

Momir Stanković*

*Military Academy, University of Defence,
Belgrade, Republic of Serbia*

Dimitrije Bujaković**

*Military Academy, University of Defence,
Belgrade, Republic of Serbia*

**UNMANNED AUTONOMOUS VEHICLES:
CHALLENGES IN DEVELOPMENT AND
MILITARY APPLICATIONS AND THE
NEED FOR NEW COMPETENCIES
OF MILITARY PERSONNEL *****

(Translation in *Extenso*)

Abstract

The development of unmanned autonomous vehicles represents one of the most dynamic directions of contemporary technological evolution, with increasingly widespread applications in the civilian and primarily the military domain. Although *unmanned and autonomous vehicles* are often used interchangeably, this paper highlights their essential distinction and the importance of integrated decision-making capabilities for achieving full autonomy. Modern trends in the production of sensors,

* E-mail address: momir.stankovic@va.mod.gov.rs; ORCID: 0000-0001-8371-9341.

** E-mail address: dimitrije.bujakovic@va.mod.gov.rs; ORCID: 0000-0001-7053-9293.

*** The paper is a result of research conducted in the project of the Ministry of Defence of the Republic of Serbia: Design of an expert system based on artificial intelligence for assessing the situation on the battlefield (BA-TT/1/25-27).

communication, and power components have enabled the development of complex systems for environmental perception, path planning, and motion control, significantly influencing the transformation of concepts in military operations. The paper analyzes the historical development of unmanned autonomous vehicles, the levels of their autonomy, and their impact on the execution of modern military operations. Considering the pace of technological advancement and achievements, an even more intensive use of autonomous systems can be expected in future armed conflicts, which imposes the need to define the required knowledge and competencies for military personnel involved in their development and operational use. These competencies include mechatronics, automatic control, guidance, artificial intelligence, deployment tactics, and logistical support. The paper recognizes the need to enhance military education by integrating technological innovations and developing new academic programs to train personnel capable of creating, maintaining, and efficiently operating unmanned autonomous systems in a dynamic security environment.

Keywords: Unmanned Autonomous Vehicle, Control system design, Guidance system design, Military application of Unmanned Autonomous Vehicle, Military education.

INTRODUCTION

An unmanned vehicle (UV) is a vehicle controlled without a human operator on the vehicle itself, i.e., the vehicle is controlled from a suitable control station based on an appropriate communication link and various sensor systems. On the other hand, the unmanned autonomous vehicle functions without a human crew and conducts specific driving functions without direct human intervention by using advanced sensory systems and decision-making algorithms, environment recognition, and planning the movement path. Therefore, even though unmanned vehicles and autonomous vehicles are often used as synonyms, it should be stressed that unmanned vehicles are also autonomous, i.e., vehicle autonomy depends on the integrated ability of independent movement and decision-making on planning the movement path.

In the last years, with the development of the production technology of electronic and energy components, the field of research and examination of unmanned, and above all, autonomous vehicles experienced significant progress, which enabled the development of sophisticated systems of environment perception, direction and control of the vehicle, and thus the more efficient application of autonomous systems in different fields, including transportation, industry, agriculture, and above all, military use. Therefore, designing and developing guidance systems of autonomous vehicles is becoming quite a significant direction in scientific research papers (Wang 2023, 4; Gao 2021, 10; Huang 2022; Boretti 2024).

The development of highly sophisticated systems significantly impacted the change in the structure of conducting military operations. For example, using drones significantly improves the possibilities of movement reconnaissance and sudden attack on the opposing forces, unmanned autonomous vehicles contribute to higher mobility during operations of passage of ordnances, logistical equipment, and transport of the wounded. In contrast, the armed autonomous vehicles generated significant steps forwards in the evolution of contemporary military operations, carrying along numerous advantages in terms of efficiency, security, and the ability to conduct the most complex tasks in high-risk conditions for human crew (Đorić i Glišin 2023; Miljković i Beriša 2023).

The classical development of military education in Europe is, above all, linked to the famous considerations of von Clausewitz (Clausewitz 2021), in which the war is defined as the continuance of politics with different means and the development of the Prussian model of officer training and introduction of war games, in whose defining Helmuth von Moltke played a decisive role (Himmel 2024). In France, the work of Antoine-Henry Jomini (Rapin 2023, 1) in the period following the Napoleon wars and the foundation of the academy in Saint-Cyr, which fosters an approach to officer education through humanistic education and rigorous military training, stands out. The education of officers in the former Union of Soviet Socialist Republics (USSR), above all, included rigid military training and ideological education, and the foundation of this system can be found in the works of Mikhail Frunze (Frunze 2019). On the other hand, the establishment of the hegemony of the United States of America (USA) in the Western hemisphere contributed to the development of learning through discipline, engineering skills, and the theory of fast

decision-making in combat (observe-orient-decide-act loop) (Boyd 2011). In the former Socialist Federal Republic of Yugoslavia (SFRY), the intensive impact on military education was made by the concept of total defense and protection (*Strategija opštenarodne odbrane i društvene samozaštite* 1987), which examined the method of frontal and guerrilla war.

The dynamic environment and fast technological development of weapons and military equipment that characterize modern conflicts also condition intensive changes in military education. In this segment, several directions can be noticed, such as fast adjustment to the new security challenges and threats through the process of continued improvement of curriculum and training (Arquilla 2021), digitalization of military training and intensive use of simulators working in virtual reality (Arquilla 2021), the application of neuro-sciences for better decision-making and experimental use of the “brain-computer” interface (Brose 2020), the preparation for hybrid and asymmetric warfare through improvement of the training concept and development of leadership skills for raising the level of psychological endurance of soldiers, officers and NCOs (Singer 2009). In this way, the concept of “lessons learned” is established and applied in the planning of contemporary military operations, which also influences the development of modern theories of military education.

The subject of this research is the application of unmanned autonomous vehicles in modern combat and non-combat operations and their development, as well as the consideration of necessary knowledge from modern technologies for designing, exploiting, and maintaining these systems. Given that the unmanned autonomous vehicles represent complex mechatronic systems, for them to be used properly in modern combat operations, the military staff developing and using them must know the fields of complex system management, mechatronics and mechanic transmission systems, as well as designing and development of artificial intelligence algorithms, to conduct optimal processing of signals gathered via various sensors in real-time and the use of unmanned autonomous vehicles on a tactical and operational level.

This paper is organized in the following order: After introductory deliberations, in the second chapter, a brief historical overview of the development of unmanned vehicles and their basic classification is presented. The developed levels of the unmanned vehicle’s autonomy are analyzed in the third segment of this paper. In contrast, the aspects

of the influence of these vehicles on conducting modern military operations are presented in the fourth chapter. In the fifth chapter, the challenges in designing the control and guidance systems are identified, while in the sixth chapter, the necessary competencies of the military staff in terms of the use and development of such systems to provide an adequate response to the new security challenges and threats are deliberated. Finally, in the concluding segment of this paper, suitable conclusions are defined, and directions for further research are suggested.

DEVELOPMENT AND TYPES OF UNMANNED VEHICLES

The development of unmanned vehicles began with systems that enabled remote control without absolute autonomy in the guidance system. Even in the 1930s of the 20th century, the first examples of simple remote-controlled platforms emerged, predominantly used for military and industrial purposes. The Soviet and German radio-controlled tanks were used in high-risk missions, such as munition transport and handling explosive ordnance. Even though technologically primitive, these systems present conceptual predecessors of the modern unmanned solutions, stressing the potential of the dislocation of the human factor from directly dangerous combat situations.

The second phase represents the second half of the 20th century, during which the unmanned system concepts broadened to partial or complete autonomy. The turning point was reached with the development of the mobile robot *Shakey* at Stanford University at the end of the sixties. This system, equipped with a camera and ultrasound sensors, represented the first mobile robot capable of independent data processing and decision-making based on the environment's perception, making it the predecessor of modern autonomous vehicles.

The intensive development of autonomous systems started at the beginning of the 21st century, and above all through projects such as the *Grand Challenges*, initiated by the Defence Advanced Research Projects Agency (DARPA) of the United States of America. This initiative strongly incentivized the improvement of the sensory systems and the development of sophisticated navigation, control, and path planning algorithms. The results of this research set the technological foundation for contemporary autonomous platforms, both in civilian and military use.

By different operational tasks and conditions, different forms of unmanned autonomous vehicle propulsion systems were constructed. The basic classification includes four types, whose basic characteristics are provided in the following segment.

Vehicles with wheels represent the most widespread type of unmanned systems. Their popularity comes from the simplicity of their construction, efficiency in movement on flat and well-maintained surfaces, and the lower complexity of the control system. They rely on the rotational movement of the wheels connected to the undercarriage, while the number of axles and the powertrain configuration depend on the requirements for maneuverability and stability (Rubio 2019, 16).

Tracked vehicles – use tracks that provide a big contact surface with the ground, thus increasing the traction force and stability. The independent drive of each track enables precise control and high maneuver capability on uneven and challenging terrains. These systems are distinguished by high robustness, thus making them suitable for combat and reconnaissance tasks in harsh conditions (Zou 2018, 110).

Legged vehicles – these systems imitate the movement of animals by using a series of actuators and joints that enable dynamic balancing and movement on inaccessible terrains. The high level of mobility makes them especially efficient in urban environments and when performing tasks that demand overcoming obstacles and stairs (Zhao 2023,11).

Hybrid vehicles combine propulsion systems (wheels, tracks, and/or legs) to achieve maximum adjustment and performance. These systems represent a compromise between different types of mobility and enable operations in diverse and changeable conditions, even though technologically most demanding, hybrid systems enable a high level of flexibility upon use (Zou 2018, 110).

AUTONOMY LEVELS OF UNMANNED VEHICLES

Contemporary autonomous vehicles are based on integrating different propulsion and sensory systems, including the global navigation satellite system, radar systems, *LiDAR* systems, and other technologies that enable efficient perception and interaction of the vehicle with the environment in which it is located. The typical function of autonomous

vehicles can be divided into three basic categories: environment perception, seeking an optimal movement route and making other decisions, and controlling the propulsion actuators to follow the desired trajectory and implement the decisions made. These three components can be perceived as the functions of the sense of sight, brain, and limbs of a human being, and they are implemented by designing suitable systems of guidance and control.

To better understand the development until now and the directions of future research, it is essential to further examine and analyze the concept of autonomy in detail. As previously mentioned, autonomy, in the context of unmanned vehicles, refers to the level at which the vehicle can function independently from human intervention. A generally accepted and widely recognized unmanned vehicle classification system defines six levels of driving autonomy, starting from level 0 (no autonomy level) to level 5 (complete autonomy), which can be explained in more detail in the following way (Sethi 2024):

Level 0: No autonomy. At this level, the vehicle functions completely based on the operator's guidance without autonomous capabilities. The vehicle can provide some technological assistance to the operator, such as various warning systems.

Level 1: Autonomy with the operator's assistance. This category of vehicles includes basic functions of autonomy that provide limited assistance to the operator. These are the systems, such as automatic speed control or assistance in maintaining the tasked trajectory, and the systems for controlling the speed and brakes. However, the operator remains completely in charge of control and guidance over the vehicle.

Level 2: Partial autonomy. Vehicles can conduct more complex tasks by combining two or more autonomous functions, such as maintaining the tasked trajectory or adaptive speed regulation. The vehicle can control the movement and speeding/slowing down in specific conditions, but the operator must be ready to intervene at every moment.

Level 3: Conditional autonomy. This level represents a significant step towards genuine autonomy. Vehicles with level 3 autonomy can conduct all driving tasks in specific, limited conditions, such as driving along a defined trajectory. The driver must not constantly monitor the surroundings, but be ready to take over the guidance when the vehicle asks for that.

Level 4: High autonomy. Vehicles can perform autonomously in the majority of movement scenarios, even if the operator does not respond to the demand for intervention. However, their operation can be limited to specific fields and projected operational domains.

Level 5: Complete autonomy. The vehicle is completely autonomous and capable of conducting all movement tasks in all conditions manageable by the human operator. No human intervention is needed.

This specter of the level of autonomy emphasizes the increasing sophistication and complexity of unmanned autonomous vehicles, i.e., the control and guidance systems, through which the desirable level of autonomy is achieved. While lower levels offer operator assistance, advanced research focuses on reaching higher levels of autonomy to realize challenging tasks in complex environments. Even though achieving complete autonomy (Level 5) is still in the development process, the current scientific research is focused on the improvement of the performance and abilities of vehicles at levels 3 and 4 in complex and challenging scenarios in realistic environments, which demands the projection and application of advanced guidance and control algorithms.

ASPECTS OF THE INFLUENCE OF UNMANNED VEHICLES ON MILITARY OPERATIONS

One of the key aspects of autonomous vehicle applications in the military is the ability to take up tasks previously deemed highly risky for the human crew. These tasks were, in the beginning, primarily linked to the use of unmanned vehicles in the field of reconnaissance and monitoring the opposing forces. Such systems, such as *QinetiQ TALON* (Army Technology 2020) or *Milrem THEMIS* (Milrem n.d.), possess sensors that act in different parts of the electromagnetic spectrum for the reconnaissance of the combat layout and early warning of enemy maneuvers. Moreover, small unmanned vehicles can be used for ruins and tunnel reconnaissance during operations in urban environments. Another aspect of the use of unmanned vehicles, which has been increasingly used in recent years, refers to the use of armed versions of such systems directly in combat actions (the Russian *Uran-9* [CKБ MOPФ n.d.]) or *Milrem Robotics Type-X* [Milrem Robotics n.d.], as well as in the self-destruction missions (the Ukrainian *Ratel-S* *Global Defense News Army Recognition Group*

[GDNARG] 2024, for anti-tank warfare). Another aspect of using unmanned autonomous vehicles also refers to the conduct of logistical tasks (supply of ammunition, medical equipment, etc.), especially when the risk to the human crew is high. Additionally, unmanned vehicles can be equipped with electronic warfare devices and, as such, can be used in missions of electronic jamming of opposing forces or electronic protection of one's own forces.

All previously mentioned applications of unmanned vehicles in combat and non-combat tasks of the army bring along changes in the operational and tactical actions and procedures. In cases of attacks, using these vehicles in the initial phases of offensive actions enables reduced risk exposure of the personnel during advancement towards the enemy positions, as well as support to classic armored and mechanized units. Using unmanned vehicles in coordinated attacks on one target (attack of the unmanned vehicles swarm) enables efficient use of force to destroy enemy high-profile targets (bunkers, command centers, etc.). With all that, one should not ignore the psychological effect on the enemy morale when fighting unmanned autonomous systems. When conducting defensive combat actions, unmanned vehicles can be used on duty on the first line for efficient use of forces and for assessing the combat situation, the strength of the enemy's forces, and the enemy's maneuvers. Besides, using these systems reduces the possibility of tactical surprise of the enemy forces, while the self-destructing unmanned vehicles enable all forms of anti-tank fighting. The advantages of the use of unmanned platforms in reconnaissance missions against enemy forces reflect, above all, the increased combat endurance of these systems on the battlefield because these systems are complex to uncover, as well as the fact that they acquire and process information on the enemy forces in real-time, which is extremely significant for the commander's decision-making and the conduct of combat actions. In the logistical sense, combat platforms enable better protection of the forces upon supply of ammunition and other logistical needs to the units in direct combat contact, as well as the possibility for extracting the wounded and injured from the direct combat contact. As one of the most complex contents of combat actions stands urban warfare and, thus, unmanned platforms can be used as fire support to one's forces in narrow passages and streets, as well as the elements of reconnaissance of the combat layout of the enemy stationed in buildings and passages before the

appearance of one's forces. Due to fast adjustment to changeable conditions of conducting combat actions (enemy activity, change of weather conditions, or specific tasks that call for precise navigation through harsh terrain), unmanned platforms enable high flexibility in planning and conducting operations.

However, the transition to unmanned autonomous systems introduces challenges regarding the security of use, ethics, and tactics. Namely, unmanned platforms are vulnerable to electronic jamming and deception, and interference with the connection to the command station can disrupt control of their work. Besides that, the opponent's possibility of taking control over the unmanned system represents a special challenge in its use and demands improvement of cyber system security. Moreover, unmanned vehicles of small dimensions are sensitive to direct hits from infantry weapons and have limited autonomy of work due to their relatively small capacity of energy capacity. The probability of correct classification of targets upon automatic detection and target classification is not entirely secure, which means there is a possibility of wrong target classification (for example, a civilian vehicle can be detected as a military vehicle). At the same time, failure of unmanned platforms can happen in critical moments of a mission. From an ethical standpoint, unmanned autonomous vehicles dehumanize combat actions and, thus, raise the issue of whether such systems can make decisions on the death or wounding of the enemy. The question of responsibility for mistakes of these combat systems remains open: Can the commander, programmer, or operator of an unmanned system be held responsible for any civilian casualties and damage to civilian infrastructure?

Based on the previously said, we can stress that autonomous vehicles are transforming military tactics and operations, thus enabling faster, more secure, and more efficient task completion while setting new challenges in security, regulation, strategy, and warfare tactics.

CHALLENGES IN THE DESIGN OF GUIDANCE AND CONTROL SYSTEMS

From a technical development standpoint, designing the guidance-and-control system for the unmanned autonomous vehicle implies various challenges. In contrast, both systems have special tasks at the desired level of autonomous movement. The guidance system is in charge of the perception of the environment and planning the trajectory. It collects and processes data from integrated sensors of the vehicle to create a model of the surroundings and determine the optimal route of movement for different scenarios of autonomous movement. This system secures key data for the guidance system, including information on the vehicle position, obstacles, and dynamic changes in the environment. The main reasons for the design and implementation of the guidance system include data processing in real-time, the accuracy of perception of the environment and enemies in unfavourable conditions, and decision-making in complex situations. On the other hand, the control system is responsible for conducting the task instructions from the guidance system. Based on the planned trajectory, it controls the actuator components (control, propulsion, and brakes) so that the vehicle closely follows the tasked trajectory. The key challenges include precise regulation of speed and direction, robustness in variable load conditions, and system resilience to unforeseen disturbances. Moreover, the control system must be resilient to malfunctions and ensure the vehicle's stability in all working regimes. These two autonomous movement systems' connection and efficient integration are essential for the safe and reliable functioning of unmanned vehicles.

Challenges in designing the guidance system

Achieving a high level of autonomy of movement sets significant challenges upon design of the guidance system of an unmanned vehicle, especially for complex tasks of autonomous movement with a high level of perception of the environment, such as moving along the task trajectory, moving towards the task coordinates in space, following a leader moving before or after the vehicle, detection, recognition and avoiding obstacles upon movement, recognition of enemy forces and assessment of threat, etc. Realizing such systems demands precise cognition of the current position of vehicles in space, as well as

cognition of the environment and elements of interest located in the surroundings. Data integration from different types of wide-frequency sensors and the projection and implementation of sensor data processing algorithms in real-time are often needed. So, for example, upon moving along the task trajectory or towards a task coordinate in space, integration and processing of data acquired from inert sensors and global positioning sensors are needed. In contrast, following the leader, detection, recognition, and avoiding obstacles require applying optical, laser, and/or radar sensors. Moreover, in detecting and following the defined trajectory, autonomous vehicles must be able to function in environments in which the trajectories are not clearly defined and where different obstacles might impose limitations on the vehicle's sensor field of view. The key challenge in designing guidance algorithms is the generation of the optimal trajectory of the vehicle in dynamic and unpredictable environments, with minimization of energy consumption, as well as the noise in the sensor data. Besides that, bearing in mind the demands for acting in real-time, optimization of the computing complexity of the algorithm is necessary because computationally demanding algorithms demand big resources of the realization hardware, which raises the price of the unmanned vehicle. Moreover, guidance systems sometimes demand additional functionalities, such as human movement and pose recognition, or recognition of movements and formation of other unmanned vehicles, complicating the system's design and realization. The previously mentioned challenges stress the need for a guidance system that uses robust algorithms and can adjust to changeable environmental conditions and unexpected disturbances.

Challenges in designing the control systems

Designing the unmanned vehicle control systems sets high demands, above all, because of its complex dynamics and kinematics of movement, as well as the most often changeable interaction of driven actuators with the field, leading to the effect of slipping of the drive wheels/tracks and/or lateral and longitudinal sliding of the vehicle. Non-linear effects, time-varying parameters, and the impact of changeable loads and different terrains complicate the precise modelling of vehicle movement. Thus, control systems must be robust to different disturbances, unfamiliarity, and non-stationarity of the plant model.

Besides robustness, the demand for high performance during autonomous movement is also imposed. This means the movement control system must ensure the precise following of the reference trajectory, stability, and fast reaction to environmental changes. However, achieving high performance often demands complex algorithms, which introduces a challenge in balancing the realization's complexity and the system's efficiency. Too complex algorithms can be computationally demanding, which complicates their implementation on hardware with limited resources.

Another essential aspect is the energy efficiency of the designed control system. Namely, unmanned vehicle control algorithms should ensure stability and precision and minimize energy consumption, especially for electric vehicles with limited battery sources. This implies intelligent control strategies that reduce unnecessary energy consumption through optimizing the use of powertrains and reducing unnecessary vehicle acceleration and braking.

Based on the previously stated, it can be concluded that the control system should satisfy the trade-off between robustness, performance, complexity, and energy efficiency to ensure safe, stable, and economical autonomous movement of unmanned vehicles in different working conditions. Thus, it is clear that, in the majority of cases, standard industrial control methods cannot provide for satisfactory system characteristics, i.e., the development of suitable control systems demands the application of advanced control techniques, such as adaptive, robust, and intelligent control.

THE NEED FOR NEW COMPETENCIES OF THE MILITARY PERSONNEL

Unmanned autonomous systems are available in the market, but procurement of the systems and their components is, in the majority of cases, perceived as procurement of arms and military equipment, which demands the acquisition of special permits and *end-user* certificates and can, therefore, be the subject of restrictions or technological limitations upon delivery. Access to key military technology, armament, and military equipment (including, among other things, the unmanned autonomous systems) can be limited in crises. Thus, the procurement of these systems represents a strategic security risk. As an alternative to importing already developed equipment and technology imposes independent production of

these technologies, in which the key role is played by the highly educated expert professional military personnel, which possesses the necessary knowledge in the field of projection of unmanned autonomous platforms and maintenance and efficient use in combat and non-combat situations. One of the necessary steps in ensuring that the professional personnel are ready to dedicate themselves to solving the issue of designing and exploiting these complex systems, and above all, unmanned autonomous platforms, is the modification of the existent or definition of new study programs in military schools and the Academy by the imposed challenges.

One of the fundamental contemporary theories in higher education is defining the necessary competencies for suitable personnel (Dragoo 2016, 2; Dyson 2019, 2). Applying such an approach is also necessary upon setting the demands for the knowledge of future officers for conducting the entry-level duties, i.e., defining the study program structure for military schools and academies. In the previously described context of accelerated development and the use of unmanned autonomous systems in military operations, the Military Academy of the University of Defense in Belgrade must examine the emerging challenges, modify the existing ones, and suggest new study programs. As previously mentioned, the unmanned autonomous platforms represent complex systems whose projection, maintenance and use demand additional knowledge from the field of electrotechnical and computer engineering (designing the guidance and control algorithms for these vehicles, as well as the methods and techniques of data processing from different sensors located on these vehicles, application of techniques of artificial intelligence for their autonomous movement upon conducting missions and tasks, understanding the method of functioning of such systems and their efficient application) and machine engineering (designing the power unit, as well as transmission elements and materials that enable sufficient protection of these vehicles, as well as understanding of machine construction of vehicles, which ensures their more efficient use). It can be concluded that, upon graduation, the future officers should possess the abilities to analyze, synthesize, and predict solutions and possible consequences, as well as to master the methods, procedures, and processes of logical thinking to solve the development, maintenance, and exploitation of unmanned autonomous platform issues. Additionally, bearing in mind the complexity of autonomous systems and their accelerated technological advancement, it is necessary to develop the communication abilities of graduated cadets, not only regarding their close working and social

environment but also the broader academic and scientific community, to ensure passing and improvement of knowledge and skills in this field.

Based on these needs for the education of highly proficient professional personnel, we can identify the following essential fields that should complement the existing curricula and study programs:

Mechatronics and autonomous systems – Unmanned vehicles are complex mechatronic systems combining mechanical structures, actuators, sensory systems, and computational control. Officers must gain basic and advanced knowledge in this field to understand the vehicle's principle of functioning and its efficient control.

Advanced automatic control techniques – due to the complex dynamics and kinematics of autonomous vehicles' movement, classical control techniques are often insufficient. It is necessary to introduce content regarding robust and adaptive guidance, trajectory optimization algorithms, and artificial intelligence for making decisions in real time.

Advanced systems of guidance and navigation – precise positioning of unmanned vehicles require a combination of several technologies, including GPS, inertial navigational systems, and other methods of defining the vehicle's position. The future officers must understand how these systems function, the principles of data fusion, and the methods of optimal trajectory generation.

Sensory data processing and artificial intelligence – autonomous vehicles use various environment perception sensors. Thus, educating officers in processing and analyzing data collected by sensors operating in different parts of the electromagnetic spectrum and in developing and implementing artificial intelligence algorithms, especially machine learning for object recognition and real-time decision-making, is particularly interesting.

Tactical use – tactical applications of unmanned vehicles demand that, besides possessing technical knowledge, future officers understand the abilities and advantages of unmanned autonomous systems compared to conventional weapons. This implies new strategies and reconnaissance tactics, logistical support, combat operations, and integration of autonomous platforms with the existing weapons systems.

Besides the defined professional-specialist and applied knowledge, additional attention must be given to developing highly motivated personalities of future officers and developing their leadership skills in their direct working environment. To fulfil this goal, it is necessary to reevaluate the role of army morale, military psychology and other

fields of military social sciences to implement knowledge and develop a highly motivated personality of officers, as well as provide answers to ethical challenges of the application of new technologies, above all artificial intelligence, which is extremely pronounced in unmanned autonomous systems.

Accordingly, it is evident that, shortly, the Military Academy is expected to accredit new study programs, and one of the imperatives of developing new curricula is the identification of new technological challenges and security threats, as well as defining the necessary knowledge of military personnel, as part of responding to them, to defend the independence and autonomy of the Republic of Serbia.

CONCLUSION

In this paper, the use and challenges in the development of unmanned autonomous vehicles are analyzed. Besides that, the military personnel's knowledge is also identified for designing, exploiting, and maintaining these systems. The fundamental aspects of tactical and operational use in military operations and the development directions of unmanned autonomous vehicles were examined through the prism of designing vehicle guidance and control systems. Regarding the necessary competencies of the military personnel, we can conclude that it is necessary to develop different multidisciplinary and interdisciplinary knowledge to understand and use all the benefits of autonomous systems and ensure the improvement of the existing capabilities. By that, knowledge and experience acquired during this research will represent the basis for modifying existing and implementing new study programs within the military education systems.

Further research directions will refer to the challenges of designing expert systems for support in military decision-making based on artificial intelligence, which will improve the capabilities of autonomous systems and define the competencies of future officers necessary for confronting future challenges and threats to security.

REFERENCES

- СКБ МОПФ. n.d. “Уран-9.” *СКБ МОПФ*. Poslednji pristup 18. april 2025. <https://skbmo.ru/uran9.html>.
- Army Technology. 2020. “Talon Tracked Military Robot.” *Army Technology*. February 21, 2020. <https://www.army-technology.com/projects/talon-tracked-military-robot/>.
- Arquilla, John. 2021. *Bitzkrieg: the new challenge of cyberwarfare*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Boretti, Alberto. “Unmanned surface vehicles for naval warfare and maritime security.” *The Journal of Defense Modeling and Simulation* 1–10. DOI: 10.1177/15485129241283056.
- Boyd, John R. 2018. *A discourse on winning and losing*. AL: Air University Press.
- Brose, Christian. 2020. *The kill chain: Defending America in the future of high-tech warfare*. New York: Grand Central Publishing.
- Clausewitz, Carl von. 2021. *On War (Vom Kriege)*. Oklahoma: Mosaic Books.
- Dorić, Marija, i Vanja Glišin. 2023. „Upotreba veštačke inteligencije u rusko-ukrajinskom ratu.” *Politika nacionalne bezbednosti* 25 (2): 59–76. DOI: 10.5937/pnb25-47369.
- Dragoo, Amie, and Richard Barrows. 2016. “Implementing competency-based education: Challenges, strategies, and a decision-making framework.” *The Journal of Continuing Higher Education* 64 (2): 73–83.
- Dyson, Tom. 2019. “The Military as a learning organisation: establishing the fundamentals of best-practice in lessons-learned.” *Defence Studies* 19 (2): 107–129.
- Frunze, Mikhail V. 2019. “A Unified Military Doctrine for the Red Army.” In *The Soviet Art Of War*, eds. Harriet Fast Scott and William Scott, 27–31. London: Routledge.
- Gao, Sheng, Jiazheng Wu, and Jianliang Ai. 2021. “Multi-UAV reconnaissance task allocation for heterogeneous targets using grouping ant colony optimization algorithm.” *Soft Computing* 25 (10): 7155–7167.
- Global Defense News Army Recognition Group [GDNARG]. 2024. “Ukrainian Forces Revolutionize Robotic Warfare Using Ratel-S Ground Robot for Bridge Destruction.” *Global defense news*. April 7, 2024. <https://armyrecognition.com/focus-analysis-conflicts/army/>

- conflicts-in-the-world/russia-ukraine-war-2022/ukrainian-forces-use-ratel-s-ground-robot-to-revolutionize-robotic-warfare-in-bridge-destruction.
- Himmel, Damian. 2024. *Generalfeldmarschall Helmuth von Moltke (1800–1891)*. Geschichte: Polen–Schlesien–Deutschland–Europa.
- Huang, Qian, Xianming Ma, Kun Liu, Xinyi Ma, and Weijian Pang [Huang et. al]. 2022. “Autonomous reconnaissance action of swarm unmanned system driven by behavior tree.” In *IEEE International Conference on Unmanned Systems [ICUS]*, 1540–1544. Guangzhou: IEEE.
- Miljković, Milan, i Hatidža Beriša. 2023. „Primena veštačke inteligencije u savremenom ratovanju.” *Politika nacionalne bezbednosti* 25 (2): 77–98. DOI: 10.5937/pnb25-46935.
- Milrem Robotics. n.d. “THEMIS.” *Milrem Robotics*. Poslednji pristup 18. april 2025. <https://milremrobotics.com/themis-family/>.
- Milrem Robotics. n.d. “Type-X.” *Milrem Robotics*. Poslednji pristup 18. april 2025. <https://milremrobotics.com/type-x-2/>.
- Rapin, Ami-Jacques. 2023. “Rethinking Lines of Operations: Jomini’s Contribution to the Conceptualization of Strategy in the Early Nineteenth Century.” *War in History* 30 (1): 21–37.
- Rubio, Francisco, Francisco Valero, and Carlos Llopis-Albert. 2019. “A review of mobile robots: Concepts, methods, theoretical framework, and applications.” *International Journal of Advanced Robotic Systems* 16 (2). DOI: 10.1177/1729881419839596.
- Sethi, Ishvar K. 2024. *Autonomous Vehicles and Systems: A Technological and Societal Perspective*. New York: Routledge.
- Singer, Peter Warren. 2009. *Wired for war: The robotics revolution and conflict in the 21st century*. London: Penguin.
- Strategija opštenarodne odbrane i društvene samozaštite SFRJ*. 1987. Beograd: Savezni sekretarijat za narodnu odbranu i Centar oružanih snaga za strategijska istraživanja i studije „Maršal Tito”.
- Wang, Gang, Xiao Lv, Liangzhong Cui, and Xiaohu Yan [Wang et al.]. 2023. “The methods of task pre-allocation and reallocation for multi-UAV cooperative reconnaissance mission.” *IET Collaborative Intelligent Manufacturing* 5 (4): 1–16. DOI: 10.1049/cim2.12090.
- Zhao, Yongyong, Jinghua Wang, Guohua Cao, Yi Yuan, Xu Yao, and Luquiang Qi [Zhao et al.]. 2023. “Intelligent control of multilegged robot smooth motion: a review.” *IEEE Access* 11: 86645–86685.

Zou, Ting, Jorge Angeles, and Ferri Hassani. 2018. “Dynamic modeling and trajectory tracking control of unmanned tracked vehicles.” *Robotics and Autonomous Systems* 110: 102–111. DOI: 10.1016/j.robot.2018.09.008.

Момир Станковић*

*Војна академија, Универзитет одбране, Београд,
Република Србија*

Димитрије Бујаковић**

*Војна академија, Универзитет одбране, Београд,
Република Србија*

БЕСПОСАДНА АУТОНОМНА ВОЗИЛА: ИЗАЗОВИ У РАЗВОЈУ И ВОЈНОЈ ПРИМЕНИ И ПОТРЕБЕ ЗА НОВИМ КОМПЕТЕНЦИЈАМА ВОЈНОГ КАДРА***

Резиме

Развој беспосадних аутономних возила представља један од најдинамичнијих праваца савремене технолошке еволуције, са све широм применом у цивилном, а пре свега војном домену. Иако се термини беспосадно и аутономно возило често користе као синоними, овај рад указује на њихову суштинску разлику и значај интегрисане способности доношења одлука за пуну аутономију. Савремени трендови у производњи сензорских, комуникационих и енергетских компоненти омогућили су развој сложених система за перцепцију окружења, планирање путање и управљање кретањем, што је нарочито утицало на промену концепта извођења војних операција. У раду се анализира историјски развој беспосадних аутономних возила, нивои њихове аутономије и утицај на извођење савремених војних операција. Имајући у виду тренутну брзину технолошког развоја и достигнућа, може се очекивати још интензивнија употреба аутономних система у наредним ратним сукобима, што намеће потребу за дефинисањем потребних знања и компетенција војног кадра који ће се бавити развојем и употребом истих. Потребна знања

* Имејл адреса: momir.stankovic@va.mod.gov.rs; ORCID: 0000-0001-8371-9341

** Имејл адреса: dimitrije.bujakovic@va.mod.gov.rs; ORCID: 0000-0001-7053-9293.

*** Научни чланак је резултат рада на пројекту Министарства одбране Републике Србије: Пројектовање експертског система заснованог за процену ситуације на бојишту (ВА-ТТ/1/25–27).

укључују области мехатронике, аутоматског управљања, вођења, вештачке интелигенције, тактике употребе, логистичке подршке и других. Рад препознаје потребу за унапређењем војног образовања кроз модификацију постојећих и развој нових студијских програма за образовање кадрова способних за развој, одржавање и ефикасну експлоатацију беспосадних аутономних система у динамичном безбедносном окружењу.

Кључне речи: Беспосадна аутономна возила, Пројектовање система вођења, Пројектовање система управљања, Војна примена беспосадних возила, Војно образовање.

* This paper was received on April 22, 2025, and accepted for publication at the Editorial Board meeting on May 14, 2025.

Момир Станковић*

*Војна академија, Универзитет одбране,
Београд, Република Србија*

Димитрије Бујаковић**

*Војна академија, Универзитет одбране,
Београд, Република Србија*

БЕСПОСАДНА АУТОНОМНА ВОЗИЛА: ИЗАЗОВИ У РАЗВОЈУ И ВОЈНОЈ ПРИМЕНИ И ПОТРЕБЕ ЗА НОВИМ КОМПЕТЕНЦИЈАМА ВОЈНОГ КАДРА***

Сажетак

Развој беспосадних аутономних возила представља један од најдинамичнијих праваца савремене технолошке еволуције, са све широм применом у цивилном, а пре свега војном домену. Иако се термини беспосадно и аутономно возило често користе као синоними, овај рад указује на њихову суштинску разлику и значај интегрисане способности доношења одлука за пуну аутономију. Савремени трендови у производњи сензорских, комуникационих и енергетских компоненти омогућили су развој сложених система за перцепцију окружења, планирање путање и управљање кретањем, што је нарочито утицало на промену концепта извођења војних операција. У раду се анализира историјски развој беспосадних аутономних

* Имејл адреса: momir.stankovic@va.mod.gov.rs; ORCID: 0000-0001-8371-9341

** Имејл адреса: dimitrije.bujakovic@va.mod.gov.rs; ORCID: 0000-0001-7053-9293.

*** Научни чланак је резултат рада на пројекту Министарства одбране Републике Србије: Пројектовање експертског система заснованог за процену ситуације на бојишту (ВА-ТТ/1/25–27).

возила, нивои њихове аутономије и утицај на извођење савремених војних операција. Имајући у виду тренутну брзину технолошког развоја и достигнућа, може се очекивати још интензивнија употреба аутономних система у наредним ратним сукобима, што намеће потребу за дефинисањем потребних знања и компетенција војног кадра који ће се бавити развојем и употребом истих. Потребна знања укључују области мехатронике, аутоматског управљања, вођења, вештачке интелигенције, тактике употребе, логистичке подршке и других. Рад препознаје потребу за унапређењем војног образовања кроз модификацију постојећих и развој нових студијских програма за образовање кадрова способних за развој, одржавање и ефикасну експлоатацију беспосадних аутономних система у динамичном безбедносном окружењу.

Кључне речи: Беспосадна аутономна возила, Пројектовање система вођења, Пројектовање система управљања, Војна примена беспосадних возила, Војно образовање.

УВОД

Беспосадно возило (БВ) је возило које се покреће и управља без присуства људске посаде на самом возилу, односно возилом се управља са одговарајуће управљачке станице, применом комуникационих и различитих сензорских система. Са друге стране, беспосадно аутономно возило може се дефинисати као специфична врста беспосадног возила које не само да функционише без људске посаде, већ има способност да обавља одговарајуће функције вожње без директне људске интервенције, користећи напредне сензорске системе и алгоритме за доношење одлука, препознавање околине и планирање путање кретања. Стога, иако се појмови беспосадно возило и аутономно возило често користе као синоними, треба истаћи да свако беспосадно возило није и аутономно, односно да аутономија возила зависи од интегрисане способности самосталног кретања и доношења одлука о планирању путање кретања.

Последњих година, са развојем технологије производње електронских и енергетских компоненти, област истраживања и изучавања беспосадних, а пре свега аутономних возила је доживела значајан напредак, што је омогућило развој софистицираних система

за перцепцију окружења, вођење и управљање возила, а самим тим ефикасније примене аутономних система у различитим областима, укључујући саобраћај, индустрију, пољопривреду и пре свега војну примену. Сходно томе, пројектовање и развој система управљања и вођења беспасадних аутономних возила постаје изузетно значајан правац у научноистраживачким радовима (Wang 2023, 4; Gao 2021, 10; Huang 2022; Boretti 2024).

Развој високо софистицираних система у многоме је утицао на промену структуре вођења војних операција. Тако на пример, примена беспилотних летелица значајно унапређује могућности извиђања покрета и изненадног напада на противничке снаге, ненаоружана беспасадна аутономна возила доприносе већој мобилности при операцијама дотура убојних средстава, логистичких средстава и превоза рањеника, док су наоружана аутономна возила генерисала значајан искорак у еволуцији савремених војних операција, доносећи бројне предности у погледу ефикасности, безбедности и способности за обављање најкомплекснијих задатака у високо ризичним условима за људске посаде (Ђогић и Глишин 2023; Милjkовић и Бериша 2023).

Класични развој војног образовања у Европи је пре свега везан за чувена разматрања Фон Клаузевица (Clausewitz 2021) у ком је рат дефинисан као наставак политике другим средствима и развијање пруског модела обуке официра и увођењу ратних игара у чијем је дефинисању пресудну улогу имао Хелмут фон Молтке (Himmel 2024). У Француској се истиче пре свега рад Антоан-Анри Жоминија (Rapin 2023, 1) у периоду после Наполеонових ратова и успостављање Академије у Сен-Сиру у којој се негује приступ образовању официра кроз хуманистичко образовање и строгу војну обуку. Едукација официра у бившем Савезу Совјетских Социјалистичких Република (СССР) пре свега је обухватала ригидну војну обуку и идеолошко образовање, а основа овог система се може наћи у раду Михаила Фрунзеа (Frunze 2019). Са друге стране, успостављање хегемоније Сједињених Америчких Држава (САД) у западној хемисфери допринело је развоју учења кроз дисциплину и инжењерске вештине и теорије брзог одлучивања у борби (петља осматрати-оријентисати-одлучити-деловати) (Boyd 2011). У бившој Социјалистичкој Федеративној Републици Југославији (СФРЈ) интензиван утицај у војном образовању је имао концепт тоталне одбране и заштите (*Strategija opštenarodne odbrane i društvene samozaštite* 1987) при чему су разматране методе борбе фронталног и герилског типа.

Динамично окружење и брзи технолошки развој средстава наоружања и војне опреме које карактерише модерне сукобе условљава и интензивне промене у војном образовању. У овом делу може се уочити неколико праваца, као што је брзо прилагођавање новим безбедносним изазовима и претњама кроз процес континуалног побољшања наставе и обуке (Arquilla 2021), дигитализација војне обуке и интензивна употреба симулатора који раде у виртуелној реалности (Arquilla 2021), примена неуро-наука за боље доношење одлука и експериментална употреба „мозак – рачунар” интерфејса (Brose 2020), припрема за хибридно и асиметрично ратовање кроз унапређења концепта обуке и развој вештина лидера и уздизање психолошке издржљивости војника, подофицира и официра (Singer 2009). На овај начин се успоставља и примењује концепт „научених лекција” у планирању савремених војних операција, који утиче и на развој модерних теорија војног образовања.

Предмет овог истраживања је примена беспосадних аутономних возила у савременим борбеним и неборбеним операцијама и њиховог развоја, као и разматрање потребних знања из области савремених технологија ради пројектовања, експлоатације и одржавања оваквих система. Како беспосадна аутономна возила представљају сложене мехатроничке системе, ради њихове правилне употребе у савременим борбеним дејствима потребно је да војни кадар који их развија и користи поседује знања из области управљања сложеним системима, мехатронике и механичких система преноса, као и пројектовања и развоја алгоритама вештачке интелигенције како би се извршила оптимална обрада сигнала прикупљених различитим сензорима у реалном времену и употребе беспосадних аутономних возила на тактичком и оперативном нивоу.

Овај рад је организован према следећем, након уводних разматрања у другом поглављу дат је кратак историјски осврт на развој беспосадних возила и њихова основна подела. Развијени нивои аутономије беспосадних возила су анализирани у трећем делу овог рада, док се у четвртном поглављу анализирани аспекти утицаја употребе ових возила на извођење савремених војних операција. У петом поглављу идентификовани су изазови при пројектовању система вођења и управљања, док су у шестом поглављу разматране потребне компетенције војног кадра у погледу употребе и развоја оваквих система у циљу пружања адекватног одговора на нове безбедносне изазове и претње. Коначно, у завршном делу рада

дефинисани су одговарајући закључци и предложени правци даљег истраживања.

РАЗВОЈ И ВРСТЕ БЕСПОСАДНИХ ВОЗИЛА

Развој беспосадних возила започео је са системима који су омогућавали даљинско управљање, без стварне аутономије у процесу управљања. Још тридесетих година XX века појављују се први примери једноставних даљински управљаних платформи, преваходно у војне и индустријске сврхе. Совјетски и немачки радио-управљани тенкови коришћени су у мисијама високог ризика, попут транспорта муниције и руковања експлозивним средствима. Иако технолошки примитивни, ови системи представљају концептуалне претходнике савремених беспосадних решења, указујући на потенцијал измештања људског фактора из директно опасних борбених ситуација.

Другу фазу развоја представља период друге половине XX века, током ког су се концепти беспосадних система проширили на идеје делимичне или потпуне аутономије. Прекретница је остварена развојем мобилног робота *Shakey* на Универзитету Стенфорд крајем шездесетих година. Овај систем, опремљен камером и ултразвучним сензорима, представљао је први мобилни робот способан за самосталну обраду података и доношење одлука на основу перцепције околине, што га чини претечом модерних аутономних возила.

Интензиван развој аутономних система започиње почетком XXI века, пре свега кроз пројекте попут *Grand Challenges*, које је иницирала Агенција за напредне истраживачке пројекте у одбрани Сједињених Америчких Држава (DARPA). Ова иницијатива дала је снажан подстицај унапређењу сензорских система, као и развоју софистицираних алгоритама за навигацију, управљање и планирање путање. Резултати ових истраживања поставили су технолошке темеље за савремене аутономне платформе, како у цивилној, тако и у војној примени.

У складу са различитим оперативним захтевима и условима, конструисане су различите врсте погонских система беспосадних аутономних возила. Основна класификација обухвата четири типа, чије су основне карактеристике дате у наставку.

Возила са точковима – представљају најраспрострањенији тип беспосадних система. Њихова популарност произилази из једноставности конструкције, ефикасности у кретању по равним и добро уређеним површинама, као и лакшег система управљања. Ослањају се на ротационо кретање точкова повезаних са шасијом, при чему број осовина и конфигурација преноса снаге зависи од захтева за маневарском способношћу и стабилношћу (Rubio 2019, 16).

Гусенична возила – користе гусенице које пружају велику површину контакта са подлогом, чиме се повећава вучна снага и стабилност. Захваљујући независном погону сваке гусенице, омогућено је прецизно управљање и висока маневарска способност на неравним и изазовним теренима. Ови системи се одликују великом робусношћу, чинећи их погодним за борбене и извиђачке задатке у тежим условима (Zou 2018, 110).

Возила са ногама – ови системи имитирају кретање животиња, користећи низ актуатора и зглобова који омогућавају динамичко балансирање и кретање по неприступачним теренима. Висок степен мобилности чини их посебно ефикасним у урбаним срединама, као и у задацима који захтевају савладавање препрека и степеништа (Zhao 2023, 11).

Хибридна возила – комбинују различите врсте погонских система (точкове, гусенице и/или ноге) у циљу постизања максималне прилагодљивости и перформанси. Ови системи представљају компромис између више типова мобилности и омогућавају операције у разноликим и променљивим условима. Иако технолошки захтевнији, хибридни системи омогућавају високу флексибилност у примени (Zou 2018, 110).

НИВОИ АУТОНОМИЈЕ БЕСПОСАДНИХ ВОЗИЛА

Савремена аутономна возила базирају се на интеграцији различитих типова погона, сензорских система, укључујући, глобалне навигационе сателитске системе, радарске системе, *LiDAR* системе и друге технологије које омогућавају ефикасну перцепцију и интеракцију возила са окружењем у коме се налази. Типичне функције аутономних возила могу се поделити у три основне категорије: перцепција окружења, проналажење оптималне путање кретања и доношење других одлука и управљање погонским актуаторима у циљу праћења жељене путање и реализација донетих

одлука. Ове три компоненте могу се посматрати као функције чула вида, мозга и удова људског бића, а оне се реализују пројектовањем одговарајућих система вођења и управљања.

Да би се боље разумео досадашњи развој, али и правци будућих истраживања, кључно је размотрити и детаљније анализирати сам концепт аутономије. Као што је већ напоменуто, аутономија, у контексту беспасадних возила, односи се на степен до ког возило може да функционише независно од људске интервенције. Опште прихваћен и широко препознат систем класификације беспасадних возила дефинише шест нивоа аутономије вожње, од нивоа 0 (ниво без аутономије) до нивоа 5 (потпуна аутономија), који се могу детаљније описати на следећи начин (Sethi 2024):

Ниво 0: Без аутономије. На овом нивоу возило потпуно функционише на основу команди задатих од оператора, без икаквих аутономних способности. Возило може имати неке технологије асистенције оператору, попут различитих система упозорења.

Ниво 1: Аутономија са асистенцијама оператора. Возила из ове категорије укључују основне функције аутономије које пружају ограничену подршку оператору. Системи попут аутоматске контроле брзине или асистенције за одржавање задате путање, као и система за управљање убрзањем и силом кочења, али оператор остаје у потпуности одговоран за надзор и управљање возилом.

Ниво 2: Делимична аутономија. Возила могу извршавати сложеније задатке, комбинујући две или више аутономних функција, попут одржавања задате путање и адаптивне регулације брзине. Возило може управљати кретањем и убрзањем/успоравањем у одређеним условима, али оператор мора бити спреман да интервенише у сваком тренутку.

Ниво 3: Условна аутономија. Овај ниво представља значајан корак ка правој аутономији. Возила са аутономијом нивоа 3 могу обављати све задатке вожње у специфичним, ограниченим условима, попут вожње дефинисаном траком пута. Возач није обавезан да непрекидно надзире окружење, али мора бити спреман да преузме управљање када то возило затражи.

Ниво 4: Висока аутономија. Возила могу радити аутономно у већини сценарија кретања, чак и ако оператор не одговори на захтев за интервенцијом. Међутим, њихова операција може бити ограничена на одређене области и пројектоване оперативне домене.

Ниво 5: Потпуна аутономија. Возило је потпуно аутономно и способно да обавља све задатке кретања у свим условима које би људски оператер могао савладати. Никаква људска интервенција није потребна.

Овај спектар нивоа аутономије истиче све већу софистицираност и сложеност беспосадних аутономних возила, односно система вођења и управљања помоћу којих се одговарајући ниво аутономије и постиже. Док нижи нивои нуде асистенцију оператера, фокус напредних истраживања је усмерен ка постизању виших нивоа аутономије, у циљу реализације изазовних задатака у комплексним окружењима. Иако је постизање потпуне аутономије (Ниво 5) још увек у процесу развоја, тренутна научна истраживања фокусирају се на унапређење перформанси и способности возила на нивоима 3 и 4 у сложеним и изазовним сценаријима у реалним окружењима, што захтева пројектовање и примену напредних алгоритама вођења и управљања.

АСПЕКТИ УТИЦАЈА БЕСПОСАДНИХ ВОЗИЛА НА ВОЈНЕ ОПЕРАЦИЈЕ

Један од кључних аспеката примене аутономних возила у војсци је њихова способност да преузму задатке који су раније били високо ризични за људску посаду. Ови задаци су у почетку превасходно били повезани са употребом беспосадних возила у области извиђања и надзора противничких снага. Неки од оваквих система као што су *QinetiQ TALON* (Army Tehnology 2020) или *Milrem THeMIS* (Milrem n.d.), поседују сензоре који раде у различитим деловима електромагнетног спектра ради извиђања борбеног распореда и раног упозорења на маневре противника. Поред тога, мала беспосадна возила се могу користити за извиђање рушевина и тунела током операција у урбаним срединама. Други аспект употребе беспосадних возила, који последњих година има све већу и већу примену, односи се на употребу наоружаних верзија оваквих система и то директно у борбеним дејствима (руски Уран-9 [СКБ МОРФ n.d.]) или *Milrem Robotics Type-X* [Milrem Robotics n.d.], као и у самоуништавајућим мисијама (украјински *Ratel-S Global Defense News Army Recognition Group* [GDNARG] 2024, за противоклопну борбу). Још један аспект примене беспосадних аутономних возила односи се на реализацију логистичких задатака (снабдевање муницијом, медицинском опремом

и другим) и то нарочито у ситуацијама када је степен угрожености људске посаде повишен. Додатно, беспосадна возила могу бити опремљена и уређајима за електронско ратовање, па као таква могу се користити и у мисијама електронског ометања противничких или електронске заштите сопствених снага.

Све наведене примене беспосадних возила, како у борбеним, тако и у неборбеним задацима и мисијама војске доноси промене у оперативним и тактичким радњама и поступцима. У случајевима напада, употреба ових возила у почетним фазама нападних дејстава омогућавају смањено излагање ризику људства приликом напредовања према положају противника, као и подршку класичним оклопним и механизованим јединицама. Коришћењем беспосадних возила у случајевима координисаног напада више самосталних јединица на један циљ (напад роја беспосадних возила – *swarm*) омогућава ефикасну употребу снага ради уништења противничких циљева високог значаја (бункери, командни центри и друго). При свему овоме, не треба ни занемарити психолошки ефекат на морал противника када се на бојишту бори против беспосадних аутономних система. При извођењу одбрамбених борбених дејстава, беспосадна возила се могу користити у дежурству на првој линији ради ефикасне употребе снага и процене ситуације на бојишту и јачине снага и маневра противника. Поред тога, употребом ових система смањује се могућност тактичког изненађења противничких снага, док самоуништавајућа беспосадна возила омогућавају нове облике противоклопне борбе. Предности употребе беспосадних платформи у мисијама извиђања противничких снага огледају се пре свега у повећаној борбеној издржљивости ових система на бојном пољу услед чињенице да се ови системи теже откривају, као и добијању и обради информација о противничким снагама у реалном времену, што је од изузетног значаја за одлуке команданта и извођење борбених дејстава. У логистичком смислу, борбене платформе омогућавају бољу заштиту снага приликом дотура муниције и других логистичких потреба јединицама у непосредном борбеном контакту, као и могућности за извлачење рањених и повређених из непосредног борбеног контакта. Као један од најкомплекснијих садржаја борбених дејстава издваја се урбано ратовање, па се беспосадне платформе могу користити у ватреној подршци сопствених снага у уским пролазима и улицама, као и елемената извиђања борбеног распореда противника стационарним у зградама и пролазима пре наступања

сопствених снага. Услед брзог прилагођења променљивим условима извођења борбених дејстава (непријатељска активност, промена временских услова или специфични задаци које захтевају прецизну навигацију кроз тешке терене), беспосадне платформе омогућавају висок степен флексибилности у планирању и извршавању операција.

Међутим, прелазак на беспосадне аутономне системе доноси и изазове у погледу сигурности употребе, етике и тактике. Наиме, беспосадне платформе су рањиве на електронско ометање и обмањивање, те ометање везе система са управљачком станицом може довести до прекида управљања њеним радом. Поред тога, постојање могућности преузимањем контроле над беспосадним системом од стране противника представља посебан изазов у њиховој употреби и захтева унапређење система сајбер безбедности. Такође, беспосадна возила малих димензија су осетљива на директне поготке из пешадијског наоружања и имају ограничену аутономију рада услед извора енергије релативно малог капацитета. Вероватноћа правилне класификације циљева код аутоматске детекције и класификације циљева није у потпуности сигурна, што значи да постоји могућност погрешне класификације циљева (на пример цивилно возило се може детектовати као војно возило), док се отказ беспосадних платформи може догодити у критичним тренуцима мисије. Са становишта етичких разматрања беспосадна аутономна возила дехуманизују ратна дејства и поставља се питање да ли овакви системи могу одлучивати о смрти или рањавању противника. Питање одговорности грешака ових борбених система остаје отворено: да ли се за евентуалне цивилне жртве и штету на цивилној инфраструктури може сматрати одговорним командант, програмер или оператор беспосадног система.

На основу наведеног може се нагласити да аутономна возила трансформишу војну тактику и операције, омогућавајући брже, сигурније и ефикасније извршавање задатака, али истовремено постављају нове изазове у погледу безбедности, регулације и стратегије и тактике ратовања.

ИЗАЗОВИ У ПРОЈЕКТОВАЊУ СИСТЕМА ВОЂЕЊА И УПРАВЉАЊА

Са становишта техничког развоја, пројектовање система вођења и система управљања беспосадним аутономним возилом укључује различите изазове, при чему оба система имају посебне задатке при

одговарајућем нивоу аутономног кретања. Систем вођења је задужен за перцепцију окружења и планирање путање. Он прикупља и обрађује податке са интегрисаних сензора возила, како би креирао модел окружења и одреди оптималну руту кретања за различите сценарије аутономног кретања. Овај систем обезбеђује кључне податке за систем управљања, укључујући информације о положају возила, препрекама и динамичким променама у окружењу. Главни изазови у погледу пројектовања и имплементације система вођења укључују обраду података у реалном времену, тачност перцепције окружења и противника у неповољним условима и доношење одлука у сложеним ситуацијама. У другу руку, систем управљања је одговоран за извршавање задатих инструкција које долазе из система вођења. На основу планиране путање, он контролише актуаторске компоненте (управљање, погон и кочење) како би возило прецизно следило задату путању. Кључни изазови укључују прецизну регулацију брзине и правца, робусност у условима променљивог оптерећења и отпорност система на непредвиђене поремећаје. Такође, систем управљања мора бити отпоран на кварове и осигурати стабилност возила у свим режимима рада. Повезаност ова два система аутономног кретања и њихова ефикасна интеграција кључни су за безбедно и поуздано функционисање беспасадних возила.

Изазови у пројектовању система вођења

Постизање високих нивоа аутономије кретања поставља значајне изазове при пројектовању система вођења беспасадног возила, нарочито за сложене задатке аутономног кретања уз висок ниво перцепције окружења, као што су кретање по задатој путањи, кретање до задатих координата у простору, праћење лидера који се креће испред или иза возила, детекција, препознавање и избегавање препрека при кретању, препознавање снага противника и оцена степена њихове претње и друге. Реализација оваквих система захтева прецизно познавање тренутне позиције возила у простору, као и познавање окружења и елемената од интереса који се налазе у окружењу. Да би се то постигло, најчешће је неопходна интеграција података са различитих типова сензора широког фреквенцијског опсега, као и пројектовање и имплементација алгоритама за обраду података сензора у реалном времену. Тако на пример, при задатку кретања по задатој путањи или до задате координате у простору

неопходна је интеграција и обрада података инерцијалних сензора и сензора глобалног позиционирања, док задаци праћења лидера, детекције, препознавања и избегавања препрека захтевају примену оптичких, ласерских и/или радарских сензора. Такође, у случају детекције и праћења дефинисане путање, аутономна возила морају бити способна за функционисање у окружењима где путање нису јасно дефинисане и где различите препреке могу наметнути ограничења у видном пољу сензора возила. Кључни изазов при пројектовању алгоритама вођења је генерисање оптималне путање возила у динамичким и непредвидивим окружењима, са минимизацијом потрошње енергије, као и робусношћу на грешке и шуме у подацима сензора. Поред тога, имајући у виду захтеве за радом у реалном времену, неопходна је и оптимизација рачунске сложености алгорита, јер рачунски захтевни алгоритми захтевају велике ресурсе реализационог хардвера, што подиже цену беспосадног возила. Поред тога, системи вођења понекад захтевају додатне функционалности, као што је препознавање људских покрета и гестова, или покрета и формација других беспосадних возила, што додатно усложњава пројектовање и реализацију система. Поменути изазови наглашавају потребу за системом вођења који користи робусне алгоритме и који има способност да се прилагоди променљивим условима окружења и неочекиваним поремећајима.

Изазови у пројектовању система управљања

Пројектовање система управљања беспосадним возилима поставља високе захтеве, пре свега због сложене динамике и кинематике кретања, као и најчешће променљиве интеракције погонских актуатора са тереном, што доводи до ефекта проклизавања погонских точкова/гусеница и/или бочног и уздужног клизања возила. Нелинеарни ефекти, временски променљиви параметри, утицај променљивих оптерећења и различити терени отежавају прецизно моделовање кретања возила, па алгоритми управљања морају бити робусни на различите типове поремећаја, непознавање и нестационарности модела објекта управљања.

Поред робусности, намеће се и захтев за високим перформансама у току аутономног кретања. То значи да систем управљања мора обезбедити прецизно праћење задате путање, стабилност и брзе реакције на промене у окружењу. Међутим,

постићи високе перформансе често захтева сложене алгоритме, што доноси изазов у балансирању између сложености реализације и ефикасности система. Превише комплексни алгоритми могу бити рачунарски захтевни, што отежава њихову имплементацију на хардверима са ограниченим ресурсима.

Још један од кључних аспеката је енергетска ефикасност пројектованог система. Наиме, управљање беспосадним возилом не треба само да осигура стабилност и прецизност, већ и да минимизује потрошњу енергије, посебно код електричних возила са ограниченим изворима напајања. То подразумева интелигентне стратегије управљања које смањују непотребну потрошњу енергије кроз оптимизују употребу погонских склопова и смањење непотребних убрзања и кочења возила.

На основу наведеног, може се закључити да пројектовани систем управљања мора задовољити баланс између робусности, перформанси, сложености и енергетске ефикасности, како би омогућио сигурно, стабилно и економично аутономно кретање беспосадних возила у различитим условима рада. Сходно томе, јасно је да у већини случајева стандардне индустријске управљачке методе не могу дати задовољавајуће карактеристике система, односно да развој одговарајућег управљачког система захтева примену напредних техника управљања, попут адаптивног, робусног и интелигентног управљања.

ПОТРЕБЕ ЗА НОВИМ КОМПЕТЕНЦИЈАМА ВОЈНОГ КАДРА

Беспосадни аутономни системи су доступни на тржиштима, али набавка самих система или њихових компоненти се у највећем броју случајева сматра набавком средстава наоружања и војне опреме, што захтева обезбеђење посебних дозвола и *end-user* сертификата, па сходно томе може бити предмет рестрикција или технолошких ограничења приликом испорука. Приступ кључним војним технологијама, пре свега наоружања и војне опреме (у које између осталог спадају и беспосадни аутономни системи) се може ограничити у кризним ситуацијама и зато набавка ових система представља стратешки безбедносни ризик. Као алтернатива самом увозу већ развијених средстава и технологија, намеће се самостална производња ових технологија у чијем развоју кључну

улогу има високообразовани стручни професионални војни кадар који поседује неопходна знања у области пројектовања беспосадних аутономних платформи и одржавања и ефикасне употребе у борбеним и неборбеним ситуацијама. Један од неопходних корака у обезбеђењу професионалног кадра спремног да се посвети решавању проблема пројектовања и експлоатације сложених система, а пре свега беспосадних аутономних платформи, је модификација постојећих или дефинисање нових студијских програма војних школа и академије у складу за наметнутим изазовима.

Једна од основних савремених теорија у високом образовању базира се на дефинисању потребних компетенција за одговарајући кадар (Dragoo 2016, 2; Dyson 2019, 2). Примена оваквог приступа је неопходна и при постављању захтева за знањем будућих официра за обављање почетних дужности, односно за дефинисање структуре студијских програма војних школа и академија. У претходно описаном контексту убрзаног развоја и употребе беспосадних аутономних система у војним операцијама, Војна академија, Универзитета одбране у Београду, мора размотрити настале изазове и у складу са тим потребама модификовати постојеће и предложити нове студијске програме. Као што је већ напоменуто, беспосадне аутономне платформе представљају сложене системе за чије су пројектовање, одржавање и употребу потребна додатна знања из области електротехничког и рачунарског инжењерства (пројектовање алгоритама вођења и управљања овим возилима, као и методе и технике обраде података са различитих сензора који се налазе на овим возилима и примена техника вештачке интелигенције ради њиховог аутономног кретања у извршавању мисија и задатака, разумевање начина функционисања оваквих система и њихова ефикасна примена) и машинског инжењерства (пројектовање погонске групе, као и елемената трансмисије и материјала која обезбеђује довољну заштиту ових возила, као и разумевање машинских склопова возила што омогућава њихову ефикасну употребу). Може се закључити да завршетком школовања будући официри треба да поседују способности анализе, синтезе и предвиђања решења и могућих последица, као и овладавају методама, поступцима и процесима логичког размишљања у циљу решавања проблема развоја, одржавања и експлоатацији беспосадних аутономних платформи. Додатно, имајући у виду комплексност аутономних система и њихов убрзани технолошки напредак, потребно

је развијати и способност комуникације свршених кадета, не само са ужим радним и социјалним окружењем, већ и са широм академском и научном заједницом у циљу преношење и унапређења знања и вештина из разматране области.

На основу ових потреба за образовањем високостручног професионалног кадра, могу се идентификовати следеће кључне области који би требало да употпуне постојеће наставне планове и студијске програме:

Мехатроника и аутономни системи – беспосадна возила су комплексни мехатронички системи који комбинују механичке структуре, актуаторске склопове, сензорске системе и рачунарско управљање. Неопходно је да официри стекну основна и напредна знања из ове области како би разумели принцип функционисања возила и његовог ефикасног управљања.

Напредне технике аутоматског управљања – због сложене динамике и кинематике кретања аутономних возила, класичне технике управљања често нису довољне. Потребно је увести садржаје везане за робусно и адаптивно управљање, предиктивне методе управљања, алгоритме оптимизације путањи и вештачку интелигенцију за доношење одлука у реалном времену.

Напредни системи вођења и навигације – прецизно позиционирање беспосадних возила захтева комбинацију више технологија, укључујући *GPS*, инерцијалне навигационе системе, и друге методе дефинисања позиције возила. Будући официри морају разумети како ови системи функционишу, принципе фузије података и методе генерисања оптималне путање.

Обрада сензорских података и вештачка интелигенција – аутономна возила користе различите типове сензора за перцепцију окружења, па је од нарочитог интереса образовање официра у обради и анализи података прикупљеним сензорима који раде у различитим деловима електромагнетног спектра, као и у развоју и имплементацији алгоритама вештачке интелигенције, а нарочито машинског учења за препознавање објеката и доношење одлука у реалном времену.

Тактика употребе – тактичке примене беспосадних система захтевају да поред техничких знања, будући официри разумеју могућности и предности које доносе беспосадни аутономни системи у односу на конвенционално наоружање. Ово укључује нове стратегије и тактику за извиђање, логистичку подршку, борбене

операције и интеграцију аутономних платформи са постојећим системима наоружања.

Поред дефинисаних стручно-специјалистичких и апликативних знања, додатну пажњу је потребно посветити и развоју високо мотивисане личности будућег официра и развијању његових лидерских способности у свом непосредном радном окружењу. Како би се овај циљ остварио, потребно је и ревалоризација улоге морала војске, војне психологије и других области војних друштвених наука, како би се имплементирала знања и развила високо мотивисана личност официра и дали одговори на етичке изазове примене нових технологија, пре свега вештачке интелигенције, што је изузетно изражено у беспосадним аутономним системима.

Сходно наведеном, јасно је да Војну академију у ближој будућности очекује акредитација нових студијских програма и један од императива развоја нових курикулума представља идентификација нових технолошких изазова и безбедносних претњи, као и дефинисање потребних знања војног кадра, у склопу пружања одговора на њих, а у циљу одбране независности и самосталности Републике Србије.

ЗАКЉУЧАК

У овом раду анализирана је употреба и изазови у развоју беспосадних аутономних возила. Поред тога, идентификована су потребна знања војног кадра неопходна за пројектовање, експлоатације и одржавања оваквих система. Сагледани су основни аспекти тактичке и оперативне употребе у војним операцијама, као и правци развоја беспосадних аутономних возила, кроз призму пројектовања система вођења и управљања возилом. У погледу потребних компетенција војног кадра, може се закључити да је неопходно развијати различита знања, мултидисциплинарна и интердисциплинарна, која су неопходна како би се разумели и искористили сви бенефити аутономних система, а такође и омогућило унапређење тренутних способности. Сходно томе, знања и искуства стечена током овог истраживања представљаће основу за модификацију постојећих и имплементацију нових студијских програма у оквиру система војног школства.

Даљи правци истраживања односиће се на изазове пројектовања експертских система за подршку одлучивању у доношењу војних

одлука заснованих на вештачкој интелигенцији, што ће додатно унапредити могућности аутономних система и додатно дефинисати потребне компетенција будућих официра у супротстављању изазовима и претњама безбедности у будућности.

РЕФЕРЕНЦЕ

- СКБ МОРФ. n.d. “Уран-9.” *СКБ МОРФ*. Poslednji pristup 18. april 2025. <https://skbmo.ru/uran9.html>.
- Army Technology. 2020. “Talon Tracked Military Robot.” *Army Technology*. February 21, 2020. <https://www.army-technology.com/projects/talon-tracked-military-robot/>.
- Arquilla, John. 2021. *Bitzkrieg: the new challenge of cyberwarfare*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Boretti, Alberto. “Unmanned surface vehicles for naval warfare and maritime security.” *The Journal of Defense Modeling and Simulation* 1–10. DOI: 10.1177/15485129241283056.
- Boyd, John R. 2018. *A discourse on winning and losing*. AL: Air University Press.
- Brose, Christian. 2020. *The kill chain: Defending America in the future of high-tech warfare*. New York: Grand Central Publishing.
- Clausewitz, Carl von. 2021. *On War (Vom Kriege)*. Oklahoma: Mosaic Books.
- Đorić, Marija, i Vanja Glišin. 2023. „Upotreba veštačke inteligencije u rusko-ukrajinskom ratu.” *Politika nacionalne bezbednosti* 25 (2): 59–76. DOI: 10.5937/pnb25-47369.
- Dragoo, Amie, and Richard Barrows. 2016. “Implementing competency-based education: Challenges, strategies, and a decision-making framework.” *The Journal of Continuing Higher Education* 64 (2): 73–83.
- Dyson, Tom. 2019. “The Military as a learning organisation: establishing the fundamentals of best-practice in lessons-learned.” *Defence Studies* 19 (2): 107–129.
- Frunze, Mikhail V. 2019. “A Unified Military Doctrine for the Red Army.” In *The Soviet Art Of War*, eds. Harriet Fast Scott and William Scott, 27–31. London: Routledge.
- Gao, Sheng, Jiazheng Wu, and Jianliang Ai. 2021. “Multi-UAV reconnaissance task allocation for heterogeneous targets using

- grouping ant colony optimization algorithm.” *Soft Computing* 25 (10): 7155–7167.
- Global Defense News Army Recognition Group [GDNARG]. 2024. “Ukrainian Forces Revolutionize Robotic Warfare Using Ratel-S Ground Robot for Bridge Destruction.” *Global defense news*. April 7, 2024. <https://armyrecognition.com/focus-analysis-conflicts/army/conflicts-in-the-world/russia-ukraine-war-2022/ukrainian-forces-use-ratel-s-ground-robot-to-revolutionize-robotic-warfare-in-bridge-destruction>.
- Himmel, Damian. 2024. *Generalfeldmarschall Helmuth von Moltke (1800–1891)*. Geschichte: Polen–Schlesien–Deutschland–Europa.
- Huang, Qian, Xianming Ma, Kun Liu, Xinyi Ma, and Weijian Pang [Huang et. al]. 2022. “Autonomous reconnaissance action of swarm unmanned system driven by behavior tree.” In *IEEE International Conference on Unmanned Systems [ICUS]*, 1540–1544. Guangzhou: IEEE.
- Miljković, Milan, i Hatidža Beriša. 2023. „Primena veštačke inteligencije u savremenom ratovanju.” *Politika nacionalne bezbednosti* 25 (2): 77–98. DOI: 10.5937/pnb25-46935.
- Milrem Robotics. n.d. “THEMIS.” *Milrem Robotics*. Poslednji pristup 18. april 2025. <https://milremrobotics.com/themis-family/>.
- Milrem Robotics. n.d. “Type-X.” *Milrem Robotics*. Poslednji pristup 18. april 2025. <https://milremrobotics.com/type-x-2/>.
- Rapin, Ami-Jacques. 2023. “Rethinking Lines of Operations: Jomini’s Contribution to the Conceptualization of Strategy in the Early Nineteenth Century.” *War in History* 30 (1): 21–37.
- Rubio, Francisco, Francisco Valero, and Carlos Llopis-Albert. 2019. “A review of mobile robots: Concepts, methods, theoretical framework, and applications.” *International Journal of Advanced Robotic Systems* 16 (2). DOI: 10.1177/1729881419839596.
- Sethi, Ishvar K. 2024. *Autonomous Vehicles and Systems: A Technological and Societal Perspective*. New York: Routledge.
- Singer, Peter Warren. 2009. *Wired for war: The robotics revolution and conflict in the 21st century*. London: Penguin.
- Strategija opštenarodne odbrane i društvene samozaštite SFRJ*. 1987. Beograd: Savezni sekretarijat za narodnu odbranu i Centar oružanih snaga za strategijska istraživanja i studije „Maršal Tito”.
- Wang, Gang, Xiao Lv, Liangzhong Cui, and Xiaohu Yan [Wang et al.]. 2023. “The methods of task pre-allocation and reallocation for

- multi-UAV cooperative reconnaissance mission.” *IET Collaborative Intelligent Manufacturing* 5 (4): 1–16. DOI: 10.1049/cim2.12090.
- Zhao, Yongyong, Jinghua Wang, Guohua Cao, Yi Yuan, Xu Yao, and Luqiang Qi [Zhao et al.]. 2023. “Intelligent control of multilegged robot smooth motion: a review.” *IEEE Access* 11: 86645–86685.
- Zou, Ting, Jorge Angeles, and Ferri Hassani. 2018. “Dynamic modeling and trajectory tracking control of unmanned tracked vehicles.” *Robotics and Autonomous Systems* 110: 102–111. DOI: 10.1016/j.robot.2018.09.008.

Momir Stanković*

*Military academy, University of Defence,
Belgrade, Republic of Serbia*

Dimitrije Bujaković**

*Military academy, University of Defence,
Belgrade, Republic of Serbia*

**UNMANNED AUTONOMOUS VEHICLES:
CHALLENGES IN DEVELOPMENT
AND MILITARY APPLICATIONS AND THE
NEED FOR NEW COMPETENCIES
OF MILITARY PERSONNEL*****

Resume

The development of unmanned autonomous vehicles represents one of the most dynamic directions of contemporary technological evolution, with increasingly widespread applications in the civilian and primarily the military domain. Although *unmanned and autonomous vehicles* are often used interchangeably, this paper highlights their essential distinction and the importance of integrated decision-making capabilities for achieving full autonomy. Modern trends in the production of sensors, communication, and power components have enabled the development of complex systems for environmental perception, path planning, and motion control, significantly influencing the transformation of concepts in military operations. The paper analyzes the historical development of unmanned autonomous vehicles, the levels of their autonomy, and their impact on the execution of modern military operations. Considering the pace of technological advancement and achievements, an even more intensive use of autonomous systems can be expected in future armed conflicts, which imposes the need to define the required knowledge and

* E-mail address: momir.stankovic@va.mod.gov.rs; ORCID: 0000-0001-8371-9341.

** E-mail address: dimitrije.bujakovic@va.mod.gov.rs; ORCID: 0000-0001-7053-9293.

*** The paper is a result of research conducted in the project of the Ministry of Defence of the Republic of Serbia: Design of an expert system based on artificial intelligence for assessing the situation on the battlefield (BA-TT/1/25-27).

competencies for military personnel involved in their development and operational use. These competencies include mechatronics, automatic control, guidance, artificial intelligence, deployment tactics, logistical support, and others. The paper recognizes the need to enhance military education by integrating technological innovations and developing new academic programs to train personnel capable of creating, maintaining, and efficiently operating unmanned autonomous systems in a dynamic security environment.

Keywords: Unmanned Autonomous Vehicle, Control system design, Guidance system design, Military application of Unmanned Autonomous Vehicle, Military education.

* Овај рад је примљен 22. априла 2025. године, а прихваћен за штампу на састанку Редакције 14. маја 2025. године.