Более того, фирма ADMA-Speed представила специальный датчик тормозного усилия, сопряженного с внешним информационным управляющим контуром [2].

В этой связи наличие большого количества автомобилей, стремящихся проехать перекресток, динамические параметры движения которых случайны и разнообразны, задача безопасного и эффективного управления несколькими пересекаемыми транспортными потоками, сформированными этими автомобилями, является актуальной. Важным недостатком интеллектуальных систем управления по-прежнему является отсутствие упреждающего стратегического прогнозирования. В этом случае управляющий алгоритм такой системы способен не интеллектуальным, а материальным образом повысить эффективность транспортной системы через максимизацию скорости и количества автомобилей, проезжающих перекресток.

## 1. Динамическая модель для прогнозирования движения одиночного транспортного потока

Транспортный поток является нестабильным и многообразным, информация о нем ресурсоемка для настройки информационных потоков стандартных командных систем управления, а критерии качества управления противоречивы и дорожные условия непредсказуемы. Поэтому по аналогии с гидравлической моделью была разработана модель одиночного транспортного потока [3], [4], приведенная на рисунке 1, [2].

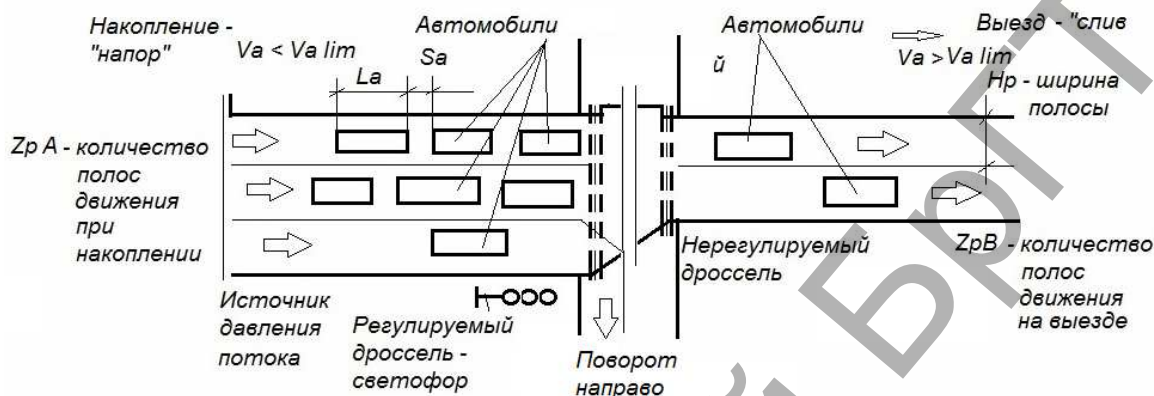


Рисунок 1 – Общая дорожная схема транспортного потока

Условные деформируемые объемы  $W_{NA}$ ,  $W_{AB}$  и  $W_{BT}$  участков дороги  $NA$ ,  $AB$  и  $BT$  представлены через длину  $L$ , ширину  $F$  дороги, количество полос  $Z$  и ширину одной полосы  $H_p$ , т.е.

$$W_{NA} = L_{NA} Z_{pA} H_p, [M^2 \Pi],$$

$$W_{AB} = 0,01 W_{NA}, [M^2 \Pi],$$

$$W_{BT} = 100 W_{NA}, [M^2 \Pi].$$

Пропускная способность каждого транспортного сечения определяется «площадью транспортного дросселя»:

$$F_{zA} = H_p Z_{pA} [M \Pi],$$

$$F_{zB} = H_p Z_{pB} [M \Pi].$$

Условное давление на кромку рассчитывается и принято:

$$p_B = p_T = 0 [\text{авто/м } \Pi],$$

$$p_N = p_A = N_{avto} / F_{zA}, [\text{авто/м } \Pi].$$

Величины расходов получают

$$Q_N = V_{aNA} F_{zNA} = V_{aNA} Z_{pA} H_p, [M^2 \Pi/c],$$

$$Q_T = V_{aBT} F_{zBT} = V_{aBT} Z_{pB} H_p, [M^2 \Pi/c],$$

$$Q_A = 0,0291 F_{zA} (p_N - p_A)^{0,5},$$

$$Q_B = 0,0291 F_{zB} (p_A - p_T)^{0,5}.$$

Т.н. модуль упругости  $E$  определяют:

$$E_{NA} = N_{avto\ max} / F_{zA} = [L_{NA} Z_{pA} / (L_a + S_a)] : F_{zA}, \text{ [авто/м]}.$$

$$E_{AB} = 10 E_{NA},$$

$$E_{BT} = 0,1 E_{NA}.$$

Динамические изменения давлений и потоки в узлах могут быть определены, как

$$\begin{aligned} (\Delta p / \Delta t)_A &= E_{NA} (Q_N - Q_A) / W_{NA}; \\ (\Delta p / \Delta t)_A &= E_{NA} (Q_N - Q_B) / W_{NA}, \text{ полагая, что } Q_A = Q_B; \\ (\Delta p / \Delta t)_B &= E_{AB} (Q_A - Q_B) / W_{AB}, \\ Q_N &= V_{aNA} Z_{pA} H_p; \\ Q_T = Q_B &= 0,0291 F_{zB} (p_A)^{0,5}. \end{aligned}$$

## 2. Объект исследования. Параметры модели

Схема моделируемого участка дороги представлена на рисунке 1. Объектом исследования выбран участок дороги с параметрами:  $Z_{pA} = 3$ ;  $Z_{pB} = 2$ ;  $H_p = 3,5$  м;  $L_{NA} = 200$  м;  $W_{NA} = 2100 \dots 1050$  м<sup>2</sup>П; параметр  $E_{NA} = 12,7$  авто/мП;  $Q_{NA} = 150 \dots 30$  м<sup>2</sup>П/с; средняя длина автомобиля  $L_a = 3,5$  м; минимальное расстояние между транспортными средствами  $S_a = 1,0$  м;  $L_{BT} = 1000$  м;  $W_{BT} = 210000$  м<sup>2</sup>П;  $E_{BT} = 127$  авто/мП;  $Q_T = 150 \dots 100$  м<sup>2</sup>П/с.

## 3. Модель транспортного потока для построения модели управляемого перекрестка

Для выявления параметров транспортных потоков, движущихся через перекресток, использованы приемы математической статистики для:

- установления значимости и важности выбранных факторов;
- проведения поиска значений статистических оценок коэффициентов линейной регрессии;
- выявления оптимальных значений исследуемой функции  $Y_i$  и соответствующих ему значений факторов  $X_j$ .

Для примера в качестве выходных параметров (параметров оптимизации одного транспортного потока) были использованы следующие диапазоны выбранных факторов: - транспортный поток до светофора (фактор  $X_1$ );  $Q_N = 150 \dots 30$  [м<sup>2</sup> П/с]; - транспортный поток после светофора (фактор  $X_2$ );  $Q_A = 150 \dots 100$  [м<sup>2</sup> П/с]; - объем зоны накопления перед накопителем перед STOP – линией светофора (фактор  $X_3$ );  $W = 2100 \dots 1050$  [м<sup>2</sup> П]; - время включения разрешающего сигнала светофора (фактор  $X_4$ );  $T = 90 \dots 20$  сек.

План полного факторного эксперимента для одного транспортного потока представлен в таблице 1.

Для одиночного первого транспортного потока было получено следующее уравнение регрессии интенсивности типичного транспортного потока, включающее параметр, в том числе, и закона регулирования светофором:

$$Y = 15,18 + 7,31 X_1 + 1,32 X_2 - 2,31 X_3 - 2,81 X_4.$$



Таким образом, интенсивность давления транспортного потока в фиксированных зонах затормаживания и остановки перед СТОП–линией в наибольшей степени определяется интенсивностью транспортного потока. Другим по важности фактором является длительность сигнала регулирования светофором. Величина неучтенных факторов также достаточно значима, что связано с неопределенностью описания параметров дорожных участков.

#### 4. Настройка алгоритма адаптивного управления светофором с пересечением четырех транспортных потоков

Модель управляемого перекрестка получена на основе регрессионных уравнений пересечения четырех транспортных потоков:

$$\begin{aligned}
 Y_1 - B_{o1} &= K_{11} X_{11} + K_{12} X_{12} + K_{13} X_{13} + K_{14} X_{14} \\
 Y_2 - B_{o2} &= K_{21} X_{21} + K_{22} X_{22} + K_{23} X_{23} + K_{24} X_{24} \\
 Y_3 - B_{o3} &= K_{31} X_{31} + K_{32} X_{32} + K_{33} X_{33} + K_{34} X_{34} \\
 Y_4 - B_{o4} &= K_{41} X_{41} + K_{42} X_{42} + K_{43} X_{43} + K_{44} X_{44}
 \end{aligned}$$

План полного факторного эксперимента согласно [5] позволил получить следующие значения интенсивности формирования первого потока размерности [авто/мП]:  $Y = 10; 30; 11; 1; 19; 4; 20; 4; 19; 4; 24; 4; 38; 8; 39; 8$ .

Поскольку значения факторов  $X_j$  являются случайными, то значения  $Y_i$  регрессионных уравнений также будут различаться.

Задача управления формулируется как поиск значения параметра  $X_4$  регулирования длительности сигнала светофора.

В общем случае из-за инерционности транспортной системы перекрестка и управления расчет длительности сигнала  $X_4$  необходимо проводить для некоторого периода времени  $\Delta t$  переключения светофора по накопленному количеству автомобилей в каждом из четырех потоков:

$$X_4 = \frac{\begin{vmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & Y_1 - B_{o1} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & Y_2 - B_{o2} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} & Y_3 - B_{o3} \\ K_{41} & K_{42} & K_{43} & Y_4 - B_{o4} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} K_{11} & K_{12} & K_{13} & K_{14} \\ K_{21} & K_{22} & K_{23} & K_{24} \\ K_{31} & K_{32} & K_{33} & K_{34} \\ K_{41} & K_{42} & K_{43} & K_{44} \end{vmatrix}}$$

Поскольку невозможно в текущем шаге вычислить значения  $Y_{1,2,3,4}$  и  $X_4$ , значения  $Y_{1,2,3,4}$  принимаются по предыдущему шагу.

С учетом принудительного командного режима настройки светофора, алгоритм настройки фаз может быть представлен алгоритмом, как представлено на рисунке 2.

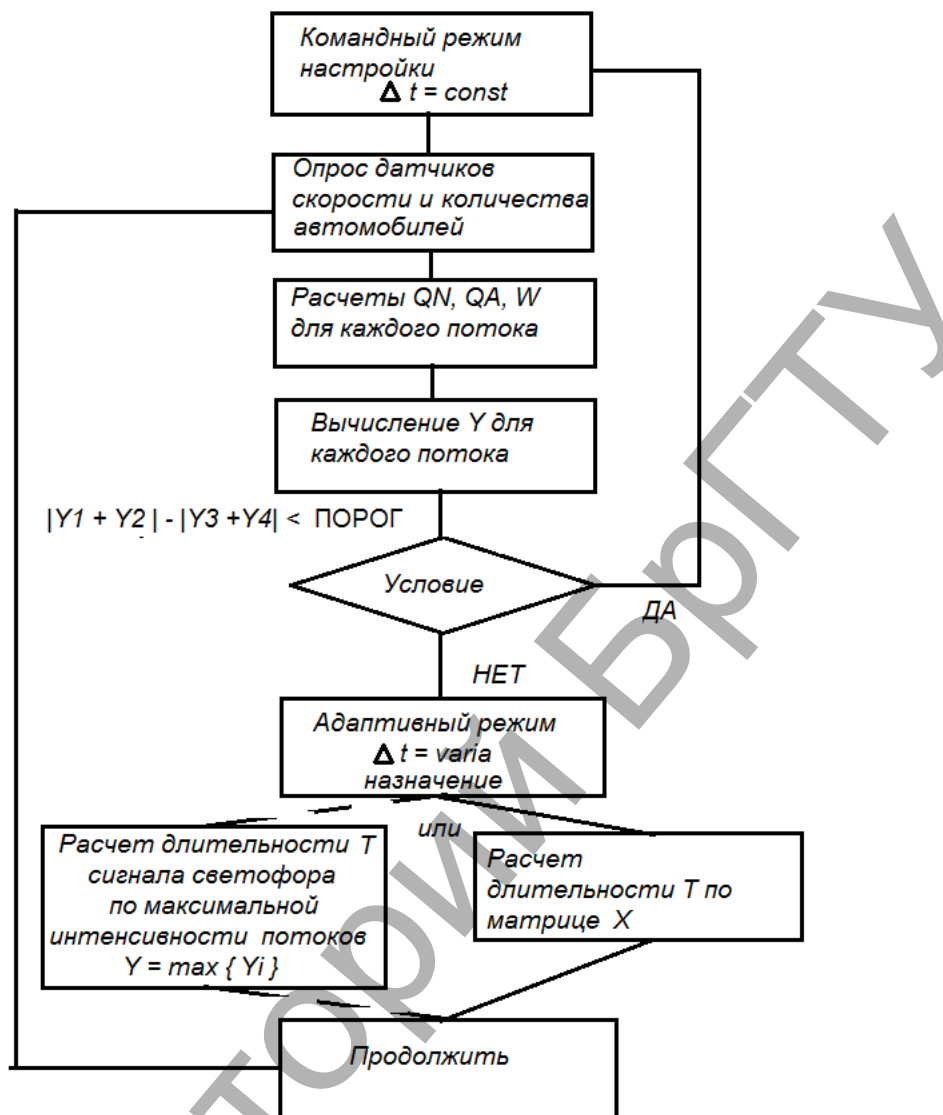


Рисунок 2 – Алгоритм адаптивного управления светофором х - образного перекрестка

В результате предложен относительно несложный алгоритм выбора длительности сигнала управления светофором, регулирующего движение на одноуровневом перекрестке, в соответствии с переменными случайными характеристиками пересекающихся транспортных потоков в фиксированных зонах затормаживания и остановки перед ним. Применение управляющей матрицы существенно ускоряет работу адаптивного алгоритма регулирования светофором.

### Список литературы

1. Режим свободного доступа: <http://apluss.ru>
2. Режим свободного доступа: <http://www.genesys-offenburg.de/en/products/adma-speed/>
3. Михайлов, В. Гидродинамическая модель транспортного потока для регулируемого участка дороги // В.В. Михайлов, И.В. Жук, А.Г. Снитков.— Автотранспортное предприятие.—2015.—Ноябрь.— Москва, с.39-44.
4. Семенов, В. Математическое моделирование динамики транспортных потоков мегаполиса // В.В. Семенов.— м.— Препринт. ИПМ им. Келдыша РАН. — 2004. — Режим свободного доступа: [http://www.keldysh.ru/papers/2004/prep34/prep2004\\_34.html](http://www.keldysh.ru/papers/2004/prep34/prep2004_34.html)
5. Митков, А.Л., Кардашевский С.В. Статистические методы в сельскохозяйственном машиностроении // А.Л. Митков, С.В. Кардашевский.—М. —Машиностроение.— 1978.—360с.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ (НА ПРИМЕРЕ МОРСКОЙ ЯХТЫ)

А. Козинский<sup>1</sup>, Andrzej Czerepicki<sup>2</sup>, Marcin Koniak<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина,  
Брест, Беларусь

<sup>2</sup> Варшавский политехнический университет, Варшава, Польша

*Приводятся результаты исследования энергетической системы яхты. В работе описана, созданная в рамках проекта REP SAIL, концепция для систем хранения энергии транспортного средства на основе возобновляемых источников энергии. Построенная математическая модель энергетической системы используется для прогнозирования состояния источников хранения энергии.*

### 1. Введение

В рамках инновационного проекта REP SAIL (Renewable Energy Powered Hybrid Innovative Sailing Yatch) ведется строительство яхты из современных композитных материалов с гибридным приводом. Гибридный привод предполагает использование возобновляемых источников энергии. Для обеспечения безопасности на яхте установлен классический двигатель внутреннего сгорания класса есо. Результатом реализации проекта является совершенно новый тип легкого блока, который может стать прототипом для строительства приводов и корпусов яхт на ближайшие 20 лет.

При проектировании судна нового поколения учтены ряд факторов производства, размещения и использования материалов, конструктивных элементов яхты и их эксплуатационные свойства: характеристика материалов и процесса производства биокompозитов, расширение верхней палубы на 10-12 м<sup>2</sup> для размещения солнечных панелей, поднятие области кабины для минимального изменения подводной части, разработка ветровых турбины для установки внутри корпуса. Из-за ограниченного объема статьи мы не будем описывать все эти условия подробно.

Факультет транспорта Варшавского политехнического университета [1] в рамках проекта REP SAIL отвечает за разработку и контроль за проектированием системы аккумулирования энергии. По указанной причине перечислим некоторые важные условия проектирования энергетической системы судна на основе возобновляемых источников энергии. К ним относятся: применение активных солнечных панелей, устойчивых к морским условиям, применение подпалубных турбин и турбин, питающих батареи во время операций с парусами, использование ультрасовременного электропривода для движения судна в портах и районах, где отсутствуют условия использования двигателей внутреннего сгорания или ветер (например, центр города), применение современных источников питания (аккумуляторные батареи на основе лития), использование современных систем управления питанием.

В рамках проекта необходимо решить следующие задачи: выбрать технологию используемых химических батарей, удовлетворяющую критериям про-

екта, провести исследования выбранных технологий согласно разработанной программе, создать компьютерную модель системы энергообеспечения на основе проведенных исследований, выбрать целевую технологию на основе моделирования, разработать технические требования для пакета батареи, производство которого будет поручено субподрядчику, интегрировать пакет батареи с другими компонентами в лабораторной версии и провести его испытания. После окончания испытания может быть выполнен монтаж батареи в корпусе судна.

В процессе решения перечисленных задач была создана концепция для систем хранения энергии и определены ее технические преимущества, позволяющие выполнять строительство судна и его подсистем. На основе концепции выполнены работы по разработке компьютерной среды для моделирования работы батареи.

## 2. Энергетическая установка

Основной привод яхты обеспечивается силой ветра, действующего на парус. Однако для полной мобильности яхты, например, в порту и акваториях, где не может быть использован ветер, эффективнее применять в качестве привода трехфазный вентильный электродвигатель BLDC (Brushless Direct Current Motor). Такой привод представляет собой мощный гибридный двигатель. Электрическая энергия, необходимая для его работы, хранится в электрических литиевых аккумуляторах. Система питания на возобновляемых источниках энергии содержит также солнечные модули, включающие от 6 до 30 панелей по 100 Ватт каждая. Их наличие позволит обеспечить необходимой энергией как приводы, так и другие элементы судна (например, навигационную систему). В настоящее время для промышленных установок или на электростанциях устанавливают системы, которые включают в себя тысячи солнечных панелей.

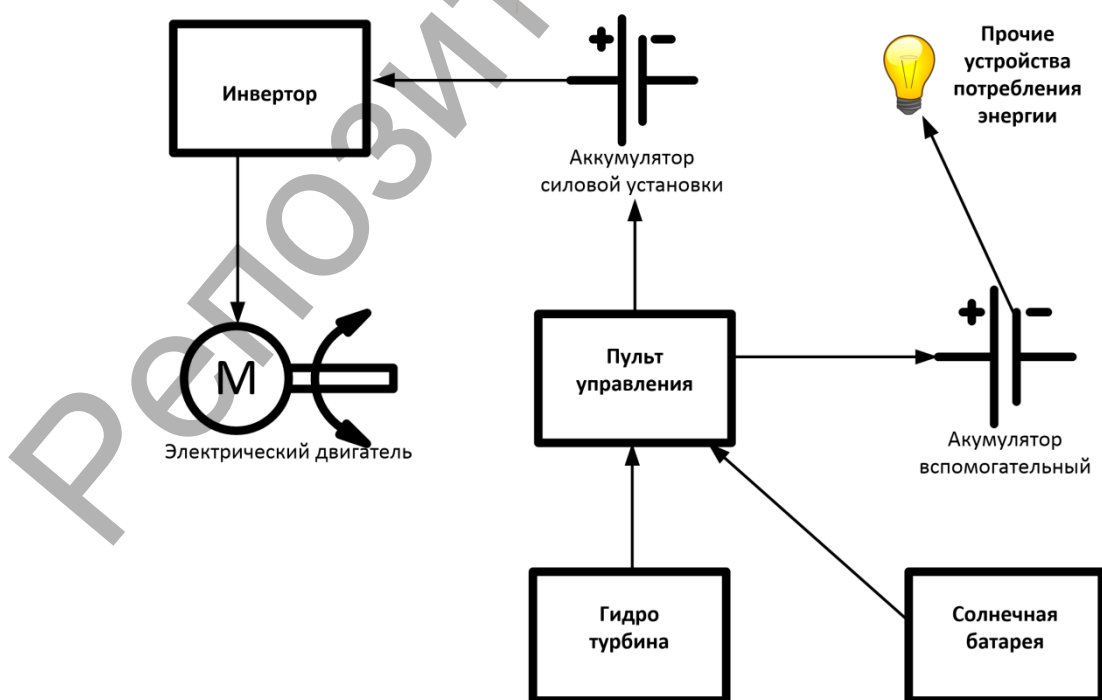


Рисунок 1 – Схема энергетической системы на возобновляемых источниках энергии

Достигнутый коэффициент преобразования позволяет говорить об эффективности этих систем. Световые волны, имеющие длину, находящуюся в пределах заданного диапазона, могут быть преобразованы в электрическую энергию. При этом неиспользованный свет поглощается материалом наполнителем батареи или отражается. Панели на судне адаптированы под структуру судна и морских условий. Кроме того, они могут эксплуатироваться без технического обслуживания и очистки (благодаря использованию покрытия из оксида титана). Панелей общей площадью около 10 м<sup>2</sup> достаточно для получения энергии, обеспечивающей движение со скоростью 5 узлов в час. Производство необходимого объема энергии в такой системе займет около 2 часов.

Концепция строительства яхты включает использование энергии ветра для зарядки электрических аккумуляторов. Для увеличения скорости ветрового потока применены ветровые каналы и соответствующие спирали на корпусе судна. Скорость ветра увеличена благодаря каналам, размещенным по центру спирали, где кинетическая энергия преобразовывается в электрическую энергию для зарядки аккумуляторов.

Яхта способна двигаться со скоростью 6-7 узлов в час. Гидротурбины, которые производятся в рамках проекта, размещаются по обеим сторонам киля внутри корпуса и не меняют скорость судна больше, чем на один узел. Устанавливаемые конические гидродинамические каналы размещаются вблизи системы трансмиссии. Турбина, помещенная в конце канала, выполняет поворот со скоростью 10 узлов. Такое решение позволяет достигнуть 800 оборотов в минуту на генераторе постоянного тока, используемого для преобразования в электрическую энергию.

С использованием компьютерной среды проанализированы возможности для использования в проекте технологии батарейных блоков и разработана программа их испытаний батарейных блоков. Результаты проектирования представлены в виде схемы энергетической системы яхты на возобновляемых источниках энергии (рис. 1).

### **3. Математическая модель аккумулятора силовой установки**

Накопление и управление энергией, поступающей от возобновляемых источников, является важным вопросом проекта. Правильный выбор источника в процессе производства и хранения энергии может заметно улучшить производительность системы, что и является предметом научных исследований. Литиевые батареи, применяемые для хранения энергии, разработаны так, чтобы накапливать ее с минимальными потерями [2]. Для эффективного использования литиевых батарей выполнены исследования процессов их зарядки и разрядки [3]. Исследования проведены для различных режимов, каждому из которых соответствуют индивидуальные параметры. Параметры режимов определяются током зарядки в пределах от 0,1 до 6 Ампер. Фиксация других измеряемых параметров выполнена через каждые 5 секунд: емкость (мАмпер/ч), напряжение на полюсах аккумулятора (мВ) и другие. Все измерения представлены в базе данных.

На основе данных измерений спроектирована математическая модель для прогнозирования емкости аккумуляторной батареи при ее зарядке (разрядке) током  $I$  в течение времени  $t$ . Для построения модели использован сплайн второго порядка, имеющий вид:

$$E(t, I) = a_{ik}(t - t_i)(I - I_k) + b_{ik}(t - t_i) + c_{ik}(I - I_k) + d_{ik}. \quad (1)$$

Коэффициенты  $a_{ik}, b_{ik}, c_{ik}, d_{ik}$  определяются из системы уравнений (2):

$$\begin{cases} E(t_i I_k) = a_{ik}(t_i - t_i)(I_k - I_k) + b_{ik}(t_i - t_i) + c_{ik}(I_k - I_k) + d_{ik} \\ E(t_{i-1} I_k) = a_{ik}(t_{i-1} - t_i)(I_k - I_k) + b_{ik}(t_{i-1} - t_i) + c_{ik}(I_k - I_k) + d_{ik} \\ E(t_i I_{k-1}) = a_{ik}(t_i - t_i)(I_{k-1} - I_k) + b_{ik}(t_i - t_i) + c_{ik}(I_{k-1} - I_k) + d_{ik} \\ E(t_{i-1} I_{k-1}) = a_{ik}(t_{i-1} - t_i)(I_{k-1} - I_k) + b_{ik}(t_{i-1} - t_i) + c_{ik}(I_{k-1} - I_k) + d_{ik} \end{cases}, \quad (2)$$

где  $E(t, I)$  – емкость батареи в момент времени  $t$  при зарядке током  $I$ ;

$t_{i-1}, t_i$  – моменты времени, для которых выполнены измерения характеристик аккумуляторной батареи (сила тока, ёмкость батареи, напряжение и т.д.),  $t_{i-1} < t_i$ ;

$t$  – момент времени, для которого необходимо определить емкость батареи в соответствии с построенной моделью ( $t_{i-1} \leq t \leq t_i$ );

$I_{k-1}, I_k$  – значения силы тока зарядки батареи, измеренные в моменты времени  $t_{i-1}$  и  $t_i$ , соответственно ( $I_{k-1} < I_k$ );

$I$  – ток зарядки, для которого необходимо определить емкость батареи для момента времени  $t$ .  $I_{k-1} \leq I \leq I_k$ ;

$E(t_m I_n)$  – емкость батареи в момент времени  $t_m$  при зарядке током  $I_n$ .

Данные значения занесены в базу данных измерений.

Выражения (1), (2) в совокупности с базой данных выполненных измерений образуют математическую модель поведения аккумуляторной батареи. В ходе построения модели выполнена оценка погрешности измерений и вычислений. Результаты оценки погрешности позволяют сделать вывод о достаточной адекватности построенной модели.

#### 4. Программное обеспечение

Разработанное в рамках проекта программное обеспечение предназначено для измерения параметров процессов разрядки и зарядки аккумуляторной батареи яхты, предварительной обработки результатов измерений и их последующей загрузке в базу данных.

На основе математической модели аккумулятора разработан итерационный алгоритм, позволяющий на основании графика распределения суточной нагрузки в электрической цепи яхты прогнозировать процесс разрядки аккумулятора во времени. Программное обеспечение было разработано с использованием технологии WebForms для платформы .NET фирмы Microsoft. В качестве базы данных выбрана СУБД Microsoft SQL Server 2014. Информационная система работает под управлением ОС Microsoft Windows Server 2012. Схему информационной системы моделирования представляет рис. 2.

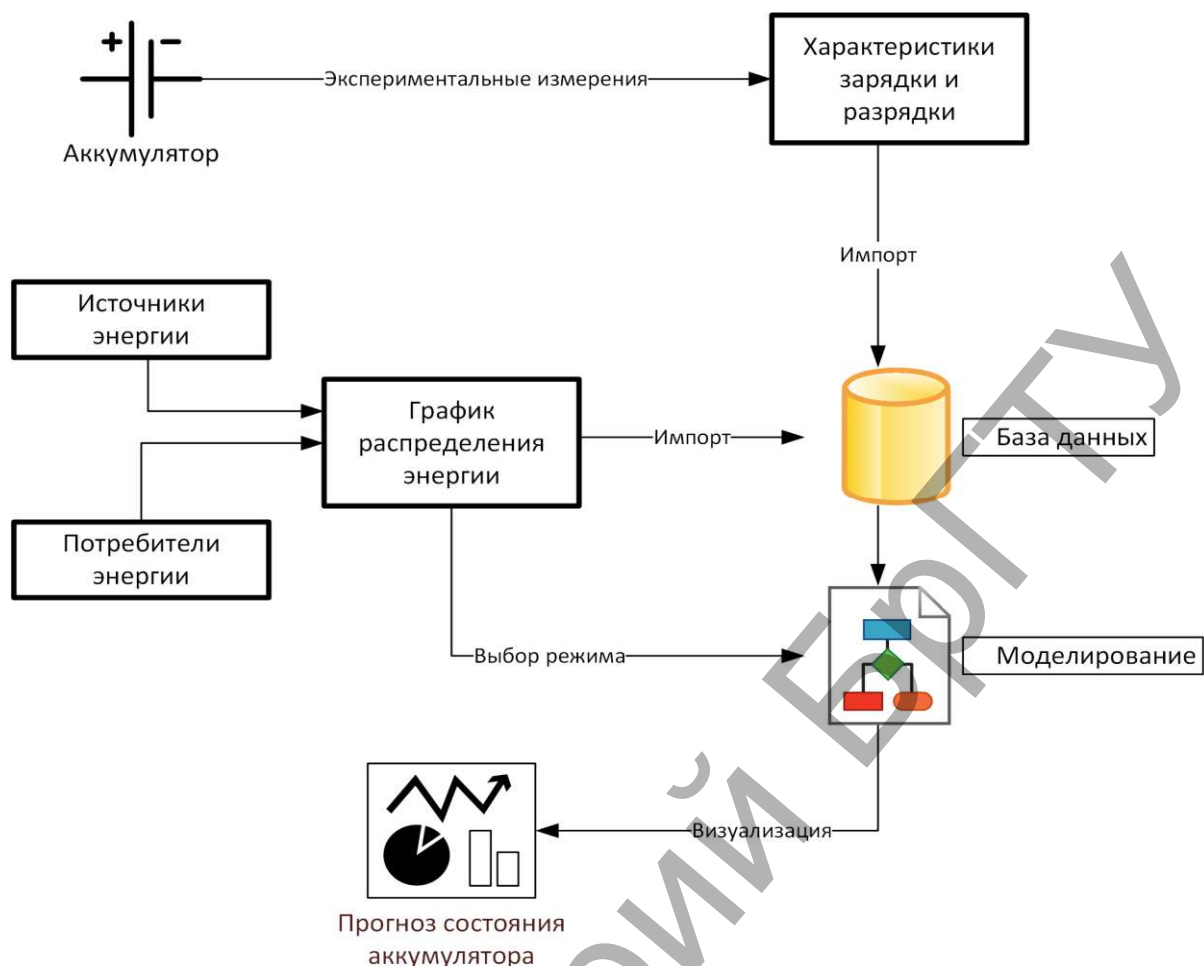


Рисунок 2 – Схема информационной системы для моделирования процессов эксплуатации аккумулятора

## 5. Выводы

С использованием построенной математической модели возможно решение задач эффективного использования литиевых батарей в составе энергетической системы судна на основе возобновляемых источников энергии. В числе таких задач: оценка оптимальных параметров зарядки аккумуляторной батареи и определение режимов ее разрядки. Разработанное в рамках проекта программное обеспечение позволило провести проверку корректности математической модели, часть его будет использована в информационной системе управления яхтой.

Таким образом, в настоящей работе представлены лишь некоторые итоги проектирования и исследования энергетической системы яхты на основе возобновляемых источников энергии. Анализ полученных результатов позволяет утверждать, что они в полном объеме могут быть использованы в подобных решениях для проектирования экологических транспортных средств.

Проект «Инновационная яхта с гибридным приводом питания от возобновляемых источников энергии (REP SAIL)» финансируется Национальным центром исследований и развития в рамках программы ERA – NET TRANSPORT. Настоящая публикация подготовлена при финансовой поддержке Отделения информационных и мехатронических систем (SIMT) Факультета транспорта Варшавского политехнического университета.

## Литература

1. Сайт Факультета транспорта Варшавского политехнического университета [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.wt.pw.edu.pl/>. Дата доступа: 15.04.2016.
2. Koniak Marcin, Czerepicki Andrzej, Kras Bartek, Kwiatkowski Maciej: Dobór technologii akumulatorów do zasobnika energii współpracującego ze ściśle określonym zespołem odbiorców. Metoda pomiarowo – symulacyjna, w: Maszyny Elektryczne: zeszyty problemowe, Branżowy Ośrodek Badawczo-Rozwojowy Maszyn Elektrycznych "Komel", nr 1, 2014, 115 – 118
3. Koniak Marcin, Tomczuk Piotr, Czerepicki Andrzej, Jaskowski Piotr: Koncepcja stanowiska do badań eksploatacyjnych ogniw chemicznych stosowanych w elektrycznych środkach transportu, w: Logistyka: czasopismo dla profesjonalistów, Instytut Logistyki i Magazynowania, nr 4, 2015, ss. 475 - 480

УДК 504.75.06

### О ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ КРУПНЫХ ГОРОДОВ

О.Н. Ларин<sup>1</sup>, Д.Э. Тарасов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Российский институт стратегических исследований,  
Москва, Россия;

<sup>2</sup>Московский государственный университет путей  
сообщения Императора Николая II,  
Москва, Россия

*Рассматриваются вопросы вредного воздействия автомобильного транспорта на экологию крупных городов на фоне озабоченности международного сообщества проблемами и глобального изменения климата от парниковых газов. Приведены дефиниции системных понятий применительно к задачам развития транспортных систем городов. Содержатся экспертные оценки о перспективах внедрения в крупных городах экологических видов транспорта.*

## Введение

Одна из основных задач внедрения интеллектуальных транспортных систем связана с необходимостью улучшения экологической обстановки. Задачи снижения негативного воздействия транспорта на экологию обсуждались на 21-й Климатической конференции Организации Объединённых Наций в Париже в 2015 году. Конференции по климату проводятся ежегодно и являются своеобразным механизмом реализации положений Рамочной конвенции ООН об изменении климата, подписанной практически всеми странами мира. По данным международных исследований, вклад транспорта в глобальное потепление превышает 30 % от всех выбросов, вызванных сжиганием ископаемого топлива. Учитывая характер и масштаб проблемы, Генеральный секретарь ООН Пан Ги Мун призывал правительства всех стран мира «сделать мудрый выбор и пойти по низкоуглеродному пути».

Выступая на Парижской конференции, Президент России Владимир Путин отметил, что наша страна вышла на одно из первых мест в мире по темпам снижения энергоёмкости экономики – 33,4% за период с 2000 по 2012 годы, а к 2020 году ещё на 13,5%. К 2030 году Россия ставит задачу уменьшить выбросы парниковых газов до 70 процентов от базового уровня 1990 года. Для достижения этого уровня необходимо активно использовать энергосберегающие технологии, в том числе в сфере транспорта, так как у России имеются существенные резервы для ограничения выбросов CO<sub>2</sub> за счёт повышения топливной экономичности при эксплуатации автотранспортных средств.

## **1. Транспортный фактор в экологии крупных городов**

Наиболее интенсивное воздействие автотранспорта на экологию и здоровье людей проявляется в крупных городах. Общая площадь городов мира составляет всего лишь 3% суши Земли, однако на них приходится 60–80% потребления энергии и 75% выбросов углекислого газа. В городах проживает 75% всего населения России, причем 30% проживает в городах с населением более 1 млн. человек, в которых проблемы экологии в большей степени обусловлены вредными выбросами автотранспортных средств, использующих нефтяные топлива. Поэтому задача обеспечения населения городов необходимыми транспортными услугами при одновременном сокращении негативного воздействия транспорта на окружающую среду является актуальной в мировом масштабе.

К основным вредным воздействиям автомобильного транспорта, работающего на бензиновом и дизельном топливе, относят: выбросы вредных веществ, выбросы парниковых газов, шум, вибрация, электромагнитное излучение, разрушение естественных ландшафтов, загрязнение природных объектов и пр. Регулярное воздействие перечисленных факторов является одной из главных причин многочисленных заболеваний, характерных как раз для жителей крупных городов: заболевание дыхательной и сердечно-сосудистой систем, онкология, нарушение обмена веществ в организме, увеличение массы тела в связи со снижением двигательной активности, психические заболевания и пр.

Во многих странах мера сложилась успешная практика решения проблем вредного воздействия автомобильного транспорта на экологию городов на основе разработки и реализации комплексных программ повышения энергоэффективности и экологической безопасности автотранспортных средств.

## **2. «Зелёные» транспортные системы крупных городов**

Под транспортными системами городов понимается совокупность всех видов транспорта (включая метро, велосипеды пр.), которые преимущественно используются основной частью жителей города для реализации устойчивых передвижений с трудовыми, деловыми и культурно-бытовыми целями.

С теоретической точки зрения функционирование систем любой природы, в том числе и транспортных, характеризуется специальными терминами: состояние, поведение, равновесие, устойчивость, развитие.

Понятие «состояние» отражает достигнутый системой качественный уровень функционирования. Состояние системы фактически является функций



оценки её количественных характеристик – результатов деятельности системы. Применительно к транспортным системам такими характеристиками являются скорость движения, плотность потока, уровень СО и др.

Переход системы из одного состояния в другое под действием внешних и внутренних факторов называется поведением системы. Равновесие системы предполагает сохранение её известного состояния при отсутствии внешних воздействий. Под устойчивостью системы понимается её способность возвращаться в прежнее состояние после его нежелательных изменений под влиянием внешних возмущающих воздействий. Понятие «развитие системы» объясняет сложные процессы, которые в них происходят, связанные с изменением эффективности деятельности систем.

При переходе системы в любое новое состояние ее эффективность изменяется на определенную величину. Результат изменения может быть как положительным, так и отрицательным. Причем направленность эффекта (плюс или минус) определяется конкретными условиями функционирования объекта и целями его развития. Соответственно под развитием системы следует понимать эффективное поведение системы.

Тогда под устойчивым развитием транспортных систем городов можно понимать процесс такого изменения состояния транспортной системы, то есть фактически переход её в новое состояние, путем целенаправленного изменения характеристик, при которых эффективность работы транспортной системы повышается при сохранении (или лучше снижении) используемых ресурсов в долгосрочной перспективе.

В некоторой научной и популярной литературе используются однозначные по содержанию и смыслу понятия «устойчивый транспорт» и «зелёный транспорт», под которыми понимаются любые способы передвижения, обеспечивающие снижение уровня вредного воздействия транспорта на окружающую среду при безусловной реализации всех транспортных потребностей пользователей.

Использование термина «зеленый транспорт» представляется оправданным, так как пешеходное и велосипедное движение, экологичные автомобили, транзитно-ориентированное проектирование городов и т.п. способны обеспечить условия для устойчивого развития как отдельного города, так и страны в целом.

Таким образом, работа устойчивого («зеленого») транспорта должна обеспечивать полное и безусловное удовлетворение существующих и перспективных потребностей всех слоёв населения и экономики в транспортных передвижениях с заданными критериями качества при исключении как реальных, так и потенциальных угроз неэффективного использования всех видов ресурсов и вредному воздействию на экологию.

Программы развития «зеленых» транспортных систем городов включают комплекс мероприятий, в том числе, по снижению числа поездок населения на личном автомобильном транспорте, развитию пешеходного и велосипедного движения, использованию транспорта, работающего на экологическом топливе (электричество, газ и пр.), внедрению интеллектуальных транспортных систем и пр., что в итоге должно обеспечить не только снижение вредного воздействия транспорта на экологию больших городов, но и сделать их (города) более «удобными» для жизни людей.



### 3. Перспективы развития транспортных систем крупных городов

Важным направлением развития городских транспортных систем является увеличение удельного веса использования экологичных видов транспортных средств.

Современные тенденции развития науки и техники не исключают постепенный «закат эры» использования транспортных средств на традиционных ДВС для городских передвижений. По различным оценкам, через 30–50 лет в крупных городах будут использоваться преимущественно беспилотные электромобили, управляемые из единого информационного центра городской транспортной системы. Прототипы подобных транспортных средств и систем активно разрабатываются и уже тестируются. Стоит заметить, что современная тенденция интеллектуализации городских транспортных систем способна существенно повлиять на перспективы автомобилестроительной промышленности. Однотипные «умные» автомобили, работающие по индивидуальным заказам в режиме такси, будут способны практически полностью заместить использование личных автомобилей в городских условиях. Как следствие, можно ожидать снижения спроса на подвижной состав для личного пользования, который сегодня представлен различными марками и широким модельным рядом. В перспективе будет востребовано производство однотипных транспортных средств, приспособленных для городских перевозок пассажиров. Подобные тенденции следует учитывать при реализации новых инвестиционных проектов в автомобильной промышленности.

УДК 681.

#### **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНО-ФИНАНСОВЫХ ПОТОКОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА ЕАЭС**

А.А. Михальченко, В.А. Фалецкий, В.В. Пашкевич  
Белорусский государственный университет транспорта,  
Гомель, Беларусь

*Приводятся результаты исследований эффективности использования различных научных подходов при формировании компьютерных моделей транспортно-финансовых потоков предприятий наземного транспорта в условиях выполнения технического регламента ЕАЭС при обеспечении безопасности дорожного движения и перевозок грузов и пассажиров по видам сообщений с учетом достижения определенного финансового результата.*

#### **Введение**

Обязательное использование технического регламента ЕАЭС по функционированию транспортного комплекса содружества предполагает достижение нового уровня интеллектуального развития транспортных систем. Развитие рынка транспортных услуг в новых условиях функционирования транспортной

системы Республики Беларусь потребовало разработку новых подходов в решении проблем управления транспортно-финансовыми потоками. Отсутствие решения данной проблемы создало много новых нерешенных вопросов, которые отразились негативно на объемах перевозок, денежном поступлении, что в итоге поставило многие транспортные организации на грань банкротства.

## **Цели и задачи**

Нерешенность оптимизационных задач по управлению транспортно-финансовыми потоками привела к тому, что национальными перевозчиками утрачены ведущие позиции в конкуренции на рынке транспортных услуг даже на собственной территории. Это создало новые проблемы в работе транспортной системы страны, что незамедлительно сказалось на двух направлениях: 1) снижена доходность от транспортной деятельности (ранее это составляло 17 % поступлений в бюджет); 2) создана проблема безопасности дорожного движения и перевозок грузов и пассажиров (старение транспортных средств, использование устаревших технологий и оборудования, обеспечивающих безопасность движения). Для решения многих проблем по управлению транспортными и финансовыми потоками конкурентные организации используют компьютерные модели, которые позволяют выполнять поиск наиболее эффективных решений по участию в транспортном рынке. Отсутствие таких моделей у белорусских транспортных организаций создало проблемы работы с иностранными партнерами, что привело к ликвидации многих международных маршрутов как пассажирских, так и грузовых перевозок. По результатам проведенных БелГУТом исследований в транспортных организациях Республики Беларусь, Украины, Казахстана и стран Балтии может быть сформулирована целевая задача – разработка компьютерных моделей формирования и продвижения транспортно-финансовых потоков с учетом изменения рынка транспортных услуг, технического регламента исполнения перевозок и развития производственно-технологической базы, адаптированной под новые условия работы.

## **Пути решения поставленных проблем и задач**

В соответствии с поставленной целью имеется потребность решения нескольких проблемных задач: 1) интеллектуальное развитие системы управления транспортными и финансовыми потоками организаций-перевозчиков, владельцев инфраструктуры, распорядителей транспортных средств; 2) повышение уровня безопасности дорожного движения и перевозок грузов и пассажиров; 3) создание условий, обеспечивающих совместную деятельность белорусских и иностранных организаций по освоению белорусского и международного рынков транспортных услуг; 4) создание новых видов подвижного состава с использованием инновационных технологий.

Интеллектуальное развитие системы управления транспортными и финансовыми потоками основывается на использовании компьютерных моделей, основанных на использовании принципиально нового математического аппарата, образованного на основе интеграции отдельных положений теории транспорт-

ных систем и процессов [2], теории иерархических систем [3] и теории исследования операций [1]. Основные принципы построения математического аппарата компьютерной модели управления транспортными и финансовыми потоками включают: 1) разработку онтологии предметной области задач компьютерного моделирования финансово-технологических процессов; 2) разработку математической постановки задачи по формированию модели расчета технологических схем направления финансовых и транспортных потоков с учетом их дифференциации по видам сообщений и структуре исполнения транспортными организациями и интеграции на уровне генерального управления; 3) разработку алгоритма расчетов и требований к выходным данным для практического использования полученной модели; 4) формирование единой модели перемещения транспортных и финансовых потоков в национальных границах Республики Беларусь и на территориях государств, на которых выполняется освоение рынка силами белорусских перевозчиков.

Математический аппарат компьютерной модели строится на использовании комбинаторики, которая предусматривает простейшие комбинации, которые можно составить из элементов конечного множества, установив в этом множестве ожидаемый порядок размещения его элементов. К комбинаторике уделяется значительное внимание, так как она используется при формировании матрицы отнесения расходов на перевозки по видам грузовой и пассажирской логистики в зависимости от функциональной формы их выполнения и формы экономического их отнесения.

Ожидаемые результаты от использования компьютерной модели: 1) определение места задач по совершенствованию логистики управления расходами транспортных организаций при изменении транспортно-финансовых потоков на полигоне транспортной деятельности; 2) выяснение причин получения отрицательного результата расчетов и поиск управляющих переменных, обеспечивающих переход из отрицательного состояния в положительное; 3) использование многофакторного технологического управления, позволяющего переходить на управление с выделением в модели экономических факторов по классам выполнения перевозок и обслуживания потребителей транспортных услуг.

## Список литературы

1. Костевич, Л.С. Теория игр. Исследование операций : учеб. пособие / Л.С. Костевич, А.А. Лапко. Мн.: Высшая школа, 1982. – 230 с.
2. Михальченко, А.А. Основы теории транспортных процессов и систем : учеб. пособие / А.А. Михальченко, Б.Б. Парфенов, А.А. Сафроненко, А.Н. Старовойтов. М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 382 с.
3. Mesarovich, M.D. Theory of hierarchcal, multilevel. Systems / M.D. Mesarovich, D. Macko, Y, Takahara, Academic press. : New York. 1978. – 344 p.
4. Черноруцкий, И.Г. Методы оптимизации в теории управления : учеб. пособие / И.Г. Черноруцкий. – СПб, : Питер. 2004 -256 с.

## **ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ И АВИАЦИОННОЙ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

А.В. Каминский, Т.Н. Ткачева  
Белорусский научно-исследовательский институт  
транспорта «Транстехника», Минск, Беларусь

*Одним из главных требований к выполнению полетов является обеспечение безопасности при управлении воздушным судном, как в воздухе, так и на земле. Обеспечение безопасности полетов воздушных судов выполняется комплексом организационных и технических мер и средств, выполняемых соответствующими органами исполнительной власти в целом и конкретными должностными лицами. Средствами управления самолетов на земле являются средства радиотехнического обеспечения полетов и авиационная электросвязь. Таким образом, необходимо выполнение всех требований к составу, размещению, функционированию и периодическому контролю технических характеристик радиотехнических средств и авиационной электросвязи.*

Радиотехническое обеспечение аэропортов и воздушных трасс представляет собой наземные средства радиотехнического обеспечения полетов и связи. С течением времени развитие ИТ-технологий приносит вклад в улучшение условий труда, облегчая работу сотрудникам авиапредприятий. Благодаря этим технологиям мы можем получить точные данные о любом воздушном судне (далее – ВС) в любой точке земного шара.

С момента, когда начали прокладывать воздушные трассы, возникла необходимость предъявления требований к точности выдерживания воздушными судами своего местоположения. Поскольку трассы прокладывались от одного наземного навигационного средства к другому, самолётовождение сводилось к вычислению курса следования с учётом фактического ветра и определения бокового отклонения от оси трассы.

Заходы на посадку и посадка также производятся с использованием соответствующего наземного оборудования, однако уже и для этих целей современные самолёты могут использовать только автономное бортовое оборудование и заходить на посадку по приборам без помощи наземных средств.

Организация радиотехнического обеспечения полетов и авиационной электросвязи невозможна без совершенствования нормативно-правовой базы. Без обязательных к исполнению правил, регламентирующих выполнение полётов, невозможно гарантировать безопасность полетов.

В Республике Беларусь в области радиотехнического обеспечения полетов утверждены авиационные правила «Радиотехническое обеспечение полетов и авиационная электросвязь» (далее – АП РТОП). Действующие правила распространяются на объекты и средства радиотехнического обеспечения полетов и связи, используемые на гражданских аэродромах, находящихся на территории страны. АП РТОП разработаны в соответствии с Воздушным кодексом Республики Беларусь, приложением 10 к Конвенции о международной гражданской авиации (далее – ГА) и устанавливают требования к объектам радиотехниче-

ского обеспечения полетов и авиационной электросвязи, а также к организации технической эксплуатации этих объектов.

Согласно АП РТОП все радиоизлучающие средства, находящиеся на территории Беларуси, подлежат государственной регистрации и должны иметь разрешение на право эксплуатации, иметь сертификат типа, выданный Межгосударственным авиационным комитетом, и удостоверение годности к эксплуатации. Ответственность за готовность к применению по назначению средств РТОП и связи возлагается на Службу эксплуатации радиотехнического оборудования и связи (далее – ЭРТОС), которая организует свою деятельность по РТОП и обеспечению производственной деятельности авиационной организации, обеспечивает организацию и проведение технической эксплуатации в соответствии с оперативным и перспективным планированием по всем видам деятельности, а так же ведет ежегодный анализ состояния обеспечения безопасности полетов.

Помимо АП РТОП, на территории для радиотехнического обеспечения полетов службы используют документы, описанные в «Перечне документов, действующих в гражданской авиации Республики Беларусь». Данный перечень вступил в силу 15 сентября 2014 года. Он введен в целях обеспечения качественного ведения контрольных и рабочих экземпляров организационно-распорядительных документов, регламентирующих деятельность ГА. Рассмотрим в отдельности каждый из них:

- Авиационные правила «Организация и проведение наземных и летных проверок наземных средств радиотехнического обеспечения полетов, авиационной электросвязи и систем светотехнического оборудования аэродромов гражданской авиации»;

- Положение о метрологическом обеспечении авиапредприятий гражданской авиации Республики Беларусь;

- С ТБ 1864.1-5-2009 Авиационная электросвязь;

- Руководство по радиотехническому обеспечению полетов в гражданской авиации (далее – РРТОП ГА-2000).

Авиационные правила «Организация и проведение наземных и летных проверок наземных средств радиотехнического обеспечения полетов, авиационной электросвязи и систем светотехнического оборудования аэродромов гражданской авиации». В правилах учтены Международные стандарты и рекомендуемая практика Приложения 10 к Конвенции о международной гражданской авиации "Авиационная электросвязь", том 1 – "Радионавигационные средства" (Международная гражданская авиация, 1996 г.); и Приложения 14 к Конвенции о международной гражданской авиации "Аэродромы", том 1 – "Проектирование и эксплуатация аэродромов" (Международная гражданская авиация, 2004 г.). В правилах в полной мере отображены вопросы по организации наземных и летных проверок трассового и аэродромного, вторичного обзорного радиолокатора, трассового радиолокационного комплекса, оборудования систем посадки I, II, III категории, всенаправленных радиомаяков. В авиационных правилах описаны требования, программы проведения проверок, методика организации работы для каждого из пунктов, описанных выше.

Положение о метрологическом обеспечении авиапредприятий гражданской авиации Республики Беларусь введено с целью организации централизованной службы метрологического обеспечения авиапредприятий, авиакомпа-

ний и учреждений гражданской авиации страны. Главной задачей метрологической службы является обеспечение единства измерений в отрасли, проведение единой технической политики в области совершенствования методов и средств измерений, испытаний, контроля и диагностирования, используемых в производственных процессах отрасли, направленной на достижение высокого уровня регулярности и безопасности полетов, качества технического обслуживания и ремонта авиационной техники и выпускаемой продукции.

В своей деятельности метрологическая служба руководствуется законодательством Республики Беларусь, стандартами системы обеспечения единства измерений Республики Беларусь, правилами, методическими указаниями, инструкциями Государственной метрологической службы Республики Беларусь, нормативными актами и самим Положением о метрологическом обеспечении авиапредприятий гражданской авиации Республики Беларусь. Служба несет ответственность за соблюдение в отрасли метрологических правил, требований и норм, состояние и развитие метрологического обеспечения в авиапредприятиях, организациях и учреждениях. В положении указана структура метрологической службы, ее функциональные обязанности и права.

СТБ 1864.1-5-2009 хоть и действующий документ, но не в полной мере соответствующий международному документу «Авиационная электросвязь. Приложение 10 к Конвенции о международной гражданской авиации», так как в нем не учтены поправки, внесенные с 2012 года. Кроме того, в соответствии с Воздушным кодексом Республики Беларусь, сертификации в области гражданской авиации подлежат все средства навигации, наблюдения и связи гражданской авиации. Требования, предъявляемые к объектам сертификации в области гражданской и экспериментальной авиации, устанавливаются авиационными правилами и иными нормативными правовыми актами, за исключением технических нормативных правовых актов в области технического нормирования и стандартизации (ст.20 ВК РБ). Так как СТБ 1864.1-5-2009 являются техническими нормативными правовыми актами в области технического нормирования и стандартизации, следовательно, требования, изложенные в них, не могут быть учтены при сертификации объектов РТОП.

РРТОП ГА-2000 разработано в соответствии с требованиями Воздушного кодекса РБ, АП РТОП, а также с учетом опыта эксплуатации средств РТОП и связи в предприятиях гражданской авиации. РРТОП ГА-2000 является нормативным распорядительным документом, регламентирующим организационные и технические требования по радиотехническому обеспечению полетов и авиационной электросвязи, который описывает основные принципы технической эксплуатации объектов и средств РТОП и связи. Требования и положения РРТОП ГА-2000 обязательны для выполнения руководящим и инженерно-техническим персоналом служб ЭРТОС предприятий гражданской авиации, а также предприятиями, использующими в своей деятельности средства РТОП и связи, обеспечивающие безопасность полетов ВС по правилам гражданской авиации. Безопасность полетов ВС в части радиотехнического обеспечения и авиационной электросвязи определяется надежностью функционирования объектов и средств РТОП и связи, качеством организации их технической эксплуатации и уровнем подготовки инженерно-технического персонала.

Действующие нормативные документы Республики Беларусь с течением времени утратили свою актуальность и новизну, не в полной мере учитывают современные технологии и тенденции организации радиотехнического обеспе-

чения полетов и авиационной электросвязи. Для решения задач по модернизации и совершенствованию системы следует привести все документы к единому виду, приведя его в соответствие с Приложением 10 к Конвенции о международной гражданской авиации. Данный путь решения приведет к гармонизации нормативной базы Республики Беларусь в области радиотехнического обеспечения полетов и авиационной электросвязи.

### Список литературы:

1. Авиационные правила «Радиотехническое обеспечение и авиационная электросвязь», утвержденные постановлением Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь от 29 марта 2000 года №2.
2. Авиационные правила "Организация и проведение наземных и летных проверок наземных средств радиотехнического обеспечения полетов, авиационной электросвязи и систем светосигнального оборудования аэродромов гражданской авиации Республики Беларусь", утвержденные постановлением Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь от 2 сентября 2008г. № 93.
3. Руководство по радиотехническому обеспечению полетов в гражданской авиации, утвержденные приказом ГКА от 26 августа 1996 года №99;
4. СТБ 1864.1-5-2009 «Авиационная электросвязь», утвержденные постановлением Госстандарта Республики Беларусь от 20 февраля 2009 года №8.
5. Положение о метрологическом обеспечении авиапредприятий гражданской авиации Республики Беларусь, утвержденные приказом ГКА от 14 июня 1996 года №64.

УДК 656.078

## **ИНТЕГРАЦИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ЕДИНУЮ СИСТЕМУ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**З.В. Машарский**

Белорусский научно-исследовательский институт «Транстехника»,  
Минск, Беларусь

*Применение беспилотных летательных аппаратов в гражданском секторе в настоящее время находится в ожидании решения некоторых технических и организационных проблем, без чего невозможно их стабильное использование. В статье приводятся основные аспекты применения беспилотных летательных аппаратов в гражданской авиации, рассматривается комплекс информационных технологий используемых при их проектировании и производстве, анализируется нормативно-правовая база Республики Беларусь по использованию беспилотных летательных аппаратов.*

Согласно Воздушному кодексу Республики Беларусь «беспилотный летательный аппарат – это воздушное судно, предназначенное для выполнения полета без экипажа на борту».

Стимулом к развитию беспилотной авиации во всем мире послужило успешное и широкое использование беспилотных летательных аппаратов (БЛА)

армиями США и Израиля в ходе военных операций (Персидский залив, Югославия, Ближний Восток, арабо-израильские войны). При этом БЛА зарекомендовали себя как эффективное средство разведки, сопровождения боя, в качестве ложных мишеней для обнаружения зенитных установок противника, доставки грузов, для выполнения прочих боевых задач.

Исторически развитие беспилотных систем шло по двум направлениям. Первое направление, касающееся, прежде всего, малых БЛА, выросло из авиамоделизма. Энтузиасты, начавшие работать в этом направлении, мало задумывались о какой-либо нормативной базе. На данный момент Указом президента Республики Беларусь №81 от 25.02.2016 разграничены понятия «авиамодель» и «беспилотный летательный аппарат». Так, «под авиамоделью понимается летательный аппарат без человека на борту, управление которого возможно только при условии визуального контакта с ним, а также неуправляемый свободнолетающий аппарат». Отсюда следует, что и нормативная база для авиамodelей и БЛА будет отличаться.

Другое направление — работы больших конструкторских бюро авиационной направленности, которые увидели перспективы, включая финансовые, развития беспилотных систем. В данном случае такие аппараты являются переутяжеленными и экономически не выгодными, так как основным направлением создания БЛА является военное применение. Но если первоначально в нашей стране БЛА нашли применение только в военной области, то сейчас значительный сегмент применения комплексов с БЛА приходится уже на гражданскую сферу. В настоящее время за рубежом практически все аппараты проектируются в качестве аппаратов двойного назначения.

Гражданская сфера применения БЛА чрезвычайно широка. К областям использования БЛА можно отнести:

- сектор безопасности, включая патрулирование улиц городов, транспортных развязок или иных территорий;
- предупреждение или управление чрезвычайными ситуациями, включая пожарную безопасность, работу по устранению последствий катастроф;
- сельское хозяйство, в том числе наблюдение за посевными площадями;
- рыболовство и лесничество, включая охрану лесного хозяйства и контроль рыбного промысла;
- геодезия и картографирование местности;
- география и геология, включая изучение труднодоступных геологических тел;
- строительство, в том числе контроль за стройками;
- нефтегазовый сектор, включая изучение и мониторинг нефтегазовых объектов, наблюдение и дистанционный сбор данных о состоянии трубопроводов и прочих объектов;
- средства массовой информации, в том числе аэрофотосъемка и видеосъемка;
- кинематография – телевизионные и киносъемки.

Из поставленных гражданским сектором рынка задач применения БЛА, в первую очередь, хочется отметить контрольные функции БЛА. С помощью беспилотных систем можно контролировать как техническое состояние объек-



тов, так и их безопасность и функционирование, притом, что контролируемые объекты могут находиться на большом удалении.

Для достижения поставленных задач в области гражданской авиации проектирование и производство БЛА ведется с использованием передовых современных информационных технологий. В процессе выполнения полета, как правило, управление БЛА осуществляется автоматически посредством бортового комплекса навигации и управления, в состав которого входят:

- приемник спутниковой навигации, обеспечивающий прием навигационной информации от систем ГЛОНАСС и GPS;
- система инерциальных датчиков, обеспечивающая определение ориентации и параметров движения БЛА;
- система воздушных сигналов, обеспечивающая измерение высоты и воздушной скорости;
- различные виды антенн, предназначенные для выполнения задач.

Бортовая система навигации и управления обеспечивает:

- полет по заданному маршруту (задание маршрута производится с указанием координат и высоты поворотных пунктов маршрута);
- изменение маршрутного задания или возврат в точку старта по команде с наземного пункта управления;
- облет указанной точки;
- автосопровождение выбранной цели;
- стабилизацию углов ориентации БЛА;
- поддержание заданных высот и скорости полета (путевой либо воздушной);
- сбор и передачу телеметрической информации и параметрах полета и работе целевого оборудования;
- программное управление устройствами целевого оборудования.

Бортовая система связи:

- функционирует в разрешенном диапазоне радиочастот;
- обеспечивает передачу данных с борта на землю и с земли на борт.

Данные, передаваемые с борта на землю, содержат:

- параметры телеметрии;
- потоковое видео- и фотоизображение.

Данные, передаваемые на борт, содержат:

- команды управления БЛА;
- команды управления целевой аппаратурой.

На сегодняшний день развитие рынка гражданских БЛА тормозится отсутствием полной нормативно-правовой базы по использованию БЛА. Эта проблема не решена полностью ни в одной стране мира. В Республике Беларусь изменения в Воздушный кодекс были внесены в январе 2014 г. постановлением № 127-3, которое вводило понятие «беспилотный летательный аппарат» и «оператор БЛА». Также о БЛА упоминается в Правилах использования воздушного пространства РБ и в Авиационных правилах полетов в воздушном пространстве Республики Беларусь. Данные документы определяют права оператора БЛА, уточняют моменты, связанные с полетом БЛА, и приравнивают оператора БЛА к экипажу воздушного судна со всеми соответствующими правами. Очевидно, что для полной регламентации деятельности по использованию БЛА необходима разработка авиационных правил организации и

обеспечения полетов БЛА в Республике Беларусь, в которых будут отображены все стороны эксплуатации, регистрации и сертификации БЛА.

В России с 1 ноября 2010 года вступили в силу новые Федеральные правила использования воздушного пространства Российской Федерации. Впервые в этот документ включено определение беспилотного летательного аппарата, а также введены положения относительно порядка использования беспилотного летательного аппарата в воздушном пространстве. Однако этот документ должен быть дополнен рядом сопутствующих документов, содержащих подробные правила и инструкции.

Также одним из главных вопросов является получение статуса воздушного судна (ВС) беспилотными аппаратами. БЛА, не являясь ВС, не подлежат регистрации в реестре ВС и не имеют Свидетельства о регистрации и годности к использованию. Им невозможно, да и не нужно получать разрешение на использование воздушного пространства. А это уже чревато самыми серьезными последствиями.

В рамках действующего законодательства есть вид авиации, в котором БЛА могут существовать на законном основании. Это - экспериментальная авиация. По этому пути идут и другие страны (США, Европа). В этой отрасли есть многолетний опыт использования летательных аппаратов, нормативные документы, разработанные десятилетиями, также есть возможность контроля за техническим состоянием БЛА и многое другое. Получив статус ВС в рамках экспериментальной авиации, БЛА смогут использовать воздушное пространство по существующим правилам.

БЛА в последние годы активно применялись военными, поэтому наработанный ими опыт эксплуатации БЛА в различных условиях отбрасывать ни в коем случае нельзя. Наоборот, нужно привлечь военных к выработке технических требований к БЛА с учетом того, что цели и задачи применения БЛА в гражданском секторе некоторым образом отличаются от задач, решаемых военными.

Итак, подводя итоги, можно отметить тот факт, что использование БЛА не только возможно, но и необходимо. Полеты БЛА возможны при условии выполнения требований, выработанных для получения Свидетельств о летной годности и регистрации. Это можно сделать в рамках экспериментальной авиации.

Взрывной рост рынка БЛА и связанных с ним услуг прогнозируется при преодолении в скором времени ряда технических и административных барьеров, ограничивающих использование БЛА в национальном воздушном пространстве.

Многие проблемы развития беспилотной авиации могут быть решены разработкой и введением авиационных правил использования БЛА. Чтобы это реализовать в полной мере, нужно выполнить несколько основных мероприятий.

1. В первую очередь надо прийти к единой терминологии. Сейчас используются различные термины и понятия специалистами-разработчиками, производителями. Даже в Воздушном кодексе Республики Беларусь и Авиационных правилах полетов в воздушном пространстве Республики Беларусь определения понятия «беспилотного летательного аппарата» отличаются.

2. Внедрить отечественные нормы летной годности для беспилотных систем различного назначения. Такие нормы у нас в стране отсутствуют.

Поэтому выдача сертификата на беспилотный комплекс «повисает в воздухе» из-за отсутствия сертификационной базы.

3. Требования к безопасности эксплуатации беспилотных систем должны быть гармонизированы с действующим законодательством других стран. Должны быть определены порядок сертификации БЛА и порядок их регистрации на территории Республики Беларусь.

4. Очень важным вопросом является процесс обучения персонала и выдача свидетельств операторам БЛА.

Интеграция БЛА в единую систему гражданской авиации может осуществиться только после определения норм летной годности, правил для персонала и эксплуатации, и после подтверждения соответствия этим нормам. Это основные требования, которые необходимо реализовать для внедрения в практику БЛА.

### Список литературы:

1. Илюшко, В.М., Нарытник, Т.М. Система передачи данных на базе высотного беспилотного летательного аппарата (СПД "Фаэтон")/В.М. Илюшко//Зв'язок. – 2004. – № 7. – С. 38–39.
2. Павлушенко, М.А. Беспилотные летательные аппараты: история, применение, угроза распространения и перспективы развития / М. Павлушенко// Научные записки ПИР Центра: национальная и глобальная безопасность. – М.: Изд-во «Права человека», 2005. – 612 с.
3. Ганин, С.М. Беспилотные летательные аппараты / С.М. Ганин//. –СПб.: Невский бастион, 1999. - 160 с.
4. Ростопчин, В.В. Беспилотные авиационные системы: Основные понятия / В.В. Ростопчин/ /. – ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес,2009. - №4. - С. 82-88.

УДК 656.0:004

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ФИНАНСОВЫХ ПОТОКОВ В ТРАНСПОРТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

А.А. Ходоскина, В.В. Пашкевич, В.А. Фалецкий,  
Белорусский государственный университет транспорта,  
Гомель, Беларусь

*Приводятся результаты исследований использования современных методов и научных подходов к разработке компьютерных моделей финансовых потоков при выполнении транспортной деятельности и направляемых на обеспечение безопасности дорожного движения и перевозок грузов и пассажиров.*

### Введение

Современные методы организации транспортных и финансовых потоков базируются на использовании компьютерных моделей, определяющих многообразие предлагаемых решений, что имеет важное значение для управ-

ленческого учета в отличие от принимаемых решений по финансовым результатам, определяемым бухгалтерским учетом. При этом не вполне ясен вопрос обеспечения безопасности дорожного движения и перевозок, которые напрямую зависят от решений по управленческому учету – обновление транспортных средств, состояние дорожной (путевой) инфраструктуры, их обновление, модернизация и развитие. Нечеткость использования современных научных методов и подходов и отсутствие достаточно качественных компьютерных моделей не позволяет принимать эффективные решения в данной области транспортной деятельности.

## **Цели и задачи**

Цели проводимых исследований использования современных методов и научных подходов к разработке компьютерных моделей финансовых потоков при выполнении транспортной деятельности включают выбор определенных и адекватных научных направлений, обеспечивающих качественное построение таких моделей, которые полностью создают многовариантность принимаемых решений и дают возможность выбора оптимального с учетом многофакторного анализа. Из поставленной цели вытекает соответственно и ряд задач: 1) системный поиск научных методов для построения компьютерной модели определенного вида транспортной деятельности; 2) выбор разделов или направлений предшествующих теоретических исследований по интегральному объединению технологической, финансовой и картографической моделей транспортных и финансовых потоков в единое целое; 3) создание матрицы минимального количества принимаемых решений, на базе которых может быть выбрано оптимальное.

## **Пути решения поставленных проблем и задач**

Некачественное решение задач по управлению транспортно-финансовыми потоками привело к тому, что национальные перевозчики существенно сдали свои позиции конкурентам, как на автомобильном, так и на железнодорожном транспорте. В результате, значительная часть грузовых и пассажирских перевозок перешла на транспорт иностранных компаний (в основном в международном сообщении), что существенно снизило рейтинг белорусских автоперевозчиков. Отсутствие достаточных финансовых ресурсов у белорусских перевозчиков стало причиной резкого износа транспортных средств (в зоне 60 % как на автомобильном, так и на железнодорожном транспорте). В результате, активизирован рост нарушений безопасности дорожного движения, что принесло значительные дополнительные расходы как автомобильному (рост составил 22-26 %), так и железнодорожному (12-14 %) транспорту. Создание современной системы оптимальной организации транспортно-финансовых потоков базируется на качественном управленческом учете, который не может быть приемлемым без компьютерных моделей.

Такие модели не могут качественно функционировать, опираясь только на данные бухгалтерского учета, который далёк от интеллектуального наполнения. Исследование предшествующих научных разработок в области интеллектуального наполнения компьютерных моделей показало, что в

современных условиях оно должно базироваться на теориях транспортных систем и процессов [2], иерархических систем [1] и методах оптимизации в теории управления [3]. Изучение данных исследований показало, что для построения компьютерных моделей финансовых потоков при выполнении транспортной деятельности и направляемых на обеспечение безопасности дорожного движения и перевозок грузов и пассажиров, могут быть применимы следующие принципы: 1) однозначная концепция построения модели, определяющая расширение сферы применения теории иерархических систем управления, характерных для транспорта; 2) развитие оптимизационных методов управления материальными потоками транспортных организаций в зависимости от используемых технологий выполнения перевозок; 3) создание возможностей сокращения временного интервала жизненного цикла управленческого учета (между поступлением новой информации и завершением построения модели); 4) получение нескольких рекомендаций о том, как в условиях непредсказуемости и неопределенности рынка транспортных услуг можно упорядочить и оптимизировать процессы перевозок и как необходимо конкурировать по таким параметрам, как время, стоимость, качество на основе полученной модели в координации с маркетинговой стратегией транспортных организаций видов транспорта; 5) оценка безопасности движения и перевозок, достигаемой по вариантам принимаемых решений.

## **Выводы**

Развитие инвестиционного процесса в условиях повышенного риска в транспортной деятельности, связанного с неопределенностью перевозок и оптимизацией логистической деятельности на транспорте, не может моделироваться без учета основополагающих научных направлений: 1) в планировании и моделировании инвестиционных проектов развития транспортной инфраструктуры, связанной с безопасностью движения транспортных средств; 2) построение теоретических моделей управления инвестициями при организации транспортно-финансовых потоков используется при выборе оптимальных производственных программ транспортных организаций, анализе эффективности проектов создания транспортной инфраструктуры, управлении оборотным капиталом при проведении закупок материальных ресурсов [2]; 3) управление транспортными потоками, особенно во внешнеэкономической деятельности, должно базироваться на компьютерных моделях, построенных с учетом иерархического функционирования транспортной системы и реального технологического цикла.

## **Список литературы**

1. Mesarovich, M.D. Theory of hierarchcal, multilevel. Systems / M.D. Mesarovich, D. Маско, Y, Takahara, Academic press. : New York. 1978. – 344 p.
2. Михальченко, А.А. Основы теории транспортных процессов и систем: учеб. пособие / А.А. Михальченко, Б.Б. Парфенов, А.А. Сафроненко, А.Н. Старовойтов. М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель: БелГУТ, 2016. – 382 с.
3. Черноруцкий, И.Г. Методы оптимизации в теории управления : учеб. пособие / И.Г. Черноруцкий. – СПб, : Питер. 2004 -256 с.

## ОПЕРАЦИОННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ЧЕМПИОНАТА МИРА ПО ФУТБОЛУ FIFA 2018 ГОДА НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА СОЧИ

С.Н.Карасевич<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта,  
Москва, Россия

*В работе рассмотрены подходы к планированию и управлению транспортным обеспечением мероприятий Кубка Конфедераций FIFA 2017 года и Чемпионата мира по футболу FIFA 2018 на территории Краснодарского края и непосредственно в городе Сочи на основе разработки и реализации операционного мастер-плана. В рамках разработанного операционного мастер-плана проведены расчеты и моделирование работы транспортной системы, сформированы научно обоснованные предложения по оптимизации пассажирской логистики при доставке всех категорий клиентских групп футбольных первенств различными видами транспорта и по управлению пассажирскими перевозками и дорожным движением в городе-организаторе соревнований с учетом требуемого уровня сервиса транспортных услуг. Разработанные механизмы транспортного планирования и управления внедрены в практическую деятельность задействованных ведомств и организаций.*

В связи с проведением на территории Российской Федерации Кубка Конфедераций FIFA 2017 года (далее - КК-2017) и Чемпионата мира по футболу FIFA 2018 (ЧМ-2018) особую важность имеют вопросы, касающиеся эффективного планирования и управления транспортным обеспечением данных футбольных первенств в городах-организаторах соревнований.

Научно-исследовательским сектором «Транспортное планирование и моделирование» ОАО «НИИАТ» (г. Москва) совместно со специалистами ЗАО «НИПИ ТРТИ» (г. Санкт-Петербург) по заказу Министерства транспорта и дорожного хозяйства администрации Краснодарского края выполнен комплекс научных исследований и разработан операционный мастер-план транспортного обеспечения мероприятий КК-2017 и ЧМ-2018 на территории Краснодарского края.

Методология проведенных исследований заключалась в системном анализе транспортной системы, прогнозировании пассажирских потоков, проведении натурных замеров и расчетов, выявлении проблемных объектов транспортной инфраструктуры посредством компьютерного моделирования движения транспортных, пассажирских и пешеходных потоков с разработкой наиболее эффективных проектных решений по транспортному обслуживанию соревнований. По своей структуре подготовленный операционный мастер-план включает следующие разделы:

### **1. Операционная стратегия и организационная структура по транспортному обслуживанию соревнований.**

На данном этапе работ определен перечень вовлеченных ведомств и организаций, ответственных за подготовку и обеспечение транспортного обслуживания соревнований, а также разработана схема распределения ответственности.

## 2. Организация прибытия и отъездов клиентских групп

Рассмотрены различные варианты работы транспортных систем по логистике перемещений клиентских групп КК-2017 и ЧМ-2018, входящих в систему международных, межрегиональных и междугородных транспортных коридоров, в разрезе воздушного, железнодорожного, водного и автодорожного сообщения и сделан выбор наиболее рациональных схем перемещений. Проработана технология использования транзитных и запасных транспортных узлов и взаимодействия различных видов транспорта в таких узлах.

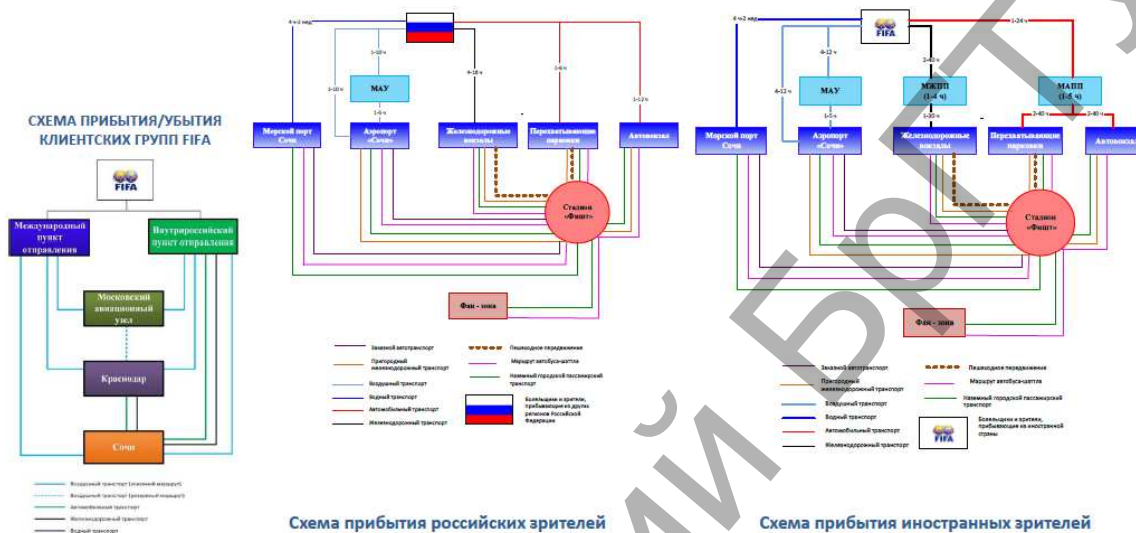


Рисунок 1 – Транспортные схемы прибытия и убытия клиентских групп в г. Сочи

Сопоставление показателей спрогнозированного транспортного спроса и фактического предложения пропускной способности объектов транспортной инфраструктуры позволило выявить ее дефицит на различных объектах транспортной инфраструктуры и внести обоснованные рекомендации по устранению таких недостатков. В основу оценочных расчетов транспортного спроса положены вероятностные поведенческие модели различных категорий клиентских групп, сформированные на основе мирового опыта, экспертных оценках и компьютерном моделировании. При этом были предусмотрены расчеты и оценка различных сценариев по максимальным и минимальным показателям, чтобы своевременно справиться с наиболее сложными транспортными ситуациями.



Рисунок 2 – Микромоделирование транспортных потоков в зоне аэровокзала г. Сочи



### 3. Управление процессами перевозок и дорожным движением в г. Сочи, в зоне стадиона «Фишт», в зоне проведения «Фестивалей болельщиков» (зоны публичного просмотра футбольных матчей)

На основе компьютерных расчетов (PTV VISSIM, VISUM, AnyLogic) определены «проблемные места» в ключевых транспортных узлах и в масштабах города в целом, разработаны протокольные маршруты движения клиентских групп FIFA.

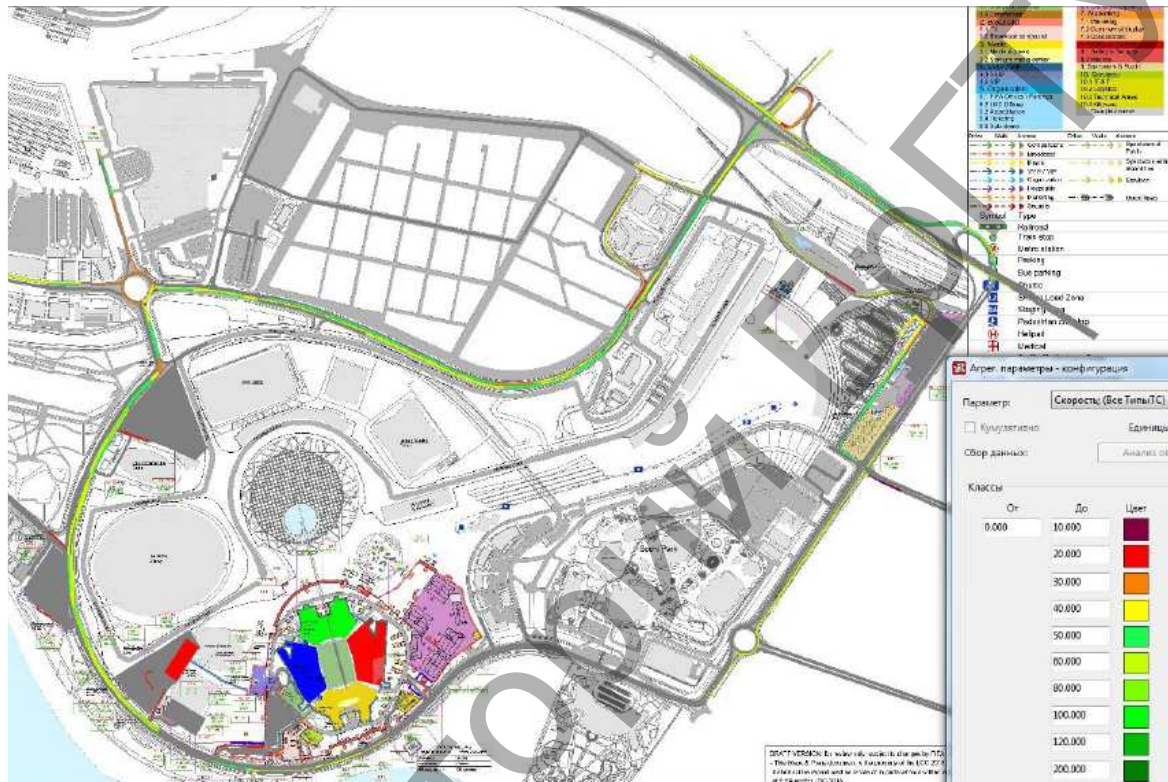


Рисунок 3 – Фрагмент моделирования дорожного движения в зоне стадиона «Фишт»



Рисунок 4 – Картограммы уровня загрузки движением улично-дорожной сети г. Сочи



Цели организации и управления перевозками и дорожным движением при проведении спортивных мега-событий в г. Сочи включают достоверность прогнозирования, гарантии безопасности, гибкость и необходимый уровень адаптации к возникающим изменениям, а также максимизацию эффективности. Предусмотрено, что транспортное обслуживание турнира в г. Сочи будет управляться единой организационной структурой - Центром управления перевозками и дорожным движением (ЦУПДД), который интегрирует и управляет информационными ресурсами транспортной системы и имеет соответствующие официальные полномочия.

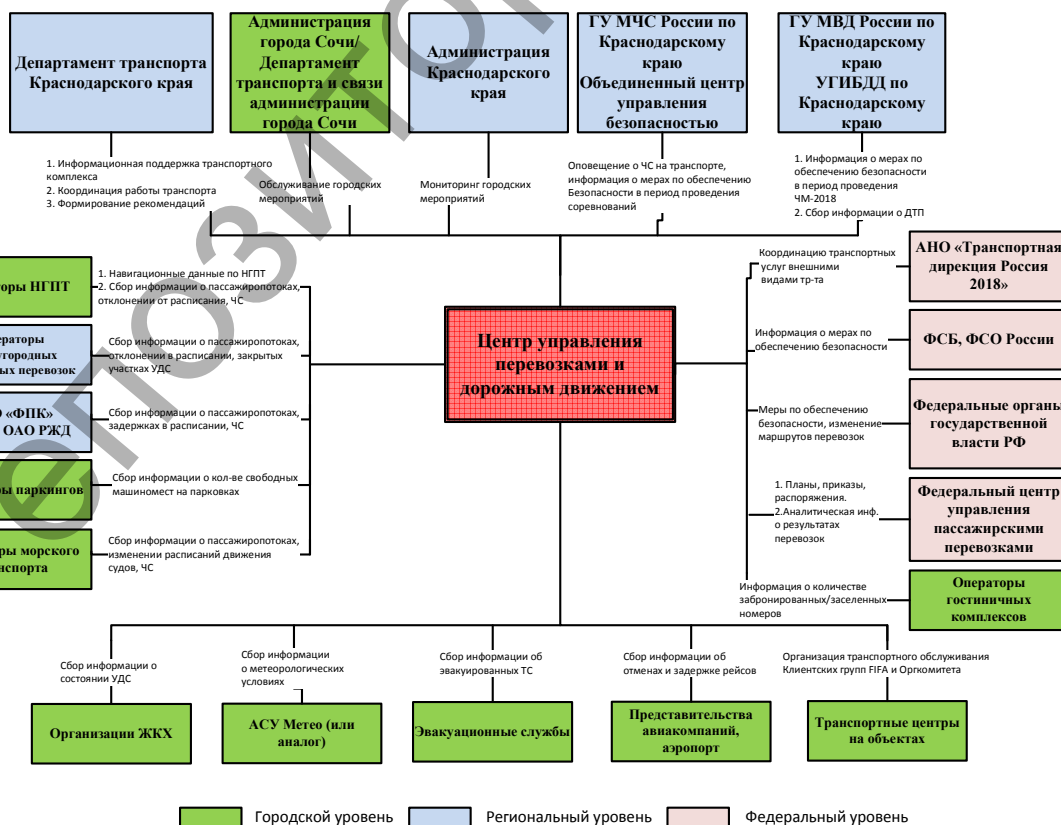


Рисунок 5 – Цели, задачи, функции ЦУПДД в г. Сочи на период проведения турнира

Кроме того, предусмотрено широкое использование интеллектуальных транспортных систем (ИТС), разработанных специально для осуществления пассажирских перевозок в период проведения соревнований, в том числе на базе ГЛОНАСС, что позволит накапливать, обрабатывать и передавать информацию о работе и состоянии транспортной системы, осуществлять обмен информацией между пользователями ИТС и единым управляющим центром в режиме реального времени и управлять различными видами наземного транспорта из единого центра.

#### **4. Организация специализированных автотранспортных парков (депо)**

Для размещения, обслуживания и управления парком легковых автомобилей и автобусов, задействованных для нужд транспортного обслуживания соревнований в г. Сочи, предусмотрено создание специализированных автомобильных парков.

Опыт транспортного обеспечения Олимпийских игр в г. Сочи показал, что внедрение системы ГЛОНАСС/GPS-мониторинга за движением автомобилей оказывается успешным инструментом оптимизации производственных расходов спецавтопарков, повышения внутренней дисциплины водителей. Эффект достигается за счет возможности контролировать перемещения автомобилей по заданным маршрутам, что позволяет избежать лишних расходов на ГСМ, соблюдать временные рамки при доставке клиентских групп, уменьшить затраты на эксплуатацию и амортизацию транспортных средств. Контроль передвижения, сбор, хранение и передачи данных в операционный офис автопарка позволяет определять состояние рабочего процесса в режиме реального времени, что дает возможность повысить качество услуг.

#### **5. Информационное обеспечение соревнований**

В рамках информационного обеспечения соревнований предусмотрены каналы коммуникаций для различных целевых групп, разработаны дислокации установки знаков маршрутного ориентирования и информационных стоек на задействованных объектах транспортной и иной инфраструктуры.

#### **6. План подготовки персонала и материальных ресурсов**

Разработан план подготовки транспортного и вспомогательного персонала, выделены ключевые задачи кадрового обеспечения для качественной реализации мастер-плана транспортного обеспечения турнира и алгоритмы действий.

#### **7. Управление рисками и резервными возможностями**

Рассмотрены все возможные риски и разработаны планы управления рисками и резервными возможностями для различных видов транспорта.



Рисунок 6 – Транспортные риски и процедуры управления ими

## 8. «Дорожная карта» по реализации операционного мастер-плана

Разработанная «дорожная карта» включает комплекс подготовительных мероприятий и предусматривает четкое распределение заданий и ответственности по направлениям деятельности в сфере транспортного планирования и управления, организационных мероприятий и подготовки транспортной инфраструктуры на различных видах транспорта, мониторинга и контроля за ходом выполнения работ.

### Список литературы

1. Карасевич С.Н. Анализ международных практик транспортного обслуживания крупномасштабных футбольных первенств / С.Н. Карасевич // Развитие и модернизация улично-дорожной сети (УДС) крупных городов с учетом особенностей организации и проведения массовых мероприятий международного значения (в рамках подготовки к Чемпионату мира по футболу 2018 г.): материалы Международной научно-практической конференции, 17-19 сентября 2014 г., Волгоград [Электронный ресурс] / М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. - Волгоград: ВолГАСУ, 2014. – С. 44–49.
2. Разработка операционного мастер-плана транспортного обеспечения Кубка Конфедераций FIFA 2017 года и Чемпионата мира по футболу FIFA 2018 на территории Краснодарского края [Текст]: Отчет о НИР I –II этап (заключ.) / НИИАТ; рук. С.Н. Карасевич; соисполн: [ЗАО «Научно-исследовательский и проектный институт территориального развития и транспортной инфраструктуры и др.], – Москва; 2015. (Государственный контракт № 1 от 06.08.2015 г.).
3. Донченко В.В. Транспортное планирование Кубка Конфедераций FIFA 2017 года и Чемпионата мира по футболу FIFA 2018 в Российской Федерации / В.В. Донченко, С.Н. Карасевич, Ю.И. Кунин // Совершенствование организации дорожного движения и перевозок пассажиров и грузов: сборник научных трудов 7 Междунар. научн.-практ. конф., Минск, 22-24 октября 2015 г. / Белорус. нац. техн. ун-т. – Минск, 2015. – С. 129–135.
4. Концепция транспортного обеспечения Чемпионата мира по футболу FIFA 2018 года в России, утвержденная 16.12.2013 г. Министром транспорта Российской Федерации М.Ю. Соколовым.

## IMPACT OF e-SAFETY APPLICATIONS ON CYCLISTS' SAFETY

A. Tripodi<sup>1</sup>, L. Persia<sup>1</sup>, E. Meta<sup>1</sup>

Centro di ricerca per il Trasporto e la Logistica "Sapienza" University of Rome,  
Rome, Italy

### **Abstract**

*Cycling is the most energy efficient and environmentally friendly transport mode, suitable especially for short distances.*

*However, cyclists are considered as Vulnerable Road Users (VRUs) who show an high casualty rate; therefore, actions to promote cycling in cities should go together with improving road safety.*

*ITS can be used to develop intelligent applications assisting cyclists and other road users to avoid, prevent, or mitigate accidents.*

*This paper presents the results of the assessment of impacts of ITS on the safety of cyclists, realised in the framework of the EU co-funded project SAFECYCLE.*

*Eleven applications were selected and analysed in term of benefits and costs. The analysis allowed comparing the potential impacts of these applications in four EU countries (the Netherlands, Belgium, Italy and Czech Republic), having different mobility and social characteristics.*

**Keywords:** *cyclists safety / cost-benefit analysis / e-safety / Vulnerable Road Users*

## **1. Introduction**

Cycling is energy efficient, environmentally friendly and very suitable for short distances. At the same time, in 2009, around 2,100 cyclists were killed in road accidents in the EU-19 countries (around 7% of all fatalities) (ERSO, 2011). Therefore, actions to promote cycling in cities should go together with improving road safety. Apart from the traditional measures like a dedicated cycling infrastructure, improving visibility and reducing speed of cars, ICT can be used to develop intelligent applications that assist cyclists and other road users to avoid, prevent, or mitigate accidents. However, there is no integrated approach to research activities in this domain at a national or international level. To fill in this gap, the SAFECYCLE project, co-funded by the European Commission was started in 2011<sup>3</sup>. The main objectives of SAFECYCLE were to identify e-safety applications that have the potential to enhance the safety of cyclists in Europe, to create knowledge and raise awareness about e-safety applications applied to cycling (policy, industry, users) and to speed up the adoption of (new) e-safety applications in cycling.

E-safety here is defined as a vehicle-based intelligent safety system that could improve road safety in terms of exposure, crash avoidance, injury reduction and post-crash phases.

---

<sup>3</sup> The project SAFECYCLE – ICT applications for safe cycling was finished in November 2012. Results can be found on the website: [www.safecycle.eu](http://www.safecycle.eu)

## 2. Background

In Figure 1a the data related to modal share of bicycle use per country (from different sources and years) are presented. In many European countries there is not a good road infrastructure network for cyclists. Cycle paths are poorly maintained, dirty and not entirely safe. Often, cyclists are expected to share the road with fast traffic. This makes cyclists feel unsafe and does not encourage them to use the bicycle as a means of transport. Fig.1b indicates the deaths in traffic involving at least one bicycle, per million inhabitants in different countries in Europe. Almost 60% of the bicycle fatalities in the EU-23 countries were killed in urban areas. Anyway, there are large differences ranging from over 75% in Spain to 24% in Romania (ERSO, 2011).

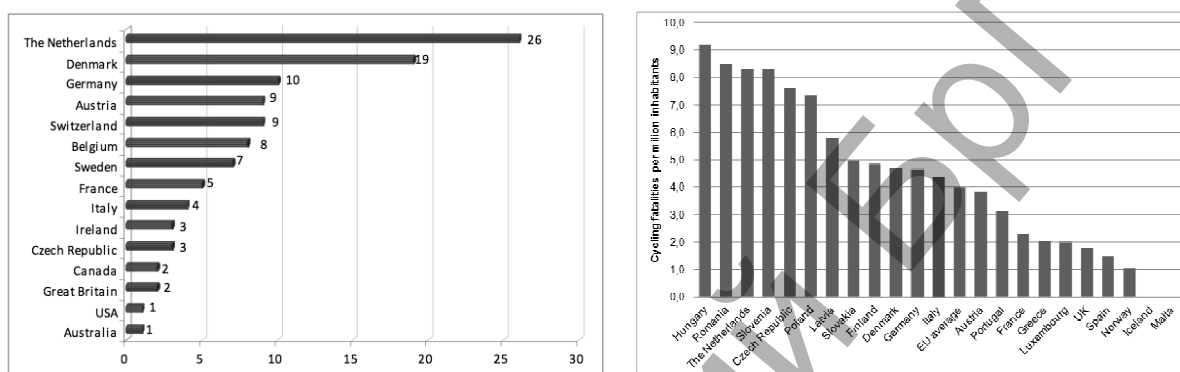


Figure 1: a) Bicycle modal share for all journeys per country<sup>4</sup>;  
b) Deaths in traffic accidents involving at least a bicycle per mil.inhabitants in Europe, in 2010 (CARE, 2012)

## 3. Overview of e-safety application

E-safety applications in cycling can be used to provide intelligent systems that assist in avoiding, preventing or mitigating accidents with cyclists. The following dimensions can be identified:

- Cyclists: applications addressed to the cyclist.
- Bicycles: applications addressed to the bicycle or have their main focus on the bicycle.
- Other vehicles: applications integrated in or used by other vehicles.
- Infrastructure: applications integrated in infrastructure or having their main focus on infrastructure.
- Web applications (Internet and Nomadic): applications used through internet or specific application on a nomadic device (smart phone).

Figure 3 shows different ICT applications for each dimension identified.

<sup>4</sup> **Sources:** Australian Bureau of Statistics (2007); Netherlands Ministry of Transport (2006); United States Department of Transportation (2003); Isfort Italian survey 'Audimob' (2006); Annex I: Literature search bicycle use and influencing factors in Europe– ByPad Project (2008). In: "Promotion of cycling"



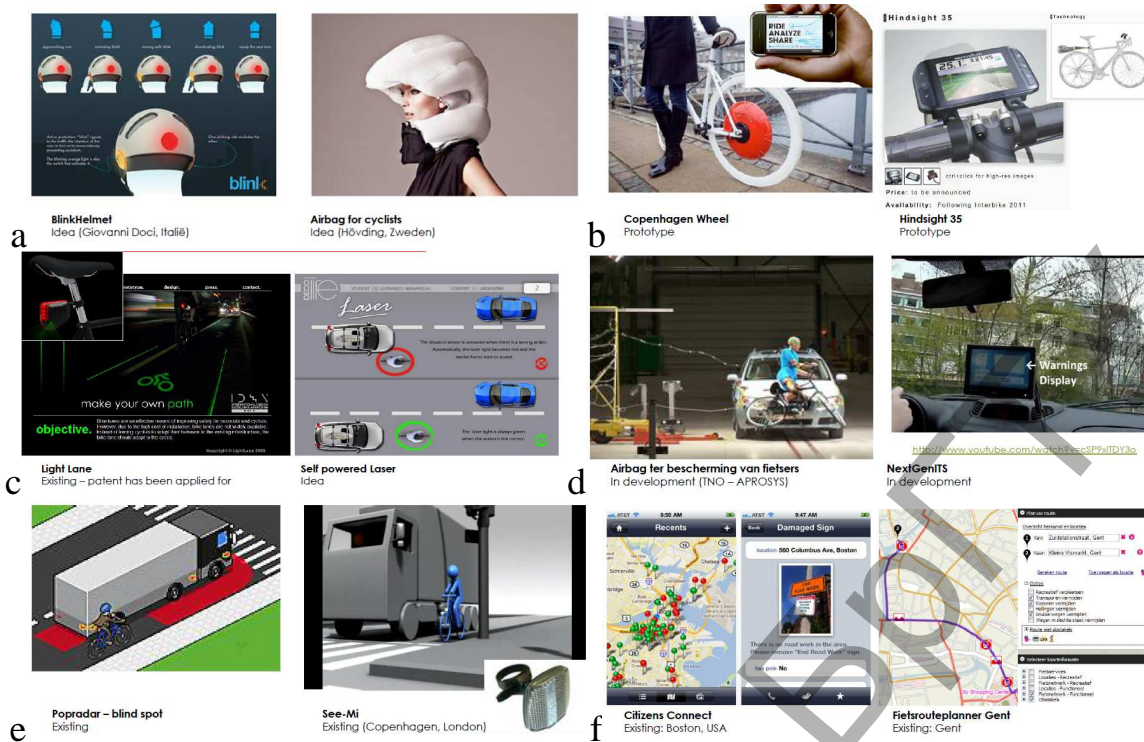


Figure 2 – a-f: Selected e-safety applications

More than 120 applications for cyclists were found (the search not only included Europe, but also other continents). Not all of the applications are in definition e-safety applications, but have the potential to increase safety in a smart manner. The list of e-safety applications was reduced to 30 applications that are representative of various categories. These applications were then assessed through a SWOT analysis. Cycling, ITS and road safety experts filled in many SWOTs, resulting in a list of applications from most to less promising in relation to increasing road safety for cyclists. Eleven most promising applications were identified and selected for the impact assessment (Tripodi et al., 2012). Table 1 shows the applications selected for the impact assessment. More information about these applications can be found in Zoer et al. (2012).

Table 1: List of most promising applications

Bicycle	Other vehicles	Infrastructure	Internet	Nomadic
<i>HindSight</i> (Phisycal problems)	<i>SaveCap - Car airbag for cyclists</i> (Airbag)	<i>Countdown traf-fic lights</i> (Traffic light)	<i>Routeplanner Gent</i> (Routeplanner)	<i>Citizens connect</i> (Monitoring and action)
<i>Light Lane Bike</i> (Street projection)	<i>ISA - Intelligent Speed Adaptation</i> (Speed)	<i>Traffic Eye Zürich</i> (Traffic light)		
<i>Bicycle braking light</i> (Visibility)	<i>Lexguard blind spot system</i> (Visibility)	<i>LED-Mark</i> (Visibility)		

#### 4. Methodology

Due to the lack of impact assessments and real case tests on applications for cyclists, the assessment of the e-safety applications selected has been mainly based on a literature review of impacts on safety of similar measures (i.e. having similar ef-

fects on cyclists safety). For each of the eleven applications selected, a Cost Benefit Analysis (CBA) has been realized. This procedure allows for assessing the differences, in term of impacts, of the applications between the four selected countries. This especially allows understanding if (potentially) certain applications would be more cost effective to implement than others (i.e. if benefits are higher than costs) and in what countries applications could provide the highest benefits. The results of the CBA and the assumptions and estimations made were also assessed by international road safety, ITS and cycling experts.

## 5. Results

Table 2 shows the results of the Cost Benefit Analysis (i.e. the EU average values). In general, the applications providing the higher benefits are *Countdown* and *Light Lane Bike*.

Table 2 – Result of the Cost Benefit Analysis for the selected applications

Category	Name of application	Costs (mln €)	Benefits (mln €)	CBA
<i>Bicycle</i>				
Physical	HindSight	27,101	2,415	0.09
Street projection	Light Lane Bike	5,420	7,813	1.44
Visibility	Bike braking light	3,252	2,300	0.71
<i>Other vehicles</i>				
Airbag	SaveCap	51,744	2,302	0.04
Speed	ISA	103,548	2,521	0.02
Visibility	Lexguard	31,024	477	0.02
<i>Infrastructure</i>				
Traffic light	Countdown	363	9,219	25.38
	Traffic Eye Zürich	36	51	1.41
Visibility	LED-Mark	3,111	397	0.13
<i>Internet (web)</i>				
Route planner	Routeplanner Gent	44	334	7.67
<i>Nomadic</i>				
Monitoring	Citizens connect	44	334	7.67

Figure 3 allows comparing the results obtained. The dimensions of the circles in the figure give an idea of the Benefit Cost ratio, while the position of the circles give an idea of how much the application could reduce the severity of accidents (on ordinate) and the probability of event (on abscissa).

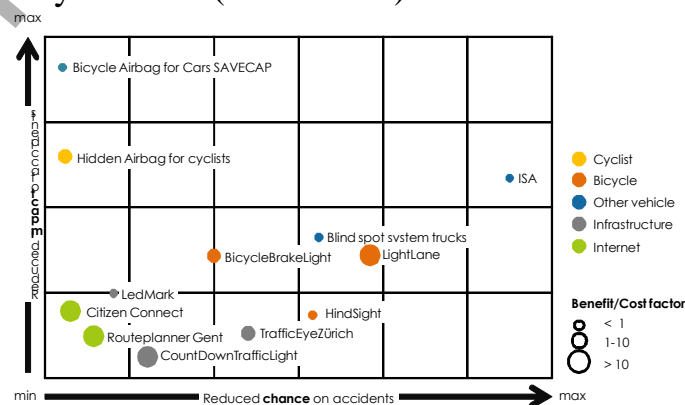


Figure 3 – Results of Cost Benefit Analysis for the selected applications

Although the results of the CBA are based on many assumptions and best estimates, the outcomes are hinting towards some conclusions:

- Applications that require installations in all passenger cars, such as SaveCap and ISA, result in a very low Benefit Cost ratio. This is caused by the fact that the systems need to be installed in millions of vehicles and therefore are very costly in total.

- The same applies for applications that need to be installed in trucks, such as Lexguard. On a European-wide basis, this requires an investment of hundreds of millions of euros.

- For the systems to be installed at the bicycles, two out of three seem to have a positive Cost Benefit ratio (i.e. Bicycle braking light and the Light Lane Bike). These are relatively cheap applications. On the other hand, the HindSight does not have a positive Cost Benefit ratio.

- The infrastructure-based systems show a mixed picture. The Countdown traffic light system has a positive Cost Benefit ratio for all four countries, but the Traffic Eye Zurich only seems to have a positive Cost Benefit ratio for The Netherlands and Belgium. For the LED-Mark system the expected costs are always higher than the expected benefits in all four investigated countries.

- Last but not least, it seems that the Internet applications, such as the Routepanner Gent and the Citizens Connect, have the highest Benefit Cost ratio. With relatively little investment many potential users can be reached, which seems to result in a very positive Benefit Cost ratio.

## References

1. CARE database (2012).
2. Casteels, Y. & B. Godart (2008) "Every day, 7 accidents with consequences to people involve an heavy vehicle. Accidents with heavy vehicles deeply analysed". Via Secura (78).
3. Elvik R., Høy A., Vaa T., Sørensen M. (2009) "The Handbook of Road Safety Measures – Second Edition" Emerald Group Publishing Limited
4. ERSO (2011) "Traffic Safety Basic Facts-Cyclists".
5. European Commission (2012) "Report from the Commission to the European Parliament and the Council on the implementation of Directive 2007/38/EC on the retrofitting of mirrors to heavy goods vehicles registered in the Community". Brussels: European Commission.
6. Martino, A., Maffi S., and Raganato P. (2010) "The promotion of cycling, Note for DG Internal policies, transport and tourism". Trasporti e Territorio, Milan, Italy.
7. Methorst, R. and P. Schepers (2011) "Injury accidents of pedestrians and cyclists",
8. Ministerie van Verkeer en Waterstaat & Fietsberaad (2009). "Cycling in the Netherlands". Den Haag: Ministerie van Verkeer en Waterstaat
9. SWOV (2008), "The cause of accidents among cyclists and lorry drivers and measures for the short and long term".
10. SWOV (2012b), "Bicycle accident: knowledge and gaps".
11. Tripodi A., Persia L., Zoer H.J., van der Kloof A., Jorna R., de Jong M., Sperat Z., Jordova R. (2012) "SWOT analysis results and best potential ICT applications".
12. Zoer H.J., van der Kloof A., Jorna R., Tripodi A., Persia L., de Jong M., Sperat Z., Jordova R. (2012) "Impact assessment safety effect of ICT-applications for cycling".



# INJURIES TO OLDER USERS OF PUBLIC TRANSPORT IN THE UK

Jo Barnes<sup>1</sup>, Clare Lawton<sup>1</sup>, Andrew Morris<sup>1</sup>, Russ Marshall<sup>1</sup>,  
Steve Summerskill<sup>1</sup>, Denise Kendrick<sup>2</sup>, Pip Logan<sup>2</sup>, Avril Drummond<sup>2</sup>,  
Brian Fildes<sup>3</sup>, Simon Conroy<sup>4</sup> Julie Bell<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Loughborough University, UK

<sup>2</sup>Nottingham University, UK

<sup>3</sup>Monash University, Australia

<sup>4</sup>Leicester University, UK

<sup>5</sup>Health and Safety Executive, UK

## **Abstract**

*The increasing age of the United Kingdom (UK) population coupled with enhanced life expectancy impacts on transport-user demographics and will affect transport planning in the years ahead. Whilst passenger car use is the ultimate means of personal independence, at some point the physiological and psychological impact of age-related conditions will inevitably shift people out of their vehicles and onto public transport systems. Overall, public transport is seen to be vital for social inclusion (Lucas et al 2008, Rowntree Foundation) and it is considered a safe means of mobility. However, it is important that the public and in particular, the elderly perceive it to be so.*

*Injuries (across a spectrum of severities) do occur during public transport use from time to time. In fact, over 5,000 people are injured on UK buses each year alone with over 300 bus-users killed/seriously injured (Department for Transport, 2012). This study was designed to examine the nature of injuries and their causes to older bus-users with the aim being to establish where design countermeasures may be indicated. The study uses linked (accident and injury) data involving a sample of older bus-users. Most incidents in the linked dataset were non-collisions (62 per cent) resulting in 1,381 recorded injuries in those aged 60+ years, of which 46 per cent were 'slight' and 54 per cent 'serious'.*

*Keywords:* Bus; older passengers' injury; 60+ years; injury; injury severity.

## **Introduction**

Modern societies have a duty of care to help older people live in their homes and communities for as long as they want. The physical environment, and the services upon which older people rely, must be 'age-friendly', so as to remove barriers to their participation in their communities.

In practice, part of this means addressing older people's anxieties regarding incidence of crime, recognising the unique characteristics and needs of people growing older in rural communities, tackling the problems caused by isolation and loneliness and addressing older people's transport needs. This last point is particularly important as it involves providing a transport system that is safe and secure as well as affordable. In the majority of cases, the public transport of choice is the public bus since this is by far the most common form of public transport provision in terms of numbers and frequency of routes.

In the main, public transport is relatively safe - according to Mabrook (1994), injuries sustained by passengers travelling on public buses are relatively uncommon; public service vehicle passenger casualty rates, per billion passenger kilometre travelled are much lower than for cars, motor-cycles, pedal-cycles and pedestrians. Nevertheless, during the period 2008 to 2012, over 20,000 UK bus and coach users were injured whilst using this form of transport. The problem is not confined to the UK - a study in Israel (Halpern, 2005) estimated that as many as 2,700 bus-users per year might be injured whilst using the bus representing an 'alarmingly high level of morbidity'. However measuring injury outcomes does not tell the whole story since those not necessarily injured but 'shaken' or 'thrown off balance' whilst using the bus can easily be dissuaded from further bus use. This is principally because of fear of falling or future injury. Ultimately, these events can lead to social exclusivity and ultimately isolation through eventual lack of personal mobility.

Previous studies have looked at characteristics and incidence of accidents in which injuries have occurred to public bus users. An early study is reported by Jovanis et al (1991) in the United States of America which looked at 1,800 accidents between 1982 and 1984 to identify factors contributing to accidents involving mass transit buses. They observed that on a passenger-mile basis, bus travel has relatively low risk but that as many as 63 per cent of bus transit accidents involve no collision.

Related studies were conducted in Denmark by Moller et al (1982) through examining records of 183 injured bus passengers who sustained between them some 212 injuries. 85 of the 183 passengers were injured whilst the bus was in motion and 58 of these passengers were standing on the bus at the time of the incident with acceleration/deceleration of the bus therefore being a major factor in these accidents. A subsequent Danish study by Albrektsen and Thosen (1983) looked at 221 bus accidents and incidents in Copenhagen and found that 60 per cent of their sample were females aged over 60 years with most of the passengers (n=138) sustaining injury whilst the bus was in motion between stops. The vast majority of these (83 per cent) were found to be standing up at the time of the collision.

Similarly, Kirk et al (2003) found that in approximately 65 per cent of cases, there was no actual impact involved and that the injury had occurred to a seated (~44 per cent) or standing (~30 per cent) passenger whilst the bus was in motion. Their study also found that older females were particularly over-represented and that the likelihood of serious or fatal injury to both males and females increases as age increases. The cause of incidents included slippery and uneven floors, high steps and lack of visual cues.

More recently Halpern et al (2012) made similar findings in Israel to those of Kirk et al in that 56 per cent of injuries were sustained by passengers who were either standing or moving in the bus and that the major mechanism of injury was sudden deceleration or acceleration of the bus.

Mabrook (1994) noted that whilst travelling by bus is one of the safest ways to travel, little is written about injuries and injury causation and that some attention could be paid to the design of hand rails or seats which appeared to be the root-cause of many injuries. However, no study to date has made an in-depth appraisal of injury outcomes to users of buses in order to establish the likely injury mechanisms in order

to ascertain which design countermeasures might be feasible in the prevention of such injuries. . Therefore, the aim of this study was to develop a comprehensive accident analysis matching reports of accidents and injury reports where older users of public bus transportation were injured through everyday use of the public bus. The objective was to highlight the key aspects of bus travel that have an impact on the nature of specific injuries and their severity which can be used to inform future design countermeasures.

## **Methodology**

Two main United Kingdom national databases have been used in this study – namely the UK national road accident database known as STATS19 and the Hospital Episodes Statistics (HES) database.

The STATS19 database is a national road accident database which is founded on accident records that are completed by police officers in the event of an accident occurring on the roads in the United Kingdom. To become a record within the STATS19 database, the accident has to be reported to the police and should involve human injury or death. The STATS19 data collection form collects a wide variety of information about the accident (such as time, date, location, road conditions) together with information about the vehicles and casualties involved and the contributory factors (as interpreted by the police). The form is completed at either the scene of the accident, or when the accident is reported to the police. In this study, STATS19 data were analysed for the years 2008-1012.

The Health Episodes Statistics (HES) is a data warehouse containing details of all admissions, outpatient appointments and Accident and Emergency (A&E) attendances at National Health Service (NHS) hospitals in England. This data is collected during a patient's time at hospital and is a records-based system that covers all NHS trusts in England, including acute hospitals, primary care trusts and mental health trusts. Patient confidentiality is strictly maintained within this database.

To establish injury outcomes in relation to accident characteristics, the STATS19 and HES databases have been linked so that accident records are uniquely matched to injury records.

The record-linking process is described more completely in a separate report (Department of Transport, 2012). Linked data were used for the period 1999-2009 during which 41per cent of road accident records in STATS19 were successfully linked to a hospital record.

This study focuses on public bus passengers aged 60 years and over since this is the age at which senior citizens are offered a free bus-pass and therefore where bus travel is most common within this user-group.

## **Results**

### **1. UK STATS19 Data Analysis**

For the 5 year period 2008 to 2012, 17,728 bus/coach passenger casualties were recorded accounting for 2.7% of all known road accident casualty types.

Table 1 – Proportion of bus and coach casualties among all casualties

Year	Bus/Coach casualties	All casualties	Bus/Coach casualties as percentage of total
2008	6,275	230,905	2.7
2009	5,735	222,146	2.6
2010	5,718	208,648	2.7
2011	5,688	203,950	2.8
2012	4,790	195,723	2.4
<b>Total</b>	<b>28,206</b>	<b>1,061,372</b>	<b>2.7</b>

When examining those aged over 60 years, there were 10,010 injured bus/coach passengers nationally over the 5 year period accounting for 8.4 per cent of all 60+ casualties (Table 2).

Table 2 – Proportion of bus and coach casualties aged 60+ among all casualties aged 60+

Year	Bus/Coach casualties age 60+	All casualties aged 60+	Bus/Coach casualties as percentage of total
2008	2,181	24,484	9
2009	2,113	24,415	8.7
2010	2,010	23,522	8.5
2011	2,048	23,979	8.5
2012	1,658	23,357	7.1
<b>Total</b>	<b>10,010</b>	<b>119,757</b>	<b>8.4</b>

Overall there has been a general trend showing that bus and coach accident casualty costs (which are calculated according to casualty severity) have been declining over the past 5 years (Figure 1). However for the 60+ years there has been no corresponding decline with a peak in 2009 and a dip in 2010 and 2012. Examination of the average costs for the 5 year period shows that the 60+ years account for some 47 per cent of the total costs of all bus and coach passenger accident casualties (Table 3)

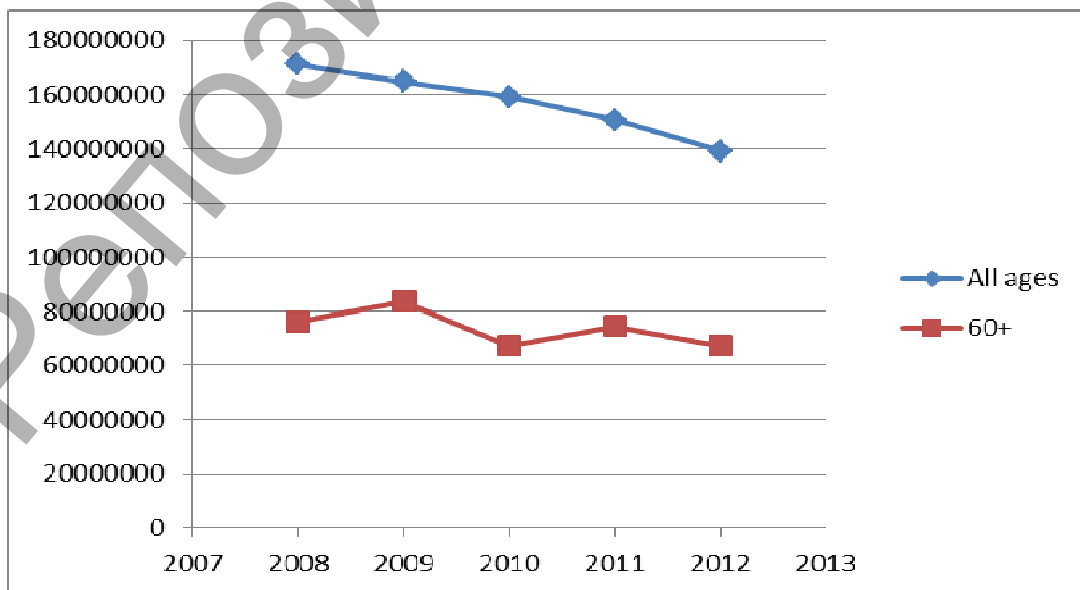


Figure 1 – Casualty costs for all bus and coach passengers and 60 + years

Table 3 – Cost (£) of bus and coach casualties by casualty age and accident year

	<b>All ages (£)</b>	<b>Age 60+ (£)</b>
<b>2008</b>	170,960,344	76,211,144
<b>2009</b>	164,918,066	83,517,644
<b>2010</b>	159,303,728	67,247,954
<b>2011</b>	150,555,934	74,388,380
<b>2012</b>	139,011,302	67,395,066
<b>Total</b>	784,749,374	368,760,188

Most bus/coach passengers (94per cent) are recorded as ‘slightly injured’ casualties with very few fatalities (table 4). The proportion of ‘serious’ casualties for the over 60 years was higher at 9.6per cent compared to the average 5.9per cent for all ages.

Table 4 – Severity of all bus and coach passenger and those aged 60+ (2008-2012)

	<b>All bus users</b>	<b>%</b>	<b>Age 60+ bus users</b>	<b>%</b>
<b>Fatal</b>	43	0.2	30	0.3
<b>Serious</b>	1,674	5.9	964	9.6
<b>Slight</b>	26,489	94	9,016	90.1

The distribution of age in the over 60 years (table 5) shows that the number of fatalities increased for those in the 70-79 years and 80-89 years age brackets furthermore, there was a corresponding increase in the number of serious injuries. This is further evident in the 60-69 year group where there were similar numbers of casualties as in the 70-79 year group but the proportion of ‘slight’ injuries was higher in the younger group.

Table 5 – Casualty age by casualty severity - bus and coach passengers aged 60+

	<b>Age 60-69 years</b>	<b>Age 70-79 years</b>	<b>Age 80-89 years</b>	<b>Age 90+years</b>
<b>Fatal</b>	5	12	12	1
<b>Serious</b>	250	344	323	47
<b>Slight</b>	3,425	3,254	2,053	284
<b>Total</b>	3,680	3,610	2,388	332

Passengers are categorised at the time of the incident into a particular location and table 6 shows the distribution of the passenger locations. For all passengers the majority of injuries occurred whilst seated (70 per cent) however for the older passengers the majority were injured whilst boarding the bus (63 per cent). It is also apparent that some 63per cent of the serious injuries and 79 per cent of fatalities whilst standing occurred in the 60 + age group.

Table 6 – Bus and coach passenger severity by passenger location (n=28168) all ages with known location and n=9999 60+ years with known location)

	<b>Boarding</b>	<b>Alighting</b>	<b>Standing Passenger</b>	<b>Seated Passenger</b>
<b>Fatal – all (60+ years)</b>	6 (n=5 83%)	2 (n=1 50%)	14 (n=11 79%)	21 (n=13 62%)
<b>Serious – all (60+ years)</b>	143 (n=102 71%)	186 (n=101 54%)	642 (n=403 63%)	702 (n=403 51%)
<b>Slight – all (60+ years)</b>	1615 (n=1008 62%)	1406 (n=570 40%)	6859 (n=2683 39%)	16572 (n=4744 29%)
<b>Total n– all (60+ years)</b>	1764 (n=1115 63%)	1594 (n=672 42%)	7515 (n=3097 42%)	17295 (n=5115 30%)

## 2. HES/STATS19 Linked Data Analysis

Overall, a total of 4,352 linked records were available for analysis for the period 1999 to 2009. Of these, some 1,016 records of older (aged 60+) bus / coach passengers were available for analysis with 63per cent of the passengers aged over 75 years (Table 7). Of the 1,016 passengers, 793 were female (78 per cent) and 223 male (22 per cent).

Table 7 – Age distribution of bus and coach passengers aged over 60

<b>Age Category</b>	<b>Frequency</b>	<b>%</b>
60-64	102	10.0
65-69	102	10.0
70-74	170	16.7
75-79	177	17.4
80-84	246	24.2
85-89	152	15.0
90-94	64	6.3
95-99	3	0.3
Total	1,016	100

Table 8 shows the passenger location, bus manoeuvre and injury severity and also identifies that 62 per cent (n=628) of all casualties occurred following a non-collision incident. The main cause of injury for standing and seated passengers was during normal bus driving manoeuvres mid-journey. As would be expected the boarding and alighting passengers were injured whilst the bus was stationary but 55per cent of all alighting and 40per cent of boarding passengers were recorded as being injured whilst the bus was manoeuvring. This suggests that there may be some discrepancy in the recording of the incidents of which 27per cent were classed as mid-journey across these 2 passenger locations, normally a bus manoeuvre not associated with alighting or boarding. Further to this, the distribution of injury severity identified more ‘serious’ injuries occurring whilst seated and predominantly ‘slight’ injuries occurring on boarding. Overall the risk of injury increased as age increased with 46 per cent of older bus /coach passengers in the 80+ years and only 20 per cent in the 60-69 years.

**Table 8 Characteristics of older bus passengers by location**

	Collision type (n=1,016)			Bus manoeuvre (n=1,016)				Casualty severity (n=1,016)		Gender (n=1,016)		Age (n=1,016)		
	Yes	No	N/K	Mid journey	Moving off	Slowing down	Parked, waiting other	Slight	Serious	Male	Female	60-69 years	70-79 years	80+ years
<b>Total n= 1016</b>														
<b>Alighting (n=143)</b>	9 (6%)	104 (73%)	30 (21%)	26 (18%)	28 (20%)	24 (17%)	65 (45%)	70 (49%)	73 (51%)	35 (25%)	108 (75%)	18 (13%)	45 (31%)	80 (56%)
<b>Boarding (n=103)</b>	2 (2%)	76 (74%)	25 (24%)	9 (9%)	25 (24%)	7 (7%)	62 (60%)	66 (64%)	37 (36%)	21 (20%)	82 (80%)	14 (14%)	28 (27%)	61 (59%)
<b>Seated (n=348)</b>	83 (24%)	181 (52%)	84 (24%)	260 (75%)	25 (7%)	53 (15%)	10 (3%)	136 (39%)	212 (61%)	87 (25%)	261 (75%)	83 (24%)	136 (39%)	129 (37%)
<b>Standing (n=422)</b>	23 (6%)	267 (63%)	132 (31%)	199 (47%)	67 (16%)	132 (31%)	23 (6%)	192 (46%)	230 (54%)	80 (19%)	342 (81%)	89 (21%)	138 (33%)	195 (46%)
	117 (11%)	628 (62%)	271 (27%)	494 (49%)	145 (14%)	216 (21%)	160 (16%)	464 (46%)	552 (54%)	223 (22%)	793 (78%)	204 (20%)	347 (34%)	465 (46%)

In total, the injured bus passengers sustained 1,381 Injuries following the bus / coach incident. The distribution according to body region is as shown in figure 3. As can be seen injuries to the upper extremity, lower extremity and head predominated, with almost one-third of injuries involving the lower extremity.

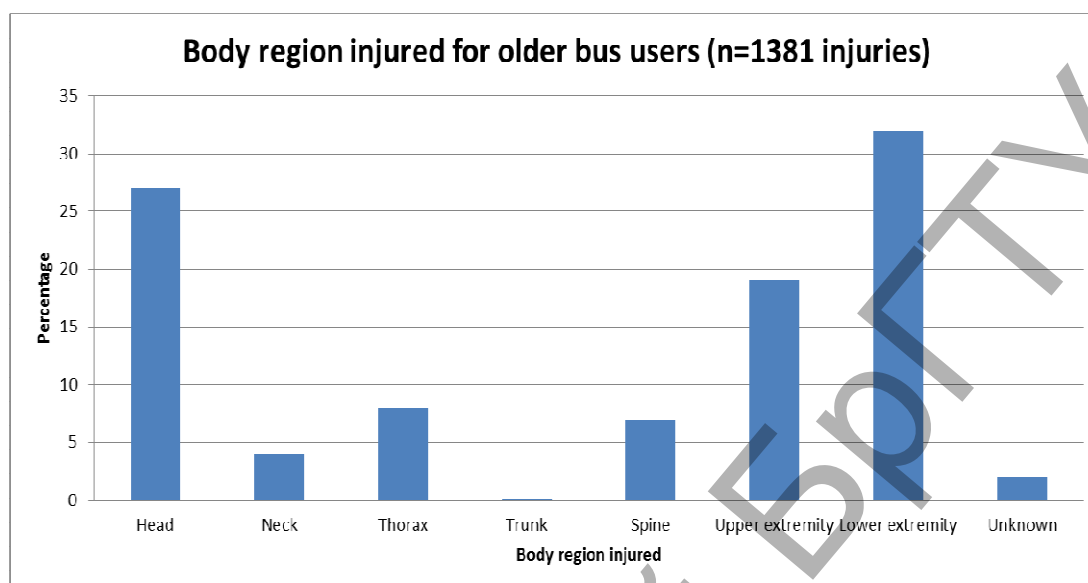


Figure 3 – Body region injured in bus/ coach passengers 60+ years

The distribution of the injuries by body region varied depending on known passenger location at the time of the incident (Table 9, n=1308; this excludes multiple injuries and unspecified injuries). There was a significantly increased likelihood of sustaining more head and chest injuries whilst seated; chest and trunk injuries whilst standing and lower extremity injuries on boarding and alighting ( $\chi^2$  109.26 d.f. = 12,  $p < 0.05$ ). For upper extremities it appeared not to matter where the passenger was located.

Table 9 – Distribution of body region injured and passenger location

	Alighting (n=190)	Boarding (n=123)	Seated (n=472)	Standing (n=523)	Total (n=1308)
Head/neck	37	17	181 *	153	388
Chest	5	7	53 *	48 *	113
Trunk/lower back	11	5	31	49 *	96
Upper extremity	38	20	94	114	266
Lower extremity	99 *	74 *	113	159	445

The severity of the casualties could be further categorised according to the most serious injury sustained by the individual based on their Maximum AIS score (MAIS, Table 10, AAAM 1998). In 18 per cent of cases, an AIS code could not be attributed to at least 1 of the passengers' injuries and therefore the MAIS was unknown. Twenty seven percent of the passengers had MAIS 1 and therefore 'minor' injuries were most severe. 'Moderate' or MAIS 2 injuries accounted for 28 per cent of passengers and 26 per cent of passengers sustained 'serious' (MAIS 3) injuries. 1.5 per cent of passengers sustained MAIS 4+ ('Severe' to Maximum) injuries.



Table 10 – Distribution of MAIS categories for passengers 60+ years

	<b>N=1,016</b>	<b>%</b>
<b>MAIS 1</b>	275	27.1%
<b>MAIS 2</b>	284	28%
<b>MAIS 3</b>	261	25.7%
<b>MAIS 4</b>	11	1%
<b>MAIS 5</b>	1	0.1%
<b>MAIS 6</b>	4	0.4%
<b>MAIS 9 (unknown MAIS)</b>	180	17.7%

Interestingly and as can be seen in figure 4, the distribution of passengers with a known MAIS injury severity and their corresponding police injury severity code reveals a variation between the two severity ratings. Whilst there is some consistency at the MAIS2 level, there is a notable difference in the MAIS3+ category where some 37 per cent (n=102) of passengers who were clearly ‘Seriously’ injured (due to sustaining MAIS3+ injury) were categorised as ‘Slight’ in the police STATS 19 records. This suggests that under-reporting of injury severity may be a significant issue in the UK Police reporting system.

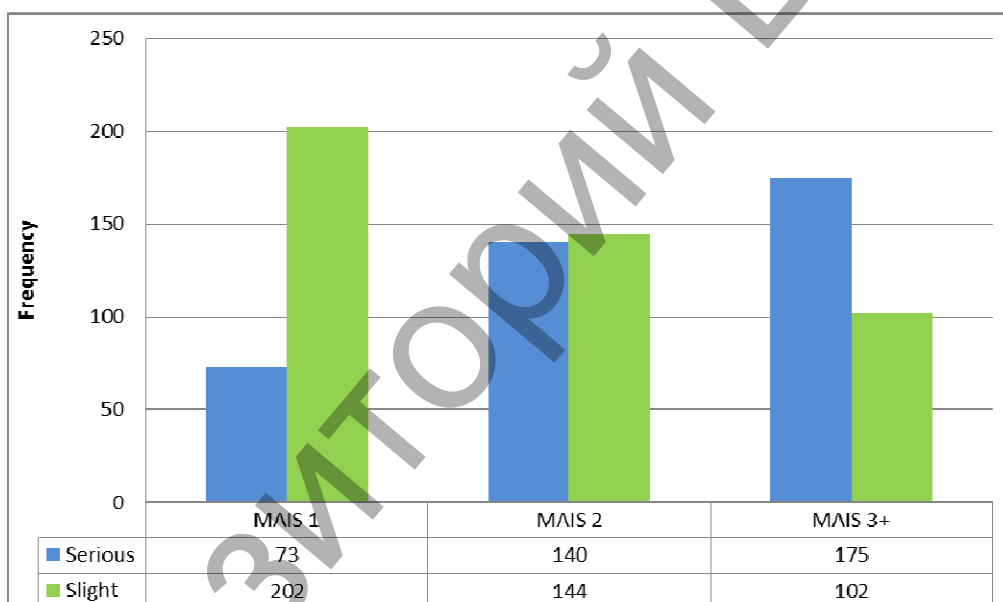


Figure 4 – Frequency of known MAIS and police casualty severity classification

The distribution of known MAIS for passenger location suggests that there was a significant likelihood of sustaining MAIS 2 and MAIS 3+ injuries when standing (Table 11). Alighting passengers also were at risk of a significantly increased likelihood of sustaining serious (MAIS3+) injuries. For those passengers boarding and being seated on the bus, their injury severity was more likely to be minor (MAIS 1) injuries ( $\chi^2$  28.23 d.f.= 6,  $p < 0.0001$ ).

Table 11 – Distribution of MAIS by passenger location

<b>Total n=836</b>	<b>MAIS 1</b>	<b>MAIS 2</b>	<b>MAIS 3+</b>
<b>Alighting</b>	32	42	52 *
<b>Boarding</b>	47*	27	15
<b>Seated</b>	98*	90	83
<b>Standing</b>	98	125 *	127 *

Alighting and boarding buses were both significantly more likely to cause injuries for the older passengers 80+ years. Passengers between 60 and 79 years were significantly more likely to sustain injuries whilst seated whereas the data suggests that all ages are at risk of injury whilst standing on buses; although the 60-69 year age group have a slightly increased likelihood of sustaining injuries standing ( $\chi^2$  41.07 d.f. = 9,  $p < 0.0001$ ).

## Discussion

Although UK national injury rates are low for bus and coach passengers (2.7 per cent) the age-group 60+ years are over represented in the casualty figures (8.4 per cent). Furthermore some 47 per cent of the overall bus and coach casualty costs were attributed those aged over 60 years. These higher figures possibly reflect the higher exposure to this transportation method compared to younger travellers however the injury risks associated with the physiological effects of ageing are also higher. This factor was evident in this study as the rate of 'serious' injury tended to increase with age. Interestingly and as was found in other studies, non-collision incidents predominate in injury causation for bus / coach passengers (Jovanis 1991; Kirk et al 2003).

Passenger location at the time of the incidents also had an impact on the injury outcome in terms of body region injured and also injury severity. The main body regions injured were the head and the lower and upper extremities and 'standing' was associated with sustaining more injuries, closely followed by being seated. Intuitively, this points towards loss of balance during various vehicle manoeuvres. When examining the severity of injuries using the Maximum Abbreviated Injury Scale (MAIS) level it was identified that 'Standing' and 'Alighting' were the main passenger actions for sustaining 'serious' MAIS 3+ injuries. 'Boarding' and 'Seated' passengers tended to sustain injuries that were more 'minor' (MAIS1) in nature. Previous studies have also identified standing passengers to have higher incidences of injuries (Moller, Halpern and Albreksten) whilst the study by Kirk et al identified high incidences in 'seated' passengers (Kirk et al, 2003).

Many incidences of injury have been associated with sudden braking or accelerating although this study tended to reveal higher incidences of injury that occurred in the mid-journey phase (46 per cent; Halpern 2005). However particularly noticeable was the discrepancies in passenger location and bus manoeuvres - it would be expected that alighting and boarding incidents would be associated with a 'parked' or 'stationary' vehicles but this was only recorded for 45 per cent and 60 per cent of these incidents respectively. 20 per cent of alighting incidents were recorded during 'moving off' manoeuvres which are of concern since passengers should have exited from the vehicle prior to the bus departing. In addition, some 24 per cent of boarding incidents were classed as 'moving off' and it is presumed that these represent incidences whereby the driver continued the journey before the passengers were correctly seated. This categorisation of passenger location is somewhat limited for examining injury causation as there is scope for error and subsequent misclassification as alighting incidents could be associated with moving through the bus or standing prior to getting off both of which can be interpreted as 'standing' whilst in the process of alighting the bus. For injury prevention strategies extra passenger location codes would be of future benefit in the design of countermeasures.

Analysis of the linked data allowed for injuries to be explored further and the varying severity levels to be collated and coded to an internationally recognised injury scale. What was highly evident in this study was the mismatch between police severity categories and hospital severity categorisation of the same injuries. Of most concern with regard to MAIS3+ injury severity is that 37 per cent of these injuries were categorised as ‘Slight’ in the STATS19 data. Similarly 51 per cent of ‘Moderate’ injuries, often consisting of fractures to the wrist, ribs or spine, were categorised as ‘Slight’ whereas the STATS20 guidelines clearly indicate that such injuries should be coded as ‘Serious’ casualties. These inaccuracies in the STATS19 data have been highlighted previously (Jeffrey et al) but it is evident that a large proportion of casualty severities in this study were miscoded in the STATS19 data suggesting that the morbidity and casualty costs are also under-estimated. This issue has been addressed and recommendations for helping police officers to more accurately categorise injury severity at the scene are being proposed (Ward et al 2006).

Another limitation includes the small number of road accident records that were linked for bus and coach passengers which probably leads to under-representation (1 per cent). Furthermore it was found that whilst 58 per cent of linked casualties were correctly coded as ‘Serious’ with the remainder being coded slight, 42 per cent of road accident injury statistics may be underestimated in terms of severity.

One of the main aims of the study was to establish injury causation patterns of older bus passengers and overall the national data has provided an insight into these issues but there is potential for under-recording of injury severity and also cause associated with passenger locations. It is recommended that extra passenger location codes are included within the police CRASH system for collecting data. Furthermore the recommendations from Ward if adopted would improve the police reporting of ‘slight’ and ‘serious’ casualties. These analyses used national datasets and are limited to those incidents reported to the police and for those linked cases who attended hospital. Further analysis will be undertaken of Bus Company data where it is expected that higher number of incidents occur that are not required to be reported to the police and therefore do not appear in any national data but are potentially rich sources of data for exploring injury causation in detail.

Overall, the results from this study suggest that sufficient information can be gained in order to consider countermeasures to injury during bus-use although more detailed information from in-depth studies would be of benefit. One of the main considerations for injury prevention includes an appraisal of existing operational procedures to ensure that in all cases, passengers have properly exited from vehicles or are correctly seated at the time the bus moves away from the stop. This could be easily achieved without radical (if any) changes to the design of the bus interior. Redesign of bus interiors is a somewhat different proposition but this could be achieved providing accurate information about injury causation is recorded. At the moment, there is scope for improving the data collection process for incidences on buses, especially where serious injury has occurred and this study suggests that an injury surveillance system relating to the more serious events would be of great benefit to the community.

**Funding:** This study was funded by the Medical Research Council –Lifelong and Health and Wellbeing Phase 3

## References

Abbreviated Injury Scale 1990 (1998 revision)

Association for the Advancement in Automotive Medicine; Des Plaines Illinois 1998

Albertsson P, Falkmer T: Is there a pattern in European bus and coach incidents? A literature analysis with special focus on injury causation and injury mechanisms. *Accident; Analysis and Prevention* 2005, 37(2):225-233.

Albrektsen and Thosen (1983): A casualty ward analysis of bus passenger accidents. *Medicine, Science and the Law* 1983, 23(2):102-105.

Department for Transport, London, UK

Instructions for the Completion of Road Accident reports – STATS20  
2005

Department for Transport, London, UK

Linking Police and Hospital data on Road Accidents in England: 1999 to 2009 results  
2012

Department for Transport – Reported Accidents vehicles and casualties 2012 (RAS40)

<https://www.gov.uk/government/statistical-data-sets/ras40-reported-accidents-vehicles-and-casualties>

Halpern P, Siebzeher MI, Aladgem D, Sorkine P, Bechar R: Non-collision injuries in public buses: a national survey of a neglected problem. *Emergency Medicine Journal* 2005, 22(2):108-110.

Jeffrey S, Stone DH, Blamey A, Clark D, Cooper C, Dickson K, Mackenzie M and Major K: An evaluation of police reporting of road casualties. *Injury Prevention* 2009, February, 15(1): 13–18.

Jovanis PP, Schofer JL, Prevedouros P, Tsunokawa K: Analysis of bus transit accidents: empirical, methodological and policy issues. *Transportation Research Record* 1991(1322):p. 17-28.

Kirk A, Grant R, Bird R: Passenger casualties in non-collision incidents on buses and coaches in Great Britain. *Proceedings of 18th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, held Nagoya, Japan, 19-22 May 2003:10*

Mabrook, A F: Injuries sustained by passengers on buses. *Journal of Accident & Emergency Medicine* 1994, 11(3):209-210.

Moller B, N, Grymer F, Christensen S,T, Moller-Madsen B, Hermansen C Bus Accidents. *Journal of Traffic Medicine, Vol 10, No. 4, 1982, p. 59-62*

Ward H, Lyons R, Gabbe B, Thoreau R, Pinder L and Macey S<sup>2</sup>  
Review of Police Road Casualty Injury Severity Classification – A Feasibility Study August  
2010

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ТРАНСПОРТНОГО УЗЛА В СОСТАВЕ КСОДД ГОРОДСКОГО ОКРУГА

С.Н. Карасевич<sup>1</sup>, В.М. Еремин<sup>2</sup>, А.М. Бадалян<sup>2</sup>, С.А. Аземша<sup>3</sup>

<sup>1</sup>НИИ автомобильного транспорта, Москва, Россия,

<sup>2</sup> Институт экономико-математических методов в ДТИ, Москва, Россия,

<sup>3</sup>Белорусский гос. университет транспорта, Гомель, Беларусь

*В статье рассматриваются вопросы, связанные с разработкой Комплексной схемы организации дорожного движения (КСОДД) городского округа Ивантеевка Московской области. Дана характеристика одному из проблемных транспортных узлов (сложное регулируемое пересечение), который связывает планировочные районы города, разделенные естественными преградами (река и железная дорога). Описана технология работ при проведении исследований. Приводятся результаты натурных замеров и имитационного моделирования движения автомобильных потоков при обосновании предложенного проектного решения по устройству кольцевого пересечения в данном транспортном узле. Разработанные практические решения и рекомендации способствуют повышению эффективности и безопасности дорожного движения.*

Стремительные темпы автомобилизации населения в городском округе Ивантеевка Московской области, как и во многих других крупных, средних и малых городах, остро обозначили проблемы нерациональности в области организации дорожного движения (ОДД). В связи с этими обстоятельствами Научно-исследовательским институтом автомобильного транспорта по заказу администрации городского округа Ивантеевка Московской области была разработана Комплексная схема организации дорожного движения (КСОДД).

При разработке КСОДД посредством натурных наблюдений и замеров было установлено, что одним из наиболее проблемных (узких) мест на улично-дорожной сети г. Ивантеевка является транспортный узел в месте пересечения улиц Новая Слобода, Железнодорожная, Хлебозаводская и Заречная, что обусловлено разделенностью районов г. Ивантеевка естественными преградами и искусственными сооружениями (река Уча, железная дорога). Данный узел представляет собой регулируемый перекресток, который оборудован 14 транспортными светофорами: 12 типа Т.1 и 2 типа Т.1.л. Подход с ул. Новая Слобода оборудован светофором типа Т.1.л, а остальные подходы оборудованы светофорами типа Т.1. График работы светофоров, в том числе длительности фаз и тактов, представлен на рис. 1. Кроме 4 основных подходов к перекрестку имеется пятый – въезд в промзону, который также оборудован светофором типа Т.1. На ул. Хлебозаводской в непосредственной близости от перекрестка расположен железнодорожный переезд (Рис. 2).

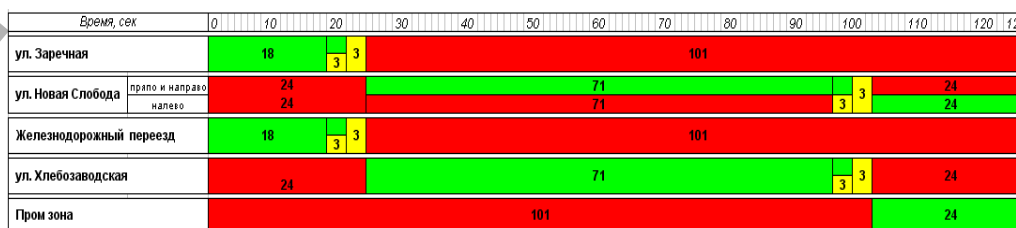


Рисунок 1 – График работы светофоров на исследуемом перекрестке

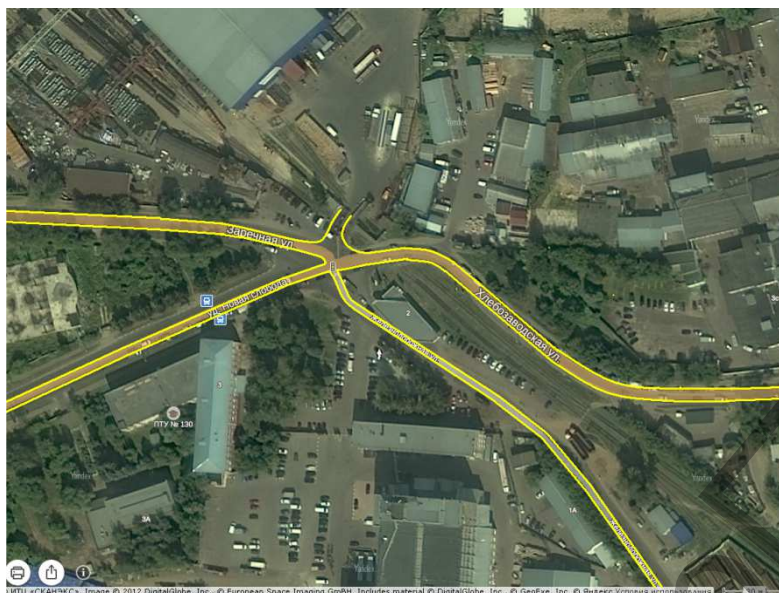


Рисунок 2 – Существующее положение в зоне исследуемого пересечения улиц

Целью проведения натурных наблюдений и замеров являлось:

а) сбор исходных данных, необходимых для имитационного моделирования движения транспортных потоков в узле. Исходные данные включают в себя:

I. Геометрические характеристики подходов к перекрестку:  
количество полос движения каждого подхода к перекрестку;  
ширину полос в каждом направлении движения;  
продольный уклон; поперечный уклон;  
радиусы поворотов в плане по всем направлениям для каждого подхода;  
углы между продольными осями подходов к перекрестку;  
координаты объектов окружающей среды, ограничивающие боковую видимость для каждого подхода.

II. Дорожное покрытие: коэффициент сцепления дорожного покрытия; ровность дорожного покрытия (по ТХК-2).

III. Характеристики транспортных потоков всех подходов к перекрестку: суммарную интенсивность движения на всех подходах к узлу (авт/час); распределение интенсивностей по направлениям движения на каждом подходе (в процентах налево, прямо, направо); состав движения на каждом подходе по типам автомобилей (легковые, легкие грузовые, средние грузовые, тяжелые грузовые, автопоезда, легкие автобусы, средние автобусы, тяжелые автобусы).

IV. Схему ОДД: дислокация дорожных знаков на перекрестке и на подходах к нему на расстоянии зоны влияния перекрестка (не менее 200 м); наличие дорожной разметки на перекрестке и на подходах к нему на расстоянии зоны влияния перекрестка; наличие автобусных остановок в зоне влияния перекрестка и их координаты; наличие пешеходных переходов на перекрестке и на под-

ходах к нему в зоне влияния перекрестка. Поскольку перекресток регулируемый, то задавался тип и режим работы светофора (длительности циклов, тактов, фаз и т.д.) для каждого подхода к перекрестку.

Все перечисленные выше влияющие факторы были учтены в ходе проведения компьютерных экспериментов, хотя варьировались только некоторые из них.

б) сбор данных об объектах, находящихся в зоне видимости исследуемых узлов для визуализации процесса дорожного движения на них.

Интенсивности движения, распределение интенсивности по направлениям, а также состав движения на каждом подходе узла представлены в табл. 1 – 3.

Таблица 1 – Интенсивности движения автомобилей на подходах узла

Название улицы	Интенсивность движения, <i>авт/час</i>	
	в физических единицах	в приведенных единицах
ул. Заречная	396	436
ул. Новая Слобода	652	739
Железнодорожный пр-д	116	135
ул. Хлебозаводская	772	856

Таблица 2 – Распределение интенсивности по направлениям движения на подходах узла

Наименование подхода к узлу	Направление движения	%
ул. Заречная	налево	86
	прямо	11
	направо	3
ул. Новая Слобода	налево	2
	прямо	93
	направо	5
Железнодорожный пр-д	налево	27
	прямо	21
	направо	52
ул. Хлебозаводская	налево	6
	прямо	51
	направо	43

Таблица 3 – Состав движения на подходах узла

Тип автомобиля	Заречная	Новая Слобода	Железнодорожный пр-д	Хлебозаводская
Легковые	90,9	88,5	86,3	91,3
Легкие грузовые	2,0	1,8	3,4	1,0
Средние грузовые	1,0	1,8	0,0	1,0
Тяжелые грузовые	1,0	1,2	0,0	0,0
Автопоезда	0,0	1,2	6,9	0,0
Легкие автобусы	5,1	1,2	3,4	4,1
Средние автобусы	0,0	0,0	0,0	0,0
Тяжелые автобусы	0,0	4,3	0,0	2,6



В качестве мероприятия для усовершенствования функционирования данного узла предложена организация кольцевого движения с 5 подходами: подход №1 – ул. Заречная; подход №2 – ул. Новая Слобода; подход №3 – Железнодорожный пр-д; подход №4 – ул. Хлебозаводская; подход №5 – промзона (рис. 3).

Безусловно, в перспективе востребованы крупномасштабные строительные мероприятия по созданию объектов транспортной инфраструктуры, обеспечивающей повышение уровня транспортной связанности планировочных районов города (строительство транспортных развязок в разных уровнях и т.д.). Однако такие проектные решения требуют больших капитальных вложений, значительных сроков реализации мероприятий и связаны с отчуждением городских территорий. В связи с этими обстоятельствами был предложен вариант ОДД, предусматривающий устройство кольцевого пересечения.

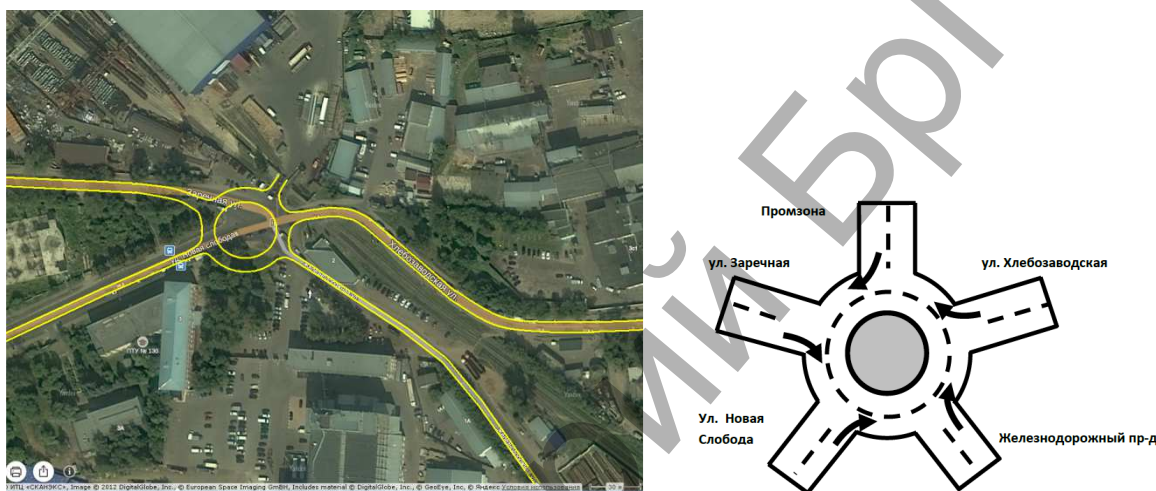


Рисунок 3 – Организация кольцевого пересечения в узле

Построение базовой микромоделю исследуемого транспортного узла, процедуры сбора исходных данных, моделирования и оценки результатов имитационных экспериментов выполнялись по методике, изложенных в ОДМ 218.6.011-2013 и ОДМ 218.2.039-2013. При этом оценка эффективности принятых проектных решений по вариантам ОДД осуществлялась на основе оценки степени опасности для движения и пропускной способности на исследуемых объектах.

Первоначально были проведены компьютерные эксперименты для оценки значений показателей, характеризующих ОДД на существующем транспортном узле в утренний час пик (7-00 ÷ 8-00 ч). Анализ результатов, приведенных на табл. 4 показывает, что данный узел в часы пик работает в режиме пропускной способности или близко к нему.

Таблица 4 – Показатели опасности и пропускной способности узла

№ п/п	Наименование показателя	Численное значение
1	Суммарная интенсивность движения, авт/ч	1936
2	Пропускная способность узла	2023
3	Уровень загрузки	0,957
4	Степень опасности дорожного движения, КС/1000 авт.км	164,8
5	Средняя степень опасности	0,244



Целью следующей серии компьютерных экспериментов было определение значений интенсивностей движения транспортных потоков на кольцевом пересечении, при которых начинаются заторы (т.е. определение пропускной способности кольцевого пересечения). При этом составы транспортных потоков и распределения интенсивностей по направлениям движения не варьировались и соответствовали существующим значениям. Интенсивности движения на каждом подходе к кольцевому пересечению увеличивались синхронно (прямо пропорционально) до достижения пропускной способности кольцевого пересечения. Значение пропускной способности было достигнуто итерационным способом.

Анализ результатов экспериментов (табл. 5) показал, что в результате внедрения кольцевого движения пропускная способность узла увеличивается на 25-30%, а степень опасности дорожного движения уменьшается на 20-25 %.

Таблица 5 – Показатели опасности и пропускной способности узла после внедрения предложенных мероприятий

№ п/п	Наименование показателя	Численное значение
1	Суммарная интенсивность движения, авт/ч	1936
2	Пропускная способность узла	2441
3	Уровень загрузки	0,793
4	Степень опасности дорожного движения, КС/1000 авт.км	127,8
5	Средняя степень опасности	0,255

Внедрение полученных в результате проведенных исследований решений и рекомендаций на практике повысят эффективность и безопасность дорожного движения.

УДК: 656.02

## ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗМЕНЕНИЯ ВРЕМЕНИ ГОДА

В.Д. Шепелёв, А.В. Клецов, К.Э. Герль.

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

*При моделировании грузовых перевозок автомобильным транспортом существует необходимость учета условий эксплуатации подвижного состава и изменений его показателей производительности. Авторами приводятся аналитические данные эксплуатационных характеристик при изменении времени года. Выявленные изменения эксплуатационных показателей проанализированы авторами и представлены в статье в виде графиков.*

Процесс организации перевозок сопряжён с решением целого комплекса организационных, экономических, технологических и управленческих проблем [1, 2]. Основной задачей логистики является обеспечение транспортировки груза от грузоотправителя к грузополучателю с минимальными затратами на пере-

возку. В связи с этим необходимо учитывать эксплуатационные характеристики используемого подвижного состава [3, 4].

Россия находится в зоне четырех климатических поясов, и особенно с изменением времени года температурные условия резко меняются. Это значительно отражается на характеристиках использования подвижного состава [5, 6]. Ввиду этого фактора следует учитывать сезонность при моделировании процесса транспортировки груза [7, 8].

С помощью системы спутникового мониторинга было проведено исследование семи седельных тягачей марки MAN и Volvo сроком эксплуатации от 4 до 10 лет. Исследуемые автомобили регулярно проходят техническое обслуживание в фирменных сервисных центрах. В исследуемом предприятии седельные тягачи с тентованными полуприцепами работают на междугородних маршрутах. Практикуется только помашинная отгрузка, средний вес груза составил порядка 17 тонн. Средняя длина ездки составляет 1700 км. Целью исследования является выявление изменения эксплуатационных показателей в зависимости от времени года. Данные анализировались по одному полному летнему и зимнему месяцу. Для анализа летом 2015 года был собран статистический материал за июль, и зимой 2016 года данные снимали в феврале [9, 10].

На рисунке 1 представлена зависимость среднего времени движения автомобиля и времени работы двигателя за один летний месяц эксплуатации.

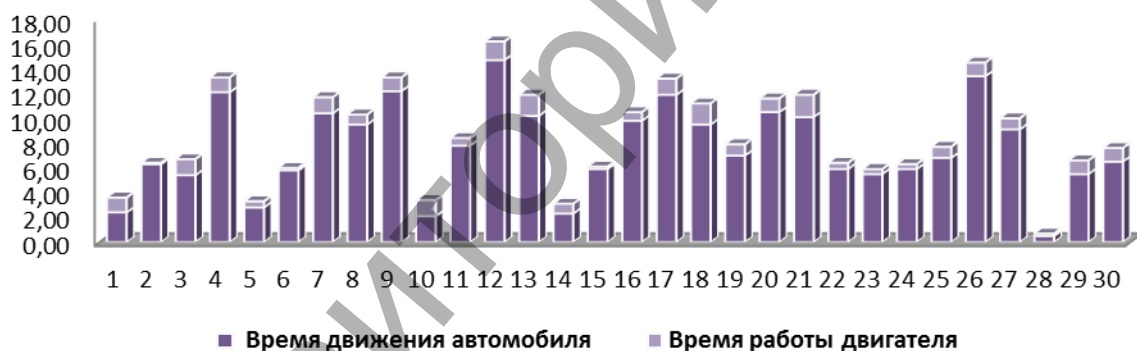


Рисунок 1 – Зависимость  $t_{\text{движ.}}$  от  $t_{\text{р.дв.}}$  в летнее время (июль)

На рисунке 2 представлена зависимость среднего времени движения автомобиля и времени работы двигателя в феврале.

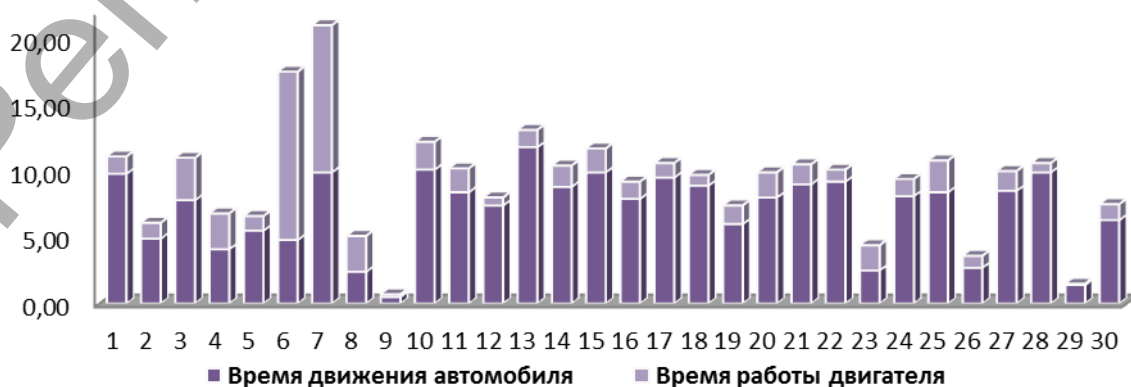


Рисунок 2 – Зависимость  $t_{\text{движ.}}$  от  $t_{\text{р.дв.}}$  в зимнее время (февраль)

На рисунке 2 видно увеличение времени непроизводительной работы двигателя в зимний период. Что объясняется хранением автомобилей на открытой стоянке, в результате механизмы и агрегаты тягача подвержены интенсивному охлаждению, как следствие, затрачивается дополнительное время на запуск и прогрев двигателя. Учитывая представленные данные, перевозчикам необходимо закладывать дополнительное время на подачу автомобиля под погрузку.

На рисунке 3 отображены данные по изменению средней эксплуатационной скорости в зависимости от времени года. Так, в зимний период эксплуатационная скорость снижается до 20%.

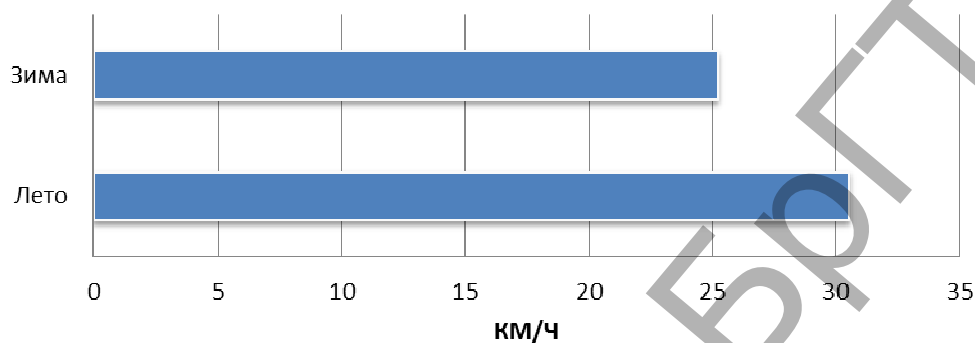


Рисунок 3 – Средняя эксплуатационная скорость

Важно отметить, что при планировании работы подвижного состава в расчетах провозных возможностей транспортных средств используют величину эксплуатационной скорости движения. Поэтому полученные данные необходимо учитывать при учете времени на нулевой пробег и простои подвижного состава под погрузкой и разгрузкой [11].

Средняя техническая скорость в зимний период снижается в пределах от 4 до 5%. Незначительно снижение технической скорости автомобиля необходимо учитывать при планировании маршрутов на большие расстояния. Зависимость средней технической скорости от изменения времени года показана на рисунке 4.

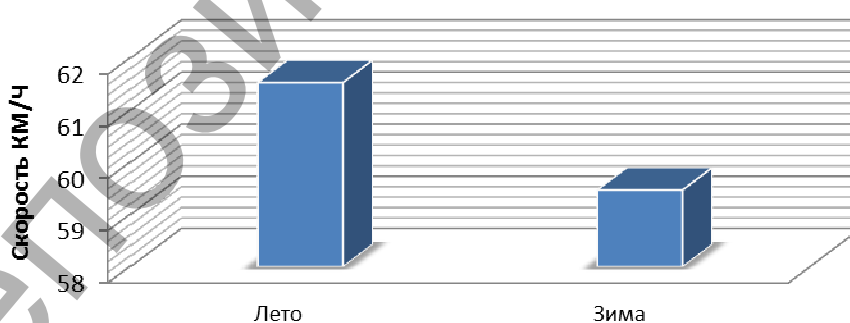


Рисунок 4 – Средняя техническая скорость

В междугородних грузоперевозках затраты на топливо, как правило, занимают значительную часть расходов, в некоторых случаях достигают 50% от себестоимости. Запуск двигателя в зимнее время характеризуется увеличением энергетических затрат. Для облегчения пуска у тягачей предусмотрены автономные подогреватели. Кроме того, принцип работы автономного подогревателя основан на сжигании топлива, что также приводит к дополнительному расходу топлива [12]. На рисунке 5 отображена динамика изменения расхода топлива в зависимости от времени года.

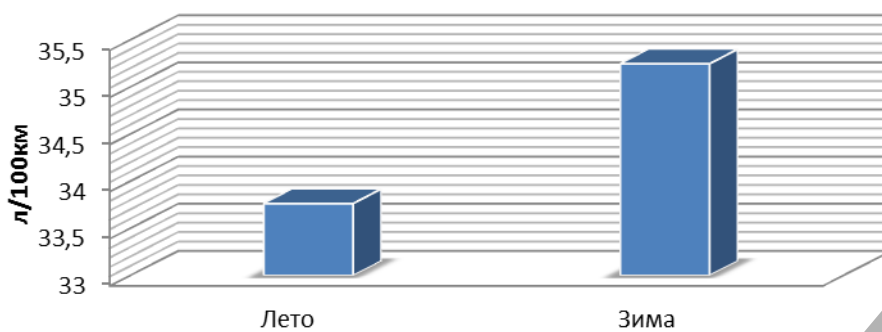


Рисунок 5 – Расход топлива

Средний расход топлива в зимний период возрастает на 6%. Колебания роста расхода топлива в зависимости от марки седельных тягачей составило в пределах от 7 до 15%.

На основе полученных данных можно сделать следующие выводы:

1. Время непроизводительной работы двигателя автомобиля в зимнее время увеличивается на 12% (1,22 часа).

2. Средняя эксплуатационная скорость в летнее время 30,5 км/ч. В зимнее время она снижается до 25,2 км/ч. При этом средняя техническая скорость имеет незначительное изменение: лето – 61,5 км/ч; зима – 59,4 км/ч.

3. Расход топлива изменяется в пределах от 33,7 л/100км летом, до 35,7 л/100км в зимний период.

Данные, полученные в ходе исследования, позволят транспортным компаниям более точно моделировать транспортные процессы и, как следствие, эффективнее использовать подвижной состав.

## Список литературы

1. Зырянов А.П., Шепелёв В.Д. Оценка эксплуатационных показателей грузового транспорта в Российской Федерации // Журнал: Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика. // Издательство: Пермский национальный исследовательский политехнический университет. №1. стр.292-297. Пермь – 2014.
2. Шепелёв, В.Д., Александрова, Т.А., Герль, К.Э. Повышение эффективности подвижного состава с помощью спутниковых систем мониторинга / В.Д. Шепелёв, Т.А. Александрова, К.Э. Герль // Экономика и управление: проблемы, тенденции, перспективы развития: сб. мат. науч.-практич. конф. / ЦНС «Интерактив плюс». – Чебоксары, 2015. – С. 306-309.
3. Альметова, З.В. Повышение эффективности транзитных перевозок в межтерминальных сообщениях (на примере Челябинской области): дис. ... кандидата технических наук: 05.22.01: защищена 24.06.14: утв. 07.11.14 / Альметова Злата Викторовна. – М., 2014. – 185 с.
4. Альметова, З.В. Закономерности формирования транзитного потенциала: монография / О.Н. Ларин, Н.К. Горяев, З.В. Альметова – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2012. – 188 с.
5. Альметова, З.В. Повышение эффективности эксплуатации автомобильного транспорта при транзитных грузоперевозках / З.В. Альметова, О.Н. Ларин // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». – 2012. – № №30(289). – С. 161–166.
6. Альметова, З.В. Вопросы оптимизации объемов партий грузов в интегрированных цепях поставок продукции / З.В. Альметова, О.Н. Ларин, С. Левин // Журнал «Логистика» – 2014. – № 6; Агентство Маркет Гайд» sales@mg-agency.com, С. 58–60

7. Pogotovkina, N.S., Almetova, Z.V., Gorchakov, Y.N., Kosyakov, S.A., Khegay, V.D. Motorization in Russia: Challenges and solutions [Электронный ресурс] // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10, № 14. P. 34443–34448.
8. Альметова, З.В. Использование транзитных терминалов для повышения эффективности грузовых перевозок / З.В. Альметова, О.Н. Ларин // Автотранспортное предприятие. – 2014. – №4. – С. 25–26.
9. Шепелёв, С.Д. Статистические показатели производительности зерноуборочных комбайнов в зависимости от наработки / С.Д. Шепелёв, В.Д. Шепелёв, Ю.Б. Черкасов // Агропродовольственная политика России. - 2015. - № 1 (13). – С. 36-40.
10. Герль, К.Э., Шепелев, В.Д. Использование спутниковых систем мониторинга на автомобильном транспорте для повышения эффективности использования подвижного состава / К.Э. Герль, В.Д. Шепелев // Перспективные направления развития автотранспортного комплекса : сб. статей / ПГСА. – Пенза, 2015. С. – 11-14
11. Шепелёв, В.Д. Обоснование технико-технологической согласованности процессов уборки и послеуборочной обработки зерна : автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. тех. наук (05.20.03) / Шепелёв Владимир Дмитриевич; Челябинский государственный агроинженерный университет. - Челябинск, 2007. – 22 с.
12. Колесников А.С. О расходе топлива двигателя автомобиля при пуске в низкотемпературных условиях // Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию Тюменского индустриального института // Издательство: Тюменский государственный нефтегазовый университет. Стр. 125-128. Тюмень – 2013.

**УДК 656.62:347.9**

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СУДОХОДСТВОМ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЛАВАНИЯ НА ВНУТРЕННЕМ ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**А.П. Афанасьев, А.П. Бовбель, магистр технических наук,  
Республиканское унитарное предприятие «Белорусский научно-исследовательский институт транспорта «Транстехника»,  
Минск, Беларусь**

*В настоящее время возрастает потребность в обмене информацией между сторонами, участвующими в транспортной деятельности, в том числе на внутреннем водном транспорте. Геоинформационные системы управления судоходством и обеспечения безопасности являются системами информационной поддержки на основе современных систем связи и IT-технологий, которые собирают, обрабатывают, оценивают и распространяют информацию о внутренних водных путях, дислокации судов, способствуют повышению уровня безопасности и эффективности перевозок и наиболее полному использованию возможностей внутренних водных путей.*

### **Введение**

На современном этапе развития информационные технологии становятся неотъемлемой составной частью транспортного комплекса. Информационные, коммуникационные, геоинформационные и интеллектуальные системы получают широкое распространение в сфере автомобильного, железнодорожного, воздушного, внутреннего водного и морского транспорта.

В Республике Беларусь в сфере внутреннего водного транспорта вышеуказанные системы в настоящий момент применяются «точечно», они не носят системного характера и направлены на удовлетворение потребностей конкретной организации. В основном применяются системы контроля и учета расхода топлива на судовых энергетических установках, передатчики сигналов GPS/ГЛОНАСС для локальной диспетчеризации перевозочного процесса, средства связи – радиостанции, мобильные телефоны.

Однако данные локальные системы не направлены на комплексное управление судоходством и обеспечение безопасности плавания, функцию которых в настоящее время должны выполнять современные информационно-коммуникационные и геоинформационные интегрированные системы.

## **1. Внутренний водный транспорт Республики Беларусь**

Республика Беларусь, являясь внутриконтинентальным государством, не имеет прямого выхода к морю. Доставка грузов в морские порты осуществляется железнодорожным и автомобильным транспортом. Стоит отметить, что в нашей стране функционирует внутренний водный транспорт – наиболее экономичный, энергоэффективный и экологичный по сравнению с другими видами транспорта, который является альтернативным связующим звеном Республики Беларусь и морских портов, в частности черноморских. Протяженность внутренних водных путей в республике составляет около 1700 км, судоходство осуществляется по рекам Днепр, Припять, Березина, Сож, Неман, Западная Двина, Днепро-Бугскому каналу. В южной части по территории Республики Беларусь проходит водный путь международного значения Е 40 (по классификации Европейской Экономической Комиссии ООН (далее – ЕЭК ООН), который посредством рек Одер, Висла, Буг, Припять и Днепр соединяет Балтийское и Черное моря. В настоящий момент из-за наличия глухой плотины в г. Бреста и ограниченных условий для судоходства на территории Республики Польша функционирует участок от г. Бреста до г. Херсона.

## **2. Принципы функционирования геоинформационных систем на внутреннем водном транспорте**

Для унификации подходов и требований к информационным системам на внутреннем водном транспорте ЕЭК ООН приняты многочисленные международные стандарты и рекомендации, направленные на эффективность и безопасность перевозочной деятельности посредством внедрения и применения геоинформационных систем управления судоходством и обеспечения безопасности плавания по внутренним водным путям (далее – геоинформационные системы). Геоинформационные системы являются системами информационной поддержки на основе современных систем связи и ИТ – технологий и носят название «Речные информационные службы» (далее – РИС). РИС активно внедряют страны-соседи Республики Беларусь – Россия, Польша и Украина, наибольший интерес из которых для нашей республики представляет Украина из-за наличия смежных судоходных участков внутренних водных путей: р. Днепр и р. Припять. Принципиальная схема РИС Украины представлена на рисунке 1.



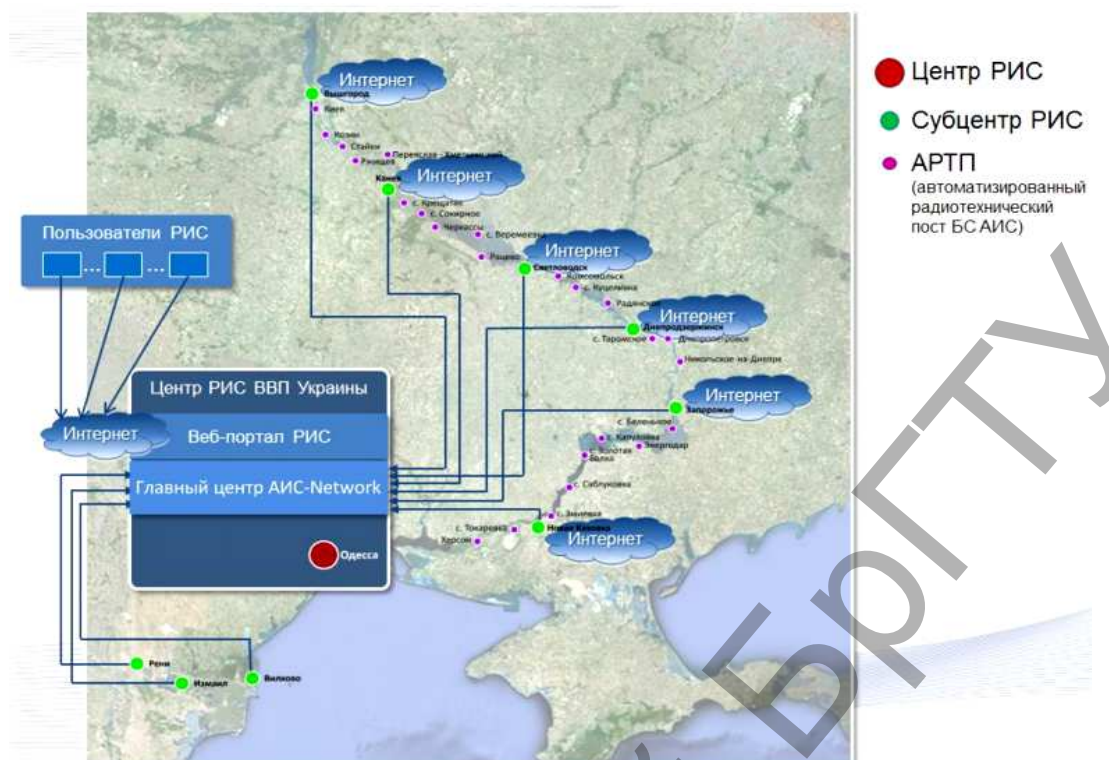


Рисунок 1 – Принципиальная схема РИС Украины

РИС довольно давно развиваются на внутренних водных путях Европы. Общеввропейская Концепция РИС заключается в создании телекоммуникационной инфраструктуры – электронных карт внутренних водных путей, каналов связи, береговых сетей радиосвязи и радиолокации, современных автоматизированных идентификационных систем (АИС), систем доведения информации до потребителей – Web-порталов РИС и «Единого окна» получения информации РИС. Таким образом, РИС собирают, обрабатывают, оценивают и распространяют информацию о параметрах внутренних водных путей и инфраструктуры, дислокации судов и способствуют эффективному и безопасному перевозочному процессу и наиболее полному использованию возможностей внутренних водных путей.

В процессе создания РИС европейскими организациями разработано и утверждено множество нормативных документов, основными из которых являются:

Резолюция ЕЭК ООН № 57 «Руководящие принципы и рекомендации для речных информационных служб (РИС)» от 21.10.2005;

Резолюция ЕЭК ООН № 58 «Руководство и критерии для служб движения судов на внутренних водных путях» от 21.10.2005;

Резолюция ЕЭК ООН № 63 «Международный стандарт для систем обнаружения и отслеживания судов на внутренних водных путях (VTT)» от 13.10.2006;

Резолюция ЕЭК ООН № 48 «Рекомендация, касающаяся системы отображения электронных карт и информации для внутреннего судоходства» от 25.10.2001;

Резолюция ЕЭК ООН № 60 «Международные стандарты, касающиеся извещений судоводителям и систем электронных судовых сообщений во внутреннем судоходстве» от 21.10.2005.

### 3. Применение геоинформационных систем на внутреннем водном транспорте в Республике Беларусь

Для включения внутренних водных путей Республики Беларусь в единую воднотранспортную систему необходимо обеспечить их качественную навигационную поддержку на европейском уровне за счет внедрения геоинформационных систем, интегрированных прежде всего со странами-соседями. Это позволит повысить эффективность использования внутренних водных путей республики, обеспечить высокий уровень безопасности судоходства, а также развивать международные перевозки грузов внутренним водным транспортом, в частности в Украину. Перспективная структура РИС в Республике Беларусь представлена на рисунке 2.

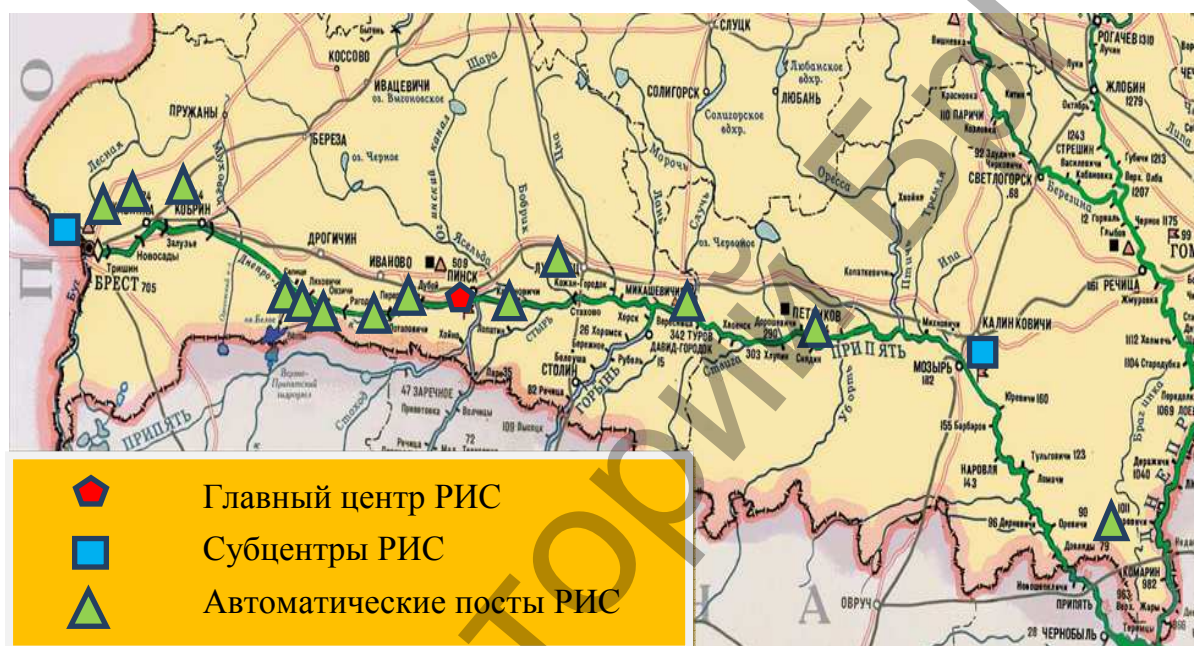


Рисунок 2 – Перспективная структура РИС в Республике Беларусь

Для внедрения и применения геоинформационных систем на внутреннем водном транспорте в Республике Беларусь потребуются немалые капиталовложения, поскольку данные системы включают в себя комплекс инфраструктурных объектов и устройств непосредственно на судах, в том числе береговые передающие/принимающие станции, автоматические метеорологические и промерные посты, судовые транспортеры АИС, современное судовое навигационное оборудование, главный центр РИС, а также территориальные субцентры. Кроме того, потребуется создание информационного Web- портала РИС, посредством которого заинтересованные пользователи смогут получать необходимую информацию.

Экономический эффект от применения геоинформационных систем на внутреннем водном транспорте достигается за счет получения всей необходимой информации о судах и внутреннем водном пути в режиме реального времени (прямой эффект) и возможности ознакомления с данной информацией всех авторизованных заинтересованных лиц (косвенный эффект).



## Список литературы

1. Guidelines and Recommendations for River Information Services (Resolution № 57) [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2012/sc3wp3/ECE-TRANS-SC3-165-Rev1e.pdf>. – Date of access: 12.04.2016.
2. International Standard for Tracking and Tracing on Inland Waterways (VTT) (Resolution № 63) [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/finaldocs/sc3/ECE-TRANS-SC3-176r1e.pdf>. – Date of access: 12.04.2016.
3. International Standards for Notices to Skippers and for Electronic Ship Reporting in Inland Navigation (Resolution № 60) [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/finaldocs/sc3/ECE-TRANS-SC3-175e.pdf>. – Date of access: 15.04.2016.
4. Recommendation on Electronic Chart Display and Information System for Inland Navigation (Inland ECDIS) (Resolution № 48) [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2016/sc3wp3/ECE-TRANS-SC3-156-Rev3e.pdf>. – Date of access: 13.04.2016.
5. Guidelines and Criteria for Vessel Traffic Services on Inland Waterways (Resolution № 58) [Electronic resource]. – Mode of access: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/finaldocs/sc3/TRANS-SC3-166e.pdf>. – Date of access: 12.04.2016.
6. Речная информационная служба водных путей Украины [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ukrris.com.ua/> – Дата доступа: 11.04.2016.

## A CLASSIFICATION OF DRIVER ASSISTANCE SYSTEMS

G. Yannis, C. Antoniou, J. Golias, S. Mavromatis  
National Technical University of Athens, Greece

### **Abstract**

*The objective of this work is to examine advanced driver assistance systems (ADAS), with notable potential for road safety and traffic efficiency improvement, and to propose an impact oriented classification of these systems. Based on the traffic and safety features analysis, the distinct phases in the accident process are often used for the classification of the driver assistance systems. On the other hand when functional analyses of the driver assistance systems characteristics are addressed, these systems are classified based on the supported levels of driver tasks. The results of this work might be used to support decisions related to the adoption and market penetration of the most promising ADAS systems.*

## **Introduction**

Driver assistance systems seem to have a considerable potential for road safety and traffic efficiency improvement. At present the use of driver assistance systems presents a rapidly growing industry as these systems are expected to improve road safety, increase road capacity and attenuate the environmental impacts of traffic. The

advent of new technologies supporting vehicle intelligence (e.g. sensors, transmitters, communications and computers) makes the use of driver assistance systems less unapproachable to the wide public, allowing for safer and more efficient driver experiences.

Driver assistance systems support the modification of the driving task by providing information, advice, and assistance, they influence directly and indirectly the behaviour of users of both equipped and non-equipped vehicles and alleviate accident consequences by in-vehicle intelligent injury reducing systems (Naniopoulos, 2000). According to the literature, the classification of such systems follows either a system oriented approach or a user oriented approach, fully responding to the increasing complexity of driver assistance functions.

Based on the road safety features examination, the distinct phases in the accident process are often used for the classification of the driver assistance systems (Heijer et al 2000).

On the other hand when functional analysis of the driver assistance systems characteristics is attempted, these systems are initially classified according to the type of user (individual driver, professional driver, fleet owner, elderly drivers, etc.). Inevitably these systems are classified according to the levels of driver tasks they are supporting.

Although these kinds of classification fail to provide answers on the usefulness of driver assistance systems, as the impact to traffic efficiency and road safety is not taken into consideration, the present paper aims to outline these two different approaches on driver assistance systems where priorities for future developments can better be identified.

## **1. Classification of driver assistance systems based on the distinct phases in the accident process**

Driver assistance systems have the potential to improve road safety by influencing traffic exposure, by reducing the probability of crashes and by reducing injury consequences. Towards this direction, a fundamental classification of these systems consists of certain advances during the following accident phases:

- pre-crash
- crash
- post-crash

### **1.1. Pre-crash phase**

During the pre-crash phase, the driver assistance systems are mainly focused in the support provided to the driver in terms of information, perception, convenience, and (driver – vehicle) monitoring.

The classic systems for driver information are those related to **navigation routing**, which provide location and route guidance input to the driver (Srinivasan and Jovanis 1997). A number of **integrated navigation systems** have emerged in the past years, supporting the driver through a variety of additional services, such as signing, warning or even intervening in the driving process (e.g. by temporarily taking control of the vehicle), in the event of unsafe driving conditions, such as unsafe travel speed for the geometry ahead. No significant traffic efficiency impact is anticipated

from these systems as speed and headway benefits are not expected to be considerable. **Real time traffic and traveler information** systems combine the information available to users of traditional navigation systems with real time travel-related information, which they receive from the infrastructure (e.g. through dedicated radio channels, roadside beacons or wide-area transmissions). Real time traffic and traveler information systems can exploit information such as vehicle location, previous route guidance instructions, safety and advisory information, and other real-time updates on conditions such as congestion, work zones, environmental, and road surface conditions (Davison et al 1997). Nevertheless, significant headway improvements are not anticipated, as real time traffic and traveler information systems do not assist vehicle control. It should be stressed that negative safety consequences from the above driver information systems are possible, as they require in-vehicle screens, which may distract the driver attention from his primary driving task.

The driver convenience during the pre-crash phase is closely related to the elimination of unnecessary and sometimes dangerous deceleration and acceleration areas. **Automated transaction systems**, such as electronic toll collection, facilitate such transactions and at the same time make possible for the vehicles to sustain their speed.

The driver's performance for potential signs that may lead to safety violations such as drowsiness as a consequence of fatigue (Sugasawa et al 1996), alcohol abuse, medication, etc., or lack of attention, e.g. due to stress (Boverie et al 2000) may be monitored through vigilance monitoring systems. **Driver health monitoring** systems take driver monitoring a step further by monitoring several parameters of the driver's health conditions and combining the results to estimate the current health level of the driver. From this information the system assesses the condition of the driver and if it appears to be below certain pre-selected "safe" levels then the driver and possibly some external entity, e.g. a doctor or the police, are notified (Hernandez et al 1998). A simple system for vehicle status monitoring is the **tachograph** recording equipment which can record, store, display, print, and output data related to driver activity, as well as log information describing the beginning and end of each trip, control activities performed during the trip, e.g. by the police, etc. Furthermore, **vehicle diagnostic** information systems are an extension of current vehicle monitoring and self-diagnostic capabilities, offering elaborate engine condition information services such as oil pressure, coolant temperature gauges, etc..

## 1.2. Crash phase

During the crash phase the recent developments in the vehicle restraint systems (EN1317), such as crush cushions etc., as well as the passive safety of support structures for road equipment (EN 12767) contribute in reducing accident effects.

## 1.3. Post-crash phase

A large number of alerting systems have been developed aimed at alerting the emergency services (e.g. police, ambulance, fire brigades, highway patrols) in case of a traffic incident. Furthermore, some of these systems offer also dedicated support services, to which the troubled drivers get connected automatically. Most of the systems feature either a cell-phone technology connection or satellite-based communications.

## 2. Classification of driver assistance systems based on the supported levels of driver tasks

The supported levels of driver tasks are either tactical or operational (Michon 1985). The tactical levels of driver tasks consist of the following support systems:

- longitudinal control

The most well-known longitudinal control system is the **intelligent speed adaptation (ISA)**. Different implementations range from external speed recommendations to an automatic speed reduction function. The latter may be imposed directly to all (equipped) vehicles within the control area, e.g. through a communication centre, or indirectly, e.g. by managing the local traffic lights accordingly. **Adaptive cruise control (ACC)** is a more elaborate longitudinal control system which adjusts vehicle speed to maintain a safe separation with the preceding vehicle (Martin 1993, Winner et al 1996). Adaptive cruise control senses the presence and relative velocity of moving vehicles ahead of the equipped vehicle and adjusts the speed of travel accordingly (Hayward et al 2000).

- lateral control

**Road and lane departure collision avoidance** is a lateral control system providing warning and control assistance to the driver through lane or road edge tracking and by determining the safe speed for road geometry in front of the vehicle (Pomerleau et al 1997). The system continuously calculates the vehicle's optimal position and compares it with the actual vehicle position. If the system detects deviations exceeding the defined safety thresholds, then it creates audio-visual warnings for the driver.

**Lane change and merge collision avoidance** systems are another type of lateral control systems providing various levels of support for detecting and warning the driver of vehicles and objects in adjacent lanes. While this information can be useful during normal driving conditions, it is particularly valuable during lane change or merging maneuvers. Systems in this category track vehicles in adjacent lanes and use this information to warn the driver when their position and/or speed make the planned lane change/merge maneuver unsafe.

- general vehicle control

**Automatic stop-and-go** systems allow vehicles to automatically stop when this is necessary, e.g. the preceding vehicle has stopped, and starts again when the conditions allow it (Carrea 1993). Such systems could offer significant safety benefits in hazardous situations and in situations where frequent stop-and-go is required, such as congested conditions. Another system in this category, albeit with a lower level of maturity is **platooning**, a situation where each vehicle travels keeping a constant headway from the preceding one, either through external speed control or through electronic speed control by the vehicle itself. A special case of this function is the tow-bar application, where the vehicles (usually trucks) are electronically coupled and each follows the preceding one. Platooning application areas are usually restricted to highway and motorway network sections with a reduced speed limit (usually up to 85 km/h).

- collision avoidance

**Rear end collision avoidance** systems sense the presence and speed of vehicles and objects in the vehicle's lane of travel and provide to minimise the risk of collisions with vehicles and objects found in front of the equipped vehicle (Ganci et al 1995, Woll 1995). **Obstacle and pedestrian detection** systems offer similar services by

warning the driver when pedestrians, vehicles, or obstacles are in close proximity to the driver's intended path (Butsuen et al 1996, Kamiya et al 1996, Sugawara et al 1996, Papageorgiou et al. 1998). Most accidents happen at intersections. **Intersection collision warning** systems utilize a cooperation of vehicle and infrastructure systems to provide warning to the driver for potential collision at an intersection (Lloyd et al 1996). A special category of intersection collision avoidance systems is railroad crossing collision avoidance systems, which provide in-vehicle warnings to drivers approaching railroad crossings when a train is approaching (Luedeke 1997, Polk 1997).

The operational levels of driver tasks consist of the following support systems:

- Aiming to augment driver's perception certain systems have been released or are under development. Such systems are focused on the **vision enhancement** of the driver and vary from specially designed headlights to infrared and radar sensors (e.g. blind spot detection, electronic mirrors, parking aid, etc.). A promising category of driver information systems refers to systems collecting and analyzing information on the **road surface conditions** using vehicle-mounted or fixed infrastructure road sensors (Cremona et al 1994).
- **Driver convenience** is a key factor determining their performance. Systems already commercially available offer the capability to identify the driver (from a choice set of a few pre-configured drivers) and automatically adjust the seat, the steering wheel, the rear and side mirrors, the temperature, etc. to the particular driver's pre-set preferences. Also in this category fall various **hands-free interfaces and remote control** units located on the steering wheel. The impact of **driver identification** systems on driver awareness can be significant, as the driver is not distracted by trying to adjust the driving environment (seat, steering wheel, rear and side mirrors).

### 3. Conclusions

The specific contribution of driver assistance systems on road safety and traffic efficiency is something still under consideration and research. However, several attempts already revealed basic trends. Some systems present a net potential for road safety improvement, while some others have an effect mainly on traffic efficiency improvement.

The individual systems can benefit from the combination of more integrated systems. On the other hand there is a need for "intelligent" roads that will support and cooperate with the "intelligent" vehicles.

More and more systems tend to connect and collaborate with external systems.

In every case the safety of the driver as well as the vehicle passengers is the overall goal.

The results of this work might be used to support decisions related to the adoption and market penetration of the most promising ADAS systems.

### 4. References

1. Naniopoulos, A., 2000, Advanced driver assistance systems and traffic safety. *Proceedings of Workshop on "The role of Advanced Driver Assistance Systems on traffic safety and efficiency"*, organized by NTUA and AUTH, Athens, October 18th.

2. Heijer, T., Oei, H. L., Wiethoff, M., Boverie, S., Penttinen, M., Schirokoff, A., Kulmala, R., Heinrich, J., Ernst, A. C., Sneek, N., Heeren, H., Stevens, A., Bekiaris, A., and Damiani, S., 2000, Problem identification, user needs and inventory of ADAS, ADVISORS Project Deliverable D1/2.1.
3. Srinivasan, R. and Jovanis, P., 1997, Effect of selected in-vehicle route guidance systems on driver reaction times. *Human Factors*, 39 (2), pp. 200-215.
4. Davison, P., Brand, C., Lewis, A., Moon, D., Site, P. D., Gentile, C., Filippi, F., Landolfi, O., Dougherty, M., Korver, W., Harrell, L., van Toorenburg, J., Akerman, J., Dauner, A., Heckelsmueller, J., Leiss, U., Linde, E., and Petzel, E., 1997, A structured state-of-the-art survey and review. EU project FANTASIE, Deliverable 8. November 1997.
5. Sugasawa, F., Ueno, H., Kaneda, M., Koreishi, J., Shirato, R., and Fukuhara, N., 1996, Development of Nissan's ASV. *Proceedings of the 1996 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Tokyo*, pp. 254-259.
6. Boverie, S., Devy, M., Le Quellec, JM., Mengel, P., and Zittlau, D., 2000, 3D perception for vehicle inner space monitoring, *AMAA conference*, Berlin, Germany, March 2000.
7. Hernandez-gress, N., Estève, D., and Bekiaris, A., 1998, IMU: integrated monitoring unit of the SAVE diagnostic system, Intelligent component for vehicles workshop (ICV'98), Sevilla, Spain.
8. Martin, P., 1993, Autonomous Intelligent Cruise Control incorporating automatic braking (SAE Technical Paper No. 930510). Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers.
9. Winner, H., Witte, S., Uhler, W., and Lichtenberg, B., 1996, Adaptive Cruise Control System Aspects and Development Trends (SAE Technical Paper No. 961010). Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers.
10. Pomerleau, D., Thorpe, C., and Emery, L., 1997, Performance specification development for roadway departure collision avoidance systems. *Proceedings of the 4<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Transport Systems*. Berlin: ICC.
11. Carrea, P., 1993, Integration between anticollision and AICC functions: The Alert Project. *Proceedings of the Intelligent Vehicles '93 Symposium*. Tokyo: IEEE.
12. Ganci, P., Potts, S., and Okurowski, F., 1995, Forward-looking automotive radar sensor. *Proceedings/SPIE – The International Society for Optical Engineering*, 2592, pp. 60-65.
13. Woll, J., 1995, Monopulse Doppler radar for vehicle applications. *Proceedings of the Intelligent Vehicles '95 Symposium*. Detroit, MI: IEEE.
14. Butsuen, T., Yoshioka, T., and Okuda, K., 1996, Introduction of the Mazda Advanced Safety Vehicle. *Proceedings of the 1996 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Tokyo*, pp. 242-247.
15. Kamiya, H., Fujita, Y., Tsuruga, T., Nakumra, Y., Matsuda, S., and Enomoto, K., 1996, Intelligent technologies of Honda ASV. *Proceedings of the 1996 IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Tokyo*, pp. 236-241.
16. Papageorgiou, C., Evgeniou, Th., and Poggio, T., 1998, A trainable pedestrian detection system. MIT, CBCL and AI Laboratory Cambridge, USA, In: 1998 IEEE International Conference on Intelligent Vehicle.
17. Lloyd, M.M., Bittner Jr., A.C., and Pierowicz, J.A., 1996, Driver-Vehicle Interface (DVI) design issues of an Intersection Collision Avoidance (ICA) system" (CD-ROM). *Proceedings of the Third Annual World Congress on Intelligent Transport Systems*. Orlando, FL.
18. Luedeke, J., 1997, Highway railroad grade-crossing warning device and barrier system technologies for high-speed applications, Volume III (Draft Report). Columbus, OH: Battelle Memorial Institute.
19. Polk, A.E., 1997, ITS applications to railroad crossing safety: A summary of U.S. activities" (CD-ROM). *Proceedings of the ITS America Seventh Annual Meeting*. Washington, DC: ITS America.
20. Cremona, P., Kunert, M., and Castinie, F., 1994, Parametric spectrum analysis for target characterization. *Proceedings of the Intelligent Vehicles '94 Symposium*. Paris: IEEE.

# STAR RATING DRIVER TRAFFIC AND SAFETY BEHAVIOR THROUGH OBD AND SMARTPHONE DATA COLLECTION

G. Yannis, D.Tselentis, E.Papadimitriou, S. Mavromatis  
National Technical University of Athens, Greece

## **Abstract**

*The objective of this paper is to demonstrate the potential for monitoring and star rating driver traffic and safety behavior, through the use of continuous data collection from the vehicle (On Board Diagnostics) and the smartphone. Current technological advances in Europe and worldwide make data collection and exploitation substantially easier and more accurate than before. The present work examines the correlation between driving behaviour and degree of exposure with traffic risk. Moreover, the impact of critical behavioural and exposure indicators on traffic risk as well as driving behavior and exposure models using the above indicators for traffic risk calculation are also examined.*

## **Introduction**

Road Safety is a typical field with high risk of important investments not bringing results. Absence of monitoring and accountability limits seriously road safety performance. Therefore there is a high need for monitoring road safety policies and performance.

Road Safety Performance Indicators (SPIs) are the measures (indicators), reflecting those operational conditions of the road traffic system, which influence the system's safety performance (Hakkert et al., 2007). SPIs aim to:

- reflect the current safety conditions of a road traffic system;
- measure the influence of various safety interventions;
- enable comparisons between different road traffic systems e.g. countries, regions, etc.).

Until recently, the high cost of real-time driving data recording systems, data programs, cloud computing services, the inability to accumulate and exploit massive data bases (Big Data) for transport and traffic management purposes (De Romph, 2013, Lee, 2014), as well as the low penetration rate of Smartphones and social networks, made it extremely hard to collect and manage real-time data and, therefore, to study the relation between driving behaviour and travel behaviour and the probability of crash involvement.

More specifically, current technological advances in Europe and worldwide make data collection and exploitation substantially easier and more accurate than before. For example, On Board Diagnostics (OBD) systems are more affordable nowadays and big data analysis is becoming more and more insightful because of the advanced tools that have been developed to exploit it. Such an example is also the Internet of Things (IoT) which comprises of several proposed developments of the Internet in which everyday objects have network connectivity, allowing them to send and receive data. Examples of the IoT application which are progressively bringing new possibilities and opportunities towards this direction are:

- wide penetration of smartphones & social networks,
- efficient data transmission (through GSM networks),
- powerful cloud computing,

It should be mentioned that research has indicated that barriers like those mentioned above can be overcome when consumers are given an incentive such as a monetary prize (Reese and Pash, 2009).

The objective of this paper is to demonstrate the potential for **monitoring and star rating driver traffic and safety behavior**, through the use of continuous data collection from the vehicle (On Board Diagnostics) and the smartphone. More specifically this research attempts to address:

- the correlation between driving behavior and degree of exposure with traffic risk
- the impact of critical behavioral and exposure indicators on traffic risk
- driving behavior and exposure models (and their combination) using the above indicators for traffic risk calculation

## 5. On Board Diagnostics (OBD)

OBD is referring to a vehicle's self-diagnostic and reporting capability. It provides access to data from the engine control unit (ECU). OBD systems give access to the status of the various vehicle subsystems which can be used for recording several driving characteristics (Boquete et al., 2010), (Iqbal and Lim, 2006). The installation process is easy through an existing plug in the vehicle.

Data are automatically transmitted in a central database through the mobile network of a telecom provider. The data collection from the OBD and the smartphone is much easier today since an OBD (on-board diagnostics) device can be easily installed in the vehicle at an affordable price. Moreover, this OBD integrates GSM/GPRS technology which records and transmits critical driving behavior features such as:

- mileage driven
- road network used (through gps position)
- duration and time of the day driving
- harsh braking
- harsh acceleration
- speed
- fuel consumption

## 6. Data Transmission and Analysis

The procedure of data transmission is continuous from the vehicle CAN bus via the OBD device and the GSM (Figure 1). This aim is feasible since:

- data collected can be continuously recorded (1 - 30 Hz frequency)
- data recorded from the vehicle sensors is transmitted in real time by GSM cards (OBD or mobile phone)
- data are stored through web clouds to remote servers and to back office databases



However an issue of general concern is whether the anonymization of the data is possible in terms of protecting privacy.



Figure1 – Continuous data transmission from the vehicle bus via the OBD device and the GSM

The highly spatially and time disaggregated data from the OBD unit and the Smartphone can be converted into useful indicators. As far as the **Big Data analysis** is concerned (De Romph, 2013), (Lee, 2014), signal processing methods (e.g. Fourier analysis) are used to clean the data, remove the “noise” and identify patterns. Moreover, data mining methods are utilized for trajectory pattern mining, clustering and classification. As a result, indicators can then be calculated by ‘querying’ the processed data. Such indicators may include:

- risk exposure indicators
- behavioral indicators

## 7. Feedback to the Driver - Indicators

The database is analysed in order to rate each driver based on his/her driving performance. This allows the development of indicators of driver risk exposure and behavior.

The outputs can be transferred through an application programming interface (API) to a user-friendly web portal or Smartphone App where the driver is able to:

- monitor his driving performance
- receive feedback on his individual driving risk
- identify behaviors that need to be improved

The delivered risk exposure indicators can be combined with other data files (road types and high risk sites, speed limits, traffic volume) by means of map matching algorithms. Such indicators may include (Tselentis et al. 2016):

- weather conditions
- traffic conditions

- number of trips
- total distance driven by the user (mileage)
- type and specific segments of the road network used (given by GPS position)
- time of the day driving and driving duration (driving during risky or rush hours)
- vehicle's safety classification

Driver behavior indicators may consist of:

- steering angle
- engine rpm and use of gear box
- speeding (driving over the speed limit)
- harsh braking (number and severity of braking)
- harsh acceleration (number and severity of accelerations)
- distraction from mobile phone use

All the above mentioned indicators are exploited either separately in a risk exposure model and a behavioral model or as a combined risk exposure and behavior model.

In more advanced setups, when sufficient amount of data is available, new additional or composite parameters might be used such as:

- seat belt use
- alcohol consumption
- vehicle maintenance
- eco-driving could also be exploited in the future as it is proved to have a significant correlation with crash risk since fuel consumption is strongly correlated with aggressive driving and speeding

## 8. Driver Behavior Star Rating

The calculated risk exposure and behavior indicators can be translated into star rating scales:

- driver risk exposure and behavior monitoring and star rating can be initially derived as a weighted combination of the above parameters through sophisticated data analysis and modelling
- weighting can be gradually adjusted with the cumulative dataset
- the final outcome of this modelling can be a risk indicator in the scale 0-10(0) that depicts the risks associated with the driving behavior

The driver behavior “stars” system is communicated to the driver through smartphone apps or a web portal, thus providing:

- information and monitoring on individual driving behaviour and risks
- feedback and tips on driving aspects needing improvement
- benchmarking among peers
- data on fuel consumption may also be included in the “star rating” to monitor eco performance

## 9. Conclusions

Technological advances worldwide and the Internet of Things (IoT) makes gradually the continuous driver assessment a feasible aim, opening a new great potential for traffic and safety behavior improvement.

This process can be used independently by the drivers in order to raise awareness and engagement on safe and environment friendly driving but also to provide feedback and support on driving performance and risks.

An innovative insurance policy could have a significant effect on safety depending on its design (Zanema et al. 2008). This can be accomplished through customized insurance schemes by correlating driving exposure and behavior with insurance premiums such as:

- pay-as-you-drive
- pay-how-you-drive

From a road safety perspective, this research concludes that a star rating driver system that is monitoring and providing feedback on driver's traffic and safety behavior could be a very good incentive for most drivers to drive in a safer manner. All the above suggest that there exist numerous and important challenges emerging on this research field which will be further investigated in the near future.

## 10. References

1. Hakkert, A.S., Gitelman, V. and Vis, M.A. (Eds.), (2007). Road Safety Performance Indicators: Theory. Deliverable D3.6 of the EU FP6 project SafetyNet.
2. Boquete, L., Rodríguez-Ascariz, J. M., Barea, R., Cantos, J., Miguel-Jiménez, J. M., & Ortega, S. (2010). Data acquisition, analysis and transmission platform for a pay-as-you-drive system. *Sensors*, 10(6), 5395-5408.
3. Iqbal, M. U., & Lim, S. (2006). A Privacy Preserving GPS-based Pay-as-You-Drive Insurance System. In *International Global Navigation Satellite Systems Society Symposium*.
4. De Romph, E. (2013). Using BIG data in transport modelling. *Data & Modelling Magazine*,(13) 2013.
5. Lee, I. J. (2014, September). Big data processing framework of road traffic collision using distributed CEP. In *Network Operations and Management Symposium (APNOMS)*, 2014 16th Asia-Pacific (pp. 1-4). IEEE.
6. Zanema, J., van Amelsfort, D., Bliemer, M., & Bovy, P. (2008). Pay-as-you-drive strategies: case study of safety and accessibility effects. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, (2078), 8-16.
7. Tselentis D., Yannis G., Vlahogianni E., "Innovative Insurance Schemes: Pay As/How You Driver", *Proceedings of the 6th European Transport Research Arena Conference*, Warsaw, April 2016.
8. Reese, C. A., & Pash-Brimmer, A. (2009, July). North Central Texas pay-as-you-drive insurance pilot program. In *Proceedings of the Transportation, Land Use, Planning and Air Quality Conference*, Denver.

## Содержание

### 1 СЕКЦИЯ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

А.В. Агарков <b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТРУКТУРНОГО ОПИСАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ДЕТЕКТИРОВАНИЯ И ТРЕКИНГА ДВИЖУЩИХСЯ ОБЪЕКТОВ</b> .....	8
Р.Р. Trokhimchuck <b>PROBLEM OF COMPLEXITY IN MODERN CYBERNETICS AND POLYMETRICAL ANALYSIS AS POSSIBLE WAY OF ITS RESOLUTION</b> .....	12
А.С. Звенигородский <b>К АНАЛИЗУ ЕСТЕСТВЕННО-ЯЗЫКОВЫХ ОТВЕТОВ В СИСТЕМАХ ТЕСТИРОВАНИЯ</b> .....	16
Н.С. Клименко <b>МЕТОД ФИЛЬТРАЦИИ ВЕКТОРОВ ПРИЗНАКОВ В ЗАДАЧЕ ТЕКСТОНЕЗАВИСИМОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ ДИКТОРА</b> .....	20
И.В. Качур <b>РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ С БИОАДАПТИВНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ДЛЯ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ</b> .....	23
С.М. Аваков, В.В. Воронов <b>КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АЛГОРИТМ СОВМЕЩЕНИЯ КАДРОВ ПРИ ПОСТРОЕНИИ ПОЛНОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ</b> .....	26
С.В. Артеменко <b>ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПОИСКА АНОМАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В СИГНАЛАХ</b> .....	29
Е.Е. Марушко <b>НЕЙРОСЕТЕВЫЕ АЛГОРИТМЫ ИДЕНТИФИКАЦИИ РЕЖИМОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ АППАРАТУРЫ ПО ДАННЫМ ТЕЛЕМЕТРИИ</b> .....	33

### 2 СЕКЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТРАНСПОРТНЫЕ СИСТЕМЫ

Д.В. Капский, В.А. Грабауров <b>СОЗДАНИЕ И РАЗВИТИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ НА БАЗЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ</b> .....	37
В.А. Грабауров <b>ПРОБЛЕМЫ ПРОДВИЖЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ В БЕЛАРУСИ</b> .....	41
Д.В. Багаев, А.А. Кобзев, И.Н. Клопов, В.В. Немонтов <b>АЛГОРИТМ АВТОНОМНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ НАЗЕМНОГО РОБОТА С УЧЕТОМ ПРОГНОЗА МЕСТНОСТИ</b> .....	44

Е.Е. Пролиско, В.Н. Шуть <b>ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАБОТЫ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ «ИНФОБУС»</b> .....	49
A.Alessandrini, A. Cattivera, C. Holguin, D. Stam <b>CITYMOBIL2 – CHALLENGES AND OPPORTUNITIES OF FULLY AUTOMATED MOBILITY</b> .....	54
Luca Persia, Jo Barnes, Vasili Shuts, Evgenii Prolisko, Valerii Kasjanik, Denis Kapskii, Aliaksandr Rakitski <b>HIGH CAPACITY ROBOTIC URBAN CLUSTER-PIPELINE PASSENGERS TRANSPORT</b> .....	62
С.Н. Поддубко, А.В. Белевич, В.И. Луцкий <b>ОПЫТ СОЗДАНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА БАЗЕ МИНИ-ТРАКТОРА «БЕЛАРУС 132Н»</b> .....	69
В.В. Савченко <b>ИНФОРМАЦИОННЫЕ ПОТОКИ В ИТС: РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ «ЧЕЛОВЕК–МАШИНА»</b> .....	73
Н.В. Богданов, В.В. Ганченко <b>АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ МОДУЛЬ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА (БЛА) ДЛЯ БЫСТРОЙ ОЦЕНКИ КАРТ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ</b> .....	77
В.В. Ганченко, А.А. Дудкин, Е.Е. Марушко, Л.П. Поденок <b>СИСТЕМА ФОРМИРОВАНИЯ И ВЕРИФИКАЦИИ ПРОГРАММЫ АВТОНОМНОГО ПОЛЕТА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА (БПЛА)</b> .....	81
А.А. Дудкин, Л.П. Поденок <b>МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОНОМНОГО ПОЛЕТА БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА (БЛА) ПО ПРОГРАММЕ</b> .....	85
К.В. Романовский, В.В. Ганченко, А.И. Петровский <b>МНОГОАГЕНТНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ КАРТ СОСТОЯНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ПОЛЕЙ</b> .....	89

### **3 СЕКЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ТРАНСПОРТЕ**

А.Н. Жогал, М.М. Концевой <b>РАЗРАБОТКА МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «УМНАЯ ОСТАНОВКА»</b> .....	93
П.М. Струсинский <b>О КЛАСТЕРНОЙ МОДЕЛИ ПОТОКОВ В ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ ГОРОДОВ</b> .....	96

Д.В. Капский, В.В. Касьяник, О.А. Капцевич, В.Н. Кузьменко, Д.В. Мозалевский, А.В. Евтух, В.Н. Шуть <b>ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХЖИДКОСТНОЙ МОДЕЛИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА</b> .....	100
В.М. Курганов, А.Н. Дорофеев <b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АРХИТЕКТУРНОГО ПОДХОДА ПРИ ВЫБОРЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫМИ ПЕРЕВОЗКАМИ</b> .....	110
И.А. Горяева, Е.Н. Вавилова <b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПОЛНЯЕМОСТИ АВТОБУСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ</b> .....	114
Н.К. Горяев <b>ОПТИМИЗАЦИЯ НОРМИРОВАНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ</b> .....	118
Д.В. Капский, Д.В. Навой, Д.В. Рожанский <b>ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ РАЗРЕШАЮЩЕГО СИГНАЛА ДЛЯ ПРОПУСКА МАКСИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ, РАСПРЕДЕЛЕННЫХ В ВИДЕ ИМПУЛЬСОВ ИНТЕНСИВНОСТИ ПРИБЫТИЯ</b> ....	122
З.В. Альметова, Д.С. Захарова <b>ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ</b> .....	125
З.В. Альметова, Д.С. Чикранова, О.В. Гераскина <b>К ВОПРОСУ О ПРИМЕНЕНИИ ЦИФРОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТАБЛО В ТРАНСПОРТНОЙ ОТРАСЛИ</b> .....	129
В.Д. Шепелев, Т.А. Александрова, С.Д. Шепелёв <b>К ВОПРОСУ ВЛИЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ АВТОПОЕЗДОВ</b> .....	132
А.В. Королев, В.В. Шкуратов <b>ФОРМИРОВАНИЕ ЕДИНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА</b> .....	136
Ф.М. Трухачев, А.И. Гуторов <b>ИНФОРМАЦИОННО-РЕКЛАМНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА “ЭЛЕКТРОННЫЙ ГИД”: СОВОКУПНОСТЬ GPS МОНИТОРОВ, СЕРВЕРА УПРАВЛЕНИЯ И МОБИЛЬНЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ</b> .....	140

#### 4 СЕКЦИЯ УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫМИ ПОТОКАМИ

В.В. Михайлов, С.Б. Соболевский, А.Г. Снитков <b>НАСТРОЙКА АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ РЕГУЛИРУЕМЫМ ПЕРЕКРЕСТКОМ</b> .....	144
А. Козинский, Andrzej Czerepicki, Marcin Koniak <b>ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА НА ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКАХ ЭНЕРГИИ (НА ПРИМЕРЕ МОРСКОЙ ЯХТЫ)</b> .....	149

О.Н. Ларин, Д.Э. Тарасов <b>О ПЕРСПЕКТИВАХ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ КРУПНЫХ ГОРОДОВ.....</b>	154
А.А. Михальченко, В.А. Фалецкий, В. В. Пашкевич <b>КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСПОРТНО-ФИНАНСОВЫХ ПОТОКОВ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕГЛАМЕНТА ЕАЭС.....</b>	157
А.В. Каминский, Т.Н. Ткачева <b>ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ РАДИОТЕХНИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЛЕТОВ И АВИАЦИОННОЙ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ.....</b>	160
З.В. Машарский <b>ИНТЕГРАЦИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ЕДИНУЮ СИСТЕМУ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ...</b>	163
А.А. Ходоскина, В.В. Пашкевич, В.А. Фалецкий <b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ ФИНАНСОВЫХ ПОТОКОВ В ТРАНСПОРТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....</b>	167
С.Н. Карасевич <b>ОПЕРАЦИОННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ТРАНСПОРТНЫМ ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ЧЕМПИОНАТА МИРА ПО ФУТБОЛУ FIFA 2018 ГОДА НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА СОЧИ.....</b>	170
A. Tripodi, L. Persia, E. Meta <b>IMPACT OF e-SAFETY APPLICATIONS ON CYCLISTS' SAFETY.....</b>	176
Jo Barnes, Clare Lawton, Andrew Morris, Russ Marshall, Steve Summerskill, Denise Kendrick, Pip Logan, Avril Drumond, Brian Fildes, Simon Conroy, Julie Bell <b>INJURIES TO OLDER USERS OF PUBLIC TRANSPORT IN THE UK.....</b>	181
С.Н. Карасевич, В.М. Еремин, А.М. Бадалян, С.А. Аземша <b>РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ТРАНСПОРТНОГО УЗЛА В СОСТАВЕ КСОДГ ГОРОДСКОГО ОКРУГА .....</b>	193
В.Д. Шепелёв, А.В. Клецов, К.Э.Герль. <b>ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗМЕНЕНИЯ ВРЕМЕНИ ГОДА.....</b>	197
А.П. Афанасьев, А.П. Бовбель <b>ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СУДОХОДСТВОМ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЛАВАНИЯ НА ВНУТРЕННЕМ ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ.....</b>	201
G. Yannis, C.Antoniou, J.Golias, S. Mavromatis <b>A CLASSIFICATION OF DRIVER ASSISTANCE SYSTEMS.....</b>	205
G. Yannis, D.Tselentis, E.Papadimitriou, S. Mavromatis <b>STAR RATING DRIVER TRAFFIC AND SAFETY BEHAVIOR THROUGH OBD AND SMARTPHONE DATA COLLECTION .....</b>	211

Научное издание

Международная научно-техническая конференция  
“Искусственный интеллект. Интеллектуальные транспортные системы”  
При поддержке проекта TEMPUS «Be-Safe»  
№544181-TEMPUS-1-2013-1-IT-TEMPUS-JPCR  
Брест, Беларусь, 25-28 мая 2016 г.

International Conference  
“Artificial Intelligence. Intelligent Transport Systems”  
Support from TEMPUS project «Be-Safe»  
№544181-TEMPUS-1-2013-1-IT-TEMPUS-JPCR  
Brest, Belarus, 25-28 May 2016 г.

## **Материалы Международной научно-технической конференции**

Ответственный за выпуск: Шуть В.Н.  
Редактор: Боровикова Е.А.  
Компьютерная вёрстка: Боровикова Е.А., Соколюк А.П.  
Корректор: Никитчик Е.В.

ISBN 978-985-493-371-9



Издательство БрГТУ.  
Свидетельство о государственной регистрации  
издателя, изготовителя, распространителя печатных  
изданий № 1/235 от 24.03.2014 г.  
Подписано в печать 20.05.2016 г. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага «Performer». Гарнитура «Times New Roman».  
Усл. печ. л. 12,78. Уч. изд. л. 13,75. Заказ № 559.  
Тираж 60 экз. Отпечатано на ризографе учреждения  
образования «Брестский государственный технический  
университет». 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.