

from microplasma for radiography tasks have been demonstrated. He developed precision optical and nonlinear optical methods for real-time monitoring of the process of laser microprocessing of materials, including biological tissues.

More than 300 scientific papers have been published by V.M. Gordienko in leading domestic and foreign journals. He is a member of the Program Committees of a number of major international and domestic conferences on laser physics, nonlinear optics, super-strong fields in plasma, *etc.* He was supervisor of nineteen PhD of physical and mathematical sciences in laser physics, nonlinear optics and photonics. Among his students, there are also representatives of the teaching staff from a number of regional universities. The Laboratory of Nonlinear Optics

named after Academician Khokhlov, which he directs, continues the traditions lay down by this world-famous scientist.

V.M. Gordienko has been the RFBR scientific expert for many years, he was Deputy Chairman of the Expert Council on Physics, and the Guest Editor of the topical issues of the *RFBR Journal* themed as “*Photonics and Advanced Laser and Laser Information Technologies*” (2014) and “*Contemporary Challenges of Infrared Photonics*” (2023).

Беспилотные транспортные средства в «умном городе» – методы и интеллектуальные системы мониторинга и управления движением

В.М. Гордиенко

За последние несколько десятилетий урбанизация стала глобальной тенденцией развития экономики и условий жизнедеятельности. Существующая проблема роста городского населения предъявляет всё большие требования не только к развитию новых технологий и инфраструктуры, но и к гражданам. Как следствие этого, требуются эффективные и экономически целесообразные результаты при соответствующей инфраструктурной поддержке для комфортного городского обитания. Решение этой проблемы состоит, помимо прочего, в эффективном развитии транспорта, информационных и коммуникационных технологий. Облачные вычисления, искусственный интеллект, машинное обучение – всё это существенно влияет как на тенденции развития, так и на динамику основных социально-экономических показателей «умного города». Особенно остро эти изменения сказываются на главных параметрах «умного города», среди которых, наряду с улучшением качества жизни, обостряется внимание к уровню безопасности и защите окружающей среды.

Применение передовых информационно-коммуникационных технологий в жизнедеятельности «умного города» является основополагающей тенденцией. «Умный транспорт» и «умное городское управление» транспортным движением меняет подходы к городской мобильности и к реагированию на чрезвычайные ситуации с одновременной оптимизацией транспортного движения. Возникает необходимость разработки методов оптимального управления движением беспилотных транспортных средств (БТС) и соответствующих для их реализации информационно-коммуникационных технологий. Современные технологии организации «умного транспорта» позволяют сделать перемещение по городу более удобным и более безопасным благодаря сочетанию искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО), поскольку ИИ позво-

ляет автоматизировать рутинные процессы, а МО дает возможность анализировать большие объемы данных для выявления скрытых закономерностей. Эффективность этих современных технологий уже сейчас подтверждается статистикой уменьшения «человеческого фактора» при автокатастрофах. С другой стороны города-мегаполисы насыщены транспортными средствами и поэтому дорожная инфраструктура подвержена большим нагрузкам, что приводит к снижению скорости передвижения по городу, увеличению времени нахождения в транспорте и, как результат, к возникновению у водителей симптома декремента бдительности. Появление в настоящее время «умных автомобилей» с интеллектуальным электронным помощником приводит еще и к тому, что внимание водителя может снижаться, а сонливость за рулем развивается быстрее. Хронический стресс, присущий жителям мегаполиса, влияет на качество вождения и, соответственно, повышает число ошибок. Поэтому возникает необходимость выработки простых критериев и инструментов для мониторинга в режиме реального времени состояния водителей автотранспорта, участвующих в движении на дорогах мегаполиса.

Одна из новых технологий «умного города», которая в последние годы стала предметом особого внимания, связана с внедрением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в различные сферы городской жизнедеятельности. БПЛА перемещаются автономно или с применением дистанционного управления, обеспечивая преимущества в новых возможностях по доставке, например, небольших грузов и т. п. В этом ключе новой и принципиально важной задачей является создание системы автономной навигации беспилотных транспортных средств. Необходимо разработка интеллектуальной системы управления распределенными средствами для обнаружения объектов малоразмерной авиации в условиях плотной городской застройки. Использование БПЛА играет решающую роль и в поддержании безопасности «умных городов», обнаруживая и, тем самым, предотвращая возможные угрозы. При этом возникает очевидная необходимость развития средств оперативного мониторинга самих движущихся БПЛА, в том числе несанкционированно проникающих в пространство «умного города». Немаловажно также создание эффективных сенсоров и сенсорных сетей, обеспечивающих распознавание БПЛА и мониторинг их движения. Поэтому разработка методов выявления беспилотных транспортных средств, несущих угрозу функционированию систем «умного города», и противодействия им является ключевой задачей. Всё возрастающая вероятность использования БПЛА в условиях «умного города» неизбежно будет сопровождаться проявлением определенных системных и комплексных проблем, одним из ключевых звеньев которой является человек-оператор и его психоэмоциональное состояние. Очевидно, что в усложненных условиях «умного города» процесс управления БПЛА связан с нарастанием психоэмоционального напряжения и зрительного утомления операторов, что

приводит к значительному возрастанию их когнитивной нагрузки. Всё это создает предпосылки для проявлений когнитивных уязвимостей человека-оператора. Поэтому возникает естественная необходимость разработки и создания комплексной системы для обеспечения безопасности полетов беспилотных транспортных средств в едином воздушном пространстве «умного города». В основу ее решения может быть положена взаимосвязь задач оптимизации эксплуатационной и функциональной безопасности для минимизации рисков крушений БПЛА, а также минимизация проявлений когнитивных уязвимостей человека-оператора.

Таким образом, «умный город», являясь современным мегаполисом, должен обладать адаптивным управлением системами жизнеобеспечения, которое осуществляется при помощи инновационных цифровых технологий. В широком смысле эффективность эксплуатации и мобильности беспилотных транспортных средств в «умном городе» определяется не только управлением, но и интеллектуальным контролем за санкционированными и несанкционированными перемещениями наземных, воздушных и водных мобильных устройств как в самой городской, так и окружающей его средах (воздух, акватории).

Предметом междисциплинарного конкурса РФФИ «Фундаментальные проблемы управления беспилотными транспортными средствами “умного города”» как одного из важнейших направлений функционирования социально-экономической системы в условиях урбанизации» было рассмотрение комплекса задач, возникающих, в частности, из-за растущего внедрения БТС. БТС передвигаются в различных средах и обеспечивают перемещение людей и грузов как в пределах города, так и на прилегающих к нему территориях и акваториях. Создание методов и подходов, направленных на создание эффективной системы мониторинга и управления БТС, а также обеспечивающих в условиях их массового использования безопасное функционирование и максимальную мобильность транспортной системы, является одним из условий реализации комплексных планов развития современных «умных городов».

Можно констатировать, что решение о проведении междисциплинарного конкурса Российского фонда фундаментальных исследований «Фундаментальные проблемы управления беспилотными транспортными средствами “умного города”», которое было принято Советом Фонда в 2019 г., предвосхитило тенденции и те вызовы, которые впоследствии произошли как в мире, так и в нашей стране. Существенно и то, что решения поставленной фундаментальной задачи, полученные на платформе междисциплинарных исследований, демонстрируют гармонизацию подходов и новые фундаментальные результаты.

Авторы статей, публикуемых в этом выпуске журнала «Вестник РФФИ», представляют результаты исследований, выполненных при финансовой поддержке РФФИ в рамках вышеупомянутого научного направления. Надеюсь, что материалы выпуска окажутся интересными широкому кругу читателей.

Unmanned Vehicles in a Smart City – Methods and Intelligent Systems for Monitoring and Traffic Control

V.M. Gordienko

Over the past few decades, urbanization has become a global trend in economic development and living conditions. The current problem of urban population growth places increasing demands not only on the development of new technologies and infrastructure, but also on citizens. As a consequence of this, effective and cost-effective results are required with appropriate infrastructural support for comfortable urban living. The solution to this problem lies, among other things, in the efficiency of development of transport, information and communication technologies. Cloud computing, artificial intelligence, machine learning – all this significantly influences both development trends and the dynamics of the main socio-economic indicators of a “smart city”. These changes have a particularly acute impact on the main parameters of a “smart city”, among which, along with improving the quality of life, there is increasing attention to the level of safety and environmental protection.

The application of advanced information and communication technologies in the life of a “smart city” is a fundamental trend. “Smart transportation” and “smart city traffic management” are changing approaches to urban mobility and emergency response while optimizing traffic flow. There is a need to develop methods for optimal control of the movement of unmanned vehicles (UVs) and information and communication technologies appropriate for their implementation. Modern technologies for organizing “smart transport” make it possible to make moving around the city more convenient and safer thanks to a combination of artificial intelligence (AI) and machine learning (ML), since AI allows you to automate routine processes, and ML makes it possible to analyze large volumes of data to identify hidden patterns. The effectiveness of these modern technologies is already confirmed by statistics on the reduction of the “human factor” in car accidents. On the other hand, metropolitan cities are saturated with vehicles and therefore the road infrastructure is subject to heavy loads, which leads to a decrease in the speed of movement around the city, an increase in the time spent in transport and, as a result, to the emergence of a symptom of vigilance decrement among drivers. The current emergence of “smart cars” with intelligent electronic assistants also leads to the fact that the driver’s attention may decrease, and drowsiness while driving develops faster. Chronic stress inherent in metropolitan residents affects the quality of driving and, accordingly, increases the number of errors. Therefore, there is a need to develop simple criteria and tools for monitoring in real time the condition of vehicle drivers participating in traffic on the roads of a metropolis.

One of the new “smart city” technologies that have received special attention in recent years is the introduction of unmanned aerial vehicles (UAVs) in various aspects of urban life. UAVs move autonomously or using remote control, providing advantages in new delivery capabilities, such as small

cargo, *etc.* In this vein, a new and fundamentally important task is the creation of an autonomous navigation system for unmanned vehicles. It is necessary to develop an intelligent control system for distributed means for detecting small aircraft objects in dense urban areas. The use of UAV also plays a decisive role in maintaining the security of “smart cities” by detecting and thereby preventing possible threats. At the same time, there is an obvious need to develop means of operational monitoring of moving UAVs themselves, including those unauthorized penetrating into the “smart city” space. It is also important to create effective sensors and sensor networks that provide UAV recognition and monitoring of their movement. Therefore, developing methods for identifying unmanned vehicles that pose a threat to the functioning of “smart city” systems and countering them is a key task. The ever-increasing likelihood of using UAV in a “smart city” will inevitably be accompanied by the manifestation of certain systemic and complex problems, one of the key links of which is the human operator and his psycho-emotional state. Obviously, in the complicated conditions of a “smart city” the process of controlling a UAV is associated with an increase in psycho-emotional stress and visual fatigue of operators, which leads to a significant increase in their cognitive load. All this creates the pre-conditions for the manifestation of cognitive vulnerabilities of the human operator. So there is a natural need to develop and create a comprehensive system to ensure the safety of unmanned vehicle flights in the common airspace of a “smart city.” Its solution can be based on the relationship between the tasks of optimizing operational and functional safety to minimize the risks of UAV crashes, as

tion of a set of problems arising, in particular, due to the growing introduction of unmanned vehicles. UVs move in various environments and ensure the movement of people and goods both within the city and in adjacent territories and water areas. The creation of methods and approaches aimed at creating an effective system for monitoring and managing UVs as well as ensuring safe operation and maximum mobility of the transport system in conditions of their mass use is one of the conditions for the implementation of comprehensive plans for the development of modern “smart cities”.

It can be stated that the decision to hold the Interdisciplinary Competition of the Russian Foundation for Basic Research “Fundamental Problems of Managing Unmanned Vehicles in a «Smart City»”, which was adopted by the Foundation Council in 2019, anticipated the trends and challenges that subsequently occurred both in the world and in our country. It is also significant that the results of the fundamental task, obtained on the platform of interdisciplinary research, demonstrate the harmonization of approaches and new fundamental results.

The authors of the articles published in this issue of the *RFBR Journal* represent the results of their investigations which have been financed by the RFBR within the framework of the above-mentioned scientific direction. I hope that the materials in this journal issue will be of interest to a wide range of readers.