

УПРАВЛЕНИЕ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНЫМ СРЕДСТВОМ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ GPS И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

¹Станкевич С. Н., ²Прихожий А. А.

¹*Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь, stanstas@mail.ru,*

²*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь, prihozhy@yahoo.com*

Аннотация. Работа посвящена созданию программного продукта для управления дорожно-транспортным средством в режиме реального времени с использованием gps и машинного обучения. Исследуется проблема поиска маршрута движения транспортного средства с минимальным расходом топлива. Решение проблемы основано на современных методиках расчета расхода топлива, алгоритмах поиска кратчайших путей на графе, механизмах машинного обучения, геоинформационных технологиях.

Ключевые слова: дорожно-транспортное средство, искусственный интеллект, gps, машинное обучение.

Abstract. The work is devoted to the creation of a software product for real-time traffic vehicle control using gps and machine learning. The problem of finding a route for a vehicle with minimum fuel consumption is investigated. The solution to the problem is based on modern methods of fuel consumption estimation, algorithms of shortest paths search on a graph, machine learning mechanisms, geoinformation technologies.

Key words: road vehicle, artificial intelligence, gps, machine learning.

Рост вычислительных мощностей компьютерных систем, совершенствование информационных технологий, развитие современных алгоритмов и искусственного интеллекта в значительной степени меняют транспортный сектор и раскрывают невиданные до этого возможности. Дополненная реальность в организации дорожного движения и в управлении автомобилем, различные помощники в автономном функционировании транспортных средств, автоматизированное управление транспортными потоками, оптимизация транспортной логистики – все это уже реализовано во многих областях транспортной сферы.

В настоящее время стало возможным управление всей транспортной деятельностью с помощью искусственного интеллекта. Искусственный интеллект в целом облегчает жизнь людям, помогает сделать все виды транспорта безопаснее, экологически чище, умнее и эффективнее. Например, автономный

транспорт, управляемый искусственным интеллектом, может помочь уменьшить количество человеческих ошибок, которые являются причиной многих дорожно-транспортных происшествий.

Одним из подмножеств искусственного интеллекта является машинное обучение. Машинное обучение – это тип прогнозной аналитики, в котором проще реализовать работу с большими объемами данных, постоянно меняющимися в режиме реального времени. «Интеллектуальный компьютер» решает задачи подобно человеку и способен самостоятельно принимать решения.

Благодаря адаптивному характеру машинного обучения оно отлично подходит для программных сценариев в транспортной сфере, в которой данные постоянно изменяются, свойства запросов или задач нестабильны, а «жесткий» программный код не обладает свойством необходимой адаптации к изменяющейся ситуации [1].

Управление автомобилем является сложным процессом с динамическими изменениями в режиме реального времени. Теория современных систем автоматического управления рассматривает управление автомобилем как замкнутую систему управления с обратной связью.

В замкнутой системе производится измерение действительного значения выходного сигнала, которое затем сравнивается с его желаемым значением. В системе вычисляется разность (или иначе, ошибка) между желаемым значением выходной переменной и ее достаточно точно измеренным действительным значением. Измеренное значение выхода называют сигналом обратной связи. Замкнутая система стремится поддержать заданное соотношение между двумя переменными путем сравнения функций, зависящих от векторной переменной, и использования их разности в качестве управляющего сигнала [2]. Принцип обратной связи используется для создания замкнутых систем управления, обладающих заданными характеристиками. Конфигурация системы с обратной связью представлена на рис. 1.

Чаще всего разность между заданным значением выходной переменной и ее действительным значением усиливается и используется для воздействия на объект управления, в результате чего разность уменьшается. Принцип обратной связи лежит в основе анализа и синтеза систем управления.

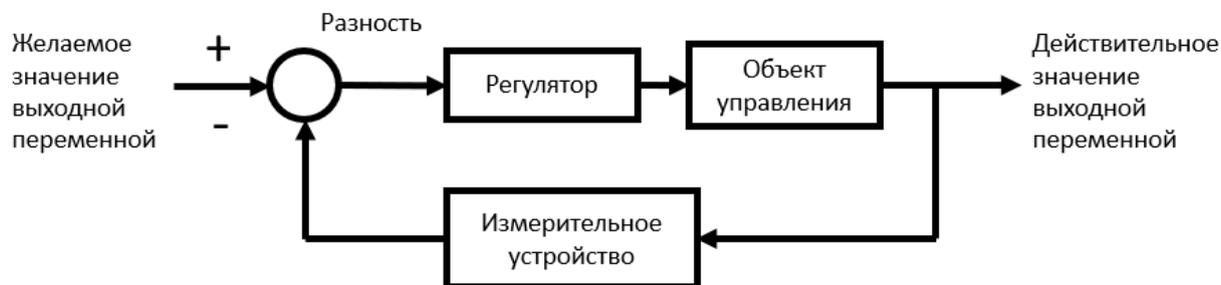


Рисунок 1 – Замкнутая система управления с обратной связью

На основе теории замкнутых систем управления, используемой для управления автомобилем, это можно объяснить следующим образом. Когда водитель автомобиля при движении по дороге наблюдает за его положением, замечает, что автомобиль отклоняется от желаемой траектории, водитель осуществляет необходимые воздействия на средства управления (рулевое управление и педали). Управлять автомобилем очень приятно, когда машина мгновенно реагирует на действия водителя. Многие автомобили с этой целью оснащены гидроусилителями руля и тормозов. Укрупненная блок-схема системы управления движением автомобиля изображена на рис. 2.

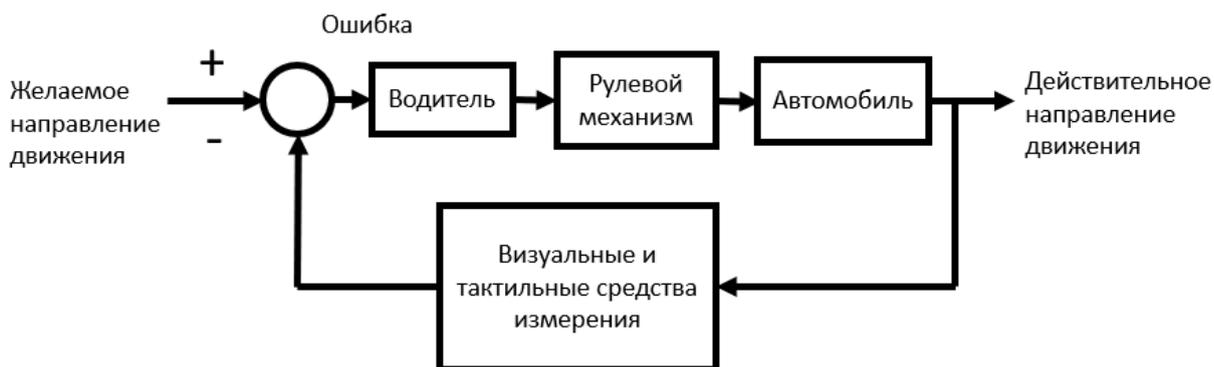


Рисунок 2 – Система управления автомобилем с помощью рулевого механизма

Желаемое направление движения сравнивается с результатом измерения действительного направления и в итоге образуется ошибка, как показано на рис. 3. Информация о действительном направлении поставляется за счет визуальной и тактильной (ощущения прикосновения и давления) обратной связи. Дополнительная обратная связь образуется ощущением рулевого колеса руками водителя (датчиком). Эта система с обратной связью широко используется для управления различными видами транспорта, и является аналогом хорошо известной системы управления курсом океанского лайнера или большого пассажирского самолета. Типичная реакция автомобиля на действия водителя изображена на рис. 4.

В связи с возрастающей сложностью объектов управления и желанием добиться оптимальных показателей качества, в настоящее время значительно повысилась роль автоматического управления. К тому же во многих случаях возникает необходимость учитывать взаимное влияние выходных переменных друг на друга, что неизбежно отражается на структуре системы. Конфигурация такой многомерной системы управления приведена на рис. 5.

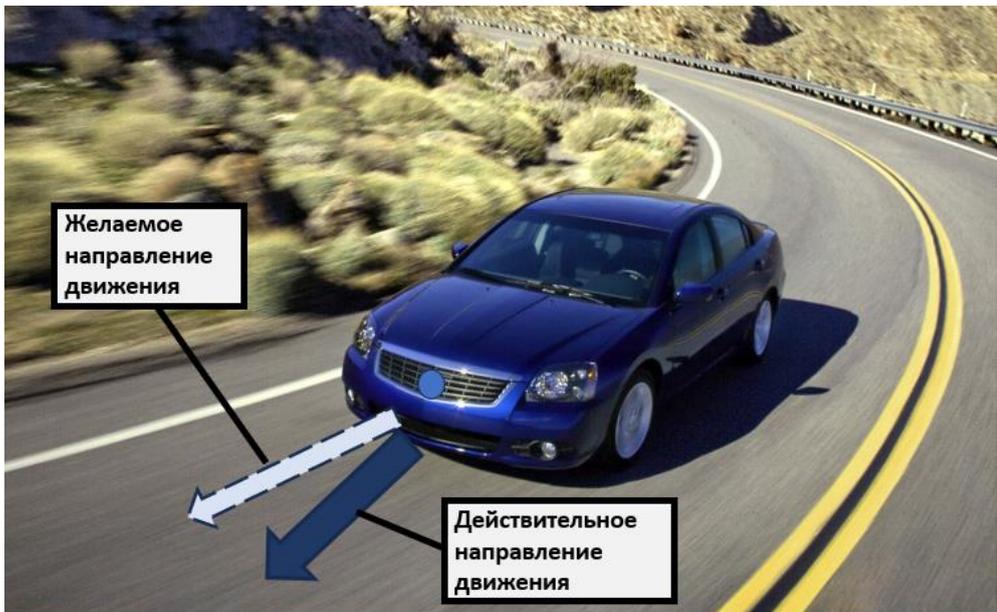


Рисунок 3 – Водитель определяет разность между желаемым и действительным направлением движения и воздействует на рулевое колесо

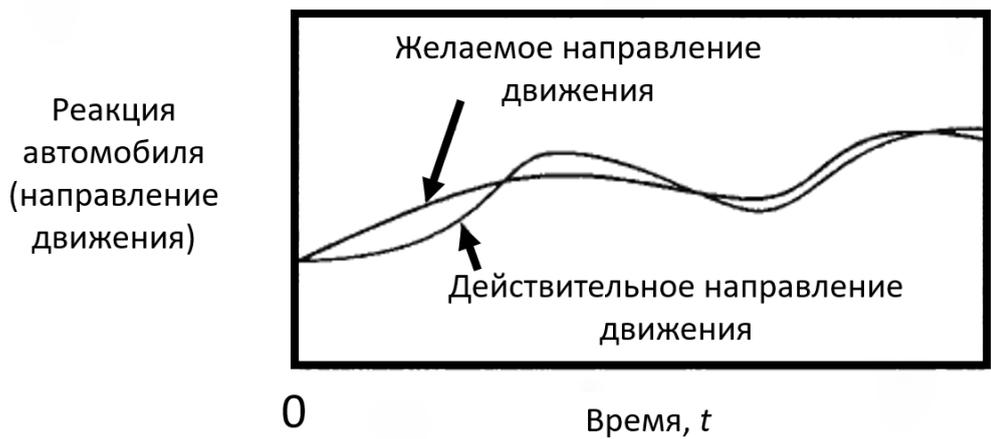


Рисунок 4 – Типичная реакция автомобиля на действия водителя

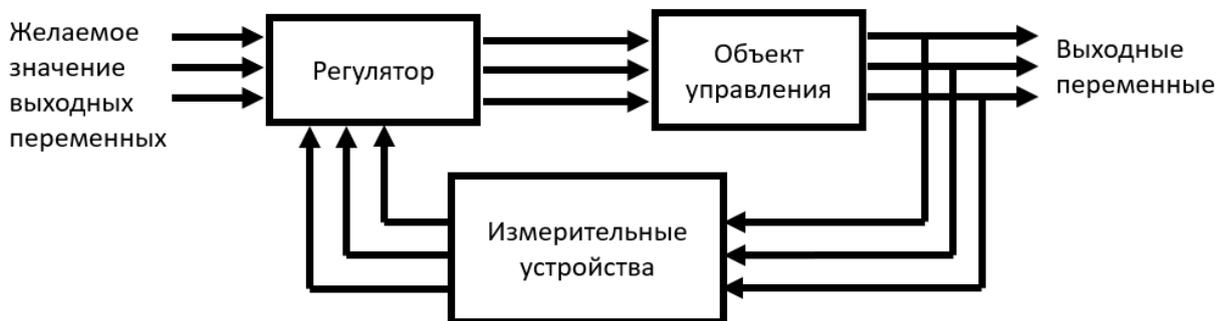


Рисунок 5 – Многомерная система управления

Например, если на большой скорости движения автомобиля сильно вывернуть руль в сторону и резко затормозить автомобиль может опрокинуться. В этом примере можно рассматривать взаимное влияние трех динамических параметров управления: скорость движения, изменение направления движения, резкое торможение (замедление).

Традиционные производители автомобилей, такие как Nissan, Audi и Mercedes и другие, а также новые компании, такие как Tesla, Google Waymo и Uber, конкурируют в стремлении разработать первый полностью автономный беспилотный автомобиль. Подход, который они применяют, у всех схожий. По сути, беспилотный автомобиль должен выполнять три действия, чтобы заменить водителя-человека: воспринимать, думать и действовать. Эти задачи становятся возможными благодаря сети высокотехнологичных устройств, таких как камеры, компьютеры и контроллеры [3].

Система управления беспилотным автомобилем с помощью электронного управления рулевым механизмом представлена на рис. 6. Здесь в отличие от классического автомобиля, водитель заменяется бортовым компьютером, механический рулевой механизм заменяется рулевым механизмом с электронным управлением. А в качестве визуальных и тактильных средств измерения используются технические средства восприятия: видеокamеры, лидары, радары и gps-устройства.



Рисунок 6 – Система управления беспилотным автомобилем с помощью электронного управления рулевым механизмом

В настоящее время разработаны алгоритмы машинного обучения, которые могут «обучить» распознавать объекты вокруг автомобиля. Например, эти алгоритмы классифицируют громоздкий, быстро движущийся объект с двумя колесами как мотоцикл, а не как велосипед. Другие объекты могут быть идентифицированы как автомобили, пешеходы, светофоры или препятствия соответственно.

Алгоритмы машинного обучения могут «учиться» на действиях, предпринятых в предыдущих ситуациях, и делать выводы, что делать в новой, аналогичной ситуации. Этот тип машинного обучения похож на распознавание речи на смартфоне или распознавание лиц для фотографий в социальных сетях. Как

только компьютер автомобиля решает, какое действие предпринять, он отправляет электронные команды контроллерам, которые поворачивают рулевое колесо и управляют педалями скорости и тормоза [3].

Благодаря GPS можно получить месторасположение автомобиля на карте дорог и получить приблизительное представление о маршруте до пункта назначения. Получив GPS-координаты в режиме реального времени и записав их в специальные log-файлы, а затем сопоставив их с координатами дороги, можно сформировать большой объем данных для дальнейшего их анализа.

Однако использование GPS имеет определенные ограничения:

1. Контроль перемещения с помощью смартфона или трекера является платной услугой от провайдера.

2. Погрешность в определении gps-координат составляет около 10 метров.

3. Частота обновления месторасположения объекта занимает некоторое время.

Применение машинного обучения на основе данных gps-координат дает следующие возможности:

1. Позволяет принять решения, основанные на действиях, предпринятых в предыдущих ситуациях; дать рекомендации о том, что делать в новой, аналогичной ситуации.

2. Позволяют выбрать оптимальный маршрут.

3. Позволяют принять рациональный и безопасный способ движения по определенному маршруту с учетом конкретных дорожных условий, например, связанных с погодными условиями или дорожными заторами и препятствиями.

Важнейшей задачей является минимизации расхода топлива в зависимости от дорожных условий и технического состояния дорог. Расход топлива транспортного средства, движущегося по дороге, зависит от следующих основных факторов:

- крутизна уклона (величина угла уклона продольного профиля дороги);
- длительность движения на уклоне;
- тип и мощность двигателя;
- передаточное число коробки передач;
- скорость движения;
- погодные условия;
- состояние дорожного покрытия (в частности коэффициент сцепления дороги).

Расход топлива может увеличиваться при увеличении угла продольного профиля дороги, при большой мощности двигателя, при резких разгонах и торможениях, а также при движении с неоправданно большой скоростью, при длительном движении на уклон, из-за продолжительной нагрузки двигателя, из-за снижения коэффициента сцепления колес с дорогой, а также из-за дождя или встречного ветра. Формулы и методики для расчета расхода топлива представлены в литературных источниках [4–9]. В общем случае расход топлива можно представить в виде функции $Q = f(a, b, c \dots x)$, где аргументы представляют вышеуказанные факторы, влияющие на расход топлива.

Для моделирования процесса движения автомобиля и его расхода топлива в режиме реального времени с использованием gps-координат необходим совершенный программный продукт. В этом программном продукте могут использоваться средства машинного обучения. Существуют некоторые инструменты или приложения, доступные для просмотра или визуализации файла gps-трека, например ArcGIS, QGIS, Google Earth, а также некоторые онлайн-приложения для просмотра GPX, которые также доступны для визуализации данных gps-трекера. Например, разработчику предлагаются открытые средства для создания программы просмотра файлов треков GPX-формата на Python.

Формат GPX позволяет хранить информацию об ориентирах (waypoints), маршрутах (routes) и треках (tracklogs). Для каждой точки хранятся ее долгота, широта и высота над уровнем моря (если имеется информация о высоте). Для точек трека хранится также время прохождения точки. XML-схема gpx-файла предусматривает также хранение произвольной пользовательской информации по каждой точке [10].

Получив gps-координаты трека дороги и передав их в приложения визуализации можно построить модель расчета расхода топлива транспортного средства в режиме реального времени с последующим анализом средствами машинного обучения.

Расход топлива можно определять для участков движения между ближайшими соседними отметками дорожного рельефа gps-трека по соответствующим методикам [5–9]. Средний расход топлива транспортного средства при движении по всей трассе является суммой расходов топлива на каждом отдельном участке трассы и определяется по формуле 1:

$$Q_{\text{ср}} = \frac{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_N}{N}, \text{ л/100 км} \quad (1)$$

где Q_N – расход топлива на отдельном участке движения, л/100 км;
 N – количество участков трассы.

На рис. 7 представлена диаграмма визуализации расчетов расхода топлива транспортного средства по точкам gps-трека, полученным в режиме реального времени либо из данных gps-карт. Расхода топлива на отдельном участке gps-трека определяется как разность значений расхода топлива между соседними gps-координатами трека: $\Delta Q = Q_{i+1} - Q_i$.

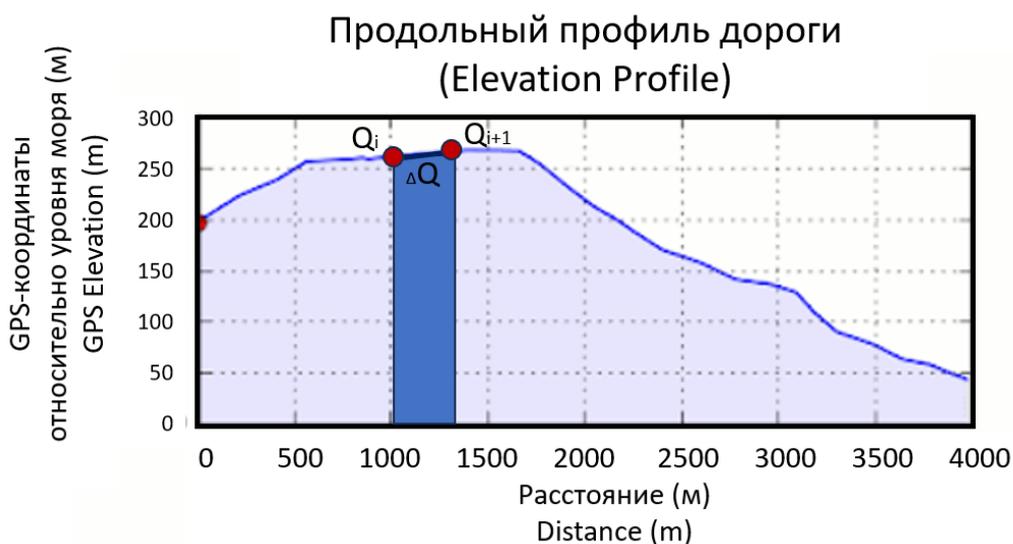


Рисунок 7 – Диаграмма определения расхода топлива (ΔQ)
на отдельном участке gps-трека

Далее с помощью механизмов машинного обучения можно проводить анализ проблемных участков и применять для них рекомендации и методы сокращения расхода топлива.

Оптимизация маршрута движения транспортного средства может производиться по нескольким критериям: минимальное расстояние; минимальное время движения на маршруте; минимальные денежные затраты; минимальный расход топлива. Самый короткий маршрут до пункта назначения может быть не самым быстрым и с повышенным расходом топлива. В первую очередь это связано с типом и состоянием дорожного покрытия и техническими параметрами дороги, такими как продольные уклоны и радиусы закругления дорог. В соответствии с вышеуказанными факторами в Республике Беларусь дороги делятся на определенные категории в соответствии с техническим кодексом и установившейся практикой [11].

Современные электронные картографические сервисы, такие как Google Maps, Apple Maps, Яндекс.Карты и другие как правило предоставляют несколько альтернативных маршрутов движения к пункту назначения. Получение gps-треков альтернативных маршрутов позволяет рассчитать расход топлива на каждом маршруте, а затем определить маршрут с наименьшим расходом топлива.

Для поиска наиболее экономного маршрута по расходу топлива, можно использовать алгоритм Дейкстры [12]. Алгоритм находит кратчайшие пути от одной из вершин графа до всех остальных и работает только для графов с положительными весами ребер. Для решения поставленной задачи строится граф из полученных альтернативных участков, где вершины графа соответствуют gps-координатам треков маршрутов, а веса ребер графа описывают расход топ-

лива на соответствующих участках дорог. В результате можно получить маршрут с наименьшим расходом топлива, учитывающий особенности конкретного транспортного средства. Это дает экономический и экологический эффекты.

Для решения описанных выше проблем, нами разрабатывается программный продукт, ориентированный на использование современных высокопроизводительных многоядерных процессоров и многопроцессорных систем [13–15].

Список использованных источников:

1. Дорф, Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп; пер. с англ. Б. И. Копылова. – М. : Лаборатория Базовых Знаний, 2002. – 823 с.
2. Мюллер, А. Введение в машинное обучение с помощью Python. Руководство для специалистов по работе с данными / А. Мюллер, С. Гидо. – Издательство: Исследовательский центр «Гевиста», Москва, 2017. – 393 с.
3. Self-driving Cars: The technology, risks and possibilities [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sitn.hms.harvard.edu/flash/2017/self-driving-cars-technology-risks-possibilities/>. – Дата доступа: 23.10.2023.
4. Artificial intelligence in transport. European Parliamentary Research Service [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/35609/EPRS_BRI\(2019\)6360EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2019/35609/EPRS_BRI(2019)6360EN.pdf). – Дата доступа: 23.10.2023.
5. Филиппов, В. В. О зависимости расхода топлива и влиянии на него скорости движения автомобиля и дорожных условий / В. В. Филиппов, Н. В. Смирнова, Д. Н. Леонтьев // Вестник ХНАДУ. – Вып. 67. – 2014. – С. 7–12.
6. Буторин, Н. Н. Средняя техническая скорость и расход топлива автомобильного поезда / Н. Н. Буторин // Лесной журнал. – № 5–6. – 2001. – С. 60–63.
7. Селифонов, В. В. Теория автомобиля : учеб. пособие / В. В. Селифонов, А. Ш. Хусаинов, В. В. Ломакин. – М. : МГТУ «МАМИ», 2007. – 102 с.
8. Трофимов, А. В. Математическая модель расчета значения нормируемого расхода топлива на основе данных, получаемых от технических средств контроля / А. В. Трофимов, А. В. Проценко // Вестник СибАДИ. – Вып. 5 (27). – 2012. – С. 43–48.
9. Ильянов, С. В. Применение вероятностно-аналитической методики расчета расхода топлив для городских автобусов класса М3. Интеллект. Инновации. Инвестиции / С. В. Ильянов // Intellect. Innovations. Investments. – № 4. – 2020. – С. 125–132.
10. GPX: the GPS Exchange Format (Официальный сайт GPX). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: GPX: the GPS Exchange Format (topografix.com). – Дата доступа: 23.10.2023.
11. Технический кодекс установившейся практики, ТКП 45-3.03-19-2006 (02250) «Автомобильные дороги. Нормы проектирования». Министерство архитектуры и строительства Республики Беларусь.

12. Dijkstra, E. W. A note on two problems in connexion with graphs (англ.) // Numerische Mathematik / F. Brezzi, E. W. Dijkstra. – Springer Science+Business Media, 1959. – Vol. 1, Iss. 1. – P. 269–271.
13. Prihozhy, A. A. Influence of shortest path algorithms on energy consumption of multi-core processors / A. A. Prihozhy, O. N. Karasik // System analysis and applied information science. – 2023. – No. 2. – P. 4–12.
14. Prihozhy, A. A. Advanced heterogeneous block-parallel all-pairs shortest path algorithm / A. A. Prihozhy, O. N. Karasik // Proceedings of BSTU, issue 3, Physics and Mathematics. Informatics. – 2023. – No. 1 (266). – P. 77–83
15. Prihozhy, A. A. Inference of shortest path algorithms with spatial and temporal locality for big data processing / A. A. Prihozhy, O. N. Karasik // [Big Data and Advanced Analytics: proceedings of VIII international conference]. – Minsk : Bestprint Publ., 2022. – P. 56–66.