

35. Cao J., Li Z., Zhou X., Xia D. Numerical Exploration on Pitching Motion of Robotic Dolphin Realized by Pectoral Fin, *In Proceedings of the 2021 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA), Takamatsu, Japan, 8–11 August 2021; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2021*, pp. 628-632.
36. Wu Z., Yu J., Yuan J., Tan M. Analysis and Verification of a Miniature Dolphin-like Underwater Glider, *Industrial Robot: An International Journal*, 2016, 43.6, pp. 628-635.
37. Wu Z., Yang X., Zhou C., Yuan J., Yu J. Dynamics Modeling and Simulation for a Gliding Robotic Dolphin, *In Proceedings of the 2016 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), Qingdao, China, 3–7 December 2016; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2016*, pp. 829-834.
38. Wu Z., Yu J., Yuan J., Tan M., Zhang J. Mechatronic Design and Implementation of a Novel Gliding Robotic Dolphin, *In Proceedings of the 2015 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), Zhuhai, China, 6–9 December 2015; IEEE: Piscataway, NJ, USA, 2015*, pp. 267-272.
39. Zhang X., Wang J., Wan D. CFD Investigations of Evolution and Propulsion of Low-Speed Vortex Ring, *Ocean Engineering*, 2020, 195, 106687.
40. Bi X., Zhu Q. Dynamics of a Squid-Inspired Swimmer in Free Swimming, *Bioinspiration & Biomimetics*, 2019, 15, 016005.
41. Anderson E.J., Grosenbaugh M.A. Jet Flow in Steadily Swimming Adult Squid, *J. Exp. Biol.*, 2005, 208, pp. 1125-1146.
42. Olcay A.B., Malazi M.T. The Effects of a Longfin Inshore Squid's Fins on Propulsive Efficiency during Underwater Swimming, *Ocean Engineering*, 2016, 128, pp. 173-182.
43. Luo Y., Xiao Q., Zhu Q., Pan G. Pulsed-Jet Propulsion of a Squid-Inspired Swimmer at High Reynolds Number, *Phys. Fluids.*, 2020, 32, 111901.
44. Malazi T.M. Design Optimization of a Longfin Inshore Squid Using a Genetic Algorithm, *Ocean Engineering*, 2023, 279, 114583.
45. Durshlyak V.V., Kizilova N.N., Koryakina O.A., Khalin A.I., Shishov N.I. Otsenka aerodinamicheskikh kharakteristik bionicheskikh form [Evaluation of aerodynamic characteristics of bionic forms], *Mekhanika. Issledovaniya i innovatsii* [Mechanics. Research and Innovation], 2021, Issue 14, pp. 21
46. Galushko I.D., Salmina V.A. i Makar'yan G.M. Razrabotka ispytatel'nogo stenda dlya testirovaniya sistemy upravleniya podvodnogo robota s izmenyaemoy geometriy korpusa [Development of a test bench for testing the control system of an underwater robot with variable body geometry], *Dinamika i vibroakustika* [Dynamics and Vibroacoustics], 2019, Vol. 5, No. 3. DOI: 10.18287/2409-4579-2019-5-3-6-13.

Гриценко Дмитрий Андреевич – Южный федеральный университет; e-mail: dgricenکو@sfedu.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: +78634371794; кафедра инженерной графики и компьютерного дизайна; аспирант.

Аббасов Ифтихар Балакишиевич – Южный федеральный университет; e-mail: ibabbasov@sfedu.ru; г. Таганрог, Россия; тел.: +78634371794; кафедра инженерной графики и компьютерного дизайна; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

Gritsenko Dmitry Andreevich – Southern Federal University; e-mail: dgricenکو@sfedu.ru; Taganrog, Russia; phone: +78634371794; the Department of Engineering Graphics and Computer Design; postgraduate student.

Abbasov Iftikhar Balakishievich – Southern Federal University; e-mail: ibabbasov@sfedu.ru; Taganrog, Russia; phone: +78634371794; the Department of Engineering Graphics and Computer Design; head of the Department; dr. of eng. sc.; professor.

УДК 629.06, 656.2

DOI 10.18522/2311-3103-2025-1-203-213

А.Л. Охотников

ИНТЕГРИРОВАННАЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Статья описывает результаты разработки и внедрения интеллектуальной системы управления беспилотным поездом «Ласточка» на Московском центральном кольце. Особенностью беспилотной системы управления железнодорожным транспортом является: относительно высокая скорость и большая масса поездов, которые определяют длинный тормозной путь. Необходимо

решение задачи точного определения расстояния до препятствия, его идентификации и определения точного местоположения поезда на пути. Эту задачу может решать интеллектуальная система принятия решений на основе интеграции систем технического зрения и высокоточного позиционирования. Основным элементом системы управления является специализированный вычислитель, использующий технологии искусственного интеллекта. Для распознавания и идентификации препятствий система управления применяет искусственную нейронную сеть, входящую в состав программного обеспечения вычислителя. Техническое зрение работает в четырех диапазонах электромагнитных волн. Систему технического зрения можно рассматривать как информационно – измерительную систему, осуществляющую ввод и обработку информации без участия человека. Представлена структура интегрированной системы технического зрения, которая включает бортовую, инфраструктурную и мобильную системы. Эксперимент показал, что система технического зрения реагирует быстрее человека в среднем на 14 секунд. Предложен состав оборудования интегрированной высокоточной системы позиционирования, которая помимо глобальной навигационной спутниковой системы, бесплатформенной инерциальной системы и одометров, включает цифровую модель пути. Цифровая модель пути является источником точного местоположения опорных объектов инфраструктуры, относительно которых определяется позиционирование транспортного объекта с высокой точностью и основой обнуления возрастающей погрешности измерений инерциальной навигационной системы и одометра. Описаны результаты практического внедрения интеллектуальной системы управления на Московском центральном кольце.

Система автоматического управления; интеллектуальная система управления; беспилотное управление; цифровая модель пути; система технического зрения; высокоточная система позиционирования.

A.L. Okhotnikov

INTEGRATED INTELLIGENT UNMANNED VEHICLE CONTROL SYSTEM

The article describes the results of the development and implementation of the intelligent control system of the «Lastochka» unmanned train on the Moscow Central Ring. The peculiarity of the unmanned control system for railway transport is: relatively high speed and large mass of trains, which determine a long braking distance. It is necessary to solve the problem of accurate determination of the distance to the obstacle, its identification and determination of the exact location of the train on the track. This task can be solved by an intelligent decision-making system based on the integration of vision and high-precision positioning systems. The main element of the control system is a specialised computer using artificial intelligence technologies. To recognise and identify obstacles, the control system uses an artificial neural network, which is part of the computer software. Technical vision operates in four ranges of electromagnetic waves. The vision system can be considered as an information-measuring system that performs input and processing of information without human participation. The structure of the integrated vision system, which includes on-board, infrastructure and mobile systems, is presented. The experiment has shown that the vision system reacts faster than a human on average by 14 seconds. The composition of the equipment of the integrated high-precision positioning system is proposed, which in addition to global navigation satellite system, platform-free inertial system and odometers, includes a digital track model. The model is the source of the exact location of the reference infrastructure objects, relative to which the positioning of the transportation object with high accuracy is determined and the basis for zeroing the increasing error of measurements of the inertial navigation system and odometer. The results of practical implementation of the intelligent control system on the Moscow Central Circle are described.

Automatic control system; intelligent control system; unmanned control; digital track model; vision system; high-precision positioning system.

Введение. Современное общество характеризуется интенсификацией применения информационных технологий и интенсивностью транспортных потоков [1]. Основу управления сложных технических объектов и систем составляют информационные технологии и системный анализ. Большое количество сценариев и условий управления мотивирует разработку новых методов, моделей и алгоритмов. С увеличением скоростей транспортных объектов (ТО) время на принятие решений сокращается. Человек осуществляет рецепцию информации [2] на основе своего опыта и когнитивных способностей, что может приводить к задержкам в принятии решений и ошибкам восприятия информационной ситуации, особенно при высоких скоростях движения. Отсюда следует необхо-

димось минимизации человеческого фактора в условиях неопределенности и высоких рисков. Для решения этой задачи создаются новые технические, информационные и математические решения, которые позволяют оперативно и с постоянным требуемым качеством решать задачи управления при увеличении скоростей и интенсивности движения.

Постановка задачи. Целью данного исследования является рассмотрение применения современных интеллектуальных технологий в управлении для перехода на беспилотные методы управления [3–5]. Решение актуальной задачи требует разработки системы автоматического управления, методов и алгоритмов цифровой обработки информации от системы технического зрения и высокоточного позиционирования для обнаружения и идентификации объектов-препятствий, а также принятия решений для безопасного управления транспортом. В статье описывается один из таких подходов с применением системы технического зрения (СТЗ) для автоматизации сбора информации без участия человека [6, 7]. В данном контексте СТЗ можно рассматривать как информационно – измерительную систему [8]. Дополнением к этой системе предлагается использовать высокоточную систему позиционирования (ВСП) [9, 10]. Анализ указанных систем и их составляющих требует повышенного внимания и раскрывается в исследовании. Очевидно, что описание решений поставленных задач будет полезным, как для специалистов различного профиля, так и для студентов, которые предметно изучают новые научные направления о сложных технических системах и управлении ими.

Полученные экспериментальным путем данные свидетельствуют о более качественном определении препятствия средствами технического зрения, чем человеком. Быстродействие по определению объекта на пути посредством СТЗ в среднем на 14 с быстрее, чем у машиниста. На скорости 60 км/ч – это соответствует дистанции прохождения поездом 235 м.

Опытные исследования показали, что максимальное значение времени задержки внимания машиниста при детектировании препятствия по результатам замеров составило 38 с относительно реакции интегрированной СТЗ. Анализ подтверждает необходимость использования интегрированных СТЗ и технологий ВСП в системах автоматического управления движения поездов (САУ ДП).

Особенности применения интеллектуальной системы управления для подвижных транспортных объектов. Системы технического зрения подразделяют на инфраструктурные наземные (стационарные, платформенные), бортовые наземные (автомашинист, круиз-контроль), бортовые воздушные, водные, космические (автопилот, АСУ КА), интегрированные. Интеллектуальная система управления беспилотным транспортом включает четыре компонента: бортовую и инфраструктурную систему технического зрения, информационно-технологическую систему высокоточного позиционирования [9], специализированный вычислитель, централизованную систему дистанционного контроля и управления.

В настоящее время СТЗ и ВСП применяются в составе различных интеллектуальных систем управления, применяемых в воздушном, водном и автомобильном транспорте, а также в подвижных робототехнических системах.

Таблица 1

Классификация зрелости технологии САУ по видам транспорта

Вид транспорта	Технологическая зрелость	Признание технологии
Космический аппарат	Высокая	Высокая
Самолет	Высокая	Высокая
Водное судно	Высокая	Высокая
Метро	Высокая	Высокая
Автомобиль	Средняя	Средняя
Поезд	Низкая	Неизвестно

В табл. 1 приведено сравнение зрелости систем автоматического управления (САУ) на различных видах транспорта. При этом в каждой предметной области существуют свои особенности применения таких интеллектуальных систем. На железной дороге

можно выделить свои особенности: относительно высокая скорость; большая масса поездов, которая определяет длинный тормозной путь; наличие множества препятствий и помех от железнодорожной инфраструктуры; высокая ответственность за пассажиров и грузы; тяжесть последствий от возможных аварий или катастроф. В то же время слабым местом информационных технологий управления является отсутствие единых подходов к построению интеллектуальных систем управления различного назначения и, как результат, недостаточный уровень их интегрированного взаимодействия в режиме реального времени. Кроме того, с учетом быстрого развития транспортных средств и информационных технологий необходимо непрерывно совершенствовать и повышать надежность и достоверность применяемых методик и алгоритмов определения препятствий на пути движения поезда, управляемого с помощью беспилотной интеллектуальной системы управления. Автоматические интеллектуальные системы управления с использованием интегрированных СТЗ и ВСП на открытых железных дорогах работают в основном в опытно-режиме. Среди готовых решений, известных в мировой практике как проекты по созданию беспилотных интеллектуальных транспортных систем, например, *Thameslink*, *Crossrail*, *Digital S-Bahn*, *AutoHaul*, *VAL*, *ATOMIC*, *Mail Rail* для различных типов подвижного состава в эксплуатацию приняты лишь единицы [11, 12].

Анализ проблем позволяет сформулировать цель исследования: совершенствование процесса автоматического управления поездом на основе интеграции систем технического зрения и высокоточного позиционирования с использованием современных информационных технологий, алгоритмов и математических методов, применяемых на железнодорожном транспорте.

Основная идея исследования лежит в области управления движением подвижных транспортных объектов и связана с созданием интеллектуальной автоматической системы принятия решений на основе интеграции систем технического зрения и высокоточного позиционирования, что позволит перейти к новому качеству управления с более высоким уровнем автоматизации УА4 (в соответствии с ГОСТ Р 70059-2022 [13]).

Первые отечественные системы беспилотного управления для поездов метрополитена появились в 1962-1965 годах и были построены на базе вычислительной машины на ферромагнитных элементах. Одним из первых отечественных патентов на систему автоматического управления движением поездов был разработан учеными Московского института инженеров железнодорожного транспорта в 1981 году (Авторское свидетельство № 1044524). Современные беспилотные технологии в России активно начали разрабатываться и внедряться с 2015 г., когда первые горочные локомотивы с автоматическим управлением обеспечили обработку грузовых вагонов на сортировочной станции Лужская. С 2019 г. специалистами АО «НИИАС» ведется реализация проекта «Создание системы управления движением электропоездов ЭС2Г «Ласточка» на Московском центральном кольце в автоматическом режиме».

Объектом исследования в данном проекте является беспилотный электропоезд типа «Ласточка». Первая «Ласточка» ЭС2Г-113 с установленными на заводе «Уральские локомотивы» датчиками СТЗ появилась на Московском центральном кольце в конце августа 2019 года. После проведения ряда экспериментов и подбора необходимого и достаточного количества и качества датчиков была подготовлена усовершенствованная версия электропоезда – модель ЭС2Г-136, содержащая новые разработки и решения (рис. 1).

В состав бортовой системы технического зрения вошло следующее оборудование:

- ◆ камеры визуального спектра (видеокамеры – моно и стерео);
- ◆ камеры инфракрасного спектра (тепловизоры);
- ◆ лазерные сканеры (лидары);
- ◆ ультразвуковые датчики;
- ◆ вычислитель.



Рис. 1. Расположение оборудования СТЗ на электропоезде «Ласточка» (модель ЭС2Г-136)

Функциональная схема работы бортовой СТЗ показана на рис. 2. Основной задачей которой является обнаружение препятствий, где на уровне вычислителя формируется управленческое решение на основе комплексирования сенсорных данных и идентификации препятствий [14].



Рис. 2. Блок-схема работы бортовой СТЗ для обнаружения препятствий

Следует отметить, что автономный вычислитель, установленный на подвижном объекте, является ядром системы технического зрения и всей системы беспилотного управления. Однако в силу его небольшой мощности он требует разработки относительно простых, но оперативно функционирующих алгоритмов, обрабатывающих большой объем информации с высокой скоростью. Задержка при формировании решения может привести к непоправимым последствиям на железной дороге – аварии или катастрофе.

В новой версии «Ласточки» также была предложена и высокоточная система позиционирования [15]. Состав высокоточной системы позиционирования с учетом интегрирования датчиков СТЗ и навигационной аппаратуры потребителей приведен на рис. 3.

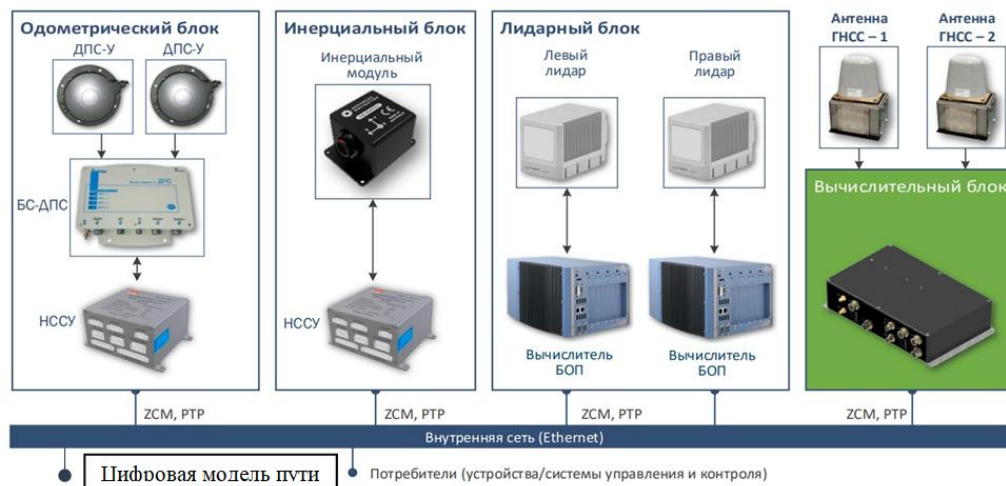


Рис. 3. Состав оборудования интегрированной ВСП

Современную задачу позиционирования автономных подвижных объектов и управления ими (особенно в условиях текущих помех) невозможно решать без использования цифровой модели пути (ЦМП) [16]. ЦМП является источником фоновой информации о точной модели маршрута движения ТО и основой обнуления возрастающей погрешности измерений инерциальной навигационной системы (НС) и одометра. К известным недостаткам инерциальных НС и одометров можно отнести накопление погрешности оцениваемых параметров с течением времени. Это ограничивает временной интервал валидности навигационных данных инерциальных НС для решения задач позиционирования. Для беспилотного ТО величина такого интервала определяется временем его прохождения под мостами, эстакадами, нахождения в тоннеле (т.е. в местах ограничения доступности использования ГНСС). Для решения данной проблемы можно применить деление участка пути на ортодромические участки – прямые кратчайшие траектории известного пути на ЦМП [17].

Такой подход описания движения ТО на ЦМП позволяет говорить о сокращении числа переменных в навигационных уравнениях, описывающих движение ТО. Аппроксимация подобными интервалами известных траекторий движения позиционируемых объектов (автострад, железных дорог, программных траекторий летательных аппаратов и пр.) при наличии электронных карт (ЦМП) является достаточно простой, однократно решаемой, вычислительной задачей [17].

Дополнительным функционалом ЦМП является навигационная информация о положении ТО на маршруте относительно опорных объектов инфраструктуры, координаты которых с точностью до 5 см указаны на ЦМП. Используя данные лидара, для точного измерения расстояния как минимум до двух опорных объектов инфраструктуры, можно точно определить свое местоположение на пути, не используя сигналы глобальных навигационных спутниковых систем.

Навигационная информация позволяет описать текущую траекторию и проанализировать множество траекторий движения ТО. Она может быть статической и динамической. Статическая информация описывает положение объекта в системе ЦМП, динамическая информация позволяет рассчитать характеристики движения, из которых важнейшей является текущий тормозной путь.

Необходимо различать две системы позиционирования. Система с ЦМП, которая создается независимо геодезистами на предварительной стадии формирования «цифрового двойника» местности. Она включает только координирование. Вторая система позиционирования подвижного объекта реализуется на подвижном объекте за счет применяемых и согласованных технических средств, включая СТЗ. Она позволяет осуществлять определение координат и скорости объекта, а также расчет дистанции до ближайших объектов, включая препятствия.

Совокупность навигационных параметров и данных о ЦМП на порядок лучше обеспечивает повышение точности позиционирования подвижного объекта с учетом имеющихся погрешностей и пропусков входных данных. ЦМП является источником координатной информации подвижных объектов, а также позволяет вычислять расстояния до других подвижных объектов, которые движутся в системе ЦМП.

Цифровая модель пути должна иметь более высокую точность, чем требуемая точность позиционирования подвижного объекта в процессе движения. В используемой цифровой модели это достигается за счет предварительно проведенных геодезических работ и наличием геопространственных данных о путевом развитии путевой инфраструктуры.

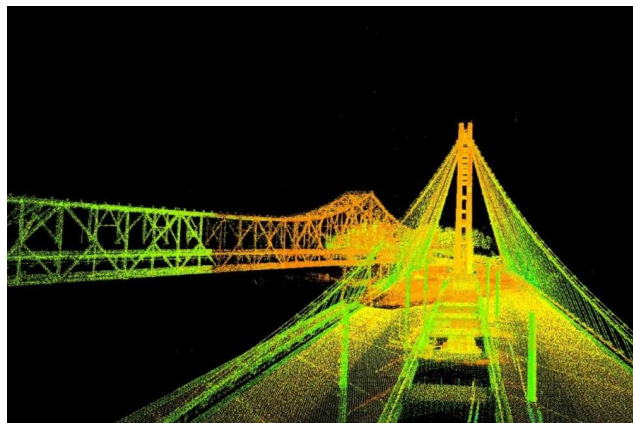


Рис. 4. Пример облака точек лидара

Еще одним из новых направлений создания «цифровых двойников» местности является визуальная одометрия на базе использования данных СТЗ электропоезда или беспилотного воздушного судна (БВС). Источником таких данных являются записи от бортовых датчиков, таких как лидары и видеокамеры. За счет фотограмметрической обработки данных видеосъемки получают множество ориентированных снимков. После измерения координат контрольных точек по ориентированным фотоснимкам (лидарным точкам – рис. 4) можно увязать данные с ЦМП путем привязки полученных результатов с координатами опорных объектов инфраструктуры железнодорожного пути.

Опорными объектами в этом случае могут являться пикетные столбики, километровые столбы, светофоры, опорные столбы контактной сети и т.д.

В настоящее время основными задачами по созданию интегрированной ВСП являются:

- ♦ оценка работы датчиков системы технического зрения в реальных условиях эксплуатации на железной дороге, с условием динамики ТО и изменениях их первоначального положения в пространстве от тряски и вибрации;
- ♦ сбор и анализ массива полученных сенсорных данных, на основе которых возможно проводить актуализацию ЦМП на основе ориентированных снимков;
- ♦ оценка изображений и выбор объектов интереса при определении и идентификации препятствий как на пути движения, так и в полосе отвода, рядом с рельсами;
- ♦ оценка качества функционирования ВСП всех подсистем и выбор валидных результатов для определения точного местоположения ТО.

Принципы построения интегрированной ВСП для беспилотного ТО основываются на особенностях параметров и технических характеристиках датчиков, используемых в информационном процессе. К таким особенностям применительно к информационному процессу относятся:

- ◆ Асинхронность данных датчиков (разных частот и в общем случае некратных), значительно осложняющая функционирование интегрированной системы.
- ◆ Изменение положения сенсоров в пространстве при движении ТО.
- ◆ Необходимость применения ЦМП.
- ◆ Необходимость контроля валидности значений от различных подсистем ВСП в процессе движения.
- ◆ Необходимость обработки данных от сигналов ГНСС в условиях высоких естественных и искусственных помех [18].
- ◆ Постепенный переход от ГНСС к инерциальным системам, визуальной и электромеханической одометрии, локальным НС.

Предложенная структура интегрированной СТЗ представлена на рис. 5.

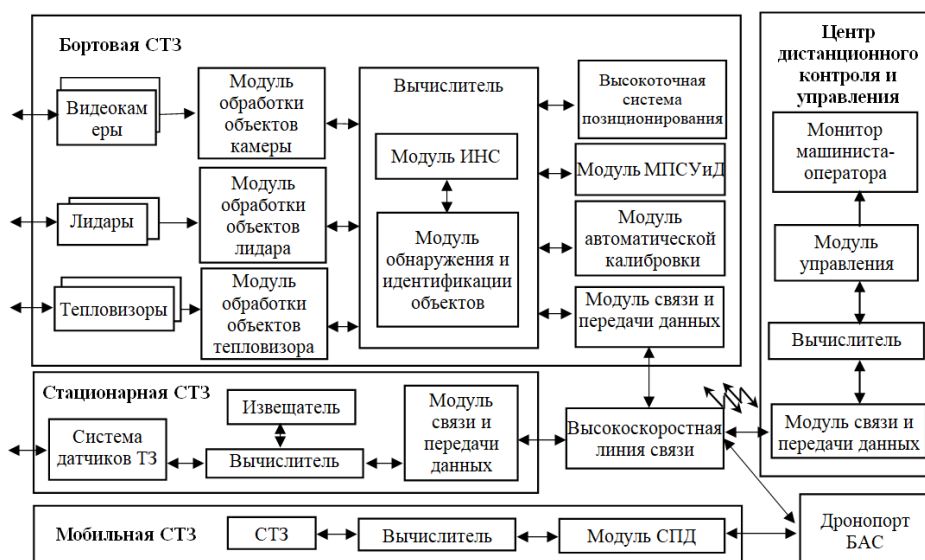


Рис. 5. Структура интегрированной системы технического зрения

Предложенная структура бортовой интегрированной СТЗ позволяет решать поставленные задачи с помощью совместного применения автономной бесплатформенной инерциальной навигационной системы, спутниковой навигационной системы, датчиков СТЗ (от различных видов СТЗ) и данных ЦМП, что обеспечивает повышение точности определения препятствий на пути движения ТО и формирования навигационных параметров, т.е. общей точности решения навигационной задачи для ТО.

Ключевое преимущество применения высокоточных систем позиционирования заключается в возможности обеспечения управления автономным ТО и уменьшении влияния человеческого фактора при обеспечении безопасности движения. Совместное использование СТЗ и ВСП становится ключевым инструментом в решении задач повышения безопасности движения и могут быть использованы в сфере интервального регулирования движения поездов.

Кроме этого, применение интегрированной ВСП для систем беспилотного управления пассажирского подвижного состава позволяет производить точную остановку поезда у знака «Остановка первого вагона» без дополнительных затрат на обеспечение оборудованием инфраструктурных объектов.

Описанную интеллектуальную систему управления за счет использования искусственной нейронной сети для идентификации препятствий и объектов на пути можно определить как «информационно-интеллектуальную» с учетом принципов кибернетического управления.

Заключение. Человек при управлении ТО осуществляет рецепцию информации и в условиях интенсификации ситуации для него возникают две проблемы: большой объем информации и многообразие сценариев управления за счет множества информационных факторов. Эти проблемы определяют исключение человека из системы управления скоростным транспортом. Для этого необходимы «технические помощники», например, система технического зрения. Такая система является специализированной прикладной системой [19], основное назначение которой является поддержка принятия решений, когда окончательное решение принимает машинист/пилот. С целью реальной оценки внешней ситуации на расстоянии, которое превышает дальность действия бортовой СТЗ, а также для участков с ограниченной видимостью и пересеченной местностью, необходимо использовать инфраструктурные СТЗ, а также мобильные СТЗ, предусматривающие использование беспилотных авиационных систем. Интегрированные системы технического зрения используются и для полностью автоматического управления, где участие человека ограничено дистанционным контролем и управлением ТО в случае нештатных ситуаций (ГОСТ Р 70059-2022). Предложенная структура и состав бортовой ВСП позволяет решать задачи точного позиционирования ТО с помощью интеграции автономной бесплатформенной инерциальной навигационной системы, спутниковой навигационной системы, одометров, датчиков СТЗ и данных цифровой модели пути, что обеспечивает повышение точности формирования параметров движения ТО и решения навигационной задачи. Для получения оптимальной структуры навигационной системы подвижного объекта, позволяющей обеспечить потребителя навигационной информацией с наибольшей эффективностью, необходимо проведение моделирования архитектуры ВСП. Данная процедура позволяет провести сравнительный анализ нескольких вариантов набора базовых компонентов навигационной системы и схем их взаимодействия [20].

Интеграция СТЗ и ВСП в интеллектуальную систему беспилотного управления, способствует совершенствованию процесса автоматического управления поездом с требуемым уровнем безопасности на железнодорожном транспорте. Описанная система прошла опытную эксплуатацию и в настоящее время функционирует на Московском центральном кольце. Сотни тысяч москвичей даже не заметили разницу между беспилотным движением и ручным управлением электропоездов. Отечественный проект, основанный на исследованиях и разработках российских специалистов, изготавливается на отечественных предприятиях и, может быть, в дальнейшем тиражироваться не только на российской железной дороге, но и в дружественных странах. По ряду параметров (длина пути, интегрирование датчиков, дальность обнаружения препятствий) она превосходит зарубежные аналоги. На разработанную в России уникальную систему беспилотного управления электропоездом получено более 10 патентов, в том числе для Евроазиатского региона. Результат достигнут за счет применения уникальных решений, новых подходов и современных технологий, применяемых в железнодорожной отрасли.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Корчагин В.А., Ризаева Ю.Н. Управление транспортной системой на основе формирования транспортных потоков // Информационные технологии и инновации на транспорте. – 2015. – С. 9-11.
2. Цветков В.Я. Рецепция информации // Образовательные ресурсы и технологии. – 2016. – 1 (13). – С. 121-129.
3. Евсюков В.В., Евсюков А.В. Интеллектуальные технологии в системах беспилотного управления транспортом // Вестник Тульского филиала Финуниверситета. – 2020. – № 1. – С. 284-286.
4. Dolgy A.I., Rozenberg I.N., Tsvetkov V.Ya. Spatial logic in process of unmanned vehicle operation // AIP Conference Proceedings. Melville, New York, United States of America, 2021. – P. 50059.
5. Susanto T. et al. Application of Unmanned Aircraft PID Control System for Roll, Pitch and Yaw Stability on Fixed Wings // 2021 International Conference on Computer Science, Information Technology, and Electrical Engineering (ICOMITEE). – IEEE, 2021. – P. 186-190.
6. Агеев А.М. и др. Системы автоматической посадки беспилотных летательных аппаратов: проблемы и пути решения // Военная мысль. – 2020. – № 4. – С. 130-136.

7. *Dhanush G. et al.* A comprehensive review of machine vision systems and artificial intelligence algorithms for the detection and harvesting of agricultural produce // *Scientific African*. – 2023. – P. e01798.
8. *Цветков В.Я.* Информационно измерительные системы и технологии в геоинформатике. – М.: МАКС Пресс, 2016. – 94 с.
9. *Иванов В.Ф., Попов П.А.* Высокоточная система позиционирования железнодорожного подвижного состава // Тр. АО «НИИАС»: Сб. статей. Т. 2. Вып. 11. – М.: Типография АО «Т 8 Издательские Технологии», 2021. – С. 179-189.
10. *Баденко В.Л., Федотов А.А.* Высокоточные системы позиционирования для сельского хозяйства // Информационно-ресурсная цифровая платформа развития сельского хозяйства: Сб. материалов конференции в рамках деловой программы международной агропромышленной выставки «Агрорусь-2020», Санкт-Петербург, 02–05 сентября 2020 года. – С. 21-25.
11. *Охотников А.Л., Волкова И.А.* Мировые тенденции развития систем автоматического управления движением поездов // Наука и технологии железных дорог. – 2023. – Т. 7, № 2 (26). – С. 23-29.
12. *Охотников А.Л.* Проекты систем технического зрения для автоматического управления движением // Автоматика, связь, информатика. – 2023. – № 3. – С. 21-24. – DOI: 10.34649/AT.2023.3.3.003.
13. ГОСТ Р 70059-2022. Системы управления и контроля железнодорожного транспорта для перевозок пассажиров в пригородном сообщении. Принципы построения и основные функциональные требования. – URL: https://rosgos.ru/file/gost/03/220/gost_r_70059-2022.pdf.
14. *Иванов В.Ф., Охотников А.Л., Градусов А.Н.* Алгоритм комплексирования сенсорных данных для задач автоматического управления подвижным составом // Автоматика на транспорте. – 2024. – Т. 10, № 4. – С. 360-371. – DOI: 10.20295/2412-9186-2024-10-04-360-371.
15. *Охотников А.Л., Соколов С.В.* Структура автономной интегрированной высокоточной системы позиционирования // Автоматика, связь, информатика. – 2024. – № 8. – С. 16-19. – DOI: 10.62994/AT.2024.8.8.004.
16. *Мыльников П.Д., Якушев Д.А., Иванов В.Ф.* Цифровая модель пути как основа развития систем управления и безопасности подвижного состава // Вестник Института проблем естественных монополий: Техника железных дорог. – 2024. – № 2 (66). – С. 24-32.
17. *Соколов С.В.* Синтез аналитических моделей пространственных траекторий и их применение для решения задач спутниковой навигации // Прикладная физика и математика. – 2013. – № 2. – С. 3-12.
18. *Лищенко Е.В., Мельник Э.В., Матвиенко А.С., Будко А.Ю.* Метод позиционирования подвижного объекта без использования данных глобальной геопривязки // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2024. – № 6 (242). – С. 85-96. – DOI: 10.18522/2311-3103-2024-6-85-96.
19. *Цветков В.Я.* Прикладные системы // Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2005. – № 3. – С. 76-85.
20. *Шипов И.А., Ветошкин Е.В.* Программно-аппаратное моделирование комплексированной инерциальной навигационной системы наземного объекта // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2023. – № 1 (231). – С. 31-40. – DOI: 10.18522/2311-3103-2023-1-31-40.

REFERENCES

1. *Korchagin V.A., Rizaeva Yu.N.* Upravlenie transportnoy sistemoy na osnove formirovaniya transportnykh potokov [Transport system management based on the formation of transport flows], *Informatsionnye tekhnologii i innovatsii na transporte* [Information technologies and innovations in transport], 2015, pp. 9-11.
2. *Tsvetkov V.Ya.* Retseptsiya informatsii [Information reception], *Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii* [Educational resources and technologies], 2016, 1 (13), pp. 121-129.
3. *Evsyukov V.V., Evsyukov A.V.* Intel'lectual'nye tekhnologii v sistemakh bespilotnogo upravleniya transportom [Intelligent technologies in unmanned transport control systems], *Vestnik Tul'skogo filiala Finuniversiteta* [Bulletin of the Tula branch of the Financial University], 2020, No. 1, pp. 284-286.
4. *Dolgy A.I., Rozenberg I.N., Tsvetkov V.Ya.* Spatial logic in process of unmanned vehicle operation, *AIP Conference Proceedings. Melville, New York, United States of America*, 2021, pp. 50059.
5. *Susanto T. et al.* Application of Unmanned Aircraft PID Control System for Roll, Pitch and Yaw Stability on Fixed Wings, *2021 International Conference on Computer Science, Information Technology, and Electrical Engineering (ICOMITEE)*. IEEE, 2021, pp. 186-190.
6. *Ageev A.M. i dr.* Sistemy avtomaticheskoy posadki bespilotnykh letatel'nykh apparatov: problemy i puti resheniya [Automatic landing systems for unmanned aerial vehicles: problems and solutions], *Voennaya mysl'* [Military Thought], 2020, No. 4, pp. 130-136.
7. *Dhanush G. et al.* A comprehensive review of machine vision systems and artificial intelligence algorithms for the detection and harvesting of agricultural produce, *Scientific African*, 2023, pp. e01798.
8. *Tsvetkov V.Ya.* Informatsionno izmeritel'nye sistemy i tekhnologii v geoinformatike [Information and measuring systems and technologies in geoinformatics]. Moscow: MAKS Press, 2016, 94 p.

9. Ivanov V.F., Popov P.A. Vysokotochnaya sistema pozitsionirovaniya zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava [High-precision positioning system for railway rolling stock], *Tr. AO «NIIAS»: Sb. statey* [Proceedings of JSC NIIAS: Collection of articles]. Vol. 2, Issue 11. Moscow: Tipografiya AO «T 8 Izdatel'skie Tekhnologii», 2021, pp. 179-189.
10. Badenko V.L., Fedotov A.A. Vysokotochnye sistemy pozitsionirovaniya dlya sel'skogo khozyaystva [High-precision positioning systems for agriculture], *Informatsionno-resursnaya tsifrovaya platforma razvitiya sel'skogo khozyaystva: Sb. materialov konferentsii v ramkakh delovoy programmy mezhdunarodnoy agropromyshlennoy vystavki «Agorus'-2020»*, Sankt-Peterburg, 02–05 sentyabrya 2020 goda [Information and resource digital platform for the development of agriculture: Collection of conference materials within the framework of the business program of the international agro-industrial exhibition "Agorus-2020", St. Petersburg, September 2–5, 2020], pp. 21-25.
11. Okhotnikov A.L., Volkova I.A. Mirovye tendentsii razvitiya sistem avtomaticheskogo upravleniya dvizheniem poezdov [World trends in the development of automatic train control systems], *Nauka i tekhnologii zheleznikh dorog* [Science and technology of railways], 2023, Vol. 7, No. 2 (26), pp. 23-29.
12. Okhotnikov A.L. Proekty sistem tekhnicheskogo zreniya dlya avtomaticheskogo upravleniya dvizheniem [Projects of technical vision systems for automatic traffic control], *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communication, informatics], 2023, No. 3, pp. 21-24. DOI: 10.34649/AT.2023.3.3.003.
13. GOST P 70059-2022. Sistemy upravleniya i kontrolya zheleznodorozhnogo transporta dlya perevozok passazhirov v prigorodnom soobshchenii. Printsipy postroeniya i osnovnye funktsional'nye trebovaniya [GOST P 70059-2022. Rail transport control and monitoring systems for suburban passenger transportation. Design principles and basic functional requirements]. Available at: https://rosgos.ru/file/gost/03/220/gost_r_70059-2022.pdf.
14. Ivanov V.F., Okhotnikov A.L., Gradusov A.N. Algoritm kompleksirovaniya sensorykh dannykh dlya zadach avtomaticheskogo upravleniya podvizhnym sostavom [Algorithm for integrating sensory data for rolling stock automatic control problems], *Avtomatika na transporte* [Automation in transport], 2024, Vol. 10, No. 4, pp. 360-371. DOI: 10.20295/2412-9186-2024-10-04-360-371.
15. Okhotnikov A.L., Sokolov S.V. Struktura avtonomnoy integrirovannoy vysokotochnoy sistemy pozitsionirovaniya [Structure of an autonomous integrated high-precision positioning system], *Avtomatika, svyaz', informatika* [Automation, communication, informatics], 2024, No. 8, pp. 16-19. DOI: 10.62994/AT.2024.8.8.004.
16. Myl'nikov P.D., Yakushev D.A., Ivanov V.F. Tsifrovaya model' puti kak osnova razvitiya sistem upravleniya i bezopasnosti podvizhnogo sostava [Digital track model as a basis for developing rolling stock control and safety systems], *Vestnik Instituta problem estestvennykh monopoliy: Tekhnika zheleznikh dorog* [Bulletin of the Institute for Natural Monopolies Problems: Railway Engineering], 2024, No. 2 (66), pp. 24-32.
17. Sokolov S.V. Sintez analiticheskikh modeley prostranstvennykh traektoriy i ikh primenenie dlya resheniya zadach sputnikovoy navigatsii [Synthesis of analytical models of spatial trajectories and their application to solving satellite navigation problems], *Prikladnaya fizika i matematika* [Applied Physics and Mathematics], 2013, No. 2, pp. 3-12.
18. Lishchenko E.V., Mel'nik E.V., Matvienko A.S., Budko A.Yu. Metod pozitsionirovaniya podvizhnogo ob"ekta bez ispol'zovaniya dannykh global'noy geoprivyazki [Method of positioning a moving object without using global georeferencing data], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2024, No. 6 (242), pp. 85-96. DOI: 10.18522/2311-3103-2024-6-85-96.
19. Tsvetkov V.Ya. Prikladnye sistemy [Applied systems], *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geodeziya i aerofotos"emka* [Bulletin of higher educational institutions. Geodesy and aerial photography], 2005, No. 3, pp. 76-85.
20. Shipov I.A., Vetoshkin E.V. Programmno-apparatnoe modelirovanie kompleksirovannoy inertsial'noy navigatsionnoy sistemy nazemnogo ob"ekta [Software and hardware modeling of an integrated inertial navigation system of a ground object], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2023, No. 1 (231), pp. 31-40. DOI: 10.18522/2311-3103-2.

Охотников Андрей Леонидович – Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт информатизации, автоматизации и связи на железнодорожном транспорте (АО «НИИАС»); e-mail: a.ohotnikov@vniias.ru; г. Москва, Россия; зам. начальника департамента информационных технологий – начальник отдела стратегического развития.

Okhotnikov Andrey Leonidovich – Research and Design Institute for Information Technology, Signaling and Telecommunications on Railway Transport (JSC «NIIAS»); e-mail: a.ohotnikov@vniias.ru; Moscow, Russia; deputy head of the Information Technology Department – head of the Strategic Development Division.