

**НАУЧНО НАПРАВЛЕНИЕ
„ТЕХНИЧЕСКИ НАУКИ”**

EXPLORING THE NEXUS OF SITUATIONAL AWARENESS AND UAV OPERATIONS: A COMPREHENSIVE ANALYSIS

Todor Koritarov

Nikola Vaptsarov Naval Academy, e-mail: t.koritarov@nvna.eu,
t.koritarov@naval-acad.bg, mobile phone: +359887466695

Abstract: *This research examines the role of situational awareness (SA) in decision-making, safety, risk management, and operational efficiency in unmanned aerial vehicle (UAV) operations. In accordance with Endsley's three-level model, the study underscores the dynamic nature of SA and its impact on safety and efficiency. The following areas of SA significance in UAV operations have been identified: decision-making, risk management, operational efficiency, adaptability, technology integration, training, environmental monitoring, emergency responses, and regulatory compliance. As UAV technology continues to advance, the incorporation of sophisticated safety and effectiveness enhancing SA capabilities will become increasingly vital. In conclusion, it can be stated that SA is of great importance in determining the future direction of UAV technology and its applications.*

Keywords: *Situational Awareness, UAV Operations, Decision-making, Safety, Risk Management, Operational Efficiency*

1. Introduction

Situational awareness (SA) is a fundamental concept in risk-related industries. It can be defined as the ability to perceive and comprehend the elements within one's environment, to discern their significance, and to anticipate their status in the near future. The capacity for effective decision-making and risk management across several sectors, such as aviation, healthcare, and emergency response, is contingent upon the ability to maintain a clear grasp of changing environments.

The theoretical foundation of SA has been significantly shaped by Endsley's three-level model, which emphasizes the evolving attributes of SA and its influence on safety outcomes and operational efficacy. The integration

of advanced SA features into unmanned aerial vehicle (UAV) operations is of paramount importance for the enhancement of efficiency and safety in UAV activities across a range of sectors.

The goal of this research is to examine the impact of SA on decision making, safety, risk management, and operational efficiency in UAV operations. The paper's research question is: How does SA enhance decision-making, safety, risk management, and operational efficiency in UAV operations?

The objective of this research is to investigate the role of situational awareness in UAV operations and its impact on decision-making, safety, risk management, and operational efficiency.

The research hypothesis is that UAV operations with advanced situational awareness capabilities will demonstrate enhanced decision-making, safety, risk management, and operational efficiency compared to UAV operations without such capabilities.

2. Situational awareness in risk industries: applications and implications

Situational awareness (SA) is a fundamental concept in risk-related industries. It can be defined as the ability to recognize elements within the environment, understand their significance, and anticipate their condition in the near future^{754 755}. This concept has gained traction across a range of sectors, including aviation, healthcare, and emergency response. In these fields, the ability to rapidly assess and adapt to evolving environments is vital for informed decision-making and effective risk management^{756 757}.

⁷⁵⁴ T. Nguyen, C. P. Lim, N. D. Nguyen, L. Gordon-Brown, and S. Nahavandi, „A Review of Situation Awareness Assessment Approaches in Aviation Environments,” *IEEE Syst J*, vol. 13, no. 3, pp. 3590–3603, Sep. 2019, doi: 10.1109/JSYST.2019.2918283.

⁷⁵⁵ H. Yekita, D. Pati, and D. K. Hamilton, „Could Spatial Awareness Affect Situation Awareness: A Conceptual Examination,” *HERD: Health Environments Research & Design Journal*, vol. 17, no. 1, pp. 270–286, Jan. 2024, doi: 10.1177/19375867231192116.

⁷⁵⁶ N. A. Stanton, P. R. G. Chambers, and J. Piggott, „Situational awareness and safety,” *Saf Sci*, vol. 39, no. 3, pp. 189–204, Dec. 2001, doi: 10.1016/S0925-7535(01)00010-8.

⁷⁵⁷ P. W. Brady and L. M. Goldenhar, „A qualitative study examining the influences on situation awareness and the identification, mitigation and escalation of recognised patient risk,” *BMJ Qual Saf*, vol. 23, no. 2, pp. 153–161, Feb. 2014, doi: 10.1136/bmjqs-2012-001747.

The conceptual basis of SA was significantly shaped by Endsley, who introduced a three-tiered model delineating the components of SA: „*perception, comprehension, and projection*”^{758 759}. This model elucidates the evolving aspect of SA, as it adapts to shifting environmental conditions and necessitates ongoing information updates^{760 761}. In high-stakes settings such as aviation and healthcare, the ability to maintain elevated SA can have a significant impact on both safety outcomes and operational effectiveness^{762 763}. Effective communication and a shared understanding are essential for surgical teams in order to cultivate a shared situational awareness and thereby improve patient safety⁷⁶⁴.

In emergency response situations, it is of the utmost importance for first responders to maintain SA in order to ensure their safety and the safety of others in dangerous conditions. The ability to rapidly assess the situation, discern the relevance of various elements, and anticipate potential future developments is crucial for ensuring the safety of both responders and

⁷⁵⁸ M. R. Endsley, „Situation Awareness Misconceptions and Misunderstandings,” *J Cogn Eng Decis Mak*, vol. 9, no. 1, pp. 4–32, Mar. 2015, doi: 10.1177/1555343415572631.

⁷⁵⁹ B. Nagaria and T. Hall, „Reducing Software Developer Human Errors by Improving Situation Awareness,” *IEEE Softw*, vol. 37, no. 6, pp. 32–37, Nov. 2020, doi: 10.1109/MS.2020.3014223.

⁷⁶⁰ Z. Pei et al., „Factors Affecting the Situational Awareness of Armored Vehicle Occupants,” *Sensors*, vol. 24, no. 11, p. 3688, Jun. 2024, doi: 10.3390/s24113688.

⁷⁶¹ M. R. Endsley, „Situation Awareness Misconceptions and Misunderstandings,” *J Cogn Eng Decis Mak*, vol. 9, no. 1, pp. 4–32, Mar. 2015, doi: 10.1177/1555343415572631.

⁷⁶² P. W. Brady and L. M. Goldenhar, „A qualitative study examining the influences on situation awareness and the identification, mitigation and escalation of recognised patient risk,” *BMJ Qual Saf*, vol. 23, no. 2, pp. 153–161, Feb. 2014, doi: 10.1136/bmjqs-2012-001747.

⁷⁶³ S. B. Orique and L. Despins, „Evaluating Situation Awareness: An Integrative Review,” *West J Nurs Res*, vol. 40, no. 3, pp. 388–424, Mar. 2018, doi: 10.1177/0193945917697230.

⁷⁶⁴ A. Bleakley, J. Allard, and A. Hobbs, „‘Achieving ensemble’: communication in orthopaedic surgical teams and the development of situation awareness—an observational study using live videotaped examples,” *Advances in Health Sciences Education*, vol. 18, no. 1, pp. 33–56, Mar. 2013, doi: 10.1007/s10459-012-9351-6.

civilians⁷⁶⁵. The utilisation of augmented reality tools has been demonstrated to enhance situational awareness for first responders, facilitating the provision of real-time information and visual indicators^{766 767}. This, in turn, has been shown to optimise operational efficiency during emergency situations^{768 769}.

Moreover, SA is not exclusive to human users. It is being increasingly integrated into automated systems and applications of artificial intelligence. For example, frameworks have been developed for industrial control systems that employ situational awareness to enhance cybersecurity strategies and operational resilience^{770 771 772}.

The theory of SA is of paramount importance in risk-related industries, as it facilitates the ability to make well-informed decisions within complex and rapidly evolving environments. The theory of SA is applicable across a range of

⁷⁶⁵ I. Gkika, D. Pattas, K. Konstantoudakis, and D. Zarpalas, „Object Detection and Augmented Reality Annotations for Increased Situational Awareness in Light Smoke Conditions,” in Proceedings of the 20th International ISCRAM Conference, May 2023. doi: 10.59297/YOMA9043.

⁷⁶⁶ I. Gkika, D. Pattas, K. Konstantoudakis, and D. Zarpalas, „Object Detection and Augmented Reality Annotations for Increased Situational Awareness in Light Smoke Conditions,” in Proceedings of the 20th International ISCRAM Conference, May 2023. doi: 10.59297/YOMA9043.

⁷⁶⁷ M. Naderpour, J. Lu, and G. Zhang, „A situation risk awareness approach for process systems safety,” *Saf Sci*, vol. 64, pp. 173–189, Apr. 2014, doi: 10.1016/j.ssci.2013.12.005.

⁷⁶⁸ I. Gkika, D. Pattas, K. Konstantoudakis, and D. Zarpalas, „Object Detection and Augmented Reality Annotations for Increased Situational Awareness in Light Smoke Conditions,” in Proceedings of the 20th International ISCRAM Conference, May 2023. doi: 10.59297/YOMA9043.

⁷⁶⁹ M. Naderpour, J. Lu, and G. Zhang, „A situation risk awareness approach for process systems safety,” *Saf Sci*, vol. 64, pp. 173–189, Apr. 2014, doi: 10.1016/j.ssci.2013.12.005.

⁷⁷⁰ Y. Wang, T. Zhang, and Q. Ye, „Situation awareness framework for industrial control system based on cyber kill chain,” *MATEC Web of Conferences*, vol. 336, p. 02013, Feb. 2021, doi: 10.1051/matecconf/202133602013.

⁷⁷¹ J. Webb, A. Ahmad, S. B. Maynard, and G. Shanks, „A situation awareness model for information security risk management,” *Comput Secur*, vol. 44, pp. 1–15, Jul. 2014, doi: 10.1016/j.cose.2014.04.005.

⁷⁷² M. Park, H. Oh, and K. Lee, „Security Risk Measurement for Information Leakage in IoT-Based Smart Homes from a Situational Awareness Perspective,” *Sensors*, vol. 19, no. 9, p. 2148, May 2019, doi: 10.3390/s19092148.

fields, including healthcare, emergency response, maritime industry^{773 774 775}, and industrial control systems. Its implementation can enhance safety and operational effectiveness.

Building on a foundational comprehension of SA within risk-related industries, the author now shifts the focus to its particular relevance in UAV operations. The following section will examine the diverse importance of SA in this rapidly advancing sector, where the combination of cutting-edge technologies and human cognitive abilities introduces distinct challenges and opportunities. As unmanned aerial vehicles (UAVs) become increasingly prevalent in both civilian and military contexts, it is imperative to maintain comprehensive situational awareness in order to guarantee operational success, safety, and compliance with regulations.

3. The multifaceted significance of situational awareness in UAV operations

SA is a critical competency for UAV pilots, particularly in complex operational environments. The significance of SA can be classified into several principal categories, each of which elucidates its function in enhancing operational efficacy, safety, and decision-making abilities.

3.1. Enhanced Decision-Making

SA is a critical factor for UAV pilots, as it provides essential information for making informed decisions in real-time. The ability to recognize and

⁷⁷³ D. Dimitrakiev, D. Milev, and E. Gunes, „The Risk Analysis of Chemical Tankers Passing Through the Turkish Straits between 2010 – 2022,” *Strategies for Policy in Science and Education-Strategii na Obrazovatelna i Nauchna Politika*, vol. 31, no. 3s, pp. 45–55, Jun. 2023, doi: 10.53656/str2023-3s-3-the.

⁷⁷⁴ S. Dimitrakieva, D. Milev, and C. Atanasova, „Voyage of Learning: Cruise Ships Weather Routing and Maritime Education,” *Strategies for Policy in Science and Education-Strategii na Obrazovatelna i Nauchna Politika*, vol. 31, no. 6s, pp. 48–55, Dec. 2023, doi: 10.53656/str2023-6s-4-voy.

⁷⁷⁵ B. Belev, A. Penev, Đ. Mohović, and A. Perić Hadžić, „Autonomous ships in maritime education model course 7.01,” *Pomorstvo*, vol. 35, no. 2, pp. 388–394, Dec. 2021, doi: 10.31217/p.35.2.20.

⁷⁷⁶ B. Belev, „Life Long Learning Strategy For Adopting The Education And Training Standards In Maritime Industry,” *Pedagogika-Pedagogy*, Jun. 2021, doi: 10.53656/ped2021-5.04.

comprehend the operational environment allows pilots to anticipate potential challenges and respond in an appropriate manner. For instance, Gokbel and Ersoy indicate that rotary-wing UAVs are often employed in emergency response scenarios where expeditious decision-making is vital for mission accomplishment and safety⁷⁷⁷. Furthermore, Fave et al. highlight that SA enables first responders to rapidly assess disaster zones, thereby facilitating timely and effective responses⁷⁷⁸. This capacity is crucial in dynamic environments where circumstances can evolve rapidly, necessitating swift and accurate decision-making.

3.2. Improved Safety and Risk Management

By maintaining an elevated level of environmental awareness, UAV operators are able to identify potential hazards, such as obstacles or other aircraft, and take proactive measures to prevent accidents. Rehder et al. assert that human error, often exacerbated by inadequate SA, is a principal cause of UAV accidents⁷⁷⁹. It is, therefore, imperative that pilots develop SA in order to effectively manage risks. This enables them to navigate complex environments in a safe and controlled manner, thereby reducing the likelihood of accidents.

3.3. Operational Efficiency

By comprehending the surrounding environment and the interactions involved, pilots can optimize flight routes, conserve resources, and enhance mission outcomes. As an example, Kyrkou and Theocharides illustrate how deep learning methodologies can augment SA in emergency response contexts,

⁷⁷⁷ E. Gokbel and S. Ersoy, „Launchable rotary wing UAV designs and launch mechanism designs for rotary wing UAV,” *Journal of Mechatronics and Artificial Intelligence in Engineering*, vol. 2, no. 2, pp. 102–113, Dec. 2021, doi: 10.21595/jmai.2021.22339.

⁷⁷⁸ F. M. Delle Fave, A. Farinelli, A. Rogers, and N. R. Jennings, „A Methodology for Deploying the Max-Sum Algorithm and a Case Study on Unmanned Aerial Vehicles,” *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, vol. 26, no. 2, pp. 2275–2280, Jul. 2012, doi: 10.1609/aaai.v26i2.18969.

⁷⁷⁹ I. de S. Rehder, A. Sarmento, A. C. Russo, M. M. Cardoso Junior, and E. Villani, „A human-machine interface analysis: Under critical operation scenario,” in *Anais Estendidos do XXII Simpósio Brasileiro de Fatores Humanos em Sistemas Computacionais (IHC 2023)*, Sociedade Brasileira de Computação, Oct. 2023, pp. 27–30. doi: 10.5753/ihc_estendido.2023.233135.

thereby enabling UAVs to autonomously survey areas affected by disasters and utilize their operational capabilities in an optimal manner⁷⁸⁰. In situations where resources are limited, it is of paramount importance to ensure that each flight has the greatest possible impact.

3.4. Coordination and Collaboration

In operations involving multiple UAVs, it is of paramount importance to have a clear understanding of the situation in order to facilitate effective coordination among the various drones and pilots involved. The capacity to exchange and analyze situational information enhances teamwork, enabling UAVs to function together in a seamless and coordinated manner during intricate missions. Zolich et al. emphasize the necessity of a unified network framework that facilitates data communication between UAVs and their controllers, thereby enhancing SA and mission oversight⁷⁸¹. The capacity of UAVs to operate collectively is of primary importance in scenarios such as search and rescue missions, where covering large areas requires multiple UAVs to work together.

3.5. Adaptability to Changing Environments

Situational awareness enables UAV pilots to respond in an effective and timely manner to rapidly evolving circumstances. This flexibility is of particular importance in military operations, where circumstances may change unexpectedly. The research conducted by Yang et al. demonstrates that UAVs equipped with advanced SA capabilities can autonomously alter their flight

⁷⁸⁰ C. Kyrkou and T. Theodorides, „Deep-Learning-Based Aerial Image Classification for Emergency Response Applications Using Unmanned Aerial Vehicles,” in 2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), IEEE, Jun. 2019, pp. 517–525. doi: 10.1109/CVPRW.2019.00077.

⁷⁸¹ A. Zolich, A. Sogrov, E. Vagsholm, V. Hovstein, and T. A. Johansen, „Coordinated maritime missions of unmanned vehicles — Network architecture and performance analysis,” in 2017 IEEE International Conference on Communications (ICC), IEEE, May 2017, pp. 1–7. doi: 10.1109/ICC.2017.7996481.

routes and tactics in response to real-time environmental data⁷⁸². Such adaptability serves to enhance the probability of mission success while simultaneously ensuring that UAVs are capable of effectively responding to unforeseen challenges.

3.6. Integration of Advanced Technologies

The advancement of UAV technology has resulted in the integration of advanced sensors and data processing systems that enhance situational awareness. As an illustration, S. Jiang and W. Jiang elucidate the manner in which GNSS/IMU systems facilitate the extraction and matching of features for UAV images, thereby enhancing the precision of situational evaluations in urban settings⁷⁸³. The integration of these technologies affords UAV pilots the opportunity to cultivate a more profound understanding of their surrounding environment, which is of paramount importance for the successful navigation of their craft and the fulfillment of their assigned missions. Furthermore, the integration of artificial intelligence (AI) into UAV operations has shown promise in reducing cognitive workload, thereby allowing pilots to focus on critical situational factors⁷⁸⁴.

3.7. Training and Skill Development

SA is not merely a technological prerequisite. It is also an indispensable skill that UAV pilots must develop through rigorous training. The ability to maintain SA throughout a mission is contingent upon the cognitive abilities of the pilots and their comprehension of the operational context.

⁷⁸² F. Wang, Y. Liu, Y. Zhou, D. Zhou, and D. Yan, „An unmanned tank combat game driven by FPSO-MADDPG algorithm,” *J Supercomput*, vol. 80, no. 15, pp. 21615–21641, Oct. 2024, doi: 10.1007/s11227-024-06225-3.

⁷⁸³ S. Jiang and W. Jiang, „On-Board GNSS/IMU Assisted Feature Extraction and Matching for Oblique UAV Images,” *Remote Sens (Basel)*, vol. 9, no. 8, p. 813, Aug. 2017, doi: 10.3390/rs9080813.

⁷⁸⁴ Y. Zak, Y. Parmet, and T. Oron-Gilad, „Facilitating the Work of Unmanned Aerial Vehicle Operators Using Artificial Intelligence: An Intelligent Filter for Command-and-Control Maps to Reduce Cognitive Workload,” *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, vol. 65, no. 7, pp. 1345–1360, Nov. 2023, doi: 10.1177/00187208221081968.

It has been demonstrated that the enhancement of SA can be achieved through the utilisation of innovative training methodologies, including simulation and mixed-reality interfaces^{785 786}. Such simulations provide an opportunity to gain insight into authentic operational scenarios, thereby enhancing one's capacity to make sound decisions in high-pressure situations^{787 788}. Furthermore, the development of training programs that emphasize the distinctive characteristics of UAVs in comparison to conventional manned aircraft is of paramount importance for fostering a more comprehensive understanding of operational dynamics⁷⁸⁹. The bespoke strategy not only provides pilots with the requisite technical abilities for UAVs operation but also enhances their SA, thereby enabling them to respond effectively to unforeseen challenges that may emerge during missions⁷⁹⁰. It is therefore evident that comprehensive training in SA and the acquisition of pertinent skills are indispensable for the efficacy and security of UAV operations.

3.8. Environmental Monitoring and Data Collection

⁷⁸⁵ D. Dimitrakiev, V. Stankov, and C. Atanasova, „Simulator Training – Unique Powerful Instrument for Educating, Skills Creating, Mitigating Skills and Resilience Creating,” *Strategies for Policy in Science and Education-Strategii na Obrazovatelnata i Nauchnata Politika*, vol. 31, no. 6s, pp. 103–111, Dec. 2023, doi: 10.53656/str2023-6s-9-sim.

⁷⁸⁶ I. Conev and D. Dimitrakiev, „Use of modern technologies at Naval Academy Varna,” in *Proceedings of the International Association of Maritime Universities Conference, 2023*. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85185220315&partnerID=40&md5=52f8526ae19b20716c7107d83f1b524a>

⁷⁸⁷ J. T. Hing, J. Menda, K. Izzetoglu, and P. Y. Oh, „An indoor study to evaluate a mixed-reality interface for unmanned aerial vehicle operations in near earth environments,” in *Proceedings of the 10th Performance Metrics for Intelligent Systems Workshop, New York, NY, USA: ACM, Sep. 2010*, pp. 214–221. doi: 10.1145/2377576.2377617.

⁷⁸⁸ D. Aláez, X. Olaz, M. Prieto, P. Porcellinis, and J. Villadangos, „HIL Flight Simulator for VTOL-UAV Pilot Training Using X-Plane,” *Information*, vol. 13, no. 12, p. 585, Dec. 2022, doi: 10.3390/info13120585.

⁷⁸⁹ R. An and W. Yin, „Research on the Evaluation Technology of UAV Pilot Training Action Quality based on Entropy Weight-TOPSIS Method,” *J Phys Conf Ser*, vol. 2513, no. 1, p. 012012, Jun. 2023, doi: 10.1088/1742-6596/2513/1/012012.

⁷⁹⁰ H. ATEŞ, „Important Issues In Unmanned Aerial Vehicle User Education And Training,” *Journal of Aviation*, vol. 6, no. 1, pp. 80–86, Mar. 2022, doi: 10.30518/jav.1083114.

The deployment of UAVs is becoming increasingly prevalent in the context of environmental monitoring and data gathering, where the ability to gain situational awareness is of paramount importance. The capacity to gather and examine environmental data empowers UAV pilots to make well-informed decisions pertaining to resource management and environmental stewardship⁷⁹¹. For example, Liu et al. highlight the role of UAVs in agricultural monitoring, where situational awareness can facilitate the optimization of crop management strategies⁷⁹². This application underscores the importance of SA in enhancing the efficiency of UAVs across diverse industrial sectors.

3.9. Emergency Response and Disaster Management

In emergency situations, it is of the utmost importance to have a clear understanding of the circumstances in order to ensure effective disaster management. Drones equipped with SA features can rapidly assess areas affected by disasters, providing emergency responders with up-to-date information. Delle Fave et al. emphasize that SA enables the expeditious assessment of disaster zones, thereby facilitating timely responses that may prove critical in saving lives⁷⁹³. This capability is vital for ensuring the effective and efficient organization of emergency response activities.

3.10. Legal and Regulatory Compliance

It is of the utmost importance to be fully cognizant of the circumstances pertaining to the operation of UAVs in order to ensure compliance with the pertinent legal and regulatory guidelines. It is incumbent upon UAV pilots to be

⁷⁹¹ S. Velinov, „DECARBONIZATION OF MARITIME INDUSTRY,” Списание Морско право и индустрия, vol. 2, pp. 183–191, 2024, Accessed: Oct. 20, 2024. [Online]. Available: [https://maritime.vfu.bg/files/Svilen%20Velinov,%20Decarbonization%20of%20Maritime%20Industry%20\(%D0%92%D0%92%D0%9C%D0%A3\).pdf](https://maritime.vfu.bg/files/Svilen%20Velinov,%20Decarbonization%20of%20Maritime%20Industry%20(%D0%92%D0%92%D0%9C%D0%A3).pdf)

⁷⁹² Y. Liu, N. Qi, W. Yao, Y. Liu, and Y. Li, „Optimal scheduling for aerial recovery of multiple unmanned aerial vehicles using genetic algorithm,” Proc Inst Mech Eng G J Aersp Eng, vol. 233, no. 14, pp. 5347–5359, Nov. 2019, doi: 10.1177/0954410019842487.

⁷⁹³ F. M. Delle Fave, A. Farinelli, A. Rogers, and N. R. Jennings, „A Methodology for Deploying the Max-Sum Algorithm and a Case Study on Unmanned Aerial Vehicles,” Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, vol. 26, no. 2, pp. 2275–2280, Jul. 2012, doi: 10.1609/aaai.v26i2.18969.

aware of the limitations imposed by airspace regulations, the prohibition of certain areas, and other regulatory obligations that affect their activities. In their study, Mozaffari et al. investigate the potential of SA to facilitate navigation through the complex regulatory landscape, thereby ensuring the safe and lawful operation of UAVs⁷⁹⁴. Compliance with this regulation is of the highest importance in maintaining public confidence and ensuring the continued viability of unmanned aircraft technologies.

The concept of situational awareness is a complex one that is of critical importance to the effective operation of UAVs. It is of paramount importance for more effective decision-making and safety, as well as for enhancing operational efficiency and adaptability. Therefore, SA is an essential factor in these processes. As UAV technology progresses, the incorporation of sophisticated SA features will be crucial to guarantee the efficacy and safety of UAV operations across diverse fields.

As the author approaches the conclusion of this comprehensive investigation into SA in UAV operations, it is essential to synthesize the principal findings and consider their broader implications. As previously discussed, the multifaceted significance of SA underscores its pivotal function in shaping the trajectory of UAV technology and its applications.

4. Conclusion

The findings of the research study underscore the critical importance of SA in the operation of UAVs across a range of sectors. SA is identified as a crucial element that enhances decision-making, safety, risk management, and operational effectiveness in UAV missions. The study corroborates the preliminary hypothesis that augmented SA capabilities in UAV operations are associated with superior outcomes in these critical domains.

Key findings include:

⁷⁹⁴ M. Mozaffari, W. Saad, M. Bennis, and M. Debbah, „Efficient Deployment of Multiple Unmanned Aerial Vehicles for Optimal Wireless Coverage,” *IEEE Communications Letters*, vol. 20, no. 8, pp. 1647–1650, Aug. 2016, doi: 10.1109/LCOMM.2016.2578312.

1. **Enhanced decision-making:** SA provides UAV pilots with real-time information that is vital for making well-informed decisions, particularly in situations that are complex and dynamic.

2. **Improved safety and risk management:** Pilots who are able to maintain acute awareness of their surroundings are better able to identify and mitigate potential hazards, thereby reducing the risks of accidents.

3. **Operational efficiency:** An understanding of the environment is essential for the optimization of flight paths and the conservation of resources.

4. **Coordination in multi-UAV operations:** SA enables the effective collaboration of multiple units in the context of complex missions.

5. **Adaptability:** SA enables UAV pilots to adapt to rapidly evolving operational environments, which is a critical factor in mission success.

6. **Integration of advanced technologies:** The incorporation of sophisticated sensors and data processing systems has led to a notable enhancement in the capabilities of SA.

7. **Training importance:** It is of paramount importance to develop SA skills through the implementation of efficacious training programs, as this is a crucial factor influencing the performance of pilots.

8. **Environmental monitoring:** SA plays a pivotal role in the collection and interpretation of data, which is instrumental in the effective management of resources and the protection of the environment.

9. **Emergency response:** In the context of disaster management, SA plays a pivotal role, facilitating rapid assessment and timely interventions.

10. **Regulatory compliance:** SA provides guidance on the legal and regulatory frameworks that govern the operation of UAVs.

The results demonstrate that as UAV technology advances, the incorporation of sophisticated SA capabilities will be pivotal for optimizing the efficacy and safety of UAV operations across diverse operational contexts. Further research should focus on the development of more sophisticated SA technologies, the enhancement of training methodologies, and the

examination of the potential of artificial intelligence in enhancing SA within UAV operations.

To further advance the field, it is recommended that:

1. Researchers continue to investigate ways to enhance SA in UAV operations, particularly in challenging environments.

2. UAV manufacturers prioritize the integration of advanced SA technologies in their designs.

3. Regulatory bodies consider SA capabilities when developing guidelines for UAV operations.

4. Training programs for UAV pilots emphasize the development of SA skills.

5. Interdisciplinary collaborations be encouraged to leverage expertise from various fields in improving SA in UAV operations.

In conclusion, this study underscores the pivotal role of SA in shaping the trajectory of UAV technology and its applications. As the industry advances, it will be imperative to prioritize the enhancement of SA to ensure the safe, efficient, and effective operation of UAVs across diverse sectors and applications.

References

1. Aláez, D., Olaz, X., Prieto, M., Porcellinis, P., & Villadangos, J. (2022). HIL Flight Simulator for VTOL-UAV Pilot Training Using X-Plane. *Information*, 13(12), 585. <https://doi.org/10.3390/info13120585>

2. An, R., & Yin, W. (2023). Research on the Evaluation Technology of UAV Pilot Training Action Quality based on Entropy Weight-TOPSIS Method. *Journal of Physics: Conference Series*, 2513(1), 012012. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2513/1/012012>

3. ATEŞ, H. (2022). Important Issues In Unmanned Aerial Vehicle User Education And Training. *Journal of Aviation*, 6(1), 80–86. <https://doi.org/10.30518/jav.1083114>

4. Belev, B. (2021). Life Long Learning Strategy For Adopting The Education And Training Standards In Maritime Industry. *Pedagogika-Pedagogy*. <https://doi.org/10.53656/ped2021-5.04>

5. Belev, B., Penev, A., Mohović, Đ., & Perić Hadžić, A. (2021). Autonomous ships in maritime education model course 7.01. *Pomorstvo*, 35(2), 388–394. <https://doi.org/10.31217/p.35.2.20>

6. Bleakley, A., Allard, J., & Hobbs, A. (2013). ‘Achieving ensemble’: communication in orthopaedic surgical teams and the development of situation awareness—an observational study using live videotaped examples. *Advances in Health Sciences Education*, 18(1), 33–56. <https://doi.org/10.1007/s10459-012-9351-6>

7. Brady, P. W., & Goldenhar, L. M. (2014). A qualitative study examining the influences on situation awareness and the identification, mitigation and escalation of recognised patient risk. *BMJ Quality & Safety*, 23(2), 153–161. <https://doi.org/10.1136/bmjqs-2012-001747>

8. Conev, I., & Dimitrakiev, D. (2023). Use of modern technologies at Naval Academy Varna. *Proceedings of the International Association of Maritime Universities Conference, 2023-October*. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85185220315&partnerID=40&md5=52f8526ae19b20716c7107d83f1b524a>

9. Delle Fave, F. M., Farinelli, A., Rogers, A., & Jennings, N. R. (2012). A Methodology for Deploying the Max-Sum Algorithm and a Case Study on Unmanned Aerial Vehicles. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 26(2), 2275–2280. <https://doi.org/10.1609/aaai.v26i2.18969>

10. Dimitrakiev, D., Milev, D., & Gunes, E. (2023). The Risk Analysis of Chemical Tankers Passing Through the Turkish Straits between 2010 – 2022. *Strategii Na Obrazovatelna i Nauchna Politika*, 31(3s), 45–55. <https://doi.org/10.53656/str2023-3s-3-the>

11. Dimitrakiev, D., Stankov, V., & Atanasova, C. (2023). Simulator Training – Unique Powerful Instrument for Educating, Skills Creating, Mitigating

Skills and Resilience Creating. *Strategies for Policy in Science and Education-Strategii Na Obrazovatelnata i Nauchnata Politika*, 31(6s), 103–111. <https://doi.org/10.53656/str2023-6s-9-sim>

12. Dimitrakieva, S., Milev, D., & Atanasova, C. (2023). Voyage of Learning: Cruise Ships Weather Routing and Maritime Education. *Strategies for Policy in Science and Education-Strategii Na Obrazovatelnata i Nauchnata Politika*, 31(6s), 48–55. <https://doi.org/10.53656/str2023-6s-4-voy>

13. Endsley, M. R. (2015a). Situation Awareness Misconceptions and Misunderstandings. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 9(1), 4–32. <https://doi.org/10.1177/1555343415572631>

14. Endsley, M. R. (2015b). Situation Awareness Misconceptions and Misunderstandings. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 9(1), 4–32. <https://doi.org/10.1177/1555343415572631>

15. Gkika, I., Pattas, D., Konstantoudakis, K., & Zarpalas, D. (2023, May 28). Object Detection and Augmented Reality Annotations for Increased Situational Awareness in Light Smoke Conditions. *Proceedings of the 20th International ISCRAM Conference*. <https://doi.org/10.59297/YOMA9043>

16. Gokbel, E., & Ersoy, S. (2021). Launchable rotary wing UAV designs and launch mechanism designs for rotary wing UAV. *Journal of Mechatronics and Artificial Intelligence in Engineering*, 2(2), 102–113. <https://doi.org/10.21595/jmai.2021.22339>

17. Hing, J. T., Menda, J., Izzetoglu, K., & Oh, P. Y. (2010). An indoor study to evaluate a mixed-reality interface for unmanned aerial vehicle operations in near earth environments. *Proceedings of the 10th Performance Metrics for Intelligent Systems Workshop*, 214–221. <https://doi.org/10.1145/2377576.2377617>

18. Jiang, S., & Jiang, W. (2017). On-Board GNSS/IMU Assisted Feature Extraction and Matching for Oblique UAV Images. *Remote Sensing*, 9(8), 813. <https://doi.org/10.3390/rs9080813>

19. Kyrkou, C., & Theocharides, T. (2019). Deep-Learning-Based Aerial Image Classification for Emergency Response Applications Using Unmanned Aerial Vehicles. *2019 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW)*, 517–525. <https://doi.org/10.1109/CVPRW.2019.00077>

20. Liu, Y., Qi, N., Yao, W., Liu, Y., & Li, Y. (2019). Optimal scheduling for aerial recovery of multiple unmanned aerial vehicles using genetic algorithm. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 233(14), 5347–5359. <https://doi.org/10.1177/0954410019842487>

21. Mozaffari, M., Saad, W., Bennis, M., & Debbah, M. (2016). Efficient Deployment of Multiple Unmanned Aerial Vehicles for Optimal Wireless Coverage. *IEEE Communications Letters*, 20(8), 1647–1650. <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2016.2578312>

22. Naderpour, M., Lu, J., & Zhang, G. (2014). A situation risk awareness approach for process systems safety. *Safety Science*, 64, 173–189. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2013.12.005>

23. Nagaria, B., & Hall, T. (2020). Reducing Software Developer Human Errors by Improving Situation Awareness. *IEEE Software*, 37(6), 32–37. <https://doi.org/10.1109/MS.2020.3014223>

24. Nguyen, T., Lim, C. P., Nguyen, N. D., Gordon-Brown, L., & Nahavandi, S. (2019). A Review of Situation Awareness Assessment Approaches in Aviation Environments. *IEEE Systems Journal*, 13(3), 3590–3603. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2019.2918283>

25. Orique, S. B., & Despins, L. (2018). Evaluating Situation Awareness: An Integrative Review. *Western Journal of Nursing Research*, 40(3), 388–424. <https://doi.org/10.1177/0193945917697230>

26. Park, M., Oh, H., & Lee, K. (2019). Security Risk Measurement for Information Leakage in IoT-Based Smart Homes from a Situational Awareness Perspective. *Sensors*, 19(9), 2148. <https://doi.org/10.3390/s19092148>

27. Pei, Z., Zhao, W., Hu, L., Zhang, Z., Luo, Y., Wu, Y., & Jin, X. (2024). Factors Affecting the Situational Awareness of Armored Vehicle Occupants. *Sensors*, 24(11), 3688. <https://doi.org/10.3390/s24113688>

28. Rehder, I. de S., Sarmiento, A., Russo, A. C., Cardoso Junior, M. M., & Villani, E. (2023). A human-machine interface analysis: Under critical operation scenario. *Anais Estendidos Do XXII Simpósio Brasileiro de Fatores Humanos Em Sistemas Computacionais (IHC 2023)*, 27–30. https://doi.org/10.5753/ihc_estendido.2023.233135

29. Stanton, N. A., Chambers, P. R. G., & Piggott, J. (2001). Situational awareness and safety. *Safety Science*, 39(3), 189–204. [https://doi.org/10.1016/S0925-7535\(01\)00010-8](https://doi.org/10.1016/S0925-7535(01)00010-8)

30. Velinov, S. (2024). DECARBONIZATION OF MARITIME INDUSTRY. *Списание Морско Право и Индустрия*, 2, 183–191. [https://maritime.vfu.bg/files/Svilen%20Velinov,%20Decarbonization%20of%20Maritime%20Industry%20\(%D0%92%D0%92%D0%9C%D0%A3\).pdf](https://maritime.vfu.bg/files/Svilen%20Velinov,%20Decarbonization%20of%20Maritime%20Industry%20(%D0%92%D0%92%D0%9C%D0%A3).pdf)

31. Wang, F., Liu, Y., Zhou, Y., Zhou, D., & Yan, D. (2024). An unmanned tank combat game driven by FPSO-MADDPG algorithm. *The Journal of Supercomputing*, 80(15), 21615–21641. <https://doi.org/10.1007/s11227-024-06225-3>

32. Wang, Y., Zhang, T., & Ye, Q. (2021). Situation awareness framework for industrial control system based on cyber kill chain. *MATEC Web of Conferences*, 336, 02013. <https://doi.org/10.1051/matecconf/202133602013>

33. Webb, J., Ahmad, A., Maynard, S. B., & Shanks, G. (2014). A situation awareness model for information security risk management. *Computers & Security*, 44, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.cose.2014.04.005>

34. Yekita, H., Pati, D., & Hamilton, D. K. (2024). Could Spatial Awareness Affect Situation Awareness: A Conceptual Examination. *HERD: Health Environments Research & Design Journal*, 17(1), 270–286. <https://doi.org/10.1177/19375867231192116>

35. Zak, Y., Parmet, Y., & Oron-Gilad, T. (2023). Facilitating the Work of Unmanned Aerial Vehicle Operators Using Artificial Intelligence: An Intelligent Filter for Command-and-Control Maps to Reduce Cognitive Workload. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, 65(7), 1345–1360. <https://doi.org/10.1177/00187208221081968>

36. Zolich, A., Sogrov, A., Vagsholm, E., Hovstein, V., & Johansen, T. A. (2017). Coordinated maritime missions of unmanned vehicles — Network architecture and performance analysis. *2017 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/ICC.2017.7996481>

INTEGRATING SITUATIONAL AWARENESS IN MARITIME UNMANNED AERIAL VEHICLE OPERATIONS: A COMPREHENSIVE ANALYSIS

Todor Koritarov

Nikola Vaptsarov Naval Academy, e-mail: t.koritarov@nvna.eu,
t.koritarov@naval-acad.bg, mobile phone: +359887466695

Abstract: *The utilisation of Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) in maritime operations is increasing, indicating a deficiency in the application of Situational Awareness (SA) theory. This study examines the potential for SA theory to enhance maritime UAV operations. The study encompasses a range of domains, including threat detection, search and rescue operations, environmental monitoring, and autonomous navigation. The findings suggest that SA theory facilitates decision-making and enhances safety, yet it also presents challenges when integrating with autonomous systems. The study recommends further research to explore advanced AI algorithms, develop standardized SA training programs, and assess the long-term impacts of SA on maritime operations. The implementation of these findings has the potential to confer significant benefits upon organizations operating within the maritime sector.*

Keywords: *Maritime operations, Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), Situational Awareness (SA), Operational effectiveness, Safety, Environmental monitoring, Surveillance*

1. Introduction

Maritime activities have consistently played a pivotal role in international trade and security, with a multitude of operations occurring on the oceans across the globe^{795 796}. In recent years, the integration of unmanned aerial

⁷⁹⁵ B. C. Belev and S. I. Daskalov, „Computer technologies in shipping and a new tendency in ship’s officers’ education and training,” IOP Conf Ser Mater Sci Eng, vol. 618, no. 1, p. 012034, Oct. 2019, doi: 10.1088/1757-899X/618/1/012034.

⁷⁹⁶ B. Belev, A. Penev, Đ. Mohović, and A. Perić Hadžić, „Autonomous ships in maritime education model course 7.01,” Pomorstvo, vol. 35, no. 2, pp. 388–394, Dec. 2021, doi: 10.31217/p.35.2.20.

vehicles (UAVs) into maritime operations has become a notable trend. These novel technologies offer promising avenues for enhancing maritime safety, efficiency, and effectiveness in diverse operational contexts.

Prior research has examined the deployment of UAVs in maritime operations, with a particular focus on their utility in surveillance, search and rescue missions, and environmental monitoring. Notwithstanding these initiatives, a notable gap remains in the literature concerning the application of situational awareness (SA) theory in maritime unmanned aerial vehicle (UAV) operations and its potential to enhance operational effectiveness, safety, and efficiency. It is imperative that this knowledge gap be closed in order to enhance our understanding of how UAVs can be integrated into maritime operations and to identify new avenues for improving safety, efficiency, and effectiveness in these areas.

The research question addressed in the paper is: What is the capacity of SA theory to improve maritime UAV operations, and what practical methods can be implemented to achieve this? This study aims to examine the potential applications of SA theory in the context of maritime UAV operations to identify ways to improve operational effectiveness, safety, and efficiency.

It is hypothesized that the application of SA theory to maritime UAV operations could lead to significant improvements in operational effectiveness, safety, and efficiency, based on the premise that such an approach would facilitate improved perception, understanding, and prediction of environmental variables in the context of dynamic maritime scenarios.

2. UAVs in maritime contexts: transforming surveillance, search and rescue, and ecological monitoring

UAVs are of significant importance in the enhancement of maritime operations, particularly in the realms of surveillance, search and rescue, and environmental monitoring^{797 798 799}. The integration of sophisticated algorithms

⁷⁹⁷ D. Dimitrakiev, D. Milev, and E. Gunes, „The Risk Analysis of Chemical Tankers Passing Through the Turkish Straits between 2010 – 2022,” *Strategies for Policy in Science and*

facilitates the identification of targets and the rapid acquisition of data, thereby enhancing situational awareness during maritime operations^{800 801 802}. The capacity of drones to rapidly cover vast areas makes them an invaluable tool for monitoring illicit activities such as poaching and environmental degradation, which are challenging to detect using conventional methods^{803 804}.

Furthermore, the collaboration between UAVs and unmanned surface vehicles (USVs) in search and rescue operations exemplifies their capacity to locate individuals in peril, thereby enhancing response times and operational efficacy⁸⁰⁵. The advancement of UAV technology, including the integration of

Education-Strategii na Obrazovatel'nata i Nauchnata Politika, vol. 31, no. 3s, pp. 45–55, Jun. 2023, doi: 10.53656/str2023-3s-3-the.

⁷⁹⁸ S. Dimitrakieva, D. Milev, and C. Atanasova, „Voyage of Learning: Cruise Ships Weather Routing and Maritime Education,” Strategies for Policy in Science and Education-Strategii na Obrazovatel'nata i Nauchnata Politika, vol. 31, no. 6s, pp. 48–55, Dec. 2023, doi: 10.53656/str2023-6s-4-voy.

⁷⁹⁹ S. Velinov, „DECARBONIZATION OF MARITIME INDUSTRY,” Списание Морско право и индустрия, vol. 2, pp. 183–191, 2024, Accessed: Oct. 20, 2024. [Online]. Available: [https://maritime.vfu.bg/files/Svilen%20Velinov,%20Decarbonization%20of%20Maritime%20Industry%20\(%D0%92%D0%92%D0%9C%D0%A3\).pdf](https://maritime.vfu.bg/files/Svilen%20Velinov,%20Decarbonization%20of%20Maritime%20Industry%20(%D0%92%D0%92%D0%9C%D0%A3).pdf)

⁸⁰⁰ B. Belev and D. Dimitranov, „An algorithm for calculation of own ship’s course over ground and speed over ground using ARPA, by acquiring a fixed object,” in Proceedings of the 20th International Conference on Computer Systems and Technologies, in CompSysTech '19. New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2019, pp. 221–225. doi: 10.1145/3345252.3345277.

⁸⁰¹ J. Zhang et al., „EMR-YOLO: A Study of Efficient Maritime Rescue Identification Algorithms,” J Mar Sci Eng, vol. 12, no. 7, p. 1048, Jun. 2024, doi: 10.3390/jmse12071048.

⁸⁰² J. Wang, K. Zhou, W. Xing, H. Li, and Z. Yang, „Applications, Evolutions, and Challenges of Drones in Maritime Transport,” J Mar Sci Eng, vol. 11, no. 11, p. 2056, Oct. 2023, doi: 10.3390/jmse11112056.

⁸⁰³ F. Lampropoulos, „Analysis of data from drones for surveillance and threat identification in maritime areas,” Εκπαίδευση, Δια Βίου Μάθηση, Έρευνα και Τεχνολογική Ανάπτυξη, Καινοτομία και Οικονομία, vol. 3, pp. 1–12, Sep. 2024, doi: 10.12681/elrie.7273.

⁸⁰⁴ A. Klimkowska, I. Lee, and K. Choi, „POSSIBILITIES OF UAS FOR MARITIME MONITORING,” The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. XLI-B1, pp. 885–891, Jun. 2016, doi: 10.5194/isprs-archives-XLI-B1-885-2016.

⁸⁰⁵ T. Yang, Z. Jiang, R. Sun, N. Cheng, and H. Feng, „Maritime Search and Rescue Based on Group Mobile Computing for Unmanned Aerial Vehicles and Unmanned Surface Vehicles,”

high-definition imaging and multi-sensor systems, has resulted in a notable enhancement in the efficacy of UAVs in maritime applications^{806 807}. In general, UAVs represent a significant technological advancement in maritime activities, offering invaluable support in the areas of safety, security, and environmental management.

In light of the considerable impact of UAVs on maritime operations, it is imperative to investigate how these technologies can be further enhanced through the integration of situational awareness(SA) theory. The following section examines the application of SA principles to maritime UAV operations. It considers how this theoretical framework can optimize decision-making processes, improve operational efficiency, and enhance the overall effectiveness of UAV deployments in complex maritime environments.

3. Integrating situational awareness(SA) theory into maritime unmanned aerial vehicles applications

The implementation of SA theory in the context of UAV operations is a crucial step towards enhancing operational efficiency, safety, and effectiveness. SA is defined as the recognition of environmental factors, the understanding of their significance, and the anticipation of their future conditions⁸⁰⁸. In the maritime environment, which is both dynamic and unpredictable, the implementation of SA principles can significantly improve

IEEE Trans Industr Inform, vol. 16, no. 12, pp. 7700–7708, Dec. 2020, doi: 10.1109/TII.2020.2974047.

⁸⁰⁶ M. S. Islam, „Maritime Security in a Technological Era: Addressing Challenges in Balancing Technology and Ethics,” Mersin University Journal of Maritime Faculty, vol. 6, no. 1, pp. 1–16, Jun. 2024, doi: 10.47512/meujmaf.1418239.

⁸⁰⁷ S. Thombre et al., „Sensors and AI Techniques for Situational Awareness in Autonomous Ships: A Review,” IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 23, no. 1, pp. 64–83, Jan. 2022, doi: 10.1109/TITS.2020.3023957.

⁸⁰⁸ F. Wolfert, M. A. Bromfield, S. Scott, and A. Stedmon, „Passive Sidesticks and Hard Landings - Is there a Link?,” in AIAA Aviation 2019 Forum, Reston, Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Jun. 2019. doi: 10.2514/6.2019-3611.

decision-making processes^{809 810}. This section of the paper will examine the various applications of SA theory in the operation of UAVs, with a particular focus on the relevant literature.

Threat detection and monitoring

One of the principal applications of SA in maritime UAV operations is the identification and tracking of potential threats, including piracy, illegal fishing, and environmental hazards. UAVs equipped with sophisticated sensors can provide real-time data, thereby enhancing SA by enabling pilots to identify potential threats as they arise. For example, the SEAGULL project demonstrates the utility of optical sensors on UAVs for enhancing maritime SA, facilitating the automatic identification of vessels and potential dangers from an aerial perspective^{811 812}. This capability is of paramount importance in the identification and prompt response to threats, thus enhancing maritime security.

Furthermore, Andrade et al. highlight the potential of Model Predictive Control (MPC) in autonomous UAV surveillance, particularly in the context of tracking a ship's course and detecting potential obstacles or hazards, including icebergs or other vessels⁸¹³. The utilisation of UAVs for the monitoring of maritime activities allows for an enhanced level of situational understanding,

⁸⁰⁹ D. Dimitranov and B. Belev, „Sustainable Shipping Required Sustainable Education and Training,” Preprints (Basel), Oct. 2024, doi: 10.20944/preprints202410.2208.v1.

⁸¹⁰ B. Belev, „Life Long Learning Strategy For Adopting The Education And Training Standards In Maritime Industry,” Pedagogika-Pedagogy, Jun. 2021, doi: 10.53656/ped2021-5.04.

⁸¹¹ M. M. Marques et al., „Unmanned aircraft systems in maritime operations: Challenges addressed in the scope of the SEAGULL project,” in OCEANS 2015 - Genova, IEEE, May 2015, pp. 1–6. doi: 10.1109/OCEANS-Genova.2015.7271427.

⁸¹² M. M. Marques et al., „An Unmanned Aircraft System for Maritime Operations: The Automatic Detection Subsystem,” Mar Technol Soc J, vol. 55, no. 1, pp. 38–49, Jan. 2021, doi: 10.4031/MTSJ.55.1.4.

⁸¹³ F. A. A. Andrade, R. Storvold, and T. A. Johansen, „Autonomous UAV surveillance of a ship's path with MPC for maritime situational awareness,” in 2017 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), IEEE, Jun. 2017, pp. 633–639. doi: 10.1109/ICUAS.2017.7991361.

thereby facilitating the implementation of prompt responses when potential dangers are identified.

Search and Rescue(SAR) operations

SA is of paramount importance in search and rescue (SAR) missions conducted by maritime UAVs. The ability to rapidly assess a situation and efficiently allocate resources can have a substantial impact on the outcome of emergency situations, with implications that range from life to death. UAVs can rapidly span extensive areas, thereby providing aerial perspectives that enhance SA for ground rescue teams. To illustrate, Zhang et al. describe the development of a lightweight detection model for instances where an individual falls overboard⁸¹⁴. This model employs aerial images to enhance the efficiency of search and rescue (SAR) operations⁸¹⁵. This application demonstrates the potential of UAVs to enhance SA by providing crucial information regarding the location and condition of individuals in need of assistance.

Furthermore, the utilisation of multiple UAVs for coverage path planning has been proposed as a means of optimising search operations in maritime settings, with the objective of ensuring comprehensive coverage of search regions in the shortest possible time⁸¹⁶. This method not only enhances the efficacy of SAR operations but also augments the SA of the teams engaged, equipping them with comprehensive data about the search zone.

Environmental monitoring

⁸¹⁴ Y. Zhang, Q. Tao, and Y. Yin, „A Lightweight Man-Overboard Detection and Tracking Model Using Aerial Images for Maritime Search and Rescue,” *Remote Sens (Basel)*, vol. 16, no. 1, p. 165, Dec. 2023, doi: 10.3390/rs16010165.

⁸¹⁵ Y. Zhang, Q. Tao, and Y. Yin, „A Lightweight Man-Overboard Detection and Tracking Model Using Aerial Images for Maritime Search and Rescue,” *Remote Sens (Basel)*, vol. 16, no. 1, p. 165, Dec. 2023, doi: 10.3390/rs16010165.

⁸¹⁶ S.-W. Cho, J.-H. Park, H.-J. Park, and S. Kim, „Multi-UAV Coverage Path Planning Based on Hexagonal Grid Decomposition in Maritime Search and Rescue,” *Mathematics*, vol. 10, no. 1, p. 83, Dec. 2021, doi: 10.3390/math10010083.

UAVs are indispensable for environmental monitoring, which is a fundamental component of SA in maritime operations. The capacity to monitor and document environmental changes, such as oil spills or unauthorized dumping, is crucial for maintaining ecological balance and ensuring compliance with maritime regulations. Reineman et al. investigate the utilisation of UAVs launched from maritime vessels to assess atmospheric conditions and ocean surface phenomena, which can provide valuable insights for environmental assessments⁸¹⁷. This information facilitates enhanced comprehension of the maritime environment, which in turn enhances SA for those engaged in decision-making processes.

Furthermore, the integration of machine learning algorithms for object identification and tracking can significantly augment UAVs capacity to monitor environmental conditions. Vasilopoulos et al. emphasize the importance of utilizing UAVs to provide real-time video feeds and images, which can be analyzed to identify any irregularities in the environment⁸¹⁸. This feature offers immediate awareness of environmental hazards, thereby enabling more expedient action to mitigate potential harm.

Collaborative operations

The collaborative operation of multiple UAVs can enhance SA through the exchange of information and the implementation of coordinated actions. Wang presents a collaborative search framework for UAVs that employs the OODA (Observe, Orient, Decide, Act) loop, emphasizing the vital importance of real-time data exchange among UAVs for optimizing search and reconnaissance

⁸¹⁷ B. D. Reineman, L. Lenain, and W. K. Melville, „The Use of Ship-Launched Fixed-Wing UAVs for Measuring the Marine Atmospheric Boundary Layer and Ocean Surface Processes,” *J Atmos Ocean Technol*, vol. 33, no. 9, pp. 2029–2052, Sep. 2016, doi: 10.1175/JTECH-D-15-0019.1.

⁸¹⁸ E. Vasilopoulos, G. Vosinakis, M. Krommyda, L. Karagiannidis, E. Ouzounoglou, and A. Amditis, „A Comparative Study of Autonomous Object Detection Algorithms in the Maritime Environment Using a UAV Platform,” *Computation*, vol. 10, no. 3, p. 42, Mar. 2022, doi: 10.3390/computation10030042.

efficacy⁸¹⁹. This collaborative approach facilitates a more comprehensive understanding of the maritime environment. The use of multiple UAVs allows for the surveying of larger areas in a more efficient manner, with the data collected by each vehicle being shared in real-time, enabling a more comprehensive and accurate representation of the region.

Furthermore, the integration of UAVs with USVs has the potential to enhance SA. The collaborative approach between UAVs and USVs can provide a comprehensive understanding of maritime operations, enabling the development of enhanced monitoring and response strategies⁸²⁰. The interoperation of disparate UAVs exemplifies the potential for situational awareness to optimize operational efficacy.

Autonomous navigation and collision avoidance

It is of paramount importance for UAVs to be able to navigate autonomously in complex maritime environments. In order to do so, it is essential that the surrounding environment is fully understood⁸²¹. The ability to identify and circumvent obstacles is of paramount importance for ensuring the safety of UAV operations. In their study, Marques and colleagues present an algorithm based on game theory that enables UAVs to manage threat detection and collision avoidance in a unified manner, thereby enhancing their operational efficiency⁸²². The algorithm enables UAVs to make real-time decisions based on their SA, thereby reducing the probability of collisions and enhancing the overall success of missions.

⁸¹⁹ Y. Wang, „Unmanned Aerial Vehicle cooperative search model for sea based on OODA,” *Highlights in Science, Engineering and Technology*, vol. 72, pp. 1264–1270, Dec. 2023, doi: 10.54097/wxfetx68.

⁸²⁰ M. Zhu and Y.-Q. Wen, „Design and Analysis of Collaborative Unmanned Surface-Aerial Vehicle Cruise Systems,” *J Adv Transp*, vol. 2019, pp. 1–10, Jan. 2019, doi: 10.1155/2019/1323105.

⁸²¹ B. Belev, A. Penev, Đ. Mohović, and A. Perić Hadžić, „Autonomous ships in maritime education model course 7.01,” *Pomorstvo*, vol. 35, no. 2, pp. 388–394, Dec. 2021, doi: 10.31217/p.35.2.20.

⁸²² M. M. Marques et al., „An unmanned aircraft system for maritime operations,” *Int J Adv Robot Syst*, vol. 15, no. 4, Jul. 2018, doi: 10.1177/1729881418786338.

Moreover, the development of robust visual-aided systems for UAVs to utilize during landing on dynamic maritime platforms is of paramount importance for maintaining SA during critical phases of flight⁸²³. By precisely calculating the motion in relation to both the UAV and the moving ship, operators can guarantee secure landings, thereby enhancing the dependability of UAV activities in maritime environments.

Data fusion and information sharing

The unification of disparate data sources is a crucial step in enhancing SA in maritime UAV operations. The utilisation of big data repositories, such as data lakes, facilitates the aggregation and integration of disparate data types, including satellite imagery, AIS (Automatic Identification System) data, and UAV sensor data⁸²⁴. The comprehensive integration of data affords operators the opportunity to gain a comprehensive understanding of the maritime environment, thereby facilitating informed decision-making.

Furthermore, the implementation of sophisticated decision-support systems that employ semantic reasoning can enhance SA by providing pilots with actionable insights derived from integrated data⁸²⁵. The capacity to undertake this process is of paramount importance in the context of rapidly evolving maritime environments, where the availability of accurate and up-to-date information is a critical factor in ensuring the success of operations.

Training and Simulation

The education of pilots on the effective use of UAVs in maritime settings must place significant emphasis on SA. Simulation-based training can provide

⁸²³ T. Dutrannois, T.-T. Nguyen, C. Hamesse, G. De Cubber, and B. Janssens, „Visual SLAM for Autonomous Drone Landing on a Maritime Platform,” in 2022 International Symposium on Measurement and Control in Robotics (ISMCR), IEEE, Sep. 2022, pp. 1–7. doi: 10.1109/ISMCR56534.2022.9950582.

⁸²⁴ N. Kapidani et al., „Maritime information sharing environment deployment using the advanced multilayered Data Lake capabilities,” *Pomorstvo*, vol. 36, no. 2, pp. 291–304, Dec. 2022, doi: 10.31217/p.36.2.13.

⁸²⁵ N. Kapidani et al., „Maritime information sharing environment deployment using the advanced multilayered Data Lake capabilities,” *Pomorstvo*, vol. 36, no. 2, pp. 291–304, Dec. 2022, doi: 10.31217/p.36.2.13.

pilots with authentic scenarios that enhance their ability to identify, comprehend, and anticipate situational factors^{826 827 828 829}. The utilisation of state-of-the-art simulation technology^{830 831 832 833} enables pilots to hone their decision-making abilities in a multitude of maritime scenarios, thereby enhancing their SA awareness capabilities⁸³⁴. This training is indispensable for equipping operators with the requisite skills to effectively address the challenges they are likely to encounter during UAV missions in the field.

⁸²⁶ B. Belev and V. Stoyanov, „THE EDUCATION IN ‘NAVIGATION’ SPECIALTY AT NIKOLA VAPTSAROV NAVAL ACADEMY IN THE TERMS OF COVID-19,” STRATEGIES FOR POLICY IN SCIENCE AND EDUCATION-STRATEGII NA OBRAZOVATELNATA I NAUCHNATA POLITIKA, vol. 28, no. 5, pp. 481–500, 2020, Accessed: Jan. 17, 2024. [Online]. Available: <https://publons.com/publon/37421020/>

⁸²⁷ D. Dimitrakiev, V. Stankov, and C. Atanasova, „Simulator Training – Unique Powerful Instrument for Educating, Skills Creating, Mitigating Skills and Resilience Creating,” Strategies for Policy in Science and Education-Strategii na Obrazovatelna i Nauchnata Politika, vol. 31, no. 6s, pp. 103–111, Dec. 2023, doi: 10.53656/str2023-6s-9-sim.

⁸²⁸ K. Narleva and Y. Gancheva, „The Role of Maritime Education in Digitalization,” Pedagogika-Pedagogy, vol. 95, no. 6s, pp. 132–141, Aug. 2023, doi: 10.53656/ped2023-6s.12.

⁸²⁹ B. Belev, D. Dimitranov, A. Spasov, and A. Ivanov, „Application of Information Technologies and Algorithms in Ship Passage Planning,” Cybernetics and Information Technologies, vol. 19, no. 1, pp. 190–200, 2019, doi: doi:10.2478/cait-2019-0011.

⁸³⁰ I. Conev and D. Dimitrakiev, „Use of modern technologies at Naval Academy Varna,” in Proceedings of the International Association of Maritime Universities Conference, 2023. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85185220315&partnerID=40&md5=52f8526ae19b20716c7107d83f1b524a>

⁸³¹ D. Dimitrakiev, V. Stankov, and C. Atanasova, „Simulator Training – Unique Powerful Instrument for Educating, Skills Creating, Mitigating Skills and Resilience Creating,” Strategies for Policy in Science and Education-Strategii na Obrazovatelna i Nauchnata Politika, vol. 31, no. 6s, pp. 103–111, Dec. 2023, doi: 10.53656/str2023-6s-9-sim.

⁸³² C. Atanasova, „Transforming Maritime Education for a Digital Industry,” Strategies for Policy in Science and Education-Стратегии на Образователната и Научната Политика, vol. 31, no. 6s, pp. 9–18, Dec. 2023, doi: 10.53656/str2023-6s-1-mar.

⁸³³ B. C. Belev and S. I. Daskalov, „Computer technologies in shipping and a new tendency in ship’s officers’ education and training,” IOP Conf Ser Mater Sci Eng, vol. 618, no. 1, p. 012034, Oct. 2019, doi: 10.1088/1757-899X/618/1/012034.

⁸³⁴ N. S. Madusanka, Y. Fan, S. Yang, and X. Xiang, „Digital Twin in the Maritime Domain: A Review and Emerging Trends,” J Mar Sci Eng, vol. 11, no. 5, p. 1021, May 2023, doi: 10.3390/jmse11051021.

Furthermore, the advent of digital twin technologies has the potential to augment training programs by creating virtual replications of UAV operations, thereby facilitating real-time observation and assessment⁸³⁵. This innovative approach has the potential to enhance SA by providing operators with insights into potential operational challenges before they arise.

Regulatory compliance and safety

It is of paramount importance to maintain adherence to maritime regulations as an integral component of SA in UAV operations^{836 837 838}. It is incumbent upon UAV operators to gain an understanding of the legal structures that govern maritime activities⁸³⁹, which encompass not only airspace regulations but also laws aimed at protecting the environment^{840 841 842}. The integration of compliance monitoring systems into UAV operations

⁸³⁵ C. Y. Yiu et al., „A Digital Twin-Based Platform towards Intelligent Automation with Virtual Counterparts of Flight and Air Traffic Control Operations,” *Applied Sciences*, vol. 11, no. 22, p. 10923, Nov. 2021, doi: 10.3390/app112210923.

⁸³⁶ B. Belev, A. Penev, Đ. Mohović, and A. Perić Hadžić, „Autonomous ships in maritime education model course 7.01,” *Pomorstvo*, vol. 35, no. 2, pp. 388–394, Dec. 2021, doi: 10.31217/p.35.2.20.

⁸³⁷ B. Belev, „Implementation of Ballast Water Management Convention Requirements in Maritime Education,” *Pedagogika-Pedagogy*, vol. 95, no. 5s, pp. 9–18, Jun. 2023, doi: 10.53656/ped2023-5s.01.

⁸³⁸ B. Belev, A. Penev, Đ. Mohović, and A. Perić Hadžić, „Autonomous ships in maritime education model course 7.01,” *Pomorstvo*, vol. 35, no. 2, pp. 388–394, Dec. 2021, doi: 10.31217/p.35.2.20.

⁸³⁹ S. Dimitrakieva, K. Atanasova, and O. Kostadinov, „Pools in Tramp Shipping and the Rules on Competition Given the Art. 101 of the Treaty on the Functioning of the European Union,” *Strategii na Obrazovatelnata i Nauchnata Politika*, vol. 31, no. 3s, pp. 140–147, Jun. 2023, doi: 10.53656/str2023-3s-11-poo.

⁸⁴⁰ S. Velinov, „DECARBONIZATION OF MARITIME INDUSTRY,” *Списание Морско право и индустрия*, vol. 2, pp. 183–191, 2024, Accessed: Oct. 20, 2024. [Online]. Available: [https://maritime.vfu.bg/files/Svilen%20Velinov,%20Decarbonization%20of%20Maritime%20Industry%20\(%D0%92%D0%92%D0%9C%D0%A3\).pdf](https://maritime.vfu.bg/files/Svilen%20Velinov,%20Decarbonization%20of%20Maritime%20Industry%20(%D0%92%D0%92%D0%9C%D0%A3).pdf)

⁸⁴¹ B. Belev, „Life Long Learning Strategy For Adopting The Education And Training Standards In Maritime Industry,” *Pedagogika-Pedagogy*, Jun. 2021, doi: 10.53656/ped2021-5.04.

⁸⁴² B. Belev, „Implementation of Ballast Water Management Convention Requirements in Maritime Education,” *Pedagogika-Pedagogy*, vol. 95, no. 5s, pp. 9–18, Jun. 2023, doi: 10.53656/ped2023-5s.01.

enables pilots to enhance their SA regarding regulatory obligations⁸⁴³. This anticipatory strategy serves to mitigate the risks associated with non-compliance, thereby facilitating the implementation of safer and more accountable UAV pilots in maritime settings.

Future directions

As technology continues to evolve, it is anticipated that the application of SA in maritime UAV operations will become increasingly prevalent. Future developments may entail the integration of artificial intelligence and machine learning methodologies to enhance the capacity for real-time decision-making⁸⁴⁴. Moreover, the advancement of communication technologies, such as 5G and forthcoming solutions, will facilitate accelerated data transmission and augment the SA of pilots⁸⁴⁵. These developments will facilitate the implementation of more sophisticated UAV functions, thereby enhancing their efficiency in a range of maritime applications.

The implementation of SA theory in maritime UAV activities is a complex undertaking. It encompasses a range of activities, including threat identification, SAR missions, environmental observation, collaborative efforts, autonomous navigation, data integration, training, adherence to regulations, and prospects for technological progress.

4. Conclusion

The incorporation of SA theory into maritime UAV operations has illustrated considerable potential for optimizing operational efficacy, safety,

⁸⁴³ N. Niknami, A. Srinivasan, K. St. Germain, and J. Wu, „Maritime Communications—Current State and the Future Potential with SDN and SDR,” *Network*, vol. 3, no. 4, pp. 563–584, Dec. 2023, doi: 10.3390/network3040025.

⁸⁴⁴ E. Vasilopoulos, G. Vosinakis, M. Krommyda, L. Karagiannidis, E. Ouzounoglou, and A. Amditis, „A Comparative Study of Autonomous Object Detection Algorithms in the Maritime Environment Using a UAV Platform,” *Computation*, vol. 10, no. 3, p. 42, Mar. 2022, doi: 10.3390/computation10030042.

⁸⁴⁵ S. Saafi, O. Vikhrova, G. Fodor, J. Hosek, and S. Andreev, „Cost- and Delay-Efficient Backhaul Selection for Time-Sensitive Maritime Communications,” *IEEE Communications Letters*, vol. 27, no. 4, pp. 1235–1239, Apr. 2023, doi: 10.1109/LCOMM.2023.3242363.

and efficiency across a spectrum of maritime scenarios. The present study has identified several key findings:

1. The principles of SA can be effectively applied to a range of maritime UAV applications, including the detection of threats, environmental monitoring, and SAR operations.

2. The implementation of SA theory has demonstrated positive outcomes with respect to decision-making processes and overall mission success rates in maritime UAV operations.

3. The identification of challenges inherent in the adaptation of SA concepts to autonomous systems has underscored the necessity for further research and development in this area.

4. The incorporation of SA principles has resulted in the implementation of enhanced safety measures and the mitigation of risks associated with maritime UAV operations.

5. The versatility of SA theory in maritime contexts indicates its potential applicability to other domains of UAV operations.

The findings presented herein address the initial research question by demonstrating the practical benefits and challenges of applying SA theory to maritime UAV operations. The study highlights the necessity for sustained research and development in this domain to actualize the potential of SA-enhanced maritime UAV systems fully.

The practical implementation of these findings has the potential to result in the improvement of training programs for UAV pilots, and the creation of more effective operational protocols for maritime UAV missions. It would be advantageous for organizations engaged in maritime operations, such as coast guards, naval forces, environmental agencies, and search and rescue teams, to integrate SA theory into their UAV operations, thereby enhancing overall performance and safety.

Future research directions may include:

1. Exploring advanced AI algorithms for improved SA in autonomous systems.
2. Developing standardized SA training programs for UAV operators.
3. Investigating the long-term impact of SA integration on maritime safety and efficiency.
4. Examining the potential application of SA theory in other UAV operational domains.
5. Studying the human-machine interface in SA-enhanced UAV systems to optimize operator performance.

The results of these future studies will contribute to the ongoing evolution of UAV operations and the broader field of autonomous systems. They may also lead to more sophisticated and effective applications of SA theory in various operational contexts.

References

1. Andrade, F. A. A., Storvold, R., & Johansen, T. A. (2017). Autonomous UAV surveillance of a ship's path with MPC for maritime situational awareness. *2017 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, 633–639. <https://doi.org/10.1109/ICUAS.2017.7991361>
2. Atanasova, C. (2023). Transforming Maritime Education for a Digital Industry. *Strategies for Policy in Science and Education-Стратегии На Образователната и Научната Политика*, 31(6s), 9–18. <https://doi.org/10.53656/str2023-6s-1-mar>
3. Belev, B. (2021). Life Long Learning Strategy For Adopting The Education And Training Standards In Maritime Industry. *Pedagogika-Pedagogy*. <https://doi.org/10.53656/ped2021-5.04>
4. Belev, B. (2023). Implementation of Ballast Water Management Convention Requirements in Maritime Education. *Pedagogika-Pedagogy*, 95(5s), 9–18. <https://doi.org/10.53656/ped2023-5s.01>

5. Belev, B. C., & Daskalov, S. I. (2019). Computer technologies in shipping and a new tendency in ship's officers' education and training. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 618(1), 012034. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/618/1/012034>

6. Belev, B., & Dimitranov, D. (2019). An algorithm for calculation of own ship's course over ground and speed over ground using ARPA, by acquiring a fixed object. *Proceedings of the 20th International Conference on Computer Systems and Technologies*, 221–225. <https://doi.org/10.1145/3345252.3345277>

7. Belev, B., Dimitranov, D., Spasov, A., & Ivanov, A. (2019). Application of Information Technologies and Algorithms in Ship Passage Planning. *Cybernetics and Information Technologies*, 19(1), 190–200. <https://doi.org/doi:10.2478/cait-2019-0011>

8. Belev, B., Penev, A., Mohović, Đ., & Perić Hadžić, A. (2021). Autonomous ships in maritime education model course 7.01. *Pomorstvo*, 35(2), 388–394. <https://doi.org/10.31217/p.35.2.20>

9. Belev, B., & Stoyanov, V. (2020). THE EDUCATION IN „NAVIGATION” SPECIALTY AT NIKOLA VAPTSAROV NAVAL ACADEMY IN THE TERMS OF COVID-19. *STRATEGIES FOR POLICY IN SCIENCE AND EDUCATION-STRATEGII NA OBRAZOVATELNATA I NAUCHNATA POLITIKA*, 28(5), 481–500. <https://publons.com/publon/37421020/>

10. Cho, S.-W., Park, J.-H., Park, H.-J., & Kim, S. (2021). Multi-UAV Coverage Path Planning Based on Hexagonal Grid Decomposition in Maritime Search and Rescue. *Mathematics*, 10(1), 83. <https://doi.org/10.3390/math10010083>

11. Conev, I., & Dimitrakiev, D. (2023). Use of modern technologies at Naval Academy Varna. *Proceedings of the International Association of Maritime Universities Conference*, 2023-October. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85185220315&partnerID=40&md5=52f8526ae19b20716c7107d83f1b524a>

12. Dimitrakiev, D., Milev, D., & Gunes, E. (2023). The Risk Analysis of Chemical Tankers Passing Through the Turkish Straits between 2010 – 2022. *Strategies for Policy in Science and Education-Strategii Na Obrazovatelnata i Nauchnata Politika*, 31(3s), 45–55. <https://doi.org/10.53656/str2023-3s-3-the>

13. Dimitrakiev, D., Stankov, V., & Atanasova, C. (2023). Simulator Training – Unique Powerful Instrument for Educating, Skills Creating, Mitigating Skills and Resilience Creating. *Strategies for Policy in Science and Education-Strategii Na Obrazovatelnata i Nauchnata Politika*, 31(6s), 103–111. <https://doi.org/10.53656/str2023-6s-9-sim>

14. Dimitrakieva, S., Atanasova, K., & Kostadinov, O. (2023). Pools in Tramp Shipping and the Rules on Competition Given the Art. 101 of the Treaty on the Functioning of the European Union. *Strategies for Policy in Science and Education-Strategii Na Obrazovatelnata i Nauchnata Politika*, 31(3s), 140–147. <https://doi.org/10.53656/str2023-3s-11-poo>

15. Dimitrakieva, S., Milev, D., & Atanasova, C. (2023). Voyage of Learning: Cruise Ships Weather Routing and Maritime Education. *Strategies for Policy in Science and Education-Strategii Na Obrazovatelnata i Nauchnata Politika*, 31(6s), 48–55. <https://doi.org/10.53656/str2023-6s-4-voy>

16. Dimitranov, D., & Belev, B. (2024). Sustainable Shipping Required Sustainable Education and Training. *Preprints*. <https://doi.org/10.20944/preprints202410.2208.v1>

17. Dutrannois, T., Nguyen, T.-T., Hamesse, C., De Cubber, G., & Janssens, B. (2022). Visual SLAM for Autonomous Drone Landing on a Maritime Platform. *2022 International Symposium on Measurement and Control in Robotics (ISMCR)*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/ISMCR56534.2022.9950582>

18. Islam, M. S. (2024). Maritime Security in a Technological Era: Addressing Challenges in Balancing Technology and Ethics. *Mersin University Journal of Maritime Faculty*, 6(1), 1–16. <https://doi.org/10.47512/meujmaf.1418239>

19. Kapidani, N., Astyakopoulos, A., Bolakis, C., Moutzouris, M., Hajduch, G., Vosinakis, G., Scrima, P., & Paladin, Z. (2022). Maritime information sharing environment deployment using the advanced multilayered Data Lake capabilities. *Pomorstvo*, 36(2), 291–304. <https://doi.org/10.31217/p.36.2.13>

20. Klimkowska, A., Lee, I., & Choi, K. (2016). POSSIBILITIES OF UAS FOR MARITIME MONITORING. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLI-B1, 885–891. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B1-885-2016>

21. Lampropoulos, F. (2024). Analysis of data from drones for surveillance and threat identification in maritime areas. *Εκπαίδευση, Δια Βίου Μάθηση, Έρευνα Και Τεχνολογική Ανάπτυξη, Καινοτομία Και Οικονομία*, 3, 1–12. <https://doi.org/10.12681/elrie.7273>

22. Madusanka, N. S., Fan, Y., Yang, S., & Xiang, X. (2023). Digital Twin in the Maritime Domain: A Review and Emerging Trends. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(5), 1021. <https://doi.org/10.3390/jmse11051021>

23. Marques, M. M., Dias, P., Santos, N. P., Lobo, V., Batista, R., Salgueiro, D., Aguiar, A., Costa, M., da Silva, J. E., Ferreira, A. S., Sousa, J., de Fatima Nunes, M., Pereira, E., Morgado, J., Ribeiro, R., Marques, J. S., Bernardino, A., Grine, M., & Taiana, M. (2015). Unmanned aircraft systems in maritime operations: Challenges addressed in the scope of the SEAGULL project. *OCEANS 2015 - Genova*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/OCEANS-Genova.2015.7271427>

24. Marques, M. M., Lobo, V., Aguiar, A. P., Silva, J. E., de Sousa, J. B., de Fátima Nunes, M., Ribeiro, R. A., Bernardino, A., Cruz, G., & Marques, J. S. (2021). An Unmanned Aircraft System for Maritime Operations: The Automatic Detection Subsystem. *Marine Technology Society Journal*, 55(1), 38–49. <https://doi.org/10.4031/MTSJ.55.1.4>

25. Marques, M. M., Lobo, V., Batista, R., Oliveira, J., Aguiar, A. P., Silva, J. E., de Sousa, J. B., Nunes, M. de F., Ribeiro, R. A., Bernardino, A., & Marques, J. S. (2018). An unmanned aircraft system for maritime operations. *International*

Journal of Advanced Robotic Systems, 15(4).
<https://doi.org/10.1177/1729881418786338>

26. Narleva, K., & Gancheva, Y. (2023). The Role of Maritime Education in Digitalization. *Pedagogika-Pedagogy*, 95(6s), 132–141.
<https://doi.org/10.53656/ped2023-6s.12>

27. Niknami, N., Srinivasan, A., St. Germain, K., & Wu, J. (2023). Maritime Communications—Current State and the Future Potential with SDN and SDR. *Network*, 3(4), 563–584. <https://doi.org/10.3390/network3040025>

28. Reineman, B. D., Lenain, L., & Melville, W. K. (2016). The Use of Ship-Launched Fixed-Wing UAVs for Measuring the Marine Atmospheric Boundary Layer and Ocean Surface Processes. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 33(9), 2029–2052. <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-15-0019.1>

29. Saafi, S., Vikhrova, O., Fodor, G., Hosek, J., & Andreev, S. (2023). Cost- and Delay-Efficient Backhaul Selection for Time-Sensitive Maritime Communications. *IEEE Communications Letters*, 27(4), 1235–1239. <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2023.3242363>

30. Thombre, S., Zhao, Z., Ramm-Schmidt, H., Vallet Garcia, J. M., Malkamaki, T., Nikolskiy, S., Hammarberg, T., Nuortie, H., H. Bhuiyan, M. Z., Sarkka, S., & Lehtola, V. V. (2022). Sensors and AI Techniques for Situational Awareness in Autonomous Ships: A Review. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 23(1), 64–83. <https://doi.org/10.1109/TITS.2020.3023957>

31. Vasilopoulos, E., Vosinakis, G., Krommyda, M., Karagiannidis, L., Ouzounoglou, E., & Amditis, A. (2022). A Comparative Study of Autonomous Object Detection Algorithms in the Maritime Environment Using a UAV Platform. *Computation*, 10(3), 42. <https://doi.org/10.3390/computation10030042>

32. Velinov, S. (2024). DECARBONIZATION OF MARITIME INDUSTRY. *Списание Морско Право и Индустрия*, 2, 183–191.

[https://maritime.vfu.bg/files/Svilen%20Velinov,%20Decarbonization%20of%20Maritime%20Industry%20\(%D0%92%D0%92%D0%9C%D0%A3\).pdf](https://maritime.vfu.bg/files/Svilen%20Velinov,%20Decarbonization%20of%20Maritime%20Industry%20(%D0%92%D0%92%D0%9C%D0%A3).pdf)

33. Wang, J., Zhou, K., Xing, W., Li, H., & Yang, Z. (2023). Applications, Evolutions, and Challenges of Drones in Maritime Transport. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(11), 2056. <https://doi.org/10.3390/jmse11112056>

34. Wang, Y. (2023). Unmanned Aerial Vehicle cooperative search model for sea based on OODA. *Highlights in Science, Engineering and Technology*, 72, 1264–1270. <https://doi.org/10.54097/wxfetx68>

35. Wolfert, F., Bromfield, M. A., Scott, S., & Stedmon, A. (2019, June 17). Passive Sidesticks and Hard Landings - Is there a Link? *AIAA Aviation 2019 Forum*. <https://doi.org/10.2514/6.2019-3611>

36. Yang, T., Jiang, Z., Sun, R., Cheng, N., & Feng, H. (2020). Maritime Search and Rescue Based on Group Mobile Computing for Unmanned Aerial Vehicles and Unmanned Surface Vehicles. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 16(12), 7700–7708. <https://doi.org/10.1109/TII.2020.2974047>

37. Yiu, C. Y., Ng, K. K. H., Lee, C.-H., Chow, C. T., Chan, T. C., Li, K. C., & Wong, K. Y. (2021). A Digital Twin-Based Platform towards Intelligent Automation with Virtual Counterparts of Flight and Air Traffic Control Operations. *Applied Sciences*, 11(22), 10923. <https://doi.org/10.3390/app112210923>

38. Zhang, J., Hua, Y., Chen, L., Li, L., Shen, X., Shi, W., Wu, S., Fu, Y., Lv, C., & Zhu, J. (2024). EMR-YOLO: A Study of Efficient Maritime Rescue Identification Algorithms. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(7), 1048. <https://doi.org/10.3390/jmse12071048>

39. Zhang, Y., Tao, Q., & Yin, Y. (2023). A Lightweight Man-Overboard Detection and Tracking Model Using Aerial Images for Maritime Search and Rescue. *Remote Sensing*, 16(1), 165. <https://doi.org/10.3390/rs16010165>

40. Zhu, M., & Wen, Y.-Q. (2019). Design and Analysis of Collaborative Unmanned Surface-Aerial Vehicle Cruise Systems. *Journal of Advanced Transportation*, 2019, 1–10. <https://doi.org/10.1155/2019/1323105>

UAV OPERATIONS FROM MOVING MARITIME PLATFORMS: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES

Todor Koritarov

Nikola Vaptsarov Naval Academy, e-mail: t.koritarov@nvna.eu,
t.koritarov@naval-acad.bg, mobile phone: +359887466695

Abstract: *The deployment of unmanned aerial vehicles (UAVs) from moving platforms at sea presents unique challenges and opportunities for maritime applications. This exploration highlights the technical, operational, and environmental considerations of UAV operations in marine settings. Advanced control systems, including visual-aided systems and neural networks, are essential for stability during takeoff and landing. UAV design must adapt to dynamic marine conditions such as wind and waves. Operational strategies should align with specific missions, like search and rescue, and integrating UAVs with unmanned surface vehicles can enhance effectiveness. Challenges like adverse weather, sea state changes, and obstacles affect UAV operations. Future research should focus on overcoming marine challenges to maximize UAV potential in maritime applications.*

Keywords: *Unmanned aerial vehicles (UAVs), Maritime applications, Moving platforms, Marine environment, Unmanned surface vehicles, SAR operations*

1. Introduction

The deployment of unmanned aerial vehicles (UAVs) from mobile platforms at sea presents a unique set of challenges and opportunities for a diverse range of maritime applications. This synthesis examines the technical, operational, and environmental factors related to unmanned aerial vehicle (UAV) activities in maritime environments.

The implementation of sophisticated control systems, including vision-assisted systems and neural networks, is imperative for ensuring stability and precision during takeoff and landing operations on mobile platforms. The advancement of UAVs must consider the dynamic characteristics of marine environments, including factors such as wind, waves, and the movement of the

platform. Operational approaches must align with the specific missions for which UAVs are designed, such as maritime search and rescue. Collaborating with unmanned surface vehicles (USVs) can enhance both the scope and efficiency of operations.

The research question of the paper is: In what ways can UAV operations be enhanced in maritime contexts to tackle the distinct challenges and possibilities offered by the ever-changing marine environment?

The objective of the study is to examine the technical, operational, and environmental factors involved in UAV activities within maritime contexts. Additionally, the study aims to determine methods for enhancing UAV effectiveness in these scenarios.

The paper hypothesizes that integrating advanced control systems, improved communication technologies, and collaborative unmanned platforms will enhance the capabilities and safety of UAV operations in maritime contexts.

2. Understanding UAV operations in maritime settings: challenges, integration, and applications

It is crucial for the pilots to have a comprehensive understanding of the operational specifics of UAVs in maritime settings, as these environments present unique challenges that require a nuanced approach^{846,847,848}. Maritime operations are often characterised by a multitude of complex factors, including fluctuating meteorological conditions, varying sea states and communication difficulties. These elements have the potential to significantly influence the

⁸⁴⁶ D. Dimitranov and B. Belev, „Sustainable Shipping Required Sustainable Education and Training,” Preprints (Basel), Oct. 2024, doi: 10.20944/preprints202410.2208.v1.

⁸⁴⁷ D. Dimitrakiev, D. Milev, and E. Gunes, „The Risk Analysis of Chemical Tankers Passing Through the Turkish Straits between 2010 – 2022,” *Strategies for Policy in Science and Education-Strategii na Obrazovatelnata i Nauchnata Politika*, vol. 31, no. 3s, pp. 45–55, Jun. 2023, doi: 10.53656/str2023-3s-3-the.

⁸⁴⁸ S. Dimitrakieva, D. Milev, and C. Atanasova, „Voyage of Learning: Cruise Ships Weather Routing and Maritime Education,” *Strategies for Policy in Science and Education-Strategii na Obrazovatelnata i Nauchnata Politika*, vol. 31, no. 6s, pp. 48–55, Dec. 2023, doi: 10.53656/str2023-6s-4-voy.

efficacy of UAVs and the success of missions^{849,850,851}. As an illustration, UAVs are compelled to navigate through variable environments where wind and inclement weather can impact flight stability and control. Consequently, it is imperative to possess a comprehensive understanding of these variables to ensure the successful planning and execution of missions^{852,853,854}.

Furthermore, the integration of UAVs with USVs enhances operational efficacy, facilitating a more extensive operational reach and superior payload management in maritime operations^{855,856}. The necessity for pilots to excel in coordinating aerial and ground operations is a fundamental aspect of this collaborative method, as it is crucial for activities such as surveillance, search and rescue, and environmental monitoring^{857, 858, 859}. Ultimately, a

⁸⁴⁹ M. C. Santos et al., „Cooperative Unmanned Aerial and Surface Vehicles for Extended Coverage in Maritime Environments,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 9206–9219, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3353046.

⁸⁵⁰ T. Karachalios, P. Moschos, and T. Orphanoudakis, „Maritime Emission Monitoring: Development and Testing of a UAV-Based Real-Time Wind Sensing Mission Planner Module,” *Sensors*, vol. 24, no. 3, p. 950, Feb. 2024, doi: 10.3390/s24030950.

⁸⁵¹ G. M. De Lima Filho, A. Passaro, G. M. Delfino, L. De Santana, and H. Monsuur, „Time-Critical Maritime UAV Mission Planning Using a Neural Network: An Operational View,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 111749–111758, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3215646.

⁸⁵² T. Karachalios, P. Moschos, and T. Orphanoudakis, „Maritime Emission Monitoring: Development and Testing of a UAV-Based Real-Time Wind Sensing Mission Planner Module,” *Sensors*, vol. 24, no. 3, p. 950, Feb. 2024, doi: 10.3390/s24030950.

⁸⁵³ G. M. De Lima Filho, A. Passaro, G. M. Delfino, L. De Santana, and H. Monsuur, „Time-Critical Maritime UAV Mission Planning Using a Neural Network: An Operational View,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 111749–111758, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3215646.

⁸⁵⁴ J. Wang, K. Zhou, W. Xing, H. Li, and Z. Yang, „Applications, Evolutions, and Challenges of Drones in Maritime Transport,” *J Mar Sci Eng*, vol. 11, no. 11, p. 2056, Oct. 2023, doi: 10.3390/jmse11112056.

⁸⁵⁵ M. C. Santos et al., „Cooperative Unmanned Aerial and Surface Vehicles for Extended Coverage in Maritime Environments,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 9206–9219, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3353046.

⁸⁵⁶ Y. Ma, Y. Zhao, X. Qi, Y. Zheng, and R. Gan, „Cooperative communication framework design for the unmanned aerial vehicles-unmanned surface vehicles formation,” *Advances in Mechanical Engineering*, vol. 10, no. 5, May 2018, doi: 10.1177/1687814018773668.

⁸⁵⁷ V. E. Hovstein, A. Saegrov, and T. A. Johansen, „Experiences with coastal and maritime UAS BLOS operation with phased-array antenna digital payload data link,” in 2014

comprehensive grasp of these operational nuances fosters enhanced safety and efficiency while simultaneously capitalizing on the strategic advantages that UAVs offer in maritime contexts^{860 861}.

Following the investigation of the operational particulars of UAVs in maritime contexts and their potential for collaboration with other unmanned systems, it is imperative to conduct a more detailed examination of the unique challenges and opportunities that arise when launching UAVs from mobile sea-based platforms. The following section will examine the particular complexities associated with the deployment and recovery of UAVs from ships, offshore facilities, or other mobile maritime assets. By addressing these challenges and identifying potential opportunities, valuable insights can be obtained, which will allow for the optimization of UAV deployment in variable maritime environments. This will ultimately lead to improvements in the efficiency and adaptability of UAV operations at sea.

3. Challenges and opportunities in UAV deployment from sea-based moving platforms

The utilisation of UAVs launched from mobile sea platforms, including ships, cutters, and small vessels, introduces a distinctive array of challenges and prospects. The successful autonomous take-off and landing of UAVs on these platforms is of great importance for a variety of maritime applications,

International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), IEEE, May 2014, pp. 261–266. doi: 10.1109/ICUAS.2014.6842264.

⁸⁵⁸ Y. Zhang, Q. Tao, and Y. Yin, „A Lightweight Man-Overboard Detection and Tracking Model Using Aerial Images for Maritime Search and Rescue,” *Remote Sens (Basel)*, vol. 16, no. 1, p. 165, Dec. 2023, doi: 10.3390/rs16010165.

⁸⁵⁹ G. Amaral et al., „UAV cooperative perception for target detection and tracking in maritime environment,” in *OCEANS 2017 - Aberdeen*, IEEE, Jun. 2017, pp. 1–6. doi: 10.1109/OCEANSE.2017.8084827.

⁸⁶⁰ L. Shen, J. Sun, and D. Yang, „Research on Path Optimization for Collaborative UAVs and Mothership Monitoring of Air Pollution from Port Vessels,” *Sustainability*, vol. 16, no. 12, p. 4948, Jun. 2024, doi: 10.3390/su16124948.

⁸⁶¹ C. Trasviña-Moreno, R. Blasco, Á. Marco, R. Casas, and A. Trasviña-Castro, „Unmanned Aerial Vehicle Based Wireless Sensor Network for Marine-Coastal Environment Monitoring,” *Sensors*, vol. 17, no. 3, p. 460, Feb. 2017, doi: 10.3390/s17030460.

including surveillance, search and rescue operations, and environmental observation. This synthesis examines the technical, operational, and environmental factors related to UAV operations from moving maritime platforms, drawing on relevant literature.

Technical considerations for UAV operations from moving platforms

The effective functioning of UAVs on shifting platforms requires the implementation of sophisticated control systems capable of adjusting to the changing conditions of the marine environment. Palafox et al. emphasize the importance of robust visual-aided systems for the autonomous takeoff, tracking, and landing of UAVs on these mobile platforms⁸⁶². The study highlights the necessity for unmanned aerial vehicles (UAVs) to be equipped with sophisticated algorithms that can process visual data in real-time, thus ensuring stability and precision throughout their operations. Similarly, Zhao and Anvar investigate the modeling and simulation of vertical take-off and landing (VTOL) UAVs, which are particularly advantageous in maritime settings due to their capacity to function in constrained areas and on uneven surfaces⁸⁶³.

Furthermore, the design of UAVs must take into account the particular challenges posed by maritime environments, including wind, waves, and the movement of the platform. The research conducted by Filho et al. illustrates the potential of neural networks in facilitating urgent mission planning, enabling UAVs to adapt their flight routes in response to changing

⁸⁶² P. R. Palafox, M. Garzón, J. Valente, J. J. Roldán, and A. Barrientos, „Robust Visual-Aided Autonomous Takeoff, Tracking, and Landing of a Small UAV on a Moving Landing Platform for Life-Long Operation,” *Applied Sciences*, vol. 9, no. 13, p. 2661, Jun. 2019, doi: 10.3390/app9132661.

⁸⁶³ D. L. Zhao and A. M. Anvar, „Modelling and Simulation of Maritime UAV-VTOL Robot Flight Control,” *Applied Mechanics and Materials*, vol. 152–154, pp. 1149–1154, Jan. 2012, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.152-154.1149.

environmental conditions⁸⁶⁴. This flexibility is crucial for guaranteeing effective operations and safety during takeoff and landing procedures.

Operational strategies for maritime UAV deployment

The deployment of UAVs from moving platforms necessitates the consideration of the specific missions for which they are designed. For example, Cho et al. highlight the significance of UAVs in maritime search and rescue (SAR) operations, where their capacity to rapidly survey expansive areas can markedly enhance response times⁸⁶⁵. The integration of UAVs with USVs has the potential to enhance coverage and improve operational efficiency, as observed by Santos et al.⁸⁶⁶. The implementation of this teamwork strategy allows for the effective distribution of tasks, enabling UAVs to focus on aerial monitoring while USVs assume responsibility for operations on the water's surface.

Furthermore, the operational context requires the implementation of efficient communication systems to ensure seamless coordination between UAVs and their control stations. In their analysis of the deployment factors for UAV-supported maritime communications, Nomikos and colleagues emphasize the crucial function of dependable data links in facilitating real-time decision-making⁸⁶⁷. This is particularly crucial when UAVs are deployed from mobile platforms, as maintaining connectivity can prove challenging due to the

⁸⁶⁴ G. M. De Lima Filho, A. Passaro, G. M. Delfino, L. De Santana, and H. Monsuur, „Time-Critical Maritime UAV Mission Planning Using a Neural Network: An Operational View,” *IEEE Access*, vol. 10, pp. 111749–111758, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3215646.

⁸⁶⁵ S.-W. Cho, J.-H. Park, H.-J. Park, and S. Kim, „Multi-UAV Coverage Path Planning Based on Hexagonal Grid Decomposition in Maritime Search and Rescue,” *Mathematics*, vol. 10, no. 1, p. 83, Dec. 2021, doi: 10.3390/math10010083.

⁸⁶⁶ M. C. Santos et al., „Cooperative Unmanned Aerial and Surface Vehicles for Extended Coverage in Maritime Environments,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 9206–9219, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3353046.

⁸⁶⁷ N. Nomikos, P. K. Gkonis, P. S. Bithas, and P. Trakadas, „A Survey on UAV-Aided Maritime Communications: Deployment Considerations, Applications, and Future Challenges,” *IEEE Open Journal of the Communications Society*, vol. 4, pp. 56–78, 2023, doi: 10.1109/OJCOMS.2022.3225590.

platform's mobility and the potential for interference from the surrounding environment.

Environmental challenges and mitigation strategies

The marine environment presents a number of challenges that can impact UAV operations. These include unfavorable weather conditions, fluctuations in sea conditions, and the existence of obstacles such as other ships and structures. The study conducted by Lv et al. on autonomous landing methods highlights the necessity for the development of reliable landing systems capable of effectively addressing the aforementioned challenges⁸⁶⁸. The implementation of multi-tier markers and advanced control algorithms enables UAVs to enhance their landing precision, even in the presence of turbulent conditions⁸⁶⁹.

Furthermore, the dynamic nature of maritime activities necessitates the implementation of safety protocols to mitigate the risks associated with UAV operations. The research conducted by Akhtar and Saeed examines the challenges associated with integrating UAVs into maritime communication networks, which is crucial for ensuring the safety of operations in high-traffic maritime environments⁸⁷⁰. It is of the utmost importance to implement effective risk management strategies in order to mitigate the potential for conflict and to guarantee the safety of both UAVs and manned vessels.

Future Directions and Technological Innovations

As drone technology advances, numerous opportunities emerge to enhance the capabilities of drones deployed from mobile bases. The

⁸⁶⁸ M. Lv, B. Fan, J. Fang, and J. Wang, „Autonomous Landing of Quadrotor Unmanned Aerial Vehicles Based on Multi-Level Marker and Linear Active Disturbance Reject Control,” *Sensors*, vol. 24, no. 5, p. 1645, Mar. 2024, doi: 10.3390/s24051645.

⁸⁶⁹ M. Lv, B. Fan, J. Fang, and J. Wang, „Autonomous Landing of Quadrotor Unmanned Aerial Vehicles Based on Multi-Level Marker and Linear Active Disturbance Reject Control,” *Sensors*, vol. 24, no. 5, p. 1645, Mar. 2024, doi: 10.3390/s24051645.

⁸⁷⁰ M. W. Akhtar and N. Saeed, „UAVs-Enabled Maritime Communications: Opportunities and Challenges,” *IEEE Syst Man Cybern Mag*, vol. 9, no. 3, pp. 2–8, Jul. 2023, doi: 10.1109/MSMC.2022.3231415.

incorporation of artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) into drone systems has the potential to significantly enhance their autonomy and decision-making abilities. To illustrate, the research of Zhang et al. on effective maritime rescue identification algorithms demonstrates how AI can enhance target identification and tracking, which is pivotal for SAR operations⁸⁷¹.

Furthermore, advancements in communication technologies, such as 5G networks, can facilitate more rapid and reliable data transfer between UAVs and their control stations, as observed by Rasheed et al.⁸⁷². This will facilitate prompt oversight and management, thereby enhancing the efficiency of UAV operations in marine environments.

The creation of hybrid systems that integrate UAVs with USVs and various other unmanned platforms has the potential to enhance maritime operations. The research conducted by Nomikos et al. on enhancing connectivity within maritime communication networks using UAV swarms illustrates the potential for cooperative operations that leverage the capabilities of multiple unmanned systems⁸⁷³.

The operation of UAVs from moving platforms at sea presents a complex interplay of technical, operational, and environmental challenges. The effective deployment of UAVs in maritime settings is contingent upon the availability of sophisticated control systems, the implementation of efficient operational tactics, and the reliability of communication networks. As technology advances, the integration of AI, enhanced communication systems, and collaborative unmanned platforms will enhance the efficacy and security of UAV operations

⁸⁷¹ J. Zhang et al., „EMR-YOLO: A Study of Efficient Maritime Rescue Identification Algorithms,” *J Mar Sci Eng*, vol. 12, no. 7, p. 1048, Jun. 2024, doi: 10.3390/jmse12071048.

⁸⁷² I. Rasheed, M. Asif, A. Ihsan, W. U. Khan, M. Ahmed, and K. M. Rabie, „LSTM-Based Distributed Conditional Generative Adversarial Network for Data-Driven 5G-Enabled Maritime UAV Communications,” *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, pp. 1–16, 2022, doi: 10.1109/TITS.2022.3187941.

⁸⁷³ N. Nomikos, A. Giannopoulos, A. Kalafatelis, V. Özduran, P. Trakadas, and G. K. Karagiannidis, „Improving Connectivity in 6G Maritime Communication Networks With UAV Swarms,” *IEEE Access*, vol. 12, pp. 18739–18751, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3360133.

in marine environments. Future research and development should prioritize addressing the unique challenges posed by the marine environment to fully realize the potential of UAVs in maritime applications.

In light of the challenges and potential of utilizing UAVs from maritime moving platforms, it is now appropriate to synthesize the fundamental conclusions and insights gleaned from this research. The conclusion will summarize the principal topics addressed, evaluate the implications of these findings for UAV operations at sea, and propose avenues for future inquiry and innovation in this domain.

4. Conclusion

The deployment of UAVs from mobile platforms in maritime settings presents a complex array of challenges and opportunities. This study has sought to elucidate the technical, operational, and environmental factors pertinent to the conduct of UAV activities within these dynamic environments.

The findings underscore the necessity of sophisticated control systems, including visual-aided technologies and neural networks, for ensuring stability and precision during takeoff and landing on dynamic platforms. The design of UAVs must address the distinct challenges presented by maritime environments, including but not limited to wind, waves, and the motion of the platform. Operational plans should be tailored to align with the specific requirements of the mission at hand. The integration of UAVs and USVs has the potential to enhance the coverage and efficiency of maritime SAR operations.

The study underscores the paramount importance of dependable communication systems to ensure seamless coordination between UAVs and control stations, particularly in challenging maritime environments. Given the variability of environmental factors, such as inclement weather and fluctuations in sea state, it is imperative to develop adaptable landing systems and safety protocols to mitigate operational risks.

Anticipating the future, numerous suggestions and potential advancements arise:

1. The integration of artificial intelligence and machine learning is intended to enhance the autonomy and decision-making capabilities of UAVs, particularly with regard to target identification and monitoring in SAR operations.

2. The advancement of communication technologies, including 5G networks, is intended to facilitate more reliable and expedient data transfer between UAVs and their control stations.

3. The development of hybrid systems that integrate UAVs with USVs and other unmanned platforms with the objective of enhancing the efficiency and collaboration of maritime operations.

4. Further research is required into the development of adaptive control algorithms that can more effectively respond to the dynamic characteristics of maritime environments, thereby enhancing stability and performance during both flight and landing operations.

5. There is a need to investigate the potential of new materials and designs for UAVs to withstand the corrosive effects of saltwater and the challenging environmental conditions typically encountered in maritime settings.

6. Investigation of the potential of propulsion systems that are energy-efficient and explore techniques for power management. The aim is to enhance the operational range and endurance of UAVs during maritime missions.

7. The establishment of consistent protocols and regulations for UAV operations in marine environments is essential to ensure the safety and interoperability of various platforms and jurisdictions.

In conclusion, despite the existing challenges, the ongoing progress of UAV technology, along with enhanced integration methods and operational procedures, presents a substantial opportunity for the enhancement of maritime operations across a spectrum of applications, including environmental monitoring and search and rescue activities.

References

1. Akhtar, M. W., & Saeed, N. (2023). UAVs-Enabled Maritime Communications: Opportunities and Challenges. *IEEE Systems, Man, and Cybernetics Magazine*, 9(3), 2–8. <https://doi.org/10.1109/MSMC.2022.3231415>
2. Amaral, G., Silva, H., Lopes, F., Ribeiro, J. P., Freitas, S., Almeida, C., Martins, A., Almeida, J., & Silva, E. (2017). UAV cooperative perception for target detection and tracking in maritime environment. *OCEANS 2017 - Aberdeen*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/OCEANSE.2017.8084827>
3. Cho, S.-W., Park, J.-H., Park, H.-J., & Kim, S. (2021). Multi-UAV Coverage Path Planning Based on Hexagonal Grid Decomposition in Maritime Search and Rescue. *Mathematics*, 10(1), 83. <https://doi.org/10.3390/math10010083>
4. De Lima Filho, G. M., Passaro, A., Delfino, G. M., De Santana, L., & Monsuur, H. (2022a). Time-Critical Maritime UAV Mission Planning Using a Neural Network: An Operational View. *IEEE Access*, 10, 111749–111758. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3215646>
5. De Lima Filho, G. M., Passaro, A., Delfino, G. M., De Santana, L., & Monsuur, H. (2022b). Time-Critical Maritime UAV Mission Planning Using a Neural Network: An Operational View. *IEEE Access*, 10, 111749–111758. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3215646>
6. Dimitrakiev, D., Milev, D., & Gunes, E. (2023). The Risk Analysis of Chemical Tankers Passing Through the Turkish Straits between 2010 – 2022. *Strategies for Policy in Science and Education-Strategii Na Obrazovatel'nata i Nauchnata Politika*, 31(3s), 45–55. <https://doi.org/10.53656/str2023-3s-3-the>
7. Dimitrakieva, S., Milev, D., & Atanasova, C. (2023). Voyage of Learning: Cruise Ships Weather Routing and Maritime Education. *Strategies for Policy in Science and Education-Strategii Na Obrazovatel'nata i Nauchnata Politika*, 31(6s), 48–55. <https://doi.org/10.53656/str2023-6s-4-voy>

8. Dimitranov, D., & Belev, B. (2024). Sustainable Shipping Required Sustainable Education and Training. *Preprints*. <https://doi.org/10.20944/preprints202410.2208.v1>

9. Hovstein, V. E., Saegrov, A., & Johansen, T. A. (2014). Experiences with coastal and maritime UAS BLOS operation with phased-array antenna digital payload data link. *2014 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, 261–266. <https://doi.org/10.1109/ICUAS.2014.6842264>

10. Karachalios, T., Moschos, P., & Orphanoudakis, T. (2024). Maritime Emission Monitoring: Development and Testing of a UAV-Based Real-Time Wind Sensing Mission Planner Module. *Sensors*, 24(3), 950. <https://doi.org/10.3390/s24030950>

11. Lv, M., Fan, B., Fang, J., & Wang, J. (2024). Autonomous Landing of Quadrotor Unmanned Aerial Vehicles Based on Multi-Level Marker and Linear Active Disturbance Reject Control. *Sensors*, 24(5), 1645. <https://doi.org/10.3390/s24051645>

12. Ma, Y., Zhao, Y., Qi, X., Zheng, Y., & Gan, R. (2018). Cooperative communication framework design for the unmanned aerial vehicles-unmanned surface vehicles formation. *Advances in Mechanical Engineering*, 10(5). <https://doi.org/10.1177/1687814018773668>

13. Nomikos, N., Giannopoulos, A., Kalafatelis, A., Özduran, V., Trakadas, P., & Karagiannidis, G. K. (2024). Improving Connectivity in 6G Maritime Communication Networks With UAV Swarms. *IEEE Access*, 12, 18739–18751. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3360133>

14. Nomikos, N., Gkonis, P. K., Bithas, P. S., & Trakadas, P. (2023). A Survey on UAV-Aided Maritime Communications: Deployment Considerations, Applications, and Future Challenges. *IEEE Open Journal of the Communications Society*, 4, 56–78. <https://doi.org/10.1109/OJCOMS.2022.3225590>

15. Palafox, P. R., Garzón, M., Valente, J., Roldán, J. J., & Barrientos, A. (2019). Robust Visual-Aided Autonomous Takeoff, Tracking, and Landing of a

Small UAV on a Moving Landing Platform for Life-Long Operation. *Applied Sciences*, 9(13), 2661. <https://doi.org/10.3390/app9132661>

16. Rasheed, I., Asif, M., Ihsan, A., Khan, W. U., Ahmed, M., & Rabie, K. M. (2022). LSTM-Based Distributed Conditional Generative Adversarial Network for Data-Driven 5G-Enabled Maritime UAV Communications. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 1–16. <https://doi.org/10.1109/TITS.2022.3187941>

17. Santos, M. C., Bartlett, B., Schneider, V. E., Brádaigh, F. Ó., Blanck, B., Santos, P. C., Trslic, P., Riordan, J., & Dooly, G. (2024a). Cooperative Unmanned Aerial and Surface Vehicles for Extended Coverage in Maritime Environments. *IEEE Access*, 12, 9206–9219. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3353046>

18. Santos, M. C., Bartlett, B., Schneider, V. E., Brádaigh, F. Ó., Blanck, B., Santos, P. C., Trslic, P., Riordan, J., & Dooly, G. (2024b). Cooperative Unmanned Aerial and Surface Vehicles for Extended Coverage in Maritime Environments. *IEEE Access*, 12, 9206–9219. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3353046>

19. Shen, L., Sun, J., & Yang, D. (2024). Research on Path Optimization for Collaborative UAVs and Mothership Monitoring of Air Pollution from Port Vessels. *Sustainability*, 16(12), 4948. <https://doi.org/10.3390/su16124948>

20. Trasviña-Moreno, C., Blasco, R., Marco, Á., Casas, R., & Trasviña-Castro, A. (2017). Unmanned Aerial Vehicle Based Wireless Sensor Network for Marine-Coastal Environment Monitoring. *Sensors*, 17(3), 460. <https://doi.org/10.3390/s17030460>

21. Wang, J., Zhou, K., Xing, W., Li, H., & Yang, Z. (2023). Applications, Evolutions, and Challenges of Drones in Maritime Transport. *Journal of Marine Science and Engineering*, 11(11), 2056. <https://doi.org/10.3390/jmse11112056>

22. Zhang, J., Hua, Y., Chen, L., Li, L., Shen, X., Shi, W., Wu, S., Fu, Y., Lv, C., & Zhu, J. (2024). EMR-YOLO: A Study of Efficient Maritime Rescue Identification Algorithms. *Journal of Marine Science and Engineering*, 12(7), 1048. <https://doi.org/10.3390/jmse12071048>

23. Zhang, Y., Tao, Q., & Yin, Y. (2023). A Lightweight Man-Overboard Detection and Tracking Model Using Aerial Images for Maritime Search and Rescue. *Remote Sensing*, 16(1), 165. <https://doi.org/10.3390/rs16010165>

24. Zhao, D. L., & Anvar, A. M. (2012). Modelling and Simulation of Maritime UAV-VTOL Robot Flight Control. *Applied Mechanics and Materials*, 152–154, 1149–1154. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.152-154.1149>

ВЪЗСТАНОВЯВАНЕ НА ГРЕБНИ ВИНТОВЕ ИЗРАБОТЕНИ ОТ NI-AL БРОНЗ

Калин Люцканов

ВВМУ „Н.Й.Вапцаров”, Варна

e-mail: k.lyutskanov@nvna.eu, gsm: 0878 82 93 88

Анотация: В доклада са разгледани различни възможности за възстановяване формата, размерите и работоспособността на корабните гребни винтове, които в процеса на своята експлоатация получават различни видове дефекти и неизправности. Всички те трябва да бъдат отстранени, за да може гребния винт да изпълнява своето предназначение с изчисления за него КПД.

Ключови думи: възстановяване, кораборемонт, гребни винтове, кораб, бронз

RECONDITIONING OF PROPELLERS MADE OF NI-AL BRONZE

Kalin Lyutskanov

Nikola Vaptsarov Naval Academy, Varna

e-mail: k.lyutskanov@nvna.eu, mobile: 0878 82 93 88

Abstract: The report examines various options for restoring the shape, size and performance of ship's propellers, which in the process of their operation receive various types of defects and malfunctions. All of these must be removed in order for the propeller to perform its intended purpose with calculations for its efficiency,

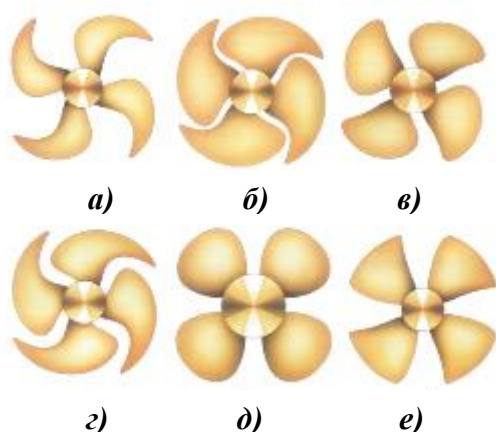
Key words: reconditioning, ship repair, ship propeller, ship, bronze

1. Въведение.

За всеки вид кораб, гребния винт е проектиран така, че да осигури максимален КПД, да не предизвиква шумове и вибрации. Изборът на винт

е решаващ фактор за да бъдат постигнати гореспоменатите. За всеки кораб се изработва уникален движител, който е съобразен с двигателя, който ще се използва, както и с корпуса на кораба.

Геометричната форма на лопатките на гребния винт също е много важен фактор за постигане на желаните работни условия⁸⁷⁴.



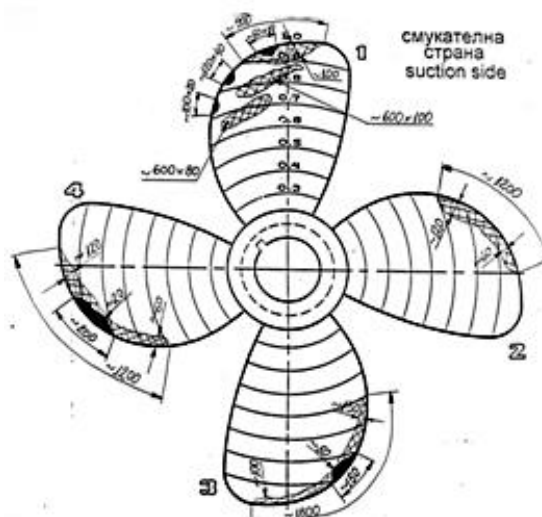
Фиг. 1. Форми на гребни винтове за различни видове кораби

- отрязани части от лопатката.
- пукнатини
- газови шупли
- корозионни разяждания
- отчупени части
- кавитационни каверни

На фиг. 2 е представена дефектационна карта на гребен винт, с точно посочени дефектирали места.

Най-често срещаните форми в различните типове кораби са представени на фиг.1.

В процеса на експлоатация, гребните винтове биват подлагани на различни натоварвания и различни влияния на морската среда, поради което те получават и редица неизправности и дефекти в течение на времето^{875,876}. Такива дефекти са:



Фиг. 2. Дефектационна карта на гребен винт

⁸⁷⁴ KEES K., Diesel Engines III, ISBN/EAN 978-90-79104-05-5

⁸⁷⁵ CARLTON J. Marine Propellers and Propulsion 3rd edition, ISBN: 9780081013243

⁸⁷⁶ SHERRINGTON I, SMITH EH. Parameters for characterizing the surface topography of engineering components. Trans I Mech E; 1987

2. Изложение

Операции по възстановяването на размерите и формата на лопатките на гребните винтове изработени от алуминиеви бронзи

I. Операции по възстановяване формата и размерите на лопатките.

1. Изправяне чрез нагряване и коване огънатите участъци по периферията на лопатките.

Използва се ацитиленова горелка и чук с тегло от 5 kg с оправка. За по-големи деформации – нагряване и възстановяване посредством хидравлична преса.

2. Заваряване и напластяване дефектните участъци

Извършва се след предварителна подготовка на лопатките

2.1. Механично почистване на местата, където са нарушени контурите на лопусите.

2.2. Механично почистване до метален блясък лопуса от двете му страни.

2.3. Цветна дефектоскопия - по цялата периферия на лопатката с цел откриване на микропукнатини фиг.3.

2.4. Механична подготовка на ръбовете на пукнатините. Извършва се съгласно технология.



а)



б)

Фиг. 3 Цветна дефектоскопия на лопатка на гребен винт
а – при свален от място гребен винт, б – при гребен винт в работно
положение

2.5. Заваряване пукнатините (фиг. 4)

Извършва се полуавтоматично в защитна среда аргон и метален електрод $\varnothing = 1.0 \text{ mm}$ на 1.2 mm .

За радиални пукнатини, ако преминават по цялото сечение на лопуса се ограничават с отвор $\varnothing = 12 \text{ mm}$ в края на пукнатината.

Прихваща се допълнителна бронзова планка към лопуса, на която се завършват заваръчни шевове.



Фиг-4 Заваряване/наваряване на лопатка на гребен винт

2.6. Възстановяване липсващите участъци по периферията на лопусите.

Извършва се чрез напластяване или заваряване на отлято парче към лопатката. Ползва се полуавтоматично заваряване в среда от аргон.

Извършва се върху дебела подложка от сплав на основата на мед^{877,878}

⁸⁷⁷ МЕЧКАРОВА, Т., VALCHEV N., MINCHEVA D., Wear resistance of surface layered aluminum bronze on steel 40X International Journal „NDT Days”, Volume VII, Issue 1, Year 2024, ISSN: 2603-4018; e-ISSN: 2603-4646, pp.19-24

⁸⁷⁸ МЕЧКАРОВА, Т., VALCHEV N., MINCHEVA D., Choice of optimal technology for surface layering of aluminum bronze on steel 40x through mig welding when obtaining bimetals International Journal „NDT Days”, Volume VII, Issue 3, Year 2024, ISSN: 2603-4018; e-ISSN: 2603-4646, pp.125-131

2.7. Наваряване кавитационни язви, ниските места по лопусите, побитостите - използва се същия метод, както и при напластяването.

3. Технология на заваряването

3.1. Предварително подгриване лопусите в местата на заваряване до $T^{\circ} = 200 \div 250^{\circ} \text{C}$. Извършва се с газова горелка и нормален пламък.

3.2. Ползва се постоянен ток и обратна полярност (+ на електрода)

3.3. Подаването на телта полуавтоматично в защитна среда от аргон (метод МИГ)

3.4. Сила на заваръчния ток $I_{\text{зав}} = 120 \div 200 \text{ A}$ за $\varnothing = 1.6 \text{ mm}$

$I_{\text{зав}} = 110 \div 160 \text{ A}$ за $\varnothing = 1.2 \text{ mm}$

$I_{\text{зав}} = 90 \div 140 \text{ A}$ за $\varnothing = 1.0 \text{ mm}$

3.5. Разход на аргон $9 \div 12 \text{ l/min}$

3.6. Защитна дюза $\varnothing 16 \div 18 \text{ mm}$

3.7. Добавъчни материали във вид на проволка $\varnothing = 1.0 \text{ mm}$; $\varnothing = 1.2 \text{ mm}$; $\varnothing = 1.4 \text{ mm}$; $\varnothing = 1.6 \text{ mm}$

3.8. Марка на добавъчните материали

CuAl10Fe5Ni5-C под формата на заваръчна тел ^{4,5}

Забележка: Температурата на лопуса по време на заваряването не бива да превишава 500°C



Фиг-5 Заваръчен шев по края на лопатката на гребен винт

II. Контрол качеството на заваръчните шевове и напластените участъци.

Извършва се от оторизиран представител, като проверката трябва да включва:

- външен оглед
- цветна дефектоскопия
- ултразвукова дефектоскопия – за проверка на вътрешни шупли и пукнатини – фиг 6.



Фиг. 6. Ултразвук на винт



Фиг. 7. Механична обработка на винт

II. Следващи обработки по лопатките на винта

1. Механична обработка на напластените участъци до възстановяване на геометричните форма и размери – извършва се ръчно или автоматично^{879,880} – фиг 7.

2. Балансиране на гребния винт

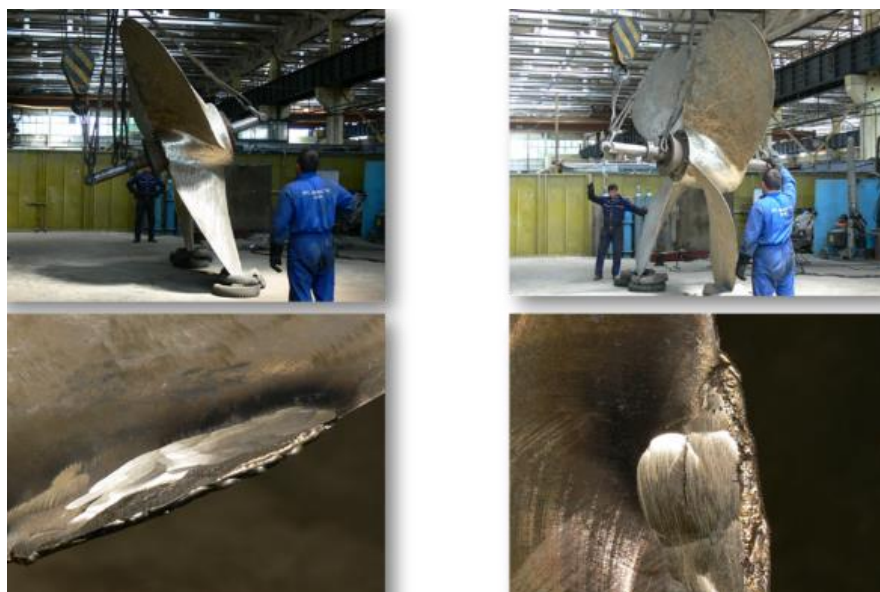
⁸⁷⁹ TOWNSIM RL, SPENCER DS, MOSAAD M, PATIENCE G. Rough propeller penalties. Trans SNAME; 1985.

⁸⁸⁰ TOWNSIM RL, BYRNE D, SVENSEN TE, MILNE A. Estimating the technical and economic penalties of hull and propeller roughness. Trans SNAME; 1981.

На фиг. 8 са представени операции по ремонтно-възстановителни работи по смукателната и нагнетателната страна на винта

Използвана литература

1. KEES K., Diesel Engines III, ISBN/EAN 978-90-79104-05-5
2. CARLTON J. Marine Propellers and Propulsion 3rd edition, ISBN: 9780081013243
3. SHERRINGTON I, SMITH EH. Parameters for characterizing the surface topography of engineering components. Trans I Mech E; 1987
4. MECHKAROVA, T., VALCHEV N., MINCHEVA D., Wear resistance of surface layered aluminum bronze on steel 40X International Journal „NDT Days”, Volume VII, Issue 1, Year 2024, ISSN: 2603-4018; e-ISSN: 2603-4646, pp.19-24
5. MECHKAROVA, T., VALCHEV N., MINCHEVA D., Choice of optimal technology for surface layering of aluminum bronze on steel 40x through mig welding when obtaining bimetal International Journal „NDT Days”, Volume VII,



Фиг. 8. Технологични операции по ремонтно-възстановителни работи по смукателната и нагнетателната страна на винта

Issue 3, Year 2024, ISSN: 2603-4018; e-ISSN: 2603-4646, pp.125-131

6. TOWNSIM RL, SPENCER DS, MOSAAD M, PATIENCE G. Rough propeller penalties. Trans SNAME; 1985.

7. TOWNSIM RL, BYRNE D, SVENSEN TE, MILNE A. Estimating the technical and economic penalties of hull and propeller roughness. Trans SNAME; 1981.

СЪВРЕМЕННИ МАТЕРИАЛИ ИЗПОЛЗВАНИ ПРИ ИЗРАБОТВАНЕТО НА КОРАБНИ ГРЕБНИ ВИНТОВЕ

Калин Люцканов

ВВМУ „Н.Й.Вапцаров”, Варна

e-mail: k.lyutskanov@nvna.eu, тел: 0878 82 93 88

***Анотация:** В доклада са разгледани и анализирани съвремените материали използвани при изработването на корабните гребни винтове. Гребните винтове се изработват от материали, които трябва да отговарят по своя състав и механически свойства на изискванията на съответната класификационна организация, под чието наблюдение се изработва винтът.*

***Ключови думи:** гребен винт, материали, месинг, бронз,*

MODERN MATERIALS FOR MANUFACTURING OF SHIP'S PROPELLERS

Kalin. Lyutskanov

Nikola Vaptsarov Naval Academy, Varna

e-mail: k.lyutskanov@nvna.eu, mobile: +359 878829388

***Abstract:** The report examines and analyzes the modern materials used in the manufacture of ship's propellers. Propellers are made from materials that meet the chemical composition and mechanical properties requirements of the relevant classification society under whose supervision the propeller is manufactured.*

***Keywords:** propeller, high-strength brass, bronze, materials,*

Въведение:

Материалите, от които днес се изработват гребните винтове, могат да бъдат причислени към групата на бронза или групата на неръждаемите стомани. Някога популярния материал чугун сега почти напълно е изчезнал от групата за производство на съвременни гребни винтове, като дори не се използва и за направата на резервни такива. Този материал, е отстъпил мястото си на материали с по-добри механични и кавитационно-устойчиви свойства, както и на корозоустойчиви такива^{881,882}.

На фигура 1 са представени материалите използвани за изработването на гребни винтове.



Фиг.1 Материали използвани за направата на гребни винтове

⁸⁸¹ KEES K., Diesel Engines III, ISBN/EAN 978-90-79104-05-5

⁸⁸² CARLTON J. Marine Propellers and Propulsion 3rd edition, ISBN: 9780081013243

Популярността на двата основни материала се е променила през годините, като през 60-те години използването на месинг с висока якост е представлявало 64 % от изработката на всички гребни винтове, 12 % - магнезий-алуминиев бронз, 19 % - никел-алуминиев бронз.

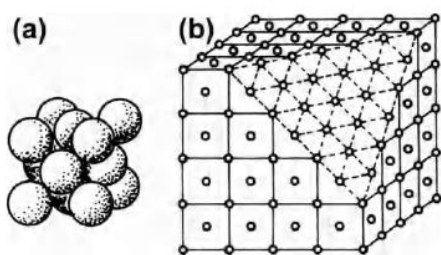
Към средата на 80-те никел-алуминиевия бронз има пълно надмощие, като представлява 82 % от всички сертифицирани от Lloyd's Register гребни винтове.

Тази тенденция се запазва и до днес. Месингът с висока якост, често причисляван към магнезиевите бронзи днес се използва около 7 %, а манганово-алуминиевия бронз – 8 %⁸⁸³.

Неръждаемите стомани стават популярни в периода – 60-те -70-те години, но постепенно отстъпват напълно мястото си на материалите на основата на мед. Днес гребните винтове от неръждаема стомана представляват около 3 % от производството на винтове в световен мащаб, като се използват за изработка на така наречения ICE CLASS PROPELLERS.

Изложение:

1. Основни свойства на цветните сплави, като материал използван за производство на гребни винтове



Фиг. 2. Кристална решетка на мед
а) – стенно-центрирана кубична
решетка – мед;
б) – подредба на атомите

Медта, която притежава стенноцентрирана кубична решетка (фиг.2.), се характеризира с ценни технически свойства, висока електро- и топлопроводимост, добра пластичност и достатъчна якост. Температурата на топене е 1083 °C, плътност – 8,94 g/cm³, якост на опън $R_m = 200 \div 250$ МПа, относително удължение $A = 60$ %.

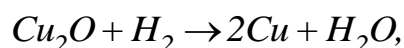
⁸⁸³ SHERRINGTON I, SMITH EH. Parameters for characterizing the surface topography of engineering components. Trans I Mech E; 1987

Примесите оказват значително влияние на свойствата на медта и най-вече на електропроводимостта и. По начина на взаимодействие с медта се разделят на три групи:

- примеси, образуващи с медта твърди разтвори: Ni, Zn, Al, Sb, Fe, P и други.

- примеси Pb, Bi и други, практически неразтворими във медта, образуващи леснотопими евтектики, които се отделят по границите на зърната и затрудняват обработването и чрез пластична деформация

- примеси O₂ и S, образуващи с медта крехки химически съединения Cu₂O, Cu₂S, влизащи в състава на евтектиката. Сярата подобрява обработваемостта на медта чрез рязане, а кислородът предизвиква „водородна болест”. При нагряване на медта във водородна среда, ако има включвания от Cu₂O, протича реакцията:



т.е. образуват се водни пари и се увеличава обема. В отделни участъци възниква високо налягане, което предизвиква поява на микропукнатини и разрушаване на детайлите^{884,885}.

Медта добре се съпротивлява срещу корозия в обикновенни атмосферни условия, в прясна и морска вода и други агресивни среди, но има недобра устойчивост в сернисти газове и амоняк. Медта лесно се обработва чрез пластична деформация, но трудно чрез рязане, трудно се заварява, но лесно се запоява.

Две основни групи на основата на мед се различават или така наречените медни сплави.

- Месинги – това е сплав на мед и цинк
- Бронзи – сплав на мед с калай и други елементи (в това число, но само в комбинация с други елементи може да попадне и цинка)

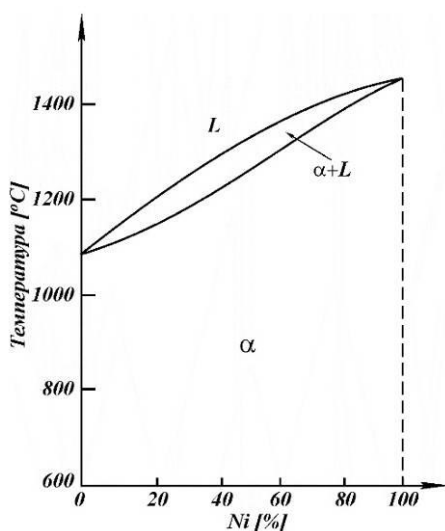
⁸⁸⁴ CARLTON J. Marine Propellers and Propulsion 3rd edition, ISBN: 9780081013243

⁸⁸⁵ TOWNSIM RL, SPENCER DS, MOSAAD M, PATIENCE G. Rough propeller penalties. Trans SNAME; 1985.

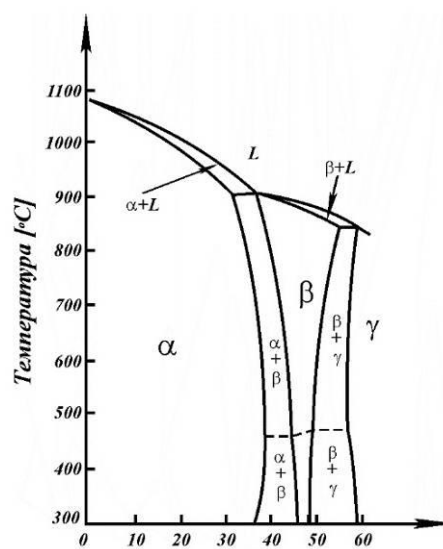
Специалните бронзови и месингови сплави съдържат в себе си метали, добавката на които дори в малки количества, съществено изменят свойствата и строежа на сплавите.

- Алуминий (Al) – подобрява корозионните свойства по отношение на общата корозия, тъй като образуващата се на повърхността окисна плака активно защитава метала от по-нататъшно окисляване. Също така повишава твърдостта и якостта.

- Никел (Ni) – В съвременното производство на гребни винтове, важна роля играе сплавта на мед с никел. Никелът, както и медта има стенноцентрирана кубична решетка, като има сходни атомни размери и химични свойства. Тези два елемента образуват твърд разтвор при съединяването им.



Фиг. 3. Двуконпонентен твърд разтвор на мед и никел (Cu-Ni)



Фиг.4. Диаграма на състоянието (Cu-Zn)

Полученият материал е жилав, пластичен, сравнително як и има добра корозоустойчивост.

На фиг 3. е показан двуконпонентен разтвор на мед и никел (Cu-Ni).

- Манган (Mn) – оказва положително въздействие на алуминиевите бронзи, повишава корозионната им устойчивост. Добавяне на манган към месинга повишава предела на якост и еластичността, без да

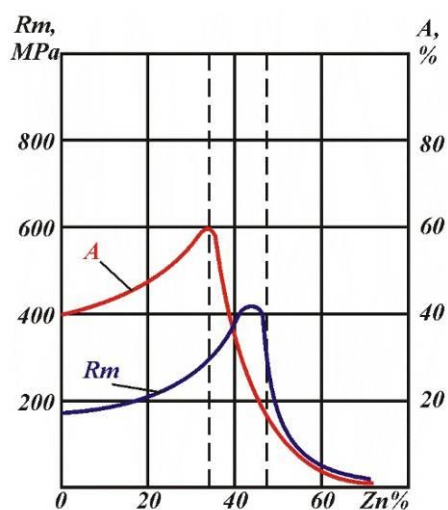
снижава пластичността, но с увеличаване на мангана над 4% се наблюдава понижаване на относителното удължение и ударната жилавост.

- Желязо (Fe) – влияе положително на структурата на сплавите, способства за образуването на дребнозърнеста структура (дребнозърнестата структура подобрява механичните свойства)^{886,887,888}.

1.1. Високояк месинг – използва се за изработка на гребни винтове (фиг.4). Химичният състав на този месинг включва:

Мед (Cu) – 52 ÷ 62%, Цинк (Zn) – 35 ÷ 40%, Желязо (Fe) – 0,5 ÷ 2,5%, Алуминий (Al) – 0,5 ÷ 3,5%, Манган (Mn) – 0,5 ÷ 4%, Никел (Ni) – max 1%, Калай (Sn) – 0,1 ÷ 0,5%

Практическо приложение имат месинги със съдържание на цинк до 45%. При съдържание на цинк до 39%, месингът има еднофазна структура – α -месинг; от 39 – 43 % сплавта се състои от $\alpha+\beta$ кристали и над 50% Zn – γ твърд разтвор, който е крехък. Максимална пластичност притежава месинг



Фиг. 5. Влияние на цинка върху механичните свойства на месинга

със съдържание 32% цинк, а максимална якост – 45% цинк. Месингите с еднофазна α -структура се обработват добре чрез пластично деформиране в студено и горещо състояние⁸⁸⁹².

Месингите, които имат двуфазна структура ($\alpha+\beta$) притежават повишена твърдост, добре се обработват в горещо състояние, но в студено притежават ниска степен на пластичност.

Повишени технологични, механични свойства и корозоустойчивост имат

⁸⁸⁶ KEES K., Diesel Engines III, ISBN/EAN 978-90-79104-05-5

⁸⁸⁷ CARLTON J. Marine Propellers and Propulsion 3rd edition, ISBN: 9780081013243

⁸⁸⁸ TOWNSIM RL, BYRNE D, SVENSEN TE, MILNE A. Estimating the technical and economic penalties of hull and propeller roughness. Trans SNAME; 1981.

⁸⁸⁹ CARLTON J. Marine Propellers and Propulsion 3rd edition, ISBN: 9780081013243

месингите, в които освен мед и цинк попадат елементи като никел, алуминий, манган и други.

Облекчаване на напрежението при винтове изработени от месинг може да се постигне чрез нагриване на материала при температури в диапазона от $350 \div 550^{\circ} \text{C}$, Остатъчните напрежения могат да бъдат намалени чрез локално нагриване на повърхността на гребния винт и когато е необходимо това задължително трябва да се извърши

Месингът е лесен за обработка материал и може да се огъва или работи при всяка температура. Когато се нагрива над 600°C , той е доста мек и пластичен, което улеснява всички ремонти на изправяне, които може да са необходими^{890,891,892}.

1.2. Алуминиев бронз

При изработването на гребни винтове се използват така наречения клас алуминиеви бронзи. Алуминиевият бронз притежава по-високи якостни свойства и корозионна устойчивост в атмосферни условия, морска среда и дори някои органични киселини.

Алуминиеви бронзи използвани за изработка на винтове могат да се разделят на три вида:

- Никел-алуминиев бронз (Ni-Al)
- Манган-алуминиев бронз (Mn-Al)
- Никел-манганов бронз (Ni-Mn)

По-голямо процентно разпространение на винтове изработени от алуминиеви бронзи се пада на първите два вида: никел-алуминиев бронз и манган-алуминиев бронз.

Последната от трите сплави има по-ниски механични свойства от първите две⁸⁹³.

⁸⁹⁰ KEES K., Diesel Engines III, ISBN/EAN 978-90-79104-05-5

⁸⁹¹ CARLTON J. Marine Propellers and Propulsion 3rd edition, ISBN: 9780081013243

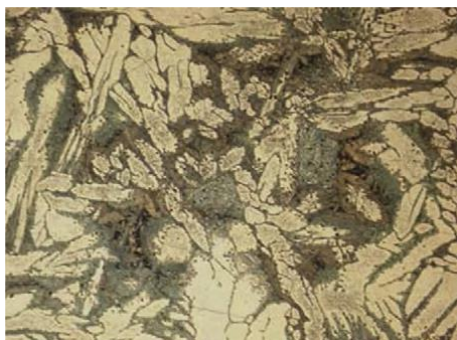
⁸⁹² TOWNSIM RL, BYRNE D, SVENSEN TE, MILNE A. Estimating the technical and economic penalties of hull and propeller roughness. Trans SNAME; 1981.

⁸⁹³ CARLTON J. Marine Propellers and Propulsion 3rd edition, ISBN: 9780081013243

1.3. Никел-алуминиев бронз (Ni-Al)

Най-използваният от трите вида алуминиев бронз. Химичният състав на този бронз използван за изработка на гребни винтове включва:

Мед (Cu) – 77 ÷ 82%, Цинк (Zn) – max 1%, Желязо (Fe) – 2 ÷ 6%, Алуминий (Al) – 7 ÷ 11%, Манган (Mn) - 0,5 ÷ 4%, Никел (Ni) – 3÷6%, Калай (Sn) – max 0,1%.



Фиг. 6. Микроструктура на Ni-Al бронз с увеличение x200

Микроструктурата на никел-алуминиевия бронз е доста различна от тази на месинга с висока якост. Състои се от матрица на α -фазата, в която са разпределени малки сферички и пластинки с твърда съставка, която често се обозначава като к-фаза. На фиг.6 е показана типична никел-алуминиева бронзова микроструктура с увеличение 200.

При нормална температура сплавта е жилава и пластична, но с повишаване на температурата до 400 °C тя губи тези свойства, а нейното удължение става $\frac{1}{4}$ от това при нормална температура. Възможно е пластичността да се възстанови, но при високи температури, като огънатите лопатки на винта могат да се изправят при температури над 700 °C. Освен това, при температури над 800 °C никел-алуминиевият бронз става доста ковък и пластичен, което позволява извършването на ремонти с относителна лекота⁸⁹⁴.

1.4. Манган-алуминиев бронз (Mn-Al)

Химичният състав на този бронз използван за изработка на гребни винтове включва:

Мед (Cu) – 70 ÷ 80%, Цинк (Zn) – max 6%, Желязо (Fe) – 2 ÷ 5%, Алуминий (Al) – 6,5 ÷ 9%, Манган (Mn) – 8 ÷ 20%, Никел (Ni) – 1,5 ÷ 3%, Калай (Sn) – max 1%.

⁸⁹⁴ CARLTON J. Marine Propellers and Propulsion 3rd edition, ISBN: 9780081013243

Всички манган-алуминиеви сплави имат сходни микроструктури и следователно донякъде сходни характеристики. Структурите им са подобни на тези на месингите с висока якост, като при Mn-Al бронзи структурата има тенденция да бъде по-фина.

За облекчаване на напреженията при винтове изработени от този вид бронз се прилагат същите изисквания, както при месинга^{895,896}.

1.5. Никел-манганов бронз (Ni-Mn)

Този бронз използван за изработка на гребни винтове притежава следния химичен състав:

Мед (Cu) – 50 ÷ 57%, Цинк (Zn) – 33 ÷ 38%, Желязо (Fe) – 0,5 ÷ 2%, Алуминий (Al) – 0,5 ÷ 2%, Манган (Mn) – 1 ÷ 4%, Никел (Ni) – 3 ÷ 4%, Калай (Sn) – max 0,1%

Най-малко използваният вид алуминиев бронз поради по-лошите механични свойства.

2. Други материали използвани за изработка на гребни винтове

2.1. Неръждаеми стомани

Към днешна дата, неръждаемите стомани които се използват за направата на гребни винтове са три вида:

- Мартензитна стомана
- Аустенитна стомана
- Дублексна стомана (аустенито-феритна)

За производството на винтове се използват основно първите два: това са мартензитна стомана с 13% съдържание на хром и аустенитна неръждаема стомана със съдържание 18% хром, 8% никел, 3% манган. Първият е може би по-широко използваният вид. Въпреки това, използването и на двата вида обикновено е ограничено до малки винтове, както и до такива от ICE CLASS серията^{897, 898, 899}.

⁸⁹⁵ KEES K., Diesel Engines III, ISBN/EAN 978-90-79104-05-5

⁸⁹⁶ CARLTON J. Marine Propellers and Propulsion 3rd edition, ISBN: 9780081013243

⁸⁹⁷ KEES K., Diesel Engines III, ISBN/EAN 978-90-79104-05-5

⁸⁹⁸ CARLTON J. Marine Propellers and Propulsion 3rd edition, ISBN: 9780081013243

Като цяло винтовете изработени от неръждаени стомани притежават добра устойчивост на корозия и механична якост, но корозоустойчивостта в морската вода, а също и на кавитационна ерозия като цяло е по-ниска от тази на алуминиевите бронзи.

2.2. Чугуни

При по-стари плавателни съдове и особено от тези принадлежащи към речния флот, може да се срещнат гребни винтове изработени от този материал. Отливат се от сив чугун с пластичен графит и от високоякостен чугун със сфероиден графит. Тяжно основно предимство е ниската себестойност^{900, 901, 902}.

*Другите материали, като въглеродна стомана и пластмаса няма да бъдат разгледани

Заклучение:

Анализът на материалите показва, че в близкото бъдеще тенденцията корабните гребни винтове да се изработват от цветни сплави на основата на мед ще продължи. Въпреки това, поради високата им цена на производство, през последните години за производството на винтове са проектирани неръждаеми стомани с повече от 20% хром и около 5% никел с микроструктури, съдържащи приблизително равни пропорции на аустенитна и феритна фаза. Тези материали имат по-добра устойчивост на умора от корозия в морската вода в сравнение с мартензитните или аустенитните видове, но все още не са широко приложени.

Една от държавите, които се стремят да разработват неръждаема стомана с еквивалентни показатели спрямо никел-алуминиеви бронзи и цветните сплави като цяло, е Япония.

⁸⁹⁹ SHERRINGTON I, SMITH EH. Parameters for characterizing the surface topography of engineering components. Trans I Mech E; 1987

⁹⁰⁰ CARLTON J. Marine Propellers and Propulsion 3rd edition, ISBN: 9780081013243

⁹⁰¹ SHERRINGTON I, SMITH EH. Parameters for characterizing the surface topography of engineering components. Trans I Mech E; 1987

⁹⁰² TOWNSIM RL, BYRNE D, SVENSEN TE, MILNE A. Estimating the technical and economic penalties of hull and propeller roughness. Trans SNAME; 1981.

Използвана литература

1. KEES K., Diesel Engines III, ISBN/EAN 978-90-79104-05-5
2. CARLTON J. Marine Propellers and Propulsion 3rd edition, ISBN: 9780081013243
3. SHERRINGTON I, SMITH EH. Parameters for characterizing the surface topography of engineering components. Trans I Mech E; 1987
4. TOWNSIM RL, SPENCER DS, MOSAAD M, PATIENCE G. Rough propeller penalties. Trans SNAME; 1985.
5. TOWNSIM RL, BYRNE D, SVENSEN TE, MILNE A. Estimating the technical and economic penalties of hull and propeller roughness. Trans SNAME; 1981.

ФОРМИРАНЕ НА ПОВЪРХНОСТНИ СЛОЕВЕ ЧРЕЗ ГАЗО- ТЕРМИЧНО ПРАХОВО НАВАРЯВАНЕ

Калин Люцканов

ВВМУ „Н.Й.Вапцаров”, Варна

e-mail: k.lyutskanov@nvna.eu, gsm: 0878 82 93 88

Анотация: Тази статия представя възможностите на метода на газотермично наваряване с метални прахови сплави, които лесно могат да бъдат адаптирани за повърхностни покрития за защита или ремонт на детайли и елементи от машините и механизмите.

Ключови думи: газотермично заваряване, метални прахове, сплави, износване, износоустойчивост;

SURFACE LAYERS OBTAINED BY GAS THERMAL POWDER WELDING

Kalin Lyutskanov

Nikola Vaptsarov Naval Academy, Varna

e-mail: k.lyutskanov@nvna.eu, mobile: 0878 82 93 88

Abstract: This article presents the possibilities of the gas thermal welding method with metal powder alloys, which can easily be adapted for surface coatings for the protection or repair of details and elements of machines and mechanisms.

Keywords: gas-thermal welding, metal powders alloys, wear, wear resistance

1. Въведение

Като основен фактор за дълготрайността и надежността на машинните елементи е тяхната износоустойчивост. Повишаване на износо-

устойчивостта води до увеличаване и времето на експлоатация на детайлите работещи в среда на чисто абразивно износване, както и в среда на хидроабразивни смеси⁹⁰³

Наваряването на металите се прилага за възстановяване на първоначалните размери на износени детайли и за създаване на повърхностен слой със специални свойства^{904, 905}

2.Изложение

Газотермичното прахово наваряване се прилага за възстановяване на първоначалните размери на износени детайли и за създаване на повърхностен слой със специални свойства. При тези наваръчните работи е необходимо да се получи минимално разтопяване на основния метал и минимално размесване между основния и наварения метал, за да се запазят механичните свойства на наварения слой. Наварения метал трябва да бъде здраво съединен с основния и не трябва да съдържа шлакови включения, шупли, пукнатини, газови включения и др.^{906, 907}.

При праховото наваряване материала постъпва в горелката (фиг.1) от бункер през отвор поради ижекторния ефект създаван от потока кислород. Прахът се транспортира във високотемпературната зона, където се нагрива и разтопява. Увлечени от струята газове частиците попадат върху повърхностно разтопения основен метал и образуват съединение.

Загриването на основния метал се осъществява с помощта на горелката, като се извършва преди да бъде освободен праха от бункера.

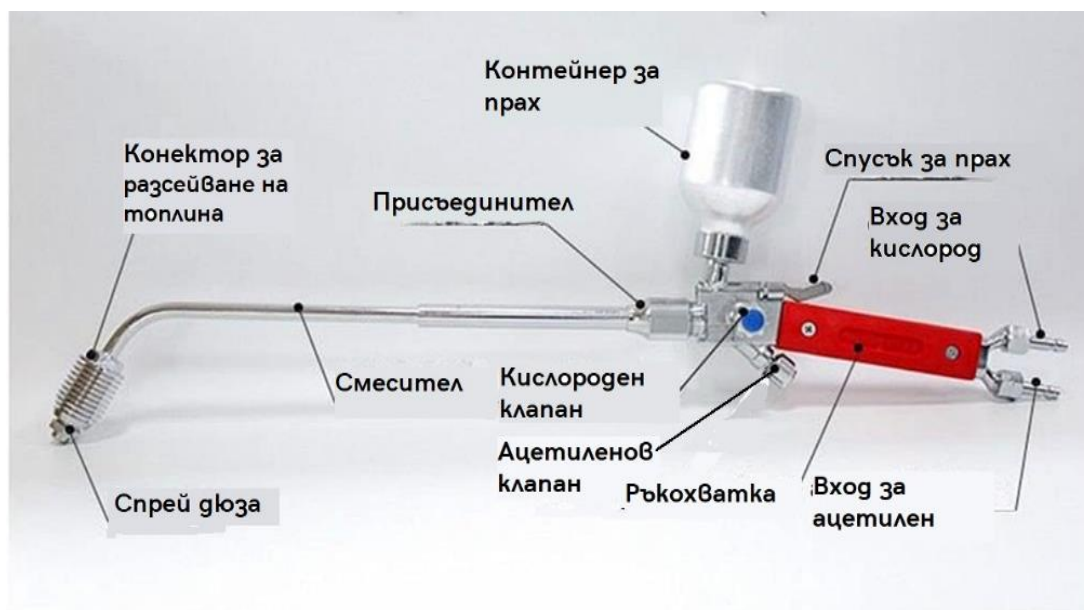
⁹⁰³ Kennedy D.M., Hashmi M.S.J.; Methods of wear testing for advanced surface coatings and bulk materials; Journal of Materials Processing Technology, (1998)

⁹⁰⁴ Хасау А., Моригаки О., Наплавка и напыление, Москва, Машиностроение, 1985

⁹⁰⁵ Хасуй А. Техника напыления. – М.: Машиностроение, 1975.

⁹⁰⁶ Хасау А., Моригаки О., Наплавка и напыление, Москва, Машиностроение, 1985

⁹⁰⁷ High production hard surfacing with versatile metal powders //Metallurgical international, Inc., Tinton Falls, H. J.

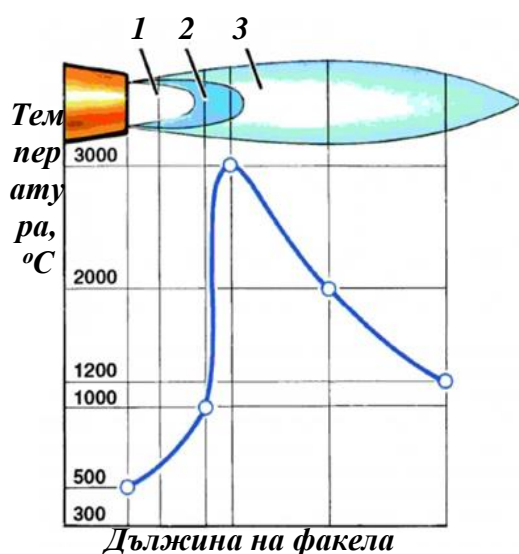


Фиг.1. Горелка за прахово газотермично наваряване

Горива използвани в процеса на газотермично прахово наваряване

Горивата използвани за газопламъчно наваряване представляват въглеводороди в газообразно състояние. Много малко химически реакции, осъществявани в промишлени мащаби могат да дадат пламък с необходимата температура. Затова се налага изгаряне на горивото в чист кислород^{908,909}.

Най-използваното гориво е ацетилена, тъй като той дава най-висок термичен ефект при изгарянето си. В ацетилено – кислородния пламък (фиг. 2.) се



Фиг.2. Строеж на ацетилено-кислородния пламък

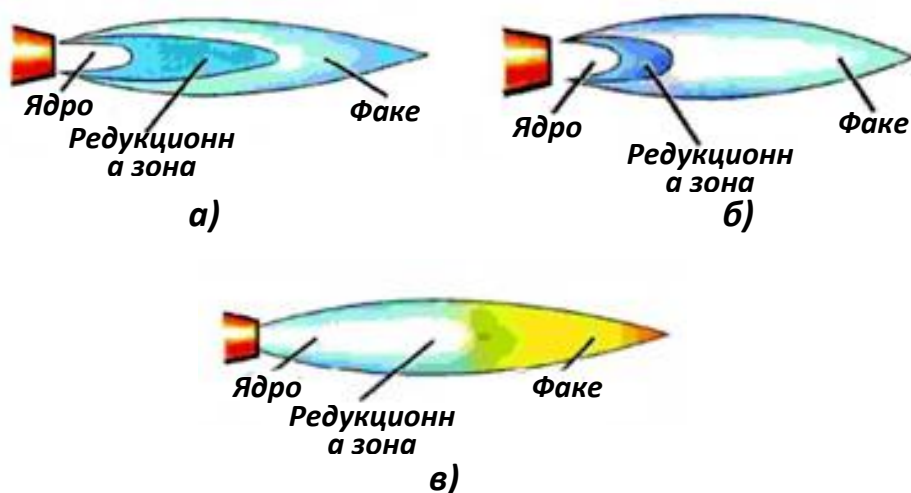
⁹⁰⁸ Hones P. et al., Structural and mechanical properties of chromium nitride, molybdenum nitride and tungsten nitride thin films, J. of Physics D: Applied Physics, v. 36, Issue 8, 2003

⁹⁰⁹ Болдаева. Л. Х, М.: Газотермическое напыление: Под общей ред Маркет ДС, 2007.

различават три зони: ядро 1, редуccionна зона 2 и факел на пламъка 3^{910,911}.

Най-високата температура на пламъка се получава в редуccionната зона, зоната на заваряване (фиг.2.)^{912, 913}.

В зависимост от съотношението между кислорода и ацетилена се различават три основни вида заваръчен пламък: нормален, окислителен, навъглеродяващ (фиг.3).



Фиг. 3. Видове ацетилено-кислородни пламъци
а) – нормален пламък; б) – окислителен пламък;
в) – навъглеродяващ пламък.

Нормален пламък се получава, когато в горелката постъпват равни обеми ацетилен и кислород – $\frac{O_2}{C_2H_2} = 1,1-1,3$;

⁹¹⁰ Hones P. et al., Structural and mechanical properties of chromium nitride, molybdenum nitride and tungsten nitride thin films, J. of Physics D: Applied Physics, v. 36, Issue 8, 2003

⁹¹¹ Болдаева. Л. Х, М.: Газотермическое напыление: Под общей ред Маркет ДС, 2007.

⁹¹² Hones P. et al., Structural and mechanical properties of chromium nitride, molybdenum nitride and tungsten nitride thin films, J. of Physics D: Applied Physics, v. 36, Issue 8, 2003

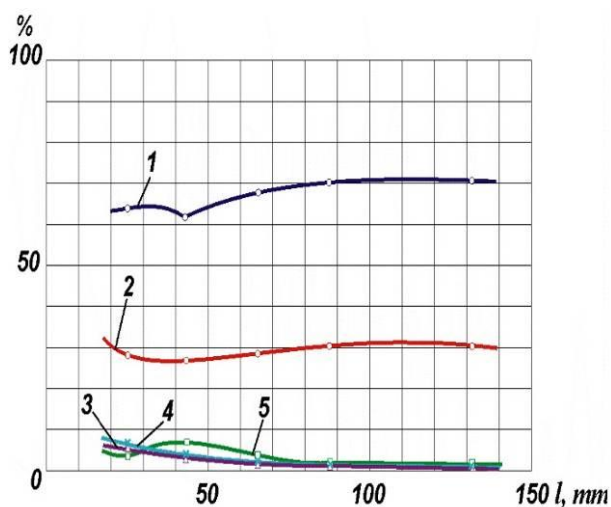
⁹¹³ Болдаева. Л. Х, М.: Газотермическое напыление: Под общей ред Маркет ДС, 2007.

Окислителен пламък се получава при излишък на кислород (O_2) –

$$\frac{O_2}{C_2H_2} > 1,3;$$

Навъглеродяващ пламък се получава при излишък на ацетилен

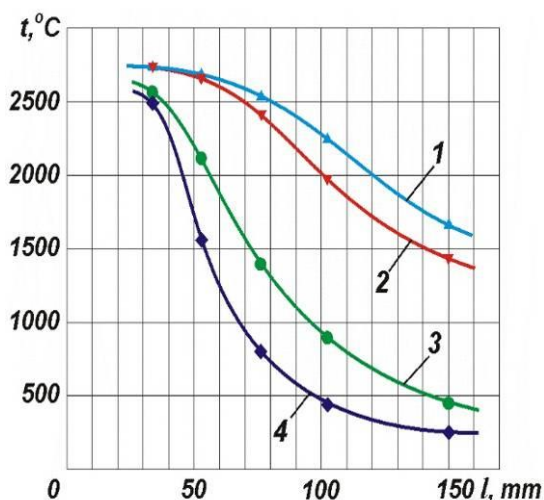
$$(C_2H_2) - \frac{O_2}{C_2H_2} < 0,95.$$



Фиг.4. Съдържание на газове в % при газопламъчно наваряване.

Разход на O_2 - 25 l/h; разход на C_2H_2 - 25 l/h

- 1 - азот; 2 - кислород; 3 - въглероден окис;
4 - въглероден диоксид; 5 - водни пари.



Фиг.5. Разпределение на температурата във факела при прахово наваряване в зависимост от разстоянието от дюзата на горелката по осевата линия:

- 1 - прахово наваряване при разход на O_2 - 12,5 l/min и C_2H_2 - 12,5 l/min;
2 - прахово наваряване при разход на O_2 - 16,5 l/min и C_2H_2 - 10,5 l/min;
3 - прахово наваряване при разход на O_2 - 18,5 l/min и C_2H_2 - 18,5 l/min;
4 - прахово наваряване при разход на O_2 - 25 l/min и C_2H_2 - 12 l/min.

На фиг. 4 е показано съдържането на газовете в % при газопламъчно наваряване.

Разпределението на температурата във факела при прахово наваряване в зависимост от разстоянието от дюзата на горелката по осева линия е показано на фиг. 5.^{914,915,916}

Фактори оказващи влияние върху газотермичното прахово наваряване

Основните фактори които влияят на свойствата на получените покрития и техникоикономическите показатели на процеса са:

➤ *Фактори свързани с източника на топлинна енергия за наваряване:* конструкция на горелката, рода на горивото, количественото съотношение на газокислородната смес, разход на гориво и кислород, вид на работния газ и неговия разход, консумация на електрическа енергия^{917,918,919,920}.

➤ *Фактори свързани със наварявания материал:* химичен състав, физически свойства, химически реакции при висока температура, химическа активност по отношение на основния метал, размер и форма на праховите състави, диаметър на теловете, плътност, температура на топене, топлемост и топлопроводност^{921,922,923,924}.

⁹¹⁴ High production hard surfacing with versatile metal powders //Metallurgical international, Inc., Tinton Falls, H. J.

⁹¹⁵ Hones P. et al., Structural and mechanical properties of chromium nitride, molybdenum nitride and tungsten nitride thin films, J. of Physics D: Applied Physics, v. 36, Issue 8, 2003

⁹¹⁶ High production hard surfacing with versatile metal powders //Metallurgical international, Inc., Tinton Falls, H. J.

⁹¹⁷ High production hard surfacing with versatile metal powders //Metallurgical international, Inc., Tinton Falls, H. J.

⁹¹⁸ Hones P. et al., Structural and mechanical properties of chromium nitride, molybdenum nitride and tungsten nitride thin films, J. of Physics D: Applied Physics, v. 36, Issue 8, 2003

⁹¹⁹ Болдаева. Л. Х, М.: Газотермическое напыление: Под общей ред Маркет ДС, 2007.

⁹²⁰ High production hard surfacing with versatile metal powders //Metallurgical international, Inc., Tinton Falls, H. J. – 1989

⁹²¹ High production hard surfacing with versatile metal powders //Metallurgical international, Inc., Tinton Falls, H. J.

⁹²² Hones P. et al., Structural and mechanical properties of chromium nitride, molybdenum nitride and tungsten nitride thin films, J. of Physics D: Applied Physics, v. 36, Issue 8, 2003

⁹²³ Болдаева. Л. Х, М.: Газотермическое напыление: Под общей ред Маркет ДС, 2007.



Фиг.6. Наваряване на детайл чрез газотермично прахово наваряване

➤ *Фактори свързани с подаването на наварявания материал:* скорост и производителност на подаване, род и разход на транспортиращ газ при прахообразен материал, място, ъгъл и скорост на наварявания материал.

➤ *Фактори свързани с детайла на наваряване:* химични и физични свойства, предварителна обработка^{925,}

926, 927, 928.

➤ *Фактори свързани с процеса на наваряване:* избора на режим на наваряване, разстояние от дюзата на горелката до детайла, скорост на преместване на горелката, ъгъл на наклона на оста на пламъка към повърхността на детайла, използването на защитна среда и състава и, състава на атмосферата при газотермично прахово наваряване^{929,930, 931, 932}.

⁹²⁴ High production hard surfacing with versatile metal powders //Metallurgical international, Inc., Tinton Falls, H. J. – 1989

⁹²⁵ High production hard surfacing with versatile metal powders //Metallurgical international, Inc., Tinton Falls, H. J.

⁹²⁶ Hones P. et al., Structural and mechanical properties of chromium nitride, molybdenum nitride and tungsten nitride thin films, J. of Physics D: Applied Physics, v. 36, Issue 8, 2003

⁹²⁷ Болдаева. Л. Х, М.: Газотермическое напыление: Под общей ред Маркет ДС, 2007.

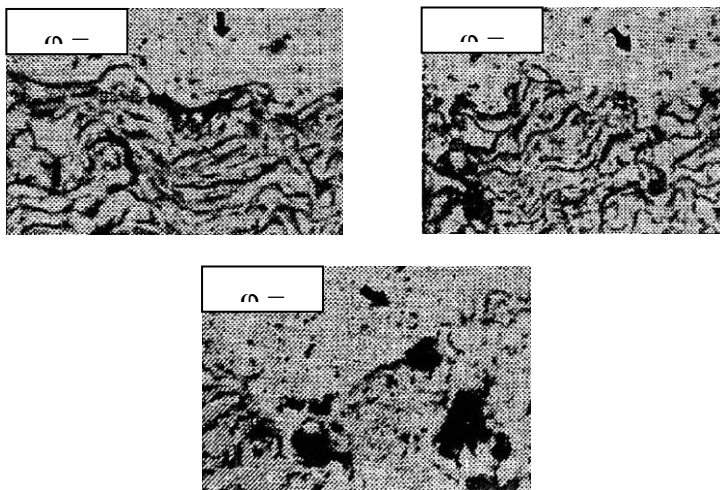
⁹²⁸ High production hard surfacing with versatile metal powders //Metallurgical international, Inc., Tinton Falls, H. J. – 1989

⁹²⁹ High production hard surfacing with versatile metal powders //Metallurgical international, Inc., Tinton Falls, H. J.

⁹³⁰ Hones P. et al., Structural and mechanical properties of chromium nitride, molybdenum nitride and tungsten nitride thin films, J. of Physics D: Applied Physics, v. 36, Issue 8, 2003

⁹³¹ Болдаева. Л. Х, М.: Газотермическое напыление: Под общей ред Маркет ДС, 2007.

⁹³² High production hard surfacing with versatile metal powders //Metallurgical international, Inc., Tinton Falls, H. J. – 1989

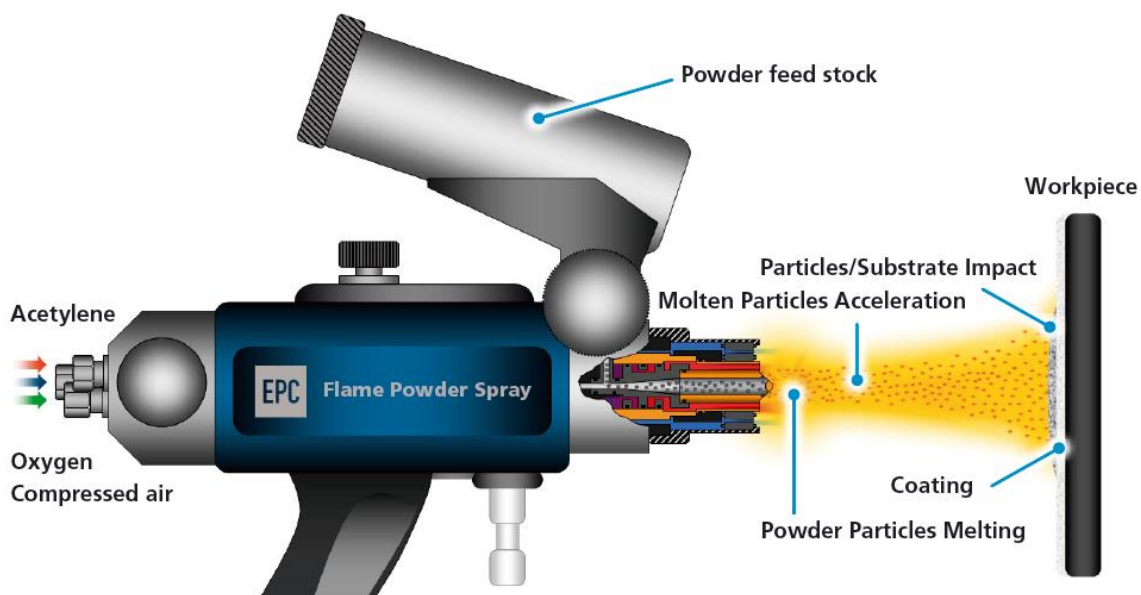


Фиг.7. Микроструктура на покритие нанесено с газопламъчно наваряване при различен ъгъл на горелката

Материалите, които се използват под формата на прахове в газотермичното прахово наваряване са различни, като чрез тях трябва да се възстановяват първоначалните размери на износени детайли и за създаване на повърхностен слой със специални свойства^{933,934}.

⁹³³ High production hard surfacing with versatile metal powders //Metallurgical international, Inc., Tinton Falls, H. J. – 1989

⁹³⁴ Erkens G.; A survey of advanced coatings as key element of modern cutting tools and functional components; Proceedings of the 5th international conference „THE“ Coating in Manufacturing Engineering, 5-7 October, Chalkidiki, Greece, 2005, ISBN 960-243-617-4



Фиг.8. Процес на нанасяне на покритие върху детайл

3. Изводи

1. Газотермичното прахово наваряване предоставя техническа възможност да се контролира качеството на покритието още в процеса на нанасяне на материала, което премахва вероятността за бракуване на възстановени детайли вследствие на недоброкачествено обработване, като по този начин се намаляват значително финансовите загуби;

2. Предимствата на газотермичното прахово наваряването като метод е в това, че за осъществяване на последното не се изисква прекалено скъпа апаратура, както и специална подготовка на кадрите.

Използвана литература

1. Kennedy D.M., Hashmi M.S.J.; Methods of wear testing for advanced surface coatings and bulk materials; Journal of Materials Processing Technology, (1998)

2. Хасау А., Моригаки О., Наплавка и напыление, Москва, Машиностроение, 1985.

3. Хасуй А. Техника напыления.- М.: Машиностроение, 1975.
4. High production hard surfacing with versatile metal powders //Metallurgical international, Inc., Tinton Falls, N. J.
5. Hones P. et al., Structural and mechanical properties of chromium nitride, molybdenum nitride and tungsten nitride thin films, J. of Physics D: Applied Physics, v. 36, Issue 8, 2003
6. Болдаева. Л. Х, М.: Газотермическое напыление: Под общей ред Маркет ДС, 2007.
7. High production hard surfacing with versatile metal powders //Metallurgical international, Inc., Tinton Falls, N. J. – 1989
8. Erkens G.; A survey of advanced coatings as key element of modern cutting tools and functional components; Proceedings of the 5th international conference „THE” Coating in Manufacturing Engineering, 5-7 October, Chalkidiki, Greece, 2005, ISBN 960-243-617-4

МЕТОДИКА ЗА МОДЕЛИРАНЕ НА ЦИЛИНДРИЧНО ЗЪБНО КОЛЕЛО С ПРАВИ ЗЪБИ ЧРЕЗ ИЗПОЛЗВАНЕ МЕТОДИТЕ НА ОБРАТНОТО ИНЖЕНЕРСТВО

Николай Иванов

НВУ „Васил Левски” – Велико Търново, Факултет „Логистика и технологии”, Катедра „Управление на ресурси и технологии”,
e-mail: ntsivanov@nvu.bg, моб. 0887483179

Свилен Спирдонов

НВУ „Васил Левски” – Велико Търново, Факултет „Логистика и технологии”, Катедра „Управление на ресурси и технологии”,
e-mail: saspirdonov@nvu.bg, моб.: 0887062890

***Анотация:** Триизмерното моделиране се използва все повече в различни области на човешката дейност, което прогресивно увеличава интереса към него. Липсата на техническа документация за конкретни продукти и детайли налага използването на методи за обратно инженерство. Докладът разглежда възможностите за създаване на триизмерни модели, използвайки CAD система, чрез които да се изработват детайли. Описана е методика за определяне на основни геометрични зависимости на зъбно колело с височинно коригиран профил на зъба. Извършеният анализ разглежда възможностите за тяхното бързо реконструиране.*

***Ключови думи:** обратно инженерство, цилиндрично зъбно колело с височинно коригиран профил на зъба, методика.*

METHODOLOGY FOR MODELING A SPUR GEAR USING REVERSE ENGINEERING METHODS

Nikolai Ivanov

National Military University „Vasil Levski” - Veliko Tarnovo, Faculty of „Logistics and Technologies”, Department of „Management of Resources and Technologies”, e-mail: ntsivanov@nvu.bg, mobile: 0887483179

Svilen Spirdonov

National Military University „Vasil Levski” - Veliko Tarnovo, Faculty of „Logistics and Technologies”, Department of „Management of Resources and Technologies”, e-mail: saspirdonov@nvu.bg, mobile: 0887062890

Abstract: *Three-dimensional modeling is increasingly used in various areas of human activity, which progressively increases interest in it. The lack of technical specifications for specific products and details necessitates the use of reverse engineering methods. The report examines the possibilities of creating three-dimensional models using a CAD system, through which details can be produced. A methodology for determining basic geometrical dependencies of a gear wheel with a pitch-corrected profile is described. The performed analysis examines the possibilities for their rapid reconstruction.*

Keywords: *reverse engineering, shifted spur gear, methodology.*

Увод.

Обратното инженерство е процесът на разглеждане и анализ на съществуващ продукт, част или система с цел разбиране на технологичните, функционалните и дизайнерски аспекти на дадено изделие. Този процес обикновено включва разглеждане на продукта, измерване на размерите му, анализ на материалите и компонентите му, както и извличане на информация за функционалността му и начина, по който е създаден.

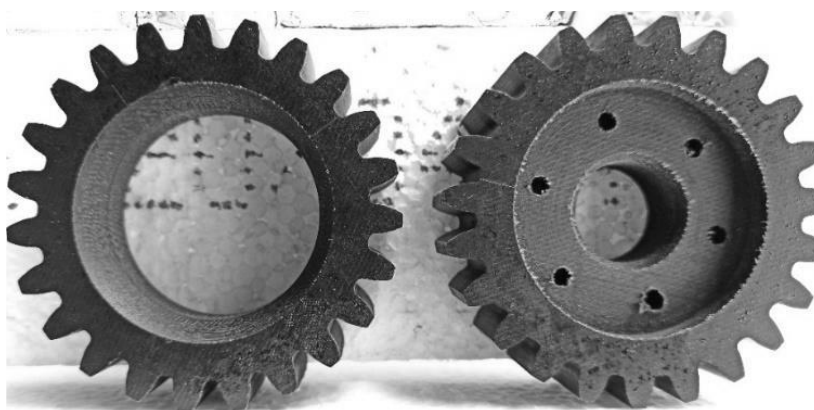
В много случаи, старите изделия вече не се произвеждат или не се поддържат от производителя. Обратното инженерство може да помогне за ремонтите и обновяването на тези изделия. Често срещана ситуация е когато съществуващите изделия имат ограничена или липсваща техническа документация.

Обратното инженерство позволява да се създаде документация или CAD модели, които да подпомогнат ремонтите, модификациите или възстановяването на тези изделия.

Дешифриране на геометричните параметри и създаване на 3D модел в средата на CAD системата за автоматизирано инженерно проектиране „SolidWorks“.

Пример за изделие, за което липсва техническа документация, е еволвентно зъбно колело от механизма за завъртане на куполата на БМП-1.

За идентификация на геометричните параметри в настоящата разработка са използвани резервни зъбни колела от механизма за въртене на куполата на БМП-1 – фиг. 1.



Фиг. 1. Резервни зъбни колела от механизма за насочване на куполата

В методиката за дешифриране размерите на зъбното колело са използвани следните основни геометричните зависимости:

- m – модул на зъбното колело;
- d – делителна окръжност;
- d_p – стъпкова окръжност;
- d_a – върхова окръжност;
- d_f – петова окръжност;
- h - височина на зъба;

- h_a - височина на главата на зъба;
- h_f – височина на петата на зъба;
- α – ъгъл на профила на изходния контур;
- p – „стъпка” на зъбното колело. Това е разстоянието между едноименни профили на два съседни зъба, измерено по дъга на делителната окръжност;

- p_b – стъпка на зацепване;
- z – брой на зъбите;
- W_k – обща нормала (където k е броя на обхванатите зъби);
- x – коефициент на височинна модификация на профила на зъба;
- x_f – коефициент на модификация височината на петата на зъба;
- x_a – коефициент на модификация височината на главата на зъба;

За определяне на неизвестните основни геометрични размери на зъбното колело е използван нониусен микрометър, с който се измерва междузъбното разстояние по общата нормала заключено между три зъба. За потвърждение на получените стойности е използван и шублер за зъбни колела.

За идентификация на размерите бяха използвани следните геометрични зависимости:

- стъпката на зацепване p_b :

чрез използване на модула на зъбното колело m по формулата:

$$p_b = \pi m \cos \alpha \quad (1)$$

В това уравнение стъпката p_b и модулът m не са известни. Този метод ще бъде използван за последваща проверка!

Определяне на стъпката на зацепване от обща нормала W по формулата:

$$p_b = W_k - W_{k-1} \quad (2)$$

където W_k е разстоянието между k на брой зъби, измерено по делителната окръжност, W_{k-1} е разстоянието между $k-1$ на брой зъби.

измерено – $W_k = 24,461 \text{ mm}$

измерено – $W_{k-1} = 14,944$ mm

От където получаваме за стъпката на зацепване:

$$p_b = W_k - W_{k-1} = 24,461 - 14,944 = 9,517 \text{ mm}$$

След определяне на стъпката се определя модула на зъбното колело по формулата:

$$m = p_b / \pi \cos \alpha \quad (3)$$

От формула 3 получаваме:

$$m = p_b / \pi \cos \alpha = 9,571 / (3,14 \cos[20^\circ]) = 3,24$$

След справка в стандартите за модули на зъбни колела, най-близкият е 3,25 mm. Приема се, че модулът на зъбното колело е $m = 3,25$ ⁹³⁵

След определянето на модула се определят размерите на останалите геометрични зависимости на зъбния профил по следните формули:

$$d = z m \quad (4)$$

$$d_a = (z + 2)m \quad (5)$$

$$d_f = (z - 2,5)m \quad (6)$$

$$d_b = d \pi / m \quad (7)$$

$$h_a = m \quad (8)$$

$$h_f = 1,25m \quad (9)$$

$$h = h_a + h_f \quad (10)$$

След пресмятането на d_a е установена разлика между измерената от образците зъбни колела и пресметнатата. Измерената е 79,50 милиметра, а пресметнатата е 81,25 mm. От тук следва извода, че образците зъбни колела са с височинна корекция на профила на зъба.

За определяне коефициент на височинна модификация на профила на зъба се използва следната методика:

$$x = 1 - \frac{z}{2} \sin^2 \alpha \quad (11)^{936}$$

⁹³⁵ „Машинни елементи”, издателство „Техника” София, 1994 г., стр. 280

От формула 10 се получава коефициентът на височинна модификация с цел избягване на подрязването на зъба. След определянето му за пресмятане на геометричните зависимости се използват следните формули:

$$x_a = 1 + x \quad (12)$$

$$x_f = 1,25 - x \quad (13)$$

$$d_a = (z + 2x_a)m \quad (14)$$

$$d_f = (z - 2x_f)m \quad (15)$$

$$h_{ax} = (1 + x)m \quad (16)$$

$$h_{fx} = (1,25 - x)m \quad (17)$$

След пресмятане за коефициент на височинна модификация се определи $x = -0,2692$.

Създаване на модел в средата на CAD система за автоматизирано инженерно проектиране „SolidWorks”.

Методиката, по която се изработиха зъбните колела бе следната:

Създава се нов SolidWorks документ от вида „Part”;

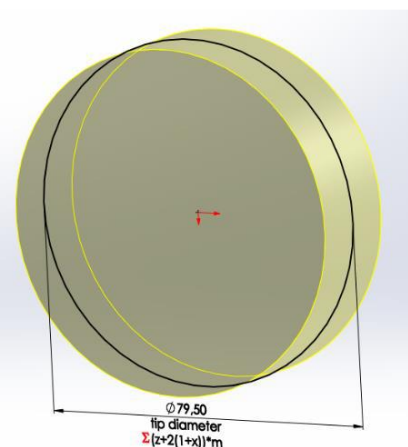
От лентата с падащи менюта „Tools” се избира командата „Equation” за въвеждане на основните зависимости модул - m , брой зъби – z , ъгъл на профила на изходния контур - α и коефициент на корекция на профила на зъба - x . Чрез описаните по-горе формули се определят стойностите на основните геометрични параметри на зъбното колело и се въвеждат в диалоговия прозорец „Equation”, фигура 2.

Equations, Global Variables, and Dimensions

Name	Value / Equation	Evaluates to	Comments
Global Variables			
"m"	= 3.25	3.25	модул
"pa"	= 20deg	20deg	ъгъл на зацепване
"z"	= 23	23	брой зъби
"x"	= - 0.2692	-0.2692	коэф. модиф
"b"	= 26mm	26mm	широчина
"d"	= "m" * "z"	74.75	делителна окръжност
"p"	= ("d" * PI) / "z"	10.2102	стъпка
"ha"	= (1 + "x") * "m"	2.3751	височина чело
"hf"	= (1.25 - "x") * "m"	4.9374	височина основа
"h"	= "ha" + "hf"	7.3125mm	височина на зъба
"dp"	= (("m" * "z") * pi) / "m"	72.2566	стъпкова окръжност
Features			
Add global variable			
Add feature suppression			

Automatically rebuild Angular equation units: Radians Automatic solve order
 Link to external file

Фиг. 2. Диалогов прозорец „Equation”

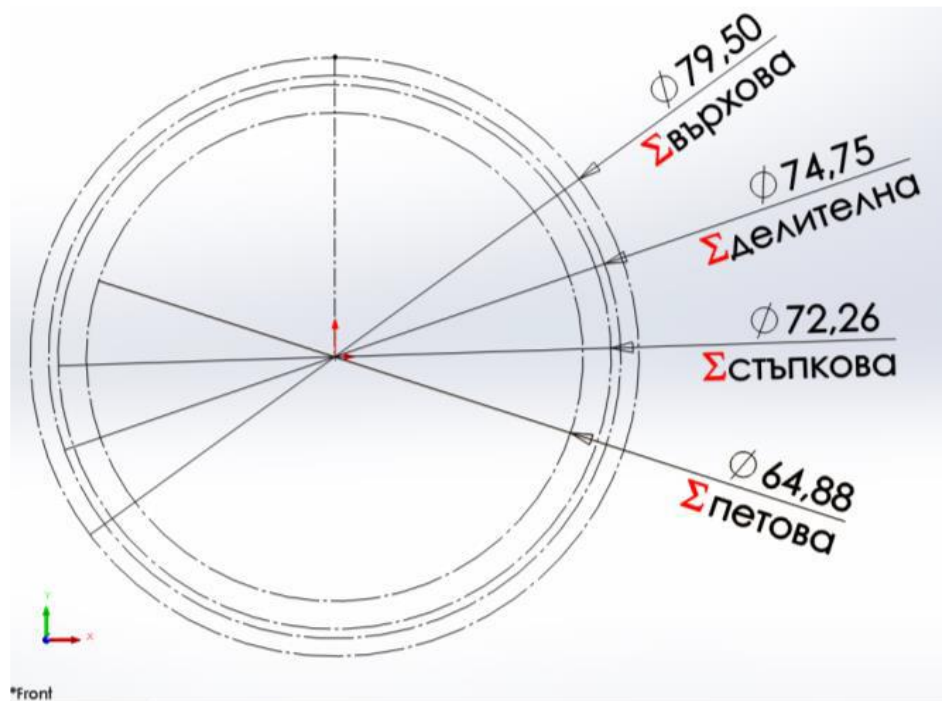


Фиг. 3. Скица на основният контур и върховата окръжност

В командния мениджър за работа „Sketch” се избира равнина, в която се скицира основният контур и се оразмерява – върховата окръжност на зъбното колело фигура 3., като за оразмеряването се използват въведените в диалоговия прозорец „Equation” основни геометрични зависимости.

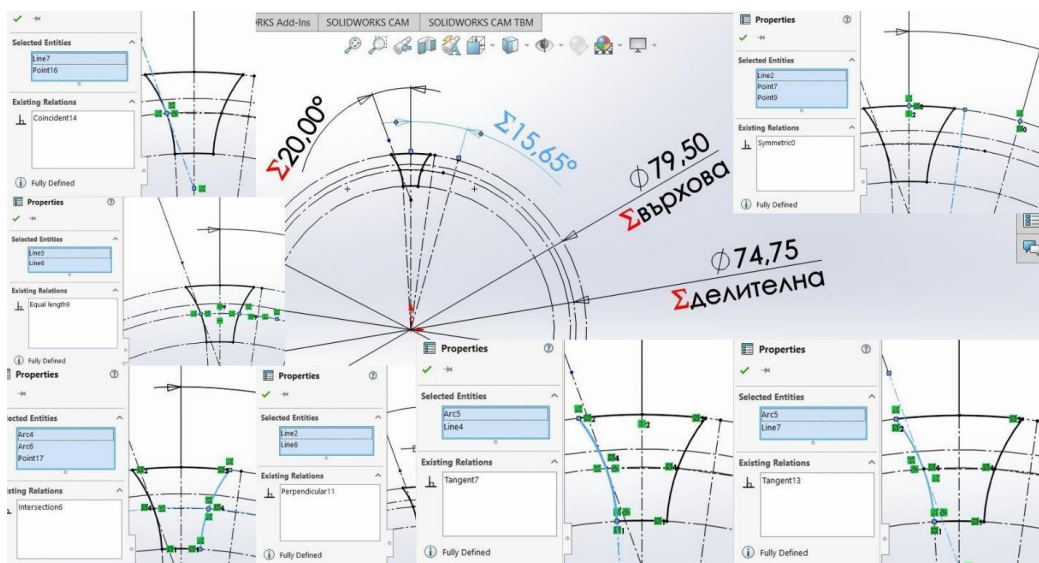
В командния мениджър за работа „Futures” чрез командата „Extrude” скицата се оразмерява до желаната широчината детайла.

Отново в командния мениджър за работа „Sketch” се избира равнина, в която, с помощта на инструментите за скициране, се скицират, като конструктивни линии четирите окръжности на зъбното колело, от основните зависимости: върхова, делителна, стъпкова и петова, фигура 4.



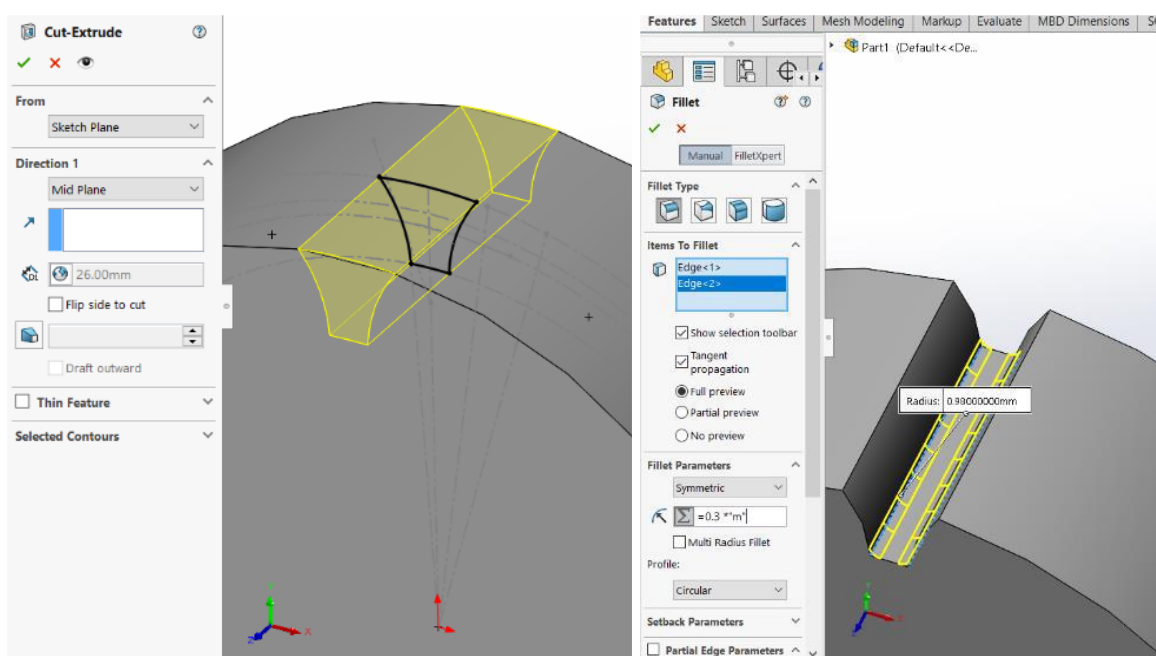
Фиг. 4. Върхова, делителна, стъпкова и петова окръжности

За оформянето на еволвентния профил на зъба, така наречената „инволюта алфа”, е използван метод на задаване на геометрични зависимости между ъгъла на профила на изходния контур, ъгъл определен от броя на зъбите, и др. показани на фигура 5.



Фиг. 5. Оформянето на еволвентния профил на зъба

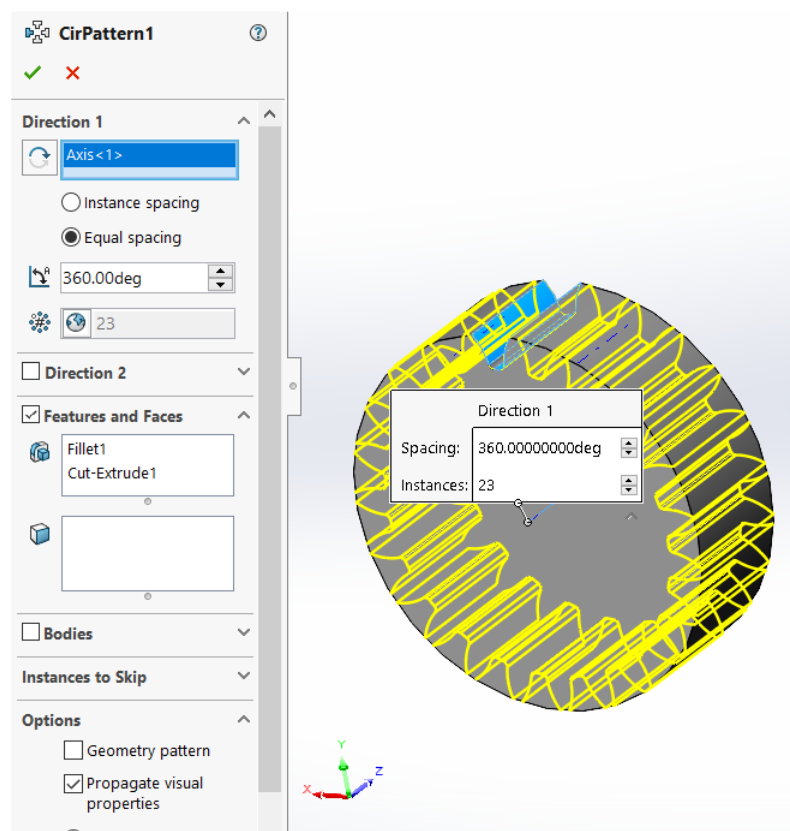
Използваните геометрични връзки са тангенциалност „tangency”, симетричност „symmetry”, перпендикулярност „perpendicularity”, пресичане (пресечна точка) „intersection”, съвпадение „coincident”, еднаквост/равенство по дължина „equal length”. Чрез тях, описаната дъга, свързваща върховата и петовата окръжности, се привързва към стъпковата окръжност, ъгъла на профила на изходния контур на зъба и ъгъл определен от броя на зъбите.



Фиг. 6. Оформяне профила на зъбите

В командния мениджър за работа „Futures”, чрез командата „Cut” се изрязва оформения контур на междузъбието на два съседни зъба, като по този начин се оформя профила на зъбите, фигура 6, а с командата „Fillet” се оформя закръгленето в основата на зъба.

Отново в командния мениджър за работа „Futures”, чрез бутона „Circular pattern” се размножава изрязването на зъбния профил до получаването на 23 зъба – фиг. 7.



Фиг. 7. Размножаване на профила на зъба

Окончателното дооформяне на отворите, за монтиране на зъбните колела към механизма за въртене на куполата на БМП-1 не са предмет на настоящето проучване.

Заклучение

Обратното инженерство и описаната методика за дешифриране и моделиране дава възможност за сравнително бързо и лесно генериране на модели на височинно коригирани зъбни колела с прави зъби на базата на определени геометрични зависимости. Въвеждането на тези зависимости и с помощта на математически и геометрични взаимовръзки в CAD системата за автоматизирано инженерно проектиране SolidWorks спомага за бързото им и оформяне на триизмерния модел. Изготвянето на модели, на каквото и да е зъбно колело, с произволна допустима комбинация на определящите параметри се извършва чрез простото

изменение на техните стойности и преоразмеряване на първоначалния модел до желания краен резултат.

Литература:

1. Костадинов М., Станчев Е., Вригазов А., Неделчев И., Теория на механизмите и машините, Техника, София, 1980
2. Машинни елементи, издателство Техника София, 1994 г., стр. 280
3. Компютърен инженерен анализ част I, Т. Матев, Т. Йотков, НВУ „Васил Левски”, В. Търново, 2013 г.
4. https://khkgears.net/new/gear_knowledge/gear_technical_reference/calculation_gear_dimensions.html

ANALYSIS OF THE SHIP-TO-SHORE INFORMATION EXCHANGE DURING CONTAINER SHIP STOWAGE PLANNING AND CARGO HANDLING

Svilen Velinov

Department of Operation and Management of Maritime Transport,
Nikola Vaptsarov Naval Academy, Varna, Bulgaria
s.velinov@nvna.eu, mobile: +359888940060

Abstract: *Procedures for the exchange of information related to the cargo plan for liquid and bulk cargoes have been well developed and widely introduced into practice for nearly three decades as a result of the collaborative efforts of the International Maritime Organization (IMO) and various sector-specific organizations in the maritime industry. However, general cargo vessels and container ships in particular are excluded from these regulations. This omission leads to a substantial risk of accidents caused by incorrect cargo loading and securing. This paper presents a systematic analysis of cargo information exchange practices prior to and during cargo operations. To support the IMO in developing adequate instruments for regulating container ship handling in ports, this study proposes specific measures to enhance the safety of container ships during cargo operations in container terminals.*

Keywords: *Stowage plan, Container ship*

1. Introduction

The reliability of the information flow between parties involved in container ship stowage planning is a critical aspect of cargo operations, as it directly impacts the safety and efficiency of the transportation of standardized containers by sea. To ensure safe and efficient maritime transport, effective stowage planning requires the integration of various factors including container attributes, ship stability, seaworthiness and port operation requirements. Currently, information related to the loading plan of a cellular container ship is

exchanged exclusively through standard EDI (electronic data interchange) messages.

Numerous studies have focused on the optimization problem related to container stowage planning, both on board and at terminal yards⁹³⁷. Some of them are searching solutions for cost reduction by reducing unwanted moves⁹³⁸. Others deal with stowage planning technical problems arising on board with regard to the ship's stability and seaworthiness (trim, drafts, shear forces bending and torsional moments, stacking weight, etc.). Linear prediction methods have been proposed to incorporate ballast water into these stability conditions, enhancing the accuracy and scalability of stowage plans⁹³⁹.

This study focuses on the reliability and effectiveness of the current means of communicating stowage plan data between the affected parties in search of solutions to improve the overall safety of container vessels. A systematic analysis was applied to ship-to-shore data exchange practices between container vessels and terminals regarding cargo information and stowage planning.

2. Analysis of the ship-to-shore information exchange during container ship stowage planning and cargo handling

An established practice in modern shipping is that the preliminary cargo plan for container vessels is prepared by one of the following parties:

- *The Line Planner* is a specially appointed shore-based employee of the line operator responsible for the overall preparation and coordination of the exchange of cargo plans between the ships and terminals on certain appointed lines/routes;

⁹³⁷ Mevlüt, S. B.-J. A survey of shipping line Container Stowage Planning problems. Expert systems with applications. 2024

⁹³⁸ Chao S.-L., L. P.-H. Minimizing overstowage in master bay plans of large container ships. Maritime Economics & Logistics, 71-93. 2021

⁹³⁹ Minjae, O. H. Accurate and robust linear representation for containership stability conditions with ballast water. Ocean Engineering.2024

- *Ship's Chief Officer.* Less and less nowadays the liner operators are relying solely on crew to prepare the initial stowage plan. This is fully understandable, as it is practically impossible for the Chief Officer on board to maintain the required continuous operational correspondence with all liner operators' cargo agents on a specific container service;

- *Terminal Planner.* Large container terminals maintain their own department with terminal planners. They may undertake the preparation of the preliminary cargo plan. Such an arrangement is becoming increasingly popular because terminal planners are usually sufficiently familiar with the projects of ships that regularly call their ports and they are the only ones who are aware of the most convenient sequence of operations for the terminal.

Regardless of the initial preparing party, the stowage plan has to be exchanged by means of EDI standard message (BAPLIE - Bayplan/stowage plan occupied and empty locations message). The use of paper for cargo related document exchange is significantly reduced and, as a rule, it applies just to the carriage of the so called „special cargo”, i.e. containers containing dangerous goods and reefer units. Upon initial preparation, the preliminary stowage plan is exchanged via e-mail. Either of the concerned parties can request changes if they find the plan problematic. For a preliminary stowage plan to be considered successfully finalized, it must be reviewed and agreed upon by the vessel, terminal, and line planners. Formal „approval” of the cargo plan is to be done only by the master. This is because he alone bears direct responsibility in the event of an accident caused by improperly planned and executed loading and/or securing of cargo. It is a widespread practice in modern container shipping that the actual verification of the stowage plan is the duty of the ship's Chief Officer, who, if authorized by the master, can approve the preliminary plan by himself. It is essential that apart from the ship's Chief Officer, there can be no one else authorized by master. This includes all planners and department employees ashore in any of the shipowners', charterers', liner operators' and container terminal offices.

After each party declares that the cargo plan is acceptable, the terminal prepares a „Loading and Unloading Sequence Plan”. This plan is internal to the terminal and not disclosed to the vessel. Some terminals send their representatives on board ships before the commencement of cargo operations to discuss once more and finalize the preliminary cargo plan. Others simply resend the plan via e-mail and all communication is done solely by e-mail. During COVID 19 most of the terminals worldwide banned the visits of their employees on board ships and this practice has remained the same until now. In this way, direct communication in terms of meeting between the terminal planner and the crew is impossible, which is an additional challenge to the pre-planning.

The process of generation of the so called „executive cargo plan” commences with the beginning of the loading and unloading operations. In modern conditions, this activity is carried out exclusively by terminals. The crews of ships have neither the necessary resources nor the physical ability to perform tally tasks. Consequently, throughout the port stay of the vessel, only the terminal can provide reliable information regarding the current state of loading. Crews only monitor cargo units that require special attention, namely containers with dangerous cargo and special units, such as refrigerated containers, containers with elevated temperature, and containers with out-of-gauge (oversized) cargo.

A critical deficiency for the ship and terminal safety is that the executive cargo plan is not shared with the ship during loading/discharging operations. If a problem arises and the terminal finds out that it is unable to execute the preliminary stowage plan, the vessel will be contacted to seek a solution and revise the plan. The sequence of loading and unloading is also not discussed with the vessel, creating problems related to delayed operations and dangerous pre-emergency and emergency conditions. The IMO does not require container terminals or container ships to adhere to the initially agreed loading/unloading and ballasting plans.

Such a requirement exists only with regard to the ships and terminals loading or discharging bulk cargo – BLU Code⁹⁴⁰. According to the section 1.6 of the annex to the IMO resolution 797(19)⁹⁴¹ terminal operators are required to appoint „terminal representative”. In 2005 the Maritime Safety Committee gave further guidance to the function and responsibility of terminal representatives with the approval of the „Manual on loading and unloading of solid bulk cargoes for terminal representatives” (BLU Manual)⁹⁴².

While the explicit appointment of a „terminal representative” for liquid bulk cargo ships is not made mandatory by the IMO, the functional responsibilities of such a role are required by industry standards such as the International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals⁹⁴³ and the Liquefied Gas Handling Principles on Ships and Terminals⁹⁴⁴.

Consequently, the only type of cargo currently not covered by similar requirements is the break bulk, which includes the classical general cargo and the carriage of CTUs (trailers on ro-ro ships and standard containers on cellular ships).

Continuous real-time monitoring of the executive stowage plan for a container ship crew is practically impossible before the end of cargo operations, when the final stowage plan is generated by the terminal. As a result, during cargo operations, crew is not able to calculate the seaworthiness parameters, such as hull stresses, stability, trim and calculated drafts.

The final stowage plan is provided to the ship via a BAPLIE message. It can be handed over to the Chief Officer before departure on a memory stick. However, today, EDI files are sent more often by terminal planners to ships' e-mail. There are numerous cases in which vessels, pressed by port schedule and

⁹⁴⁰ IMO. The Code of Practice for the Safe Loading and Unloading of Bulk Carriers (BLU Code). 2011.

⁹⁴¹ IMO. Resolution A.797(19) „Safety of ships carrying solid bulk cargoes”. 1995

⁹⁴² IMO. Manual on loading and unloading of solid bulk cargoes for terminal representatives. 2005

⁹⁴³ IAPH/ICS/OCIMF. International Safety Guide for Oil Tankers and Terminals (ISGOTT). 2020

⁹⁴⁴ SIGTTO. Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals. 2016

traffic, had to leave the berth with the final loading plan not yet provided. Obviously, with such unreliable and unregulated information exchange, it is not uncommon for container ships to discover non-compliance with some of the requirements and limitations for seaworthiness only after departure from the port. Faced with *fait accompli*, the master has two options: to continue with the voyage and ignore the problem or to take action and revise the loading by returning the vessel back to the berth. The second option is associated with significant costs (direct and indirect), both for the terminal, which created the problem, and for the line operator. Usually, masters do not choose the second option, except in cases where there is a clear and immediate danger to the safety of the ship (significant deviations from the standards of strength, stability, non-compliance with the requirements of the IMDG Code, etc.). In cases in which the masters decide that the deviation from the drawn limits is insignificant or the vessel is not likely to face severe weather conditions until the next port, it is common that they will take the risk of completing the voyage with some of the limitations not met. Currently, the IMO or the industry has not developed any safeguards in the form of a regulation or mandatory procedure to protect container vessels from leaving ports under unsafe loading conditions.

The reliability and validation of the information exchanged through the BAPLIE EDI message creates additional concerns. According to SOLAS VI/2, the shipper is obliged to provide the master or his representative with detailed information about the cargo that is planned for loading⁹⁴⁵. The use of electronic data interchange for the implementation of the above rule is permitted as an „aid to paper documentation”. To substitute the paper exchange with an EDI message, it must be adequately protected and with reliable data validation. Unfortunately, the currently used BAPLIE message does not provide data protection. In the absence of a paper exchange of information about the cargo, where the shipper declares the authenticity of the data with signature, the

⁹⁴⁵ IMO. International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974. 2020

information about the cargo is transmitted to the ship without an electronic signature. There is no other alternative data protection system in use. A BAPLIE message is essentially a text file that can be freely opened and modified using any text editor. There are quite a few cases of successful and unsuccessful attempts to maliciously cover the tracks of those responsible for incorrectly declared cargo by manipulating BAPLIE messages for the final cargo plan. As technology and interconnected systems become more prevalent in the maritime sector, the industry is facing increased vulnerability to cyber threats. The security of digital systems on ships has become a crucial issue because cyberattacks can lead to operational disruptions, breaches of confidential information, and potential dangers to personnel and freight. These threats fully apply to the exchange of the BAPLIE messages. Researchers have conducted various analyses to examine the characteristics of these digital threats, weaknesses in onboard systems and possible approaches to mitigate these risks⁹⁴⁶.

The IMO regulations requiring the verification of a freight container's gross mass prior to loading became mandatory in July 2016. In the latest versions of BAPLIE 2.2 and 3.1, there is no option to exchange the actual value of the weighing certificate, but only an option to note whether each container is issued a VGM certificate. Thus, the requirement of SOLAS VI/2.5.2, stating that this certificate shall be available on board before loading, is not formally fulfilled. The master may follow the charterer's instructions concerning commercial operations, such as loading and unloading cargo, but this does not equate to the charterer being the master's representative⁹⁴⁷. This obvious deviation from the SOLAS regulations has been neglected for years by both the IMO and the container shipping industry.

⁹⁴⁶ Mark, G. Y. Guidelines for cyber risk management in shipboard operational technology systems. *Journal of physics*. 2022

⁹⁴⁷ Plomaritou, E. A Review of Shipowner's & Charterer's Obligations in Various Types of Charter. *Journal of Shipping and Ocean Engineering*. 2014

3. Conclusion

Based on the presented systematic analysis of modern practices for exchanging information when preparing a preliminary cargo plan and monitoring the loading and unloading operations, the following conclusions can be made:

3.1. Until now IMO has not developed instruments obliging general cargo ships and terminals and in particular specialized container ships and terminals to discuss and adopt a loading and unloading plan prior commence of operations, as well as to exchange information on the current status of loading and unloading during cargo operations. Unlike liquid and solid bulk cargo terminals, container terminals are not obliged to appoint „terminal representative”. These regulatory shortages generate safety and security threats to container ships;

3.2. To increase the safety of cellular container ships during their port stay, it is imperative to introduce new mandatory regulations and procedures obliging terminals to periodically provide vessels, which they are currently operating, with BAPLIE EDI file, containing status of loading/discharging (the executive stowage plan). This has to be done at certain maximum intervals, clearly regulated by IMO;

3.3. The reliability and security of the exchanged cargo related data should be verified by an electronic signature or by another secure authentication method.

References

1. Chao S.-L., L. P.-H. (2021). Minimizing overstowage in master bay plans of large container ships. *Maritime Economics & Logistics*, 71-93. doi:10.1057/s41278-019-00126-6
2. IAPH/ICS/OCIMF. (2020). *ISGOTT*.
3. IMO. (1995). *Res. A.797(19)“Safety of ships carrying solid bulk cargoes”*.

4. IMO. (2005). *Manual on loading and unloading of solid bulk cargoes for terminal representatives*.

5. IMO. (2011). *The Code of Practice for the Safe Loading and Unloading of Bulk Carriers (BLU Code)*. IMO.

6. IMO. (2020). *International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974*.

7. Mark, G. Y. (2022). Guidelines for cyber risk management in shipboard operational technology systems. *Journal of physics*. doi:10.1088/1742-6596/2311/1/012002

8. Mevlüt, S. B.-J. (2024). A survey of shippingline Container Stowage Planning problems. *Expert systems with applications*. doi:10.1016/j.eswa.2024.124408

9. Minjae, O. H. (2024). Accurate and robust linear representation for containership stability conditions with ballast water. *Ocean Engineering*. doi:10.1016/j.oceaneng.2024.118141

10. Plomaritou, E. (2014). A Review of Shipowner's & Charterer's Obligations in Various Types of Charter. *Journal of Shipping and Ocean Engineering*.

11. SIGTTO. (2016). *Liquefied Gas Handling Principles on Ships and in Terminals*.

STUDY ON THE FUNCTIONALITY OF THE LATEST VERSIONS OF EDI BAYPLAN MESSAGE IN COMPLIANCE WITH THE APPLICABLE IMO REGULATIONS

Svilen Velinov

Department of Operation and Management of Maritime Transport,
Nikola Vaptsarov Naval Academy, Varna, Bulgaria
s.velinov@nvna.eu, mobile: +359888940060

Abstract: *This study analyzes the functionality of the latest BAPLIE versions, focusing on their compliance with applicable International Maritime Organization regulations. The analysis reveals that while BAPLIE 3.1 has made significant improvements compared to its predecessor, version 2.2, there are still discrepancies between the EDI standards and the requirements set by SOLAS. To enhance safety and reliability, this study recommends making certain optional elements mandatory and introducing new elements to convey essential information. Furthermore, this study emphasizes the need for a more robust IMO regulatory framework and the involvement of industry leaders in standardizing critical safety-related data exchange and solidifying the operational integrity of global container shipping logistics.*

Keywords: *BAPLIE EDI, Cargo Information, Cargo Declaration, Container ship*

1. Introduction

Over the last two decades, the exchange of information regarding containerized cargo among relevant parties has been conducted exclusively through electronic means. Since its establishment in 1987, the SMDG⁹⁴⁸ has developed numerous standard electronic data interchange messages⁹⁴⁹, of which only BAPLIE (Bayplan/stowage plan occupied and empty locations) and

⁹⁴⁸ SMDG - Ship Message Design Group (User Group for Electronic Data Interchange (EDI) in the Maritime Container Business)

⁹⁴⁹ BIC. New BIC and SMDG Collaboration to Improve Global Shipping Standards. 2024. (<https://www.bic-code.org/news/new-bic-and-smdg-collaboration-to-improve-global-shipping-standards/>)

MOVINS (Stowage instruction message) have been designed to facilitate the planning, monitoring, and reporting of the vessel's final loading condition. Consequently, this standard should facilitate the exchange of all requisite cargo information that shippers are obligated to provide to carriers, as mandated by the SOLAS VI Regulation 2⁹⁵⁰. This study focuses on the functional analysis of the current standards for the electronic exchange of cargo information in preliminary and final cargo plans for cellular container ships in compliance with the applicable IMO (International Maritime Organization) regulations. The analysis of BAPLIE message exchanges is confined to vessels, terminals, and vessel operators because these are the sole components of the transportation chain covered by SOLAS regulations..

2. Development of SMDG standards for bayplan message

BAPLIE is an electronic data interchange (EDI) format standardized by the United Nations rules for Electronic Data Interchange for Administration, Commerce, and Transport (UN/EDIFACT). The SMDG adopted the UN/EDIFACT standard in 1987, initially organizing data under the D91.1 directory. This served as the foundation for developing the BAPLIE 1.0 message. In subsequent years, this version of the message underwent multiple revisions to address the evolving requirements of the data exchange within the transport chain. The subsequent version, BAPLIE 2.1, developed in accordance with D95B, represented a significant advancement in this regard. In 2007, the SMDG initiated the development of BAPLIE 3.0, which is based on D00B. The standard was finalized in 2013 with the initial version (Version 3.0.1) based on D13A. The most recent version declared stable is 3.1.1, released in June 2015, which is based on D.13B⁹⁵¹. It is important to note that despite the SMDG's recommendation for BAPLIE users to use the new Version 3 (SMDG, Why BAPLIE Version 3.0?), the majority of container operators and terminals continue to utilize the previous Version 2. Consequently, both BAPLIE versions

⁹⁵⁰ IMO. International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974. 2020

⁹⁵¹ SMDG. BAPLIE 3.1.1 User Manual (implementation guide). 2015 (available at: <https://smdg.org/wp-content/uploads/MIGs/BAPLIE/BAPLIE3.1.1-02.pdf>)

are subject to functionality analysis. It is not expected that Version 2 will be discontinued within the next five years. Therefore, the SMDG-implemented subversion 2.2 enabling the VGM exchange of information in the lower version 2 (SMDG, User Manual UN/EDIFACT Bayplan Message BAPLIE ver. 2.2, 2015). However, this does not change the fact that Version 2 remains non-functional with regard to a number of mandatory requirements concerning the exchange of cargo information, such as data regarding containers containing dangerous goods. A comprehensive analysis of the BAPLIE standard has been conducted exclusively for the most recent version 3.1, which, as previously noted, has not yet been mandated by any container or terminal operator, but is anticipated to fully supersede version 2.2. In the course of this study, additional functional limitations of version 2.2 are also identified.

3. Analysis of the functionality of the BAPLIE 3.1 message

In order to be accepted and used as a stand-alone means for the transmission of „Cargo Information” (SOLAS VI/2) and „Cargo Declaration” (SOLAS VII/5; MARPOL, Annex III, Reg 4⁹⁵² and section 9 of the General Introduction to the IMDG Code⁹⁵³), the BAPLIE standard should meet all the requirements and allow the exchange of all the necessary cargo information that, according to the SOLAS and MARPOL, the shipper is obliged to provide to the carrier. Additionally, the format and content of the data included in the message should allow it to perform the function of relaying the necessary information for the preliminary, executive, and final stowage plans. The EDI message is a sequential set of data structured according to the approved standard of the relevant version, which is electronically transmitted between information systems. The transmission of the messages is done according to the ISO 9735 standard⁹⁵⁴. The main components of the BAPLIE 3.1 message are data elements and their components, which are grouped into segments. The

⁹⁵² IMO. International Convention for the Prevention of Pollution from Ships (MARPOL). 2022

⁹⁵³ IMO. The International Maritime Dangerous Goods (IMDG) Code. 2022

⁹⁵⁴ ISO. ISO 9735 - Electronic data interchange for administration, commerce and transport (EDIFACT) — Application level syntax rules. 2022

segments functionally form 12 segment groups (7 in the BAPLIE 2.2 standard). These, together with the header that precedes them, form the overall message. The results of the comparative analysis of the functionality of version 3.1 is presented in brief in Table 1. The first column shows the type of load plan for which the requirement is applicable (P-Preliminary or F-Final). The second column describes the functional requirements that must be covered by the message and the third column presents the relevant IMO reference instrument from which each requirement is derived. Columns four and five list the BAPLIE segments and component element numbers that cover the specific requirement (if met). Column six indicates the usage of the elements according to the structure of BAPLIE 3.1 (M-mandatory, C-conditional, R-required, D-dependent, and O-optional). An asterisk indicates that a specific element is not available in the lower version 2.2.

Table 1 (summarized result of the BAPLIE 3.1 functionality)

Type of Plan	Required Functionality	IMO Reference Document	Segment	Comp. Element	Usage
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
P, F	„Cargo information” (description of cargo)	SOLAS VI / 2.2.1 CSS Code 1.9	DGS	7085	C(O)*
P	Container gross weight	SOLAS VI / 2.2.1	MEA	6411	R
P, F	Verified gross mass of the unit (VGM)	SOLAS VI / 2.4	MEA	6313	R
P, F	VGM Certificate details	SOLAS VI / 2.5	FTX	4441	C(O)*
P	Maximum permissible Gross Mass of container	SOLAS VI / 5.5 CSC 72	N/A	N/A	N/A
P, F	Center of gravity (currently used only)	SOLAS VI / 5.6 SOLAS VII / 5	MEA	6313	N/A

	for break bulk)	CSS Code 1.9			
P, F	Maximum allowable stacking weight (only if less than 192 t)	SOLAS VI / 2.2.1 SOLAS VI /5.6 SOLAS VII / 5	MEA	6313	R*
P, F	„Cargo Declaration” details in case of carriage of dangerous goods	SOLAS VII / 4 MARPOL, Annex III / 5 IMDG Code, Ch 5.4	DGS ATT	8351,8078 8092,9021 7124,7088 7106,6411	C*

The essential aspects of the full analysis of the BAPLIE message functionality in comparison with IMO-relevant regulations are listed below:

- Both BAPLIE versions 2.2 and 3.1 dot fully comply with the SOLAS VI/2 regulation regarding „Cargo information” as cargo description segment is left as „optional”;
- The VGM exchange functionality is made mandatory, but only to the extent that it will be shared with the vessel if a VGM certificate is available. The details of such certificate are optionally disclosed;
- There is no available segment for exchanging information regarding the maximum gross mass for which the unit is designed;
- The exchange of information regarding the calculated center of gravity for each container is not made mandatory. Such an option exists in version 3.1, but it is designed and used just for break bulk cargo;
- Information on the maximum permissible stacking weight of a unit is exchanged as mandatory only when it is less than 192 t;
- Unlike version 2.2, the latest version 3.1 covers all the required requisites of the SOLAS VII/4 and the IMDG Code regulations regarding „Cargo declaration”.

4. Conclusion and recommendations for future development

The BAPLIE EDI message plays a critical role in the modern container shipping industry by enabling the efficient and paperless communication of

stowage plans between ships, ports and other stakeholders. As global trade continues to grow, the evolution of this standard is pivotal for addressing the challenges related to data accuracy, integration, and automation. Therefore, it is of utmost importance that the standard is fully in line with all relevant IMO regulations and that it is functionally able to transmit all the required cargo information to enable the safe preparation of the preliminary stowage plan for container ships.

Based on the discrepancies mentioned above, this study recommends to the SMDG to consider following future updates to BAPLIE 3.1:

1) As per SOLAS VI, the shipper is obliged to provide the master or his representative with cargo information, which includes the commodity inside the laden container. The current practice in exchanging cargo information with the master is to exclude commodity data from the BAPLIE. Version 3.1 makes it possible to use the WCO harmonized system nomenclature⁹⁵⁵ but this option is left optional and is currently used only for break bulk cargo. It is recommended that this data is exchanged as mandatory because, according to maritime law, the line operator is formally not considered a „master’s representative” and the information regarding container contents has to be made available to the master through BAPLIE exchange prior loading;

2) Version 3.1 of the standard allows for the attachment of a VGM certificate, but this element is optional and operators do not use it. In version 2.2 there is no such option. It is necessary to revise both standards in this respect and to make the exchange of certificate information a mandatory element in line with SOLAS VI, 2.5.2 which clearly states that the VGM certificate has to be submitted to the master or his representative and to the terminal representative sufficiently in advance of the loading. Being not „master’s representative by right” the line operator can receive this information but has to make it further available to the master with the use of EDI;

⁹⁵⁵ WCO (World Customs Organization). HS Nomenclature. 2022

3) According to the interpretation of the current SOLAS VI, 5.5 and CSC 72 regulations, it is the responsibility of all parties in the transport chain to ensure that the gross mass of the cargo unit does not exceed the maximum permissible value, as shown on the CSC Plate. However, the master is not provided with the necessary information to perform such verification. Therefore, this study proposes the introduction of an additional element to BAPLIE to convey the container's maximum permissible gross mass, which can be automatically compared to the VGM by the ship's loading software.

4) The introduction of an element that indicates the center of gravity of each container is recommended. The availability of such information onboard would help determine a ship's vertical center of gravity more accurately, affecting the overall stability calculation accuracy. Modern loading programs take the center of gravity of each container at 45% of its height by default. For relatively homogeneous loads within the loading unit, the expected errors are negligible; however, there are cases of significant deviation from this value.

5) MEA element 6313, conveying the value of the maximum permissible stacking weight for each container, which is currently used only in the case of a container with reduced strength (less than 192 t), should be made mandatory. This container strength is insufficient for the stowage on board cellular container ships of Generation 5+. Such vessels have a stacking height of more than 10 tiers, which makes it possible that the limit of 192 t. will be exceeded. Newer container units are designed according to the latest amendment of the ISO 1496-1 standard, with a minimum permissible load of 213360 kg. Nevertheless, without such mandatory data exchange, both versions of BAPLIE do not guarantee that the construction of containers on lower tiers will not be overloaded.

6) Both SOLAS VII and MARPOL Annex III require compliance of the „Dangerous Goods Declaration” with the IMDG Code regulations. Of the two analyzed versions, only BAPLIE version 3.1 is fully functional in terms of the content of the information transmitted. Currently, just the basic requisites of

the CTUs containing DGs are exchanged. The remaining missing data must be re-entered manually by the ship's crew into the ship's cargo computer despite the fact that it is readily available in the line operator's data system. In this sense, a recommendation can be made that terminals and container operators will as soon as practically possible replace the use of version 2.2 messages with version 3.1 messages. This would save considerable operational time for the crew when checking the cargo plan for dangerous goods.

The SMDG has achieved the highest standards in designing and continuously updating the BAPLIE EDI message, thereby ensuring its relevance and efficiency in the container shipping industry. However, to enhance the safety and reliability of information exchanged via BAPLIE, a more robust regulatory framework is necessary. Industry leaders, such as the IMO and other relevant organizations, must step in and regulate as mandatory certain BAPLIE elements, currently categorized as optional. This step would not only standardize critical safety-related data exchange but also solidify the operational integrity and security of global container shipping logistics.

References:

1. BIC. (2024). New BIC and SMDG Collaboration to Improve Global Shipping Standards. Retrieved from <https://www.bic-code.org/news/new-bic-and-smdg-collaboration-to-improve-global-shipping-standards/>
2. MO. (2020). *SOLAS*.
3. IMO. (2022). *IMDG Code*.
4. IMO. (2022). *MARPOL Convention*.
5. ISO. (2022). *ISO 9735 - Electronic data interchange for administration, commerce and transport (EDIFACT) — Application level syntax rules*.
6. SMDG. (2024). Retrieved from <https://smdg.org/wp-content/uploads/MIGs/BAPLIE/WHY-BAPLIE-3.0-jom-02.pdf>
7. SMDG. (2015). *User Manual UN/EDIFACT BAPLIE ver. 2.2*.
8. SMDG. (2015). *User Manual UN/EDIFACT BAPLIE ver.3.1.1*.

9. WCO. (2022). *HS Nomenclature*. Retrieved from <https://www.wcoomd.org/en/topics/nomenclature/instrument-and-tools/hs-nomenclature-2022-edition/hs-nomenclature-2022-edition.aspx>

FUNCTIONAL ANALYSIS AND OPERATIONAL CHALLENGES OF ONBOARD LOADING COMPUTER SYSTEMS FOR CONTAINER SHIPS

Svilen Velinov

Department of Operation and Management of Maritime Transport,
Nikola Vaptsarov Naval Academy, Varna, Bulgaria
s.velinov@nvna.eu, mobile: +359888940060

Abstract: *This study focuses on the functional analysis and operational challenges of onboard loading software for container ships, which must verify compliance with various components, such as ship stability, weight distribution and cargo prioritization, to ensure the safe and efficient loading and unloading of containers. The study examines the three main functions of cargo programs on modern container ships: the Loading Instrument, Stability Instrument and Lashing program, and their respective regulatory requirements set by the International Maritime Organization (IMO) and the International Association of Classification Societies (IACS). The research reveals that current loading software does not include a verification of the preserved structural integrity for each container on board. This poses significant safety risks, especially for ultra large container vessels (ULCVs). To mitigate these risks, the study proposes additional mandatory functionalities for the Lashing Program module of the Loading Computer Systems for container ships.*

Keywords: *Loading software, Container ship*

1. Introduction and subject of the study

The containerization of global trade has revolutionized the maritime shipping industry, enabling the efficient and cost-effective transportation of goods across oceans. However, the increased size and complexity of modern container ships have introduced new operational challenges, particularly in the area of onboard loading software, which is a critical component of container ship operations that must verify the compliance of a series of components, such as the ship's stability, weight distribution, and cargo prioritization, to ensure safe and efficient loading and unloading of containers at each port of

call. The International Maritime Organization (IMO) and International Association of Classification Societies (IACS) regulations concerning on board cargo computer systems distinguish between the hardware and software requirements. This study focused solely on software functionality. Dedicated cargo programs on most modern container ships combine three independent functions, as listed below, for which the IMO and classification societies have developed separate regulatory requirements.

1. *Function 1 „Loading Instrument”* This is the name officially adopted by the IMO for a computer system or other automated means capable of calculating, in accordance with Regulation 10 of LL'66⁹⁵⁶, the ship's overall longitudinal strength parameters and comparing them to the limit values. At present, the IMO has not developed a regulatory instrument obliging cellular container ships to be fitted with a loading instrument, similar to bulk carriers (SOLAS XII/11⁹⁵⁷, MSC/Circ.891⁹⁵⁸ and IACS Recommendation 48⁹⁵⁹). However, IACS introduced such a requirement for container ships larger than 100 m⁹⁶⁰. Furthermore, the IACS specifies that if such software is on board, even if it is optional, it must comply with any requirements developed by the classification society.

2. *Function 2 „Stability Instrument”* In addition to the Administration approved „Stability Information”, every Category I cargo ship over 100 m. should be provided with an instrument that allows the stability parameters to be calculated and compared with the minimum acceptable standards. This function is performed again by the cargo program of the ship. For a container ship it is not mandatory for the software to calculate the damage stability of

⁹⁵⁶ IMO (2021). International Convention on Load Lines 1966. London, IMO

⁹⁵⁷ IMO (2020). International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974

⁹⁵⁸ IMO (1998). MSC/Circ.891 Guidelines for the on-board use and application of computers

⁹⁵⁹ IACS (2020). Recommendation on Loading Instruments, 1997

⁹⁶⁰ IACS (2010). S 1 Requirements for Loading Conditions, Loading Manuals and Loading Instruments, Rev 7

the hull as it is for tankers⁹⁶¹. The IMO has established its own regulations for Stability Instruments, which are included in Part C of the 2018 IS Code⁹⁶². Furthermore, the IMO endorsed MSC.1/Circ.1229⁹⁶³. Section 4.1.2 of the Code categorizes software systems as passive and active. The active system allows some of the data required for stability calculation to be automatically received via an appropriate interface. The most widespread function of this type is the ability to read the levels of the individual tanks. This feature is usually activated manually and allows the user to update the tank levels on demand, avoiding time-consuming manual inputs and reducing the likelihood of errors. Rule 4.1.2.3 specifies that integrated systems that perform actions related to automatic data entry are not subject to the Code, except for their module that specifically calculates stability. Systems of this type are subject to regulation only by the Administration and the respective classification society.

3. *Function 3 „Lashing program”* Lashing software is a computerized tool that analyzes the forces acting on container stacks aboard ships. This software reflects the specifications of the lashing system as outlined in the Cargo Securing Manual (CSM), which is prepared in compliance with the requirements set by the Administration. This feature is specific to container ships and has no equivalent in other ship types. Given the large volume and complexity of the calculations involved and the impossibility of the (CSM) to reflect all the multivariant loading patterns, cargo lashing calculations cannot be performed physically by the crew without the aid of software. Unlike the case with the stability instrument, the calculation methodology, software, and hardware requirements are entirely left to the discretion of the Administration and the classification society.

Each of the functions listed above, as well as some additional(optional) ones, can be performed by a single software, known as „Loading Computer

⁹⁶¹ IMO (2014). MEPC.248(66) Amendments to MARPOL Annex I on mandatory carriage requirements for a stability instrument

⁹⁶² IMO (2009). International Code on Intact Stability (2008 IS Code)

⁹⁶³ IMO (2007). MSC.1/Circ.1229 Guidelines for the approval of stability instruments

System” (LCS). The use of one integrated software program instead of three stand-alone programs is a suitable solution with proven advantages and ease of operation. The complex nature of such a system is illustrated in Figure 1.

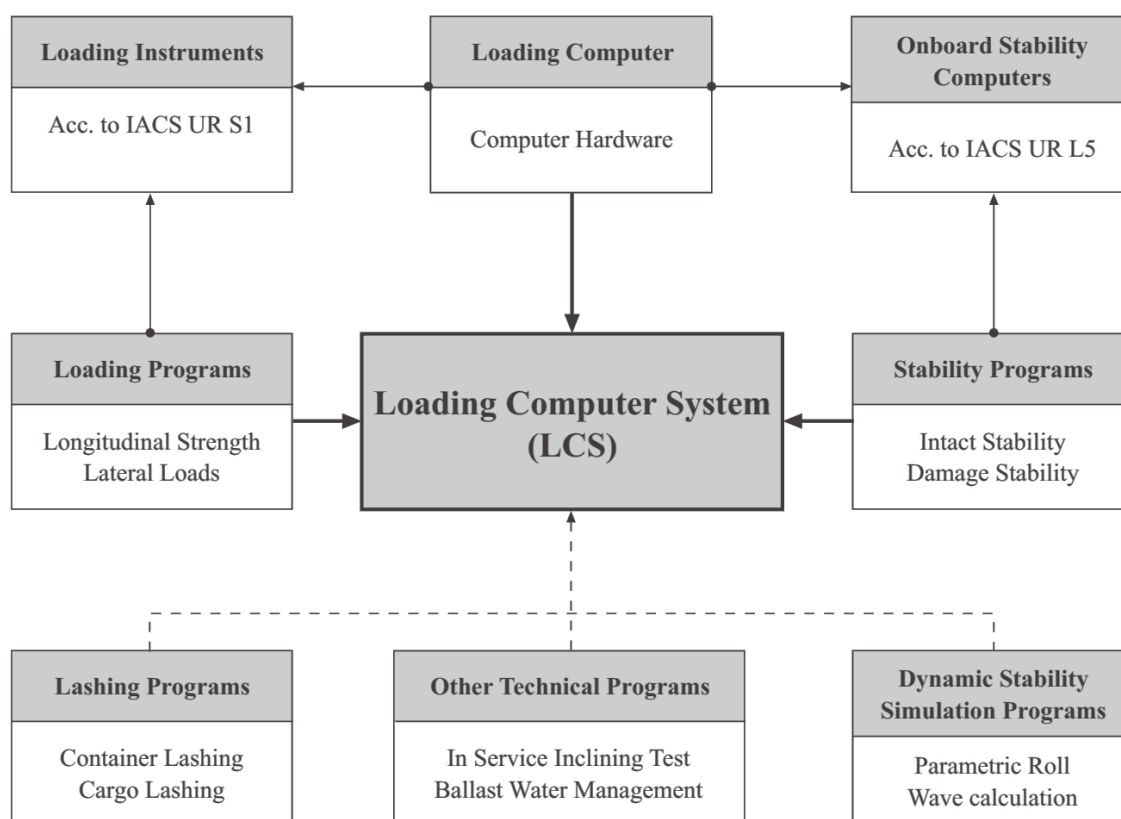


Figure 1 (Loading Computer System typical layout)

2. Functional Analysis of container ship loading computer system

Because a Loading Computer System integrates all the above-mentioned three mandatory functionalities, it must comply with the combined regulations and rules set by the IMO, the Administration, the IACS, and class society. This includes those generally required for all cargo vessels, as well as container-specific parameters. The full list of applicable IMO and IACS functional requirements for container ship LCS is presented below.

- Calculation and graphical presentation of Still Water Sheer Forces, Bending Moments and Torsional Moments, which includes the displacement and buoyancy distribution
 - Load calculation for each stack on deck and under deck
 - Deadweight and Displacement calculation
 - Mean draft calculation
 - Trim calculation
 - Draft calculation at perpendiculars and at all ship marks
 - List (Heel) Calculation
 - Presentation of the Deadweight Table and results for the center of gravity (LCG, TCG and VCG)
 - Calculations for the downflooding angle and corresponding downflooding opening
 - Compliance with stability criteria: Listing of all calculated stability criteria, the limit values, the obtained values and the conclusions (criteria fulfilled or not fulfilled)
 - Calculation and graphical presentation of the forces on containers and container securing equipment for any loading conditions for each container stack
 - Indication of the respective permissible values in order to assist the master in his/her judgement on whether the ship is loaded within the approved limits
- Additionally, to the minimum required functionalities, modern loading programs for container ships are equipped with additional calculating tools such as:
 - Calculation and analysis of IMO and Panama Canal visibility
 - Air draft calculation
 - Propeller Immersion calculation
 - Compliance with minimum forward draft
 - Compliance with maximum trim (if applicable)

- Stowage check for Dangerous Goods as per IMDG Code
- Physical stowage compatibility for container units
- Calculation for the maximum permissible stacking height
- Container overstay check in regard to the ship rotation
- Ballasting/deballasting optimization
- Stowage planning tools and functionalities

In today's highly competitive market, developers of specialized software continually enhance their product capabilities. However, these improvements focus primarily on improving the interface of the existing modules, particularly in terms of optimizing cargo planning, rather than incorporating additional features to enhance ship safety. This study examined software products of leading software manufacturers available on the market.

In the course of the research, an attempt was made to identify software functionalities that are currently not included as a requirement by either the IMO or the IACS, and whose introduction would contribute to the safety of transportation of containers by sea. It was discovered that none of the aforementioned products include a component that verifies the strength of containers planned for loading or already loaded onboard. Some of the latest versions built in compliance with the 2024 IACS Requirements⁹⁶⁴ offer the possibility to calculate the external forces acting on each container unit, but the result is later analyzed with regard to the standard minimum requirements established by classification societies.

None of the aforementioned products include a component that verifies the strength of containers planned for loading or already loaded onboard. Some of the latest versions built in compliance with the 2024 IACS Requirements offer the possibility to calculate the external forces acting on each container unit, but the result is later analyzed with regard to the standard minimum requirements established by classification societies. The new 2024 requirements will be applied only to the new buildings of the IACS members for

⁹⁶⁴ IACS (2024). IACS UR C6 Unified Requirements for Lashing Software

ships contracted for construction on or after July 1, 2025. Ships that are currently in service use software, which does not verify whether container units on board will be able to withstand the combined external forces and moments.

None of the analyzed software verifies that the maximum permissible stacking weight of each unit on board is not exceeded. The only calculation that is performed is whether the stacking weight of the decks is exceeded. Consequently, the loading program only generates a warning if the ship's construction is endangered but not if the cargo units may be damaged due to excessive external forces. Today, ultra large container vessels (ULCVs) can accommodate 12 or more tiers inside their cargo holds. If fully loaded a 20 feet unit may weigh up to 30.5 t. as per latest ISO standard. Consequently, the maximum permissible stacking weight of the bottom tiers can be easily exceeded if all containers from the upper tiers are loaded close to their maximum permissible gross weight.

Research has been conducted on manufacturing data, which reveals that the majority of shipping containers have been constructed with a stacking capacity that meets or exceeds the 213,000 kg requirement specified in ISO 1496-1⁹⁶⁵ for many years. In fact, the most prominent container companies and rental firms now commission containers with capabilities exceeding this standard, with 216,000 kg being the most frequently used specification. However, a small portion of containers continues to be manufactured with the original 192,000 kg stacking capacity. According to CSC 72⁹⁶⁶, these containers are not substandard and do not need to be specially labelled and mentioned as low-strength containers during the EDI exchange. This situation poses significant safety risks, including the potential for stack collapse and containers falling overboard, if containers with lower stacking capacities are mistakenly placed at the bottom of stacks, assuming they meet the higher strength requirements outlined in ISO 1496-1. The efficiency of ULCVs has already been

⁹⁶⁵ ISO (2013). ISO 1496-1 (Series 1 freight containers - Specification and testing - Part 1: General cargo containers for general purposes)

⁹⁶⁶ IMO (2014). International Convention for Safe Containers, 1972

confirmed within the last decade, which explains the current global trend of increasing the number of vessels of this size. Consequently, the problem of preserving the construction of container units onboard these giant vessels will become more serious and needs to be solved.

It has been further noted that the present standard for the EDI Bayplan message does not include a mandatory element that provides vessels with information on the maximum permissible gross weight for each unit. Both the terminal and master are obliged to verify that each container is not overloaded, as per SOLAS Ch VI and CSC 72. Such verification is not part of the automatic stowage check, as it is not exchanged via the EDI before loading.

3. Conclusion and proposed additional functionality

Based on the presented detailed analysis of the functional capabilities of each of the reviewed versions of LCSs, it can be conclusively determined that all of them fully comply with the applicable IMO and IACS regulations and rules. The objective of these instruments is to regulate the functionality of the LCS to maintain the seaworthiness and structural integrity of the ships. This approach could be entirely effective for other types of vessels. However, in the case of container ships, the overall safety of a vessel is highly dependent on the measures applied to preserve the integrity of all the cargo transport units on board. In this regard, and to mitigate the safety risk, it is imperative for container ship LCSs to perform automated calculations and verification of the structural integrity of containers on board. To achieve this objective, the following additional functionalities are proposed as mandatory for the Lashing Program module.

1. Calculation for the stacking weight of each container on board and verification that the maximum permissible stacking weight for each individual container is not exceeded

2. Calculation for the racking forces and lifting forces for each unit on deck and verification that the limitations which are set for each individual unit are not exceeded

In order to be able to calculate the actual values of the above parameters, the required input data has to be received via EDI from the line operator or the terminal operator. The latest SMDG Bayplan message version 3.1 has the functionality to specify the maximum stacking weight, but this segment is used only in the case of a unit with „limited stacking capacity” of less than 192 t as per the CSS. No option is available to exchange information regarding containers with a „limited racking capacity” of less than 150 kN. As a result, the introduction of the proposed functionalities must be coordinated with an appropriate upgrade of the current BAPLIE 3.1 version in order to enable additional calculations, as described. Therefore, implementing these proposed functionalities requires coordinating with an upgrade to the current BAPLIE 3.1 version to enable additional data exchange. This upgrade would allow for more comprehensive safety checks and potentially reduce the risks associated with container transport by sea. The costs and expenses for upgrading LCS functionality and the Bayplan message are considered minor compared with the expected significant improvement in container shipping safety. This suggests a favorable cost-benefit ratio for implementing these changes.

References:

1. DNV (2012). Rules for Classification of Ships, Part 6 Ch. 9 (Loading Computer Systems (LCS) for Stability and Longitudinal Strength)
2. IACS (2010). S 1 Requirements for Loading Conditions, Loading Manuals and Loading Instruments, Rev 7
3. IACS (2020). Recommendation on Loading Instruments, 1997
4. IACS (2024). IACS UR C6 Unified Requirements for Lashing Software
5. IMO (2007). MSC.1/Circ.1229 Guidelines for the approval of stability instruments
6. IMO (2009). International Code on Intact Stability (2008 IS Code)
7. IMO (2014). International Convention for Safe Containers, 1972

8. IMO (2014). MEPC.248(66) Amendments to MARPOL Annex I on mandatory carriage requirements for a stability instrument
9. IMO (2020). International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974
10. IMO (2021). International Convention on Load Lines, 1966
11. ISO (2013). ISO 1496-1 (Series 1 freight containers - Specification and testing - Part 1: General cargo containers for general purposes)

СТРОИТЕЛНО-ИНФОРМАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИИ В ДИГИТАЛИЗАЦИЯТА НА КУЛТУРНОТО НАСЛЕДСТВО В ПРАКТИКАТА ПО АРХИТЕКТУРА

Теофана Харалампиева-Стоименова

Департамент „Архитектура“, НБУ

тел: 0883426515, tharalampieva@nbu.bg

***Анотация:** Архитектурата е призвание, което изисква посветеност, обширни знания и комплексно мислене. Тя представлява практическо изкуство, което оформя пространството, в което живеем и работим. С напредъка на технологиите, изискванията за качество на дизайна, изпълнението и общия жизнен цикъл на сградите значително нарастват. Намалването на грешките и оптимизацията на процесите улесняват работния поток и разширяват възможностите за креативност. В тази статия се разглежда процесът на работа и оптимизация на реална сграда, която е културен паметник, където съвременните технологии подпомагат създаването на точен BIM (строително-информационен модел) модел, на базата на който по-късно се извършват реконструкция и преустройство на тази интересна сграда.*

***Ключови думи:** BIM (building information modelling), HBIM (historic building information modelling), 3D структура на сграда, софтуер, количествени сметки, оптимизация и дигитализация, минимизация на грешки, статични и динамични изчисления, визуализация, автоматични изгледи*

BUILDING INFORMATION TECHNOLOGIES IN THE DIGITIZATION OF CULTURAL HERITAGE IN THE PRACTICE OF ARCHITECTURE

Teofana Haralampieva-Stoimenova

Department of Architecture, New Bulgarian University

Phone: 0883426515, Email: tharalampieva@nbu.bg

Anotation: *Architecture is a calling that requires dedication, extensive knowledge, and complex thinking. It represents a practical art that shapes the space in which we live and work. With the advancement of technology, the demands for quality in design, execution, and the overall lifecycle of buildings have significantly increased. Reducing errors and optimizing processes facilitate workflow and expand opportunities for creativity. This article examines the working process and optimization of a real building that is a cultural monument, where modern technologies assist in creating an accurate BIM (Building Information Modeling) model, based on which reconstruction and renovation of this interesting building will later take place.*

Keywords: *BIM (Building Information Modeling), HBIM (Historic Building Information Modeling), 3D structure of a building, software, quantity takeoffs, optimization and digitalization, error minimization, static and dynamic calculations, visualization, automatic views*

Архитектурата представя призвание, посветеност, широка обща култура и комплексно мислене. Това е практическото изкуство, което оформя обитаемото пространство за умът и тялото. С напредването на технологичните иновации, изискванията за качеството на дизайна, реализацията и общия жизнен цикъл на една постройка значително се увеличават. Възможностите за свеждане на грешките до минимум и оптимизация на процесите облекчават работния процес и разширяват простора за креативност.

В тази статия е описан процеса на работа, оптимизация на реална сграда, паметник на културата, където съвременните технологии спомагат изграждането на точен BIM (building information modelling) модел, на базата на който в последствие се работи по реконструкцията и преустройството на тази интересна сграда.

Екипът, в който работи авторът (Интернешънъл Рисорд Мениджмънт ЕООД), бива избран да създаде BIM модел на бившата централа на Dresdner Bank в Дортмунд, което благодарение на познанията за функционалността на Allplan BIM и опита в 3D архитектурното моделиране, приема предизвикателството.

Сградата

Бившата централа на Dresdner Bank в Дортмунд е под историческа защита, въпреки че е проектирана само преди 40 години от известния германски архитект Харалд Дейлман. Заради съвременната си, вдъхновена от попарт архитектура, през 2001 г. Кампщрасе 47 е приета в списъка на паметниците на културата на град Дортмунд и оттогава е защитена.

Впечатляващата ѝ бетонна фасада е непреходно красива и е моделирана от нас във всички детайли. Също така самият размер на обекта - той има четири нива на подземен паркинг и 7 надземни нива - го прави истински референтен проект за нас.



Изобр.1 Макет на Дрезднер Банк 1974г. Изобр. 1а Авторска фотография, екип ИРМ (Интернешънъл Рисорс Мениджмънт)

Защо BIM?

Сградата ще бъде разделена на зони и отдадена под наем на различни компании. По време на фазата на реновация се изискват точни количества с цел минимизиране на разходите по поддръжка. В следствие данните ще бъдат използвани за целите на управлението на съоръженията, като например управление на отдаване под наем или преместване, противопожарна защита или за интериорен дизайн,

изчисление на количества необходими за оферирание на реновация, преустройства и т.н.

Софтуер

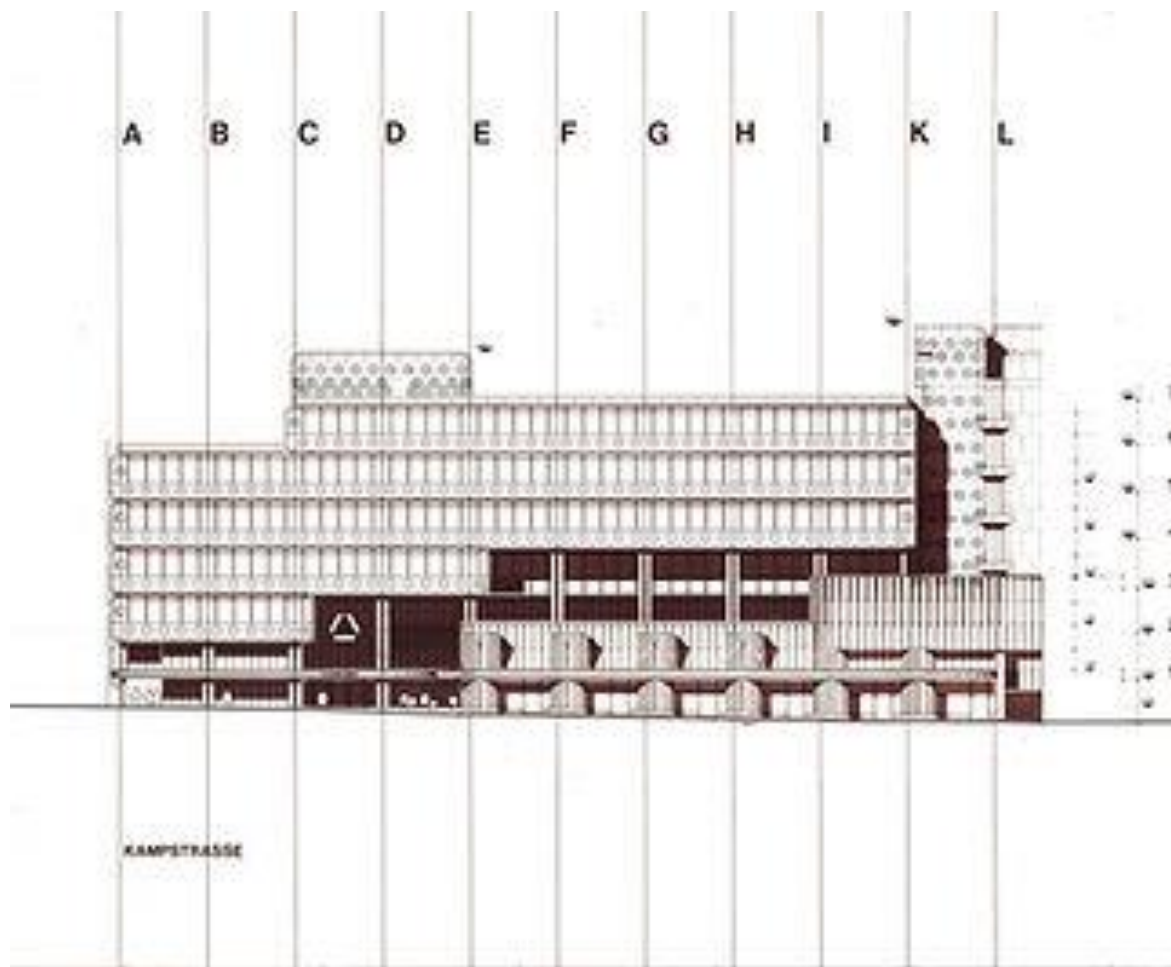
Използвахме софтуер, който ни позволи да управляваме огромното количество данни. Първата стъпка беше да се създаде подходяща структура на сградата с „Мениджър на сградата”. Чрез архитектурните функции на Allplan тогава дефинирахме интелигентните елементи като стени, плочи и колони. Тъй като Allplan създава паралелно с BIM модела и точен работен чертеж на всеки етаж, за нас беше лесно да сверим резултатите с оригиналните планове по всяко време.

След това моделът бива запазен на платформата BIM plus, която е облачен сървър и позволява на всички участници достъп до модела. Данните се записват там в неутрален IFC формат, така че други планиращи като HVAC – или строителни инженери да могат да добавят своите данни във всеки BIM съвместим формат.

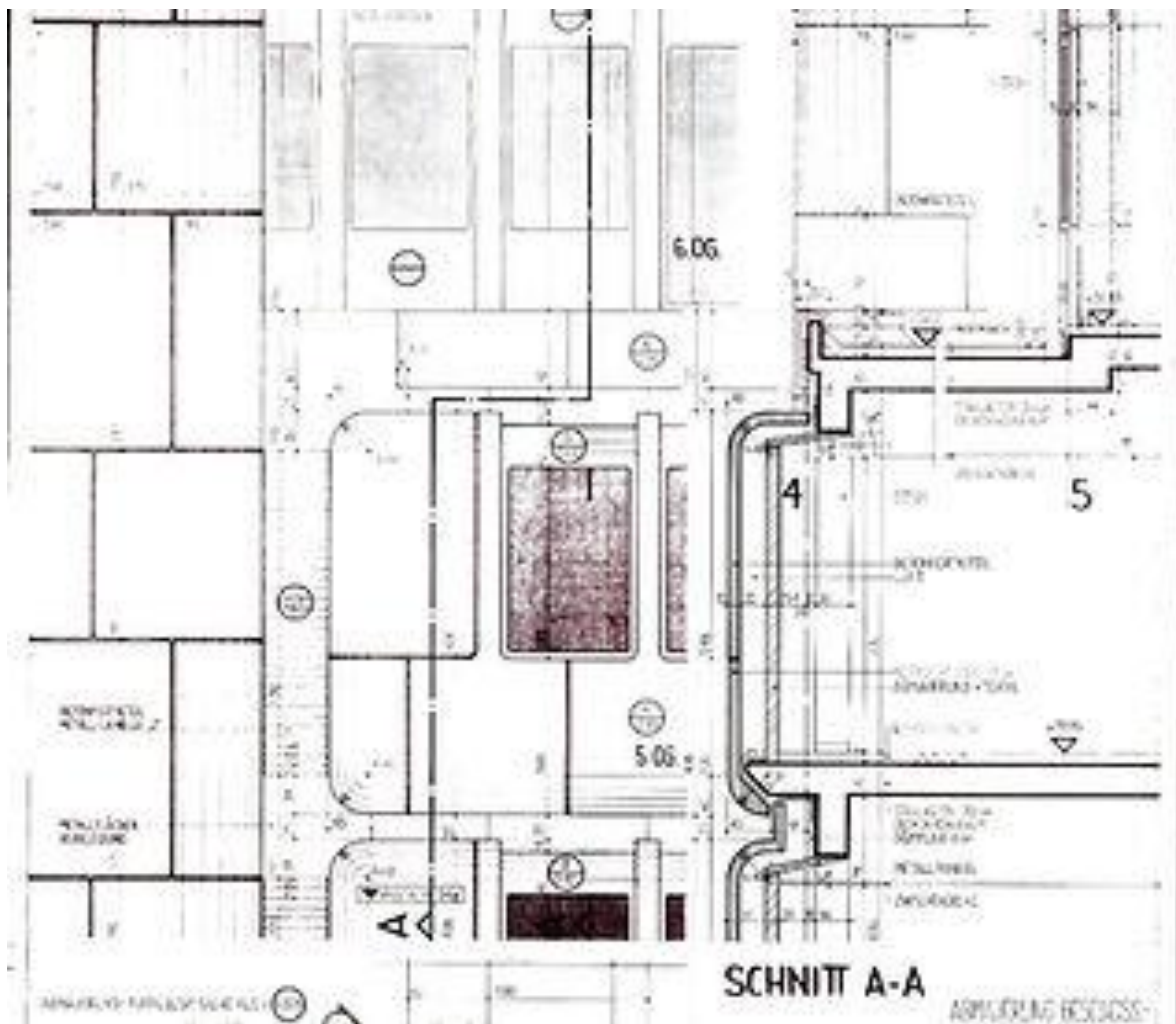
- Повече от 2500 чертежа
- Над 70GB данни
- DWG файлове

Исходна информация

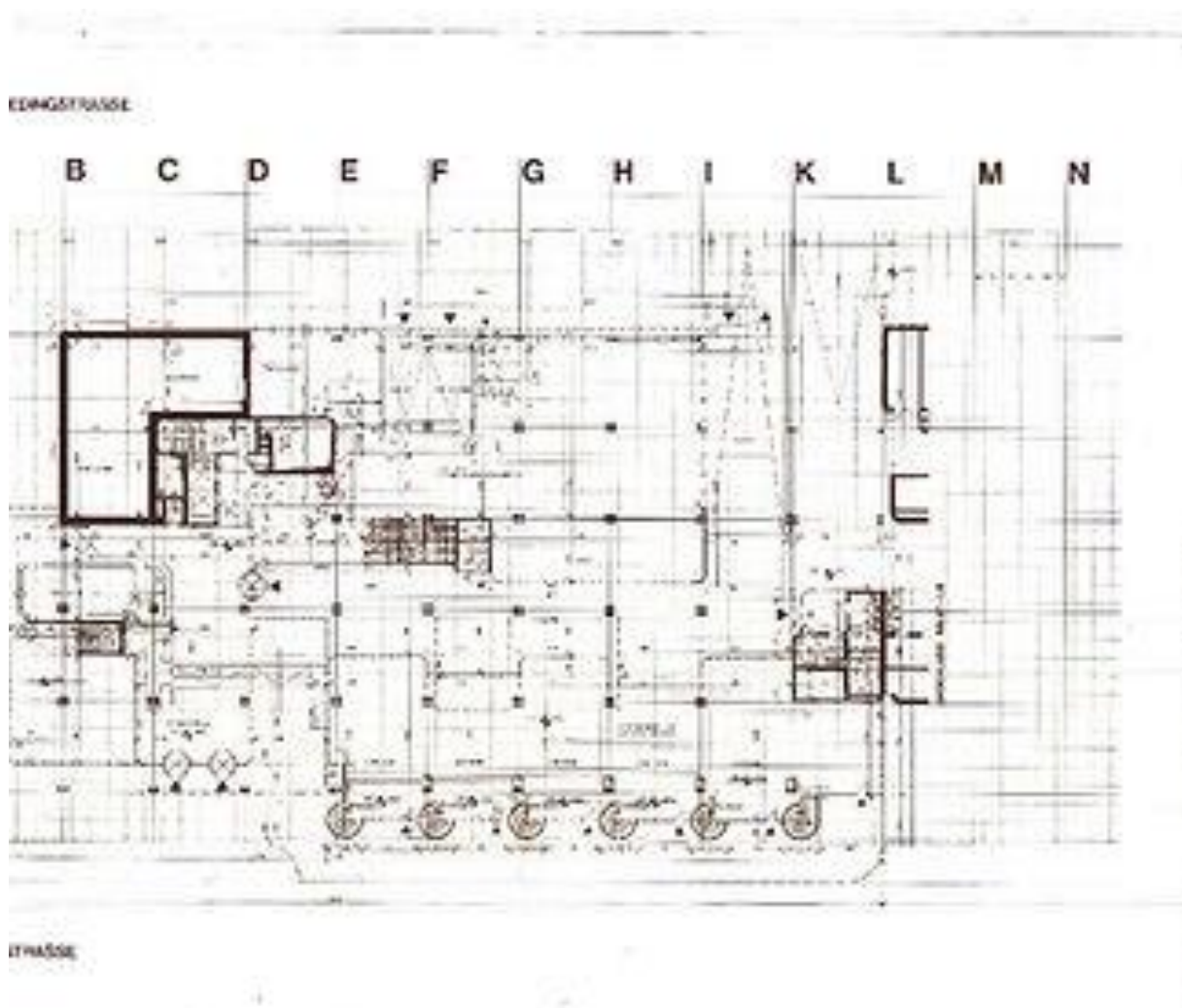
Сканирани ръчни скици и чертежи от 70-те години на миналия век в PDF формат



Изобр. 2 Фасада, архив 1974г.



Изобр. 3 Разрез, архив 1974г



Изобр. 4 Разпределение, архив

Процес на работа

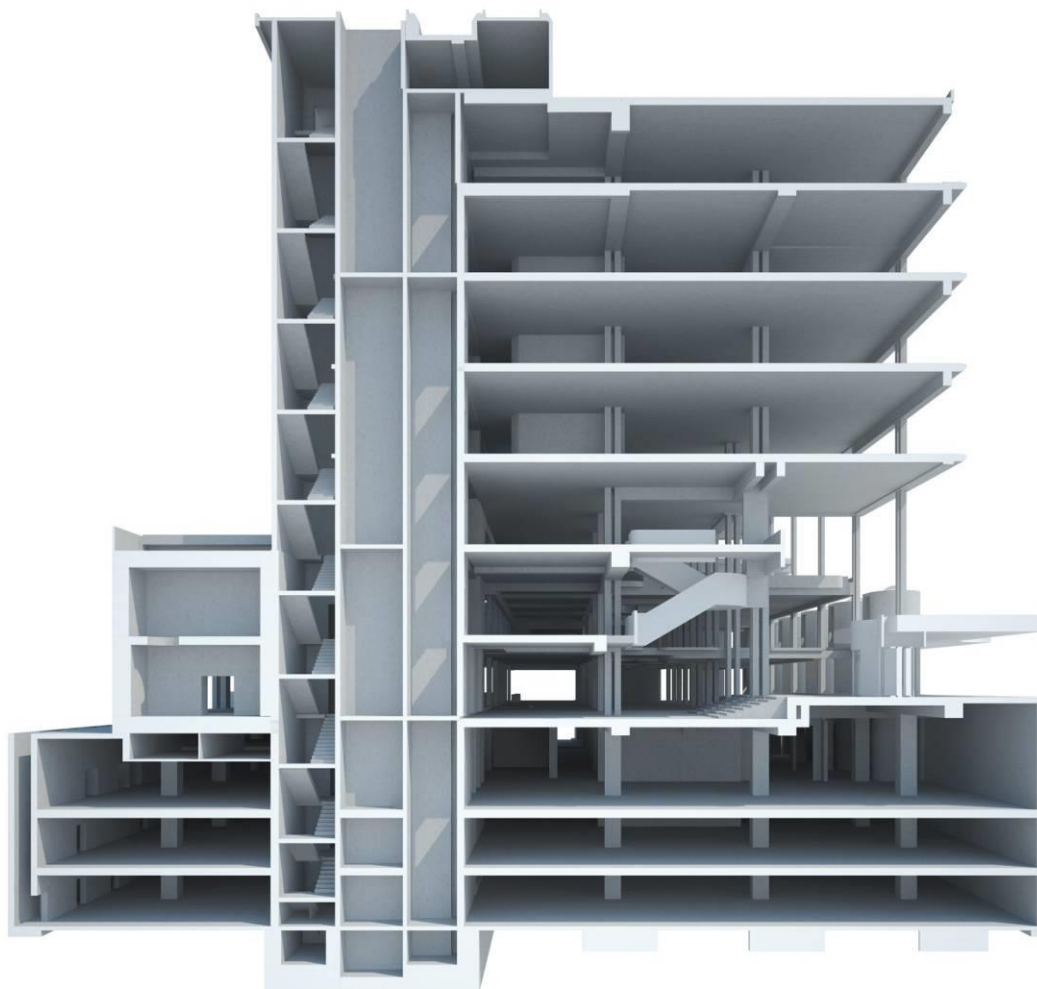
Структура - ниво на детайлите 1:1

Детайлното ниво на структурния модел е 1:1. Сградата се състои от нива на подземен гараж и 7 етажа с офиси. Отличаващо се пространство е атриумът с масивна стълба, която изглежда като плаваща. Друг елемент е проходът през сградата, който изглежда като улица с външни лампи и саксии с растения. Той е заобиколен от обема от павилионен тип, които водят до втория етаж и голяма тераса. В преддверието се намира впечатляваща 3Д-арт стена с различни цветни елементи която променя визията спрямо разположението на наблюдателя.

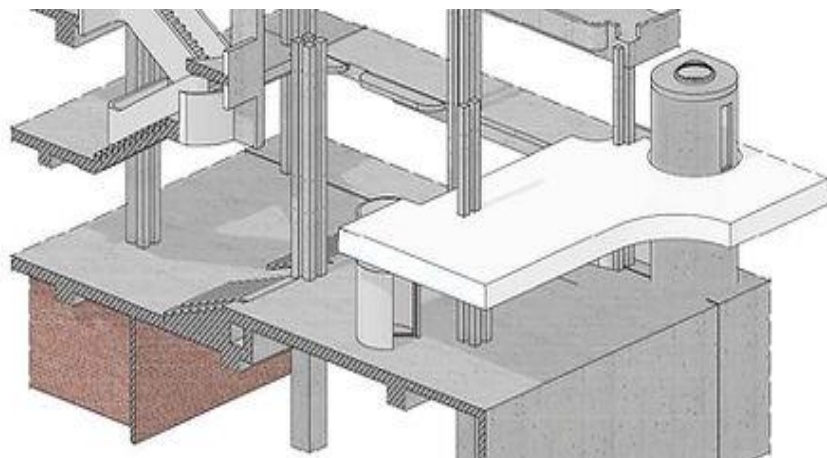


Изобр. 5 Авторска визуализация на носещата конструкция

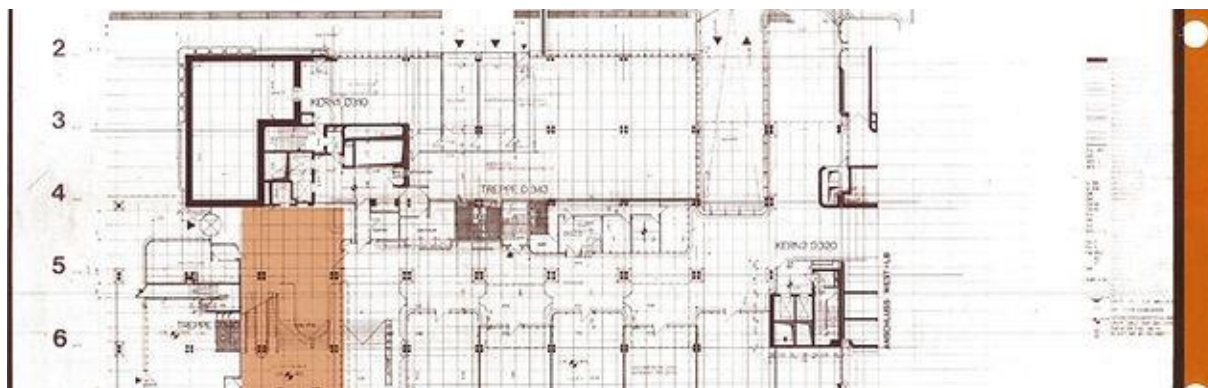
- Структура на проекта в Allplan
- Определяне на нива в Allplan
- Настройки на чертежа, материали
- Спомагателен темплейт за работа
- Определяне на потребителски атрибути
- Комуникация с клиента как трябва да се моделират структурните елементи.



Изобр. 6 3Д разрез, авторски



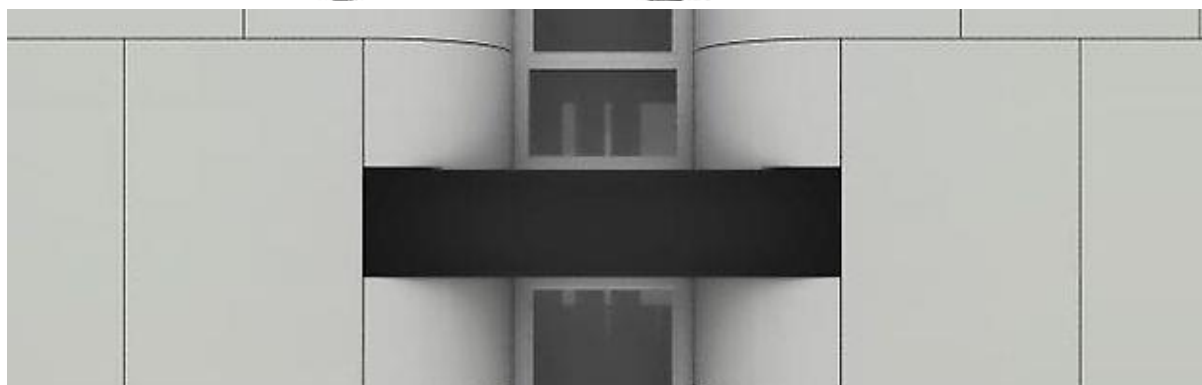
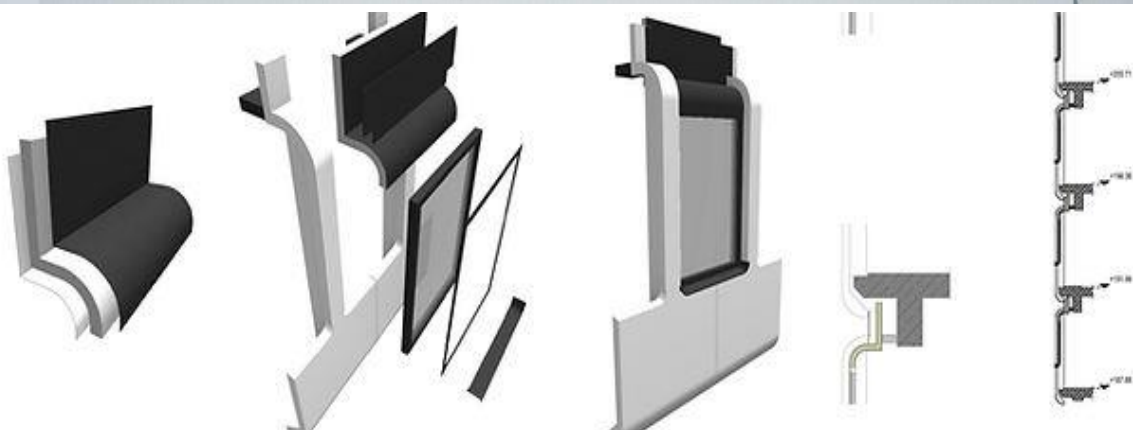
Изобр. 7 секционен разрез, авторски



Изобр. 8 Разпределение със зона атриум, архив 1974г

Бетонова фасада - ниво на детайлите 1:1

Детайлното ниво на модела на конструкцията е 1:1. Всички бетонни панели са сглобяеми и маркирани с идентификационен номер. Елементите, обикалящи първия етаж, определят атриума и превръщат бившата банка в уникална сграда. За минимално улеснение на задачата имаше типов панел, но също така и повече от 70 единични бетонни елемента с различна двойна кривина на геометрията, които трябваше да се моделират, класифицират и текстурират самостоятелно.



Изобр. 9 авт.колаж, детайли от фасадата, BIM модел



Изобр.9а Детайл от фасадата, BIM модел



Изобр. 10 Детайл-разрез от фасадата, BIM модел

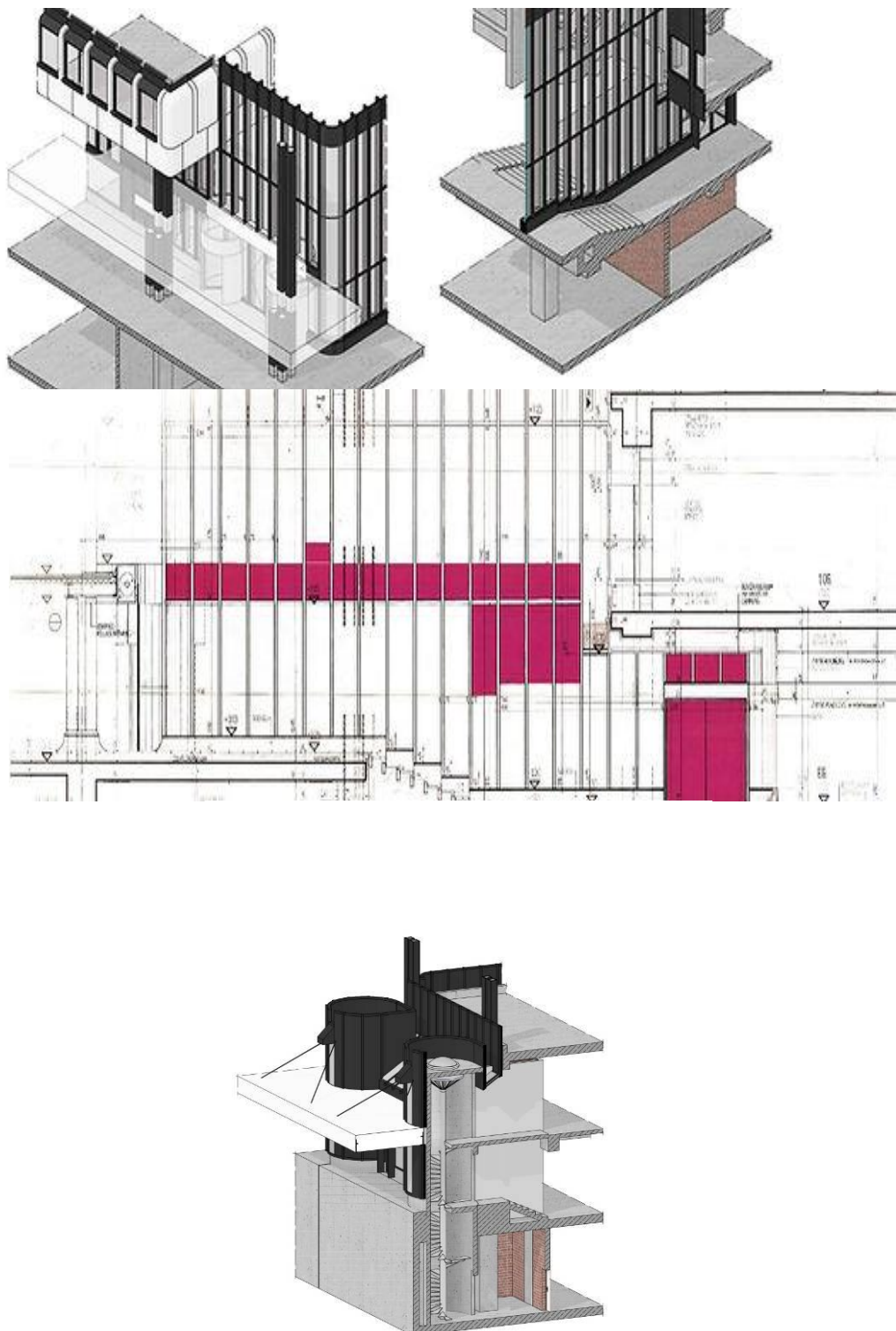
Метална фасада - ниво на детайлите 1:1

Детайлното ниво на модела на конструкцията е 1:1. Някои от старите чертежи липсваха и част от фасадата беше моделирана въз основа на снимки от посещението на място. Тя е проектирана в антрацитен цвят и

служи като фон на бялата бетонна фасада. Металната фасада служи като връзка между сградата и посетителите, като определя всички входове



Изобр.11 цялостна 3Д фасада, авторски 3Д изглед



Изобр.12 авт.колаж, детайли от мет. фасада

Краен резултат

Налице е сравнителен експеримент на изгледите от 3D модела с някои снимки от нашите посещения на място.



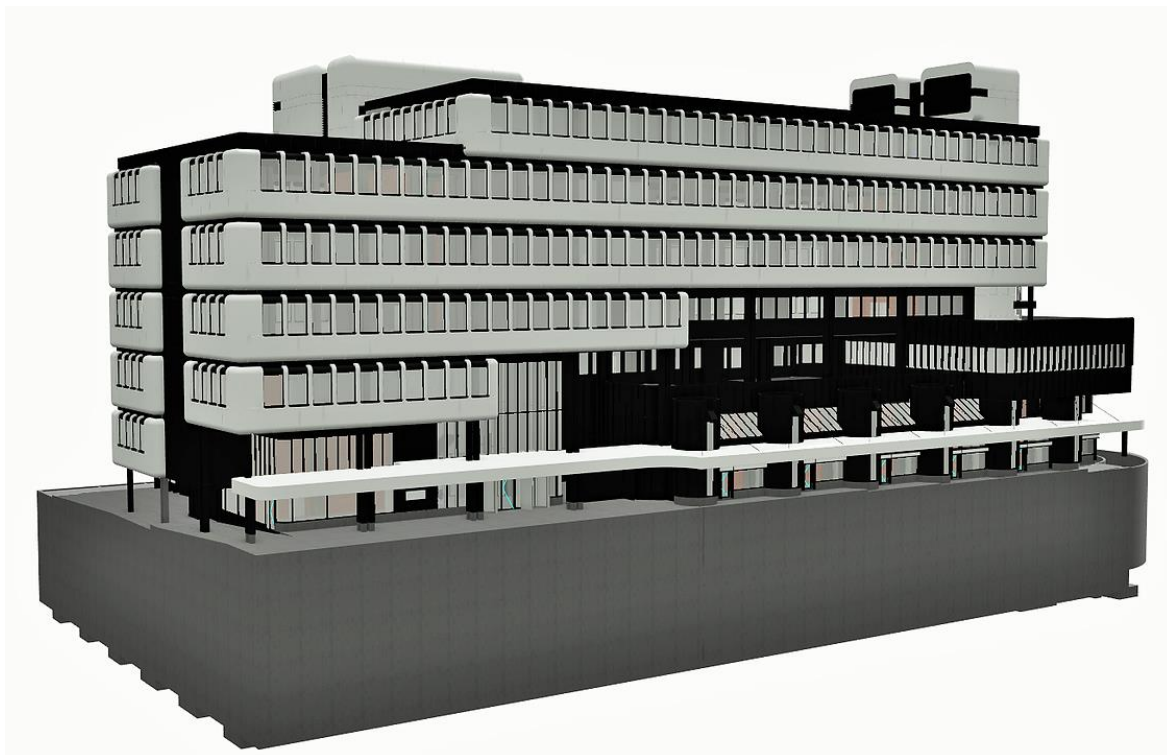
Изобр.13 Снимка и визуализация на капсулите за консултации



Изобр.14 Снимка и визуализация на зоната при влизане



Изобр. 15 Снимка и визуализация на покривния етаж



Изобр. 16 Цялостен поглед към 3Д модел-а,личен архив

Извличане данни от модела и изводи:

- Автоматични изгледи, разрезни, фасади и всички необходими документи
- Автоматично „етикетиране”
- Автоматични количествени изчисления и улесняване и минимизиране излишни разходи по поддръжка и реновация
- Автоматични актуализации в чертежите при промяна на модела, помагайки при нов проект за реновация на пространствата
- Визуализация и лесно оптимизиране на модела
- Отлична и детайлна база за фотореалистични визуализации в специализиран софтуер
- Статични и динамични изчисления въз основа на модела с помощта на специализирани програми

ALLPLAN

Overview of objects

Project: Dortmund - Kampstr. 47_20170805
Created by: jdimitrova
Date / time: 16/04/2020 / 14:43
Note:

Component ID	Object name	Material	Quantity
5. OG			
1022Sym0000000401	Smart symbol	Betonpanel	1.00 Pc
1022Sym0000000402	Smart symbol	Panel	1.00 Pc
1022Sym0000000473	Smart symbol	Metalblech	1.00 Pc
1022Sym0000000523	Smart symbol	Betonpanel	1.00 Pc
1022Sym0000000568	Smart symbol	Fensterbank	1.00 Pc
1022Win0000001122	Window opening		-2.70 m²
1022Sym0000000796	Window, smart symbol + SmartPart	Window	1.00 Pc

Summary		Pc	m²
Smart symbol	Betonpanel	2	
	Panel	1	
	Metalblech	1	
	Fensterbank	1	

1/1

Изобр. 17 извадка количествени сметки

ALLPLAN

Windows

Project: Dortmund - Kampstr. 47_20170805
Created by: jdimitrova
Date / time: 16/04/2020 / 14:34
Note: The width, height and area define the dimensions of the opening.

T: door leaf
H: sash
K: tilt and turn
D: casement

Story	Pos	Place of installation	Name of material	Number	Wall thickn.			Width/height [m]	Area [m²]	Total area [m²]
					T	H	K D			
5. OG										
			Window	1	0.086	0.800	1.866	1.493	1.493	
			Window	87	0.086	1.350	2.000	2.700	234.900	
Sum 5. OG				88					236.393	
Total sum				88					236.393	

1/1

Изобр.18. Количествена сметка и характеристика на бетонен панел

Източници:

1. Списание Градът[онлайн]. [прегледан на 20 юни 2024]. Достъпен на:

https://gradat.bg/news/2017/11/03/3071456_irm_predstavi_pred_arhitekti_i_injeneri_kampstrasse_47

2. APVS [онлайн]. [прегледан на 20 юни 2024]. Достъпен на:
<https://www.ap-vs.com/kampstrasse47>

ИНВЕСТИЦИИ В ИЗКУСТВЕН ИНТЕЛЕКТ

Тереза Стефанова

email: tstefanova@nbu.bg, тел.: 028110609

Нов български университет, Департамент „Телекомуникации”

Росен Пасарелски

e-mail: rpasarelski@nbu.bg, сл. тел.: 028110609

Нов български университет, Департамент „Телекомуникации”

***Анотация:** Компаниите използват изкуствен интелект за подобряване на своите технологии, продукти или услуги, или за придобиване на стратегическо предимство. Така дискусиите за инвестициите в AI придобиват голяма важност както за технологичните компании, така и за всички потребители на AI.*

В статията са разгледани основните видове корпоративни инвестиции в изкуствен интелект. Представени са данни за частни инвестиции в AI в избрани области - в световен мащаб, както и в Европейски съюз и Обединеното кралство.

В резултат от представените данни са направени изводи за инвестиционните тенденции в AI.

***Ключови думи:** AI; инвестиции в AI; корпоративни AI инвестиции*

INVESTMENTS IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Tereza Stefanova

email: tstefanova@nbu.bg, сл. тел.:028110609

New Bulgarian University, Telecommunications Department

Rosen Pasarelski

e-mail: rpasarelski@nbu.bg, сл. тел.: 028110609

New Bulgarian University, Telecommunications Department

Abstract: *Companies use artificial intelligence to improve their technologies, products or services, or to gain a strategic advantage. Thus, discussions about investments in AI are gaining great importance for both technology companies and all users of AI.*

The article examines the main types of corporate investments in artificial intelligence. Data on private investments in AI in selected areas are presented - globally, as well as in the European Union and the United Kingdom.

As a result of the presented data, conclusions are drawn about investment trends in AI.

Keywords: *AI; AI investments; AI corporate investments*

Въведение

AI технологията се развива интензивно и упражнява все по-голямо влияние върху нашия свят. Една от причините за бързия напредък е, че през последните години тази технология има много по-големи ресурси на свое разположение.

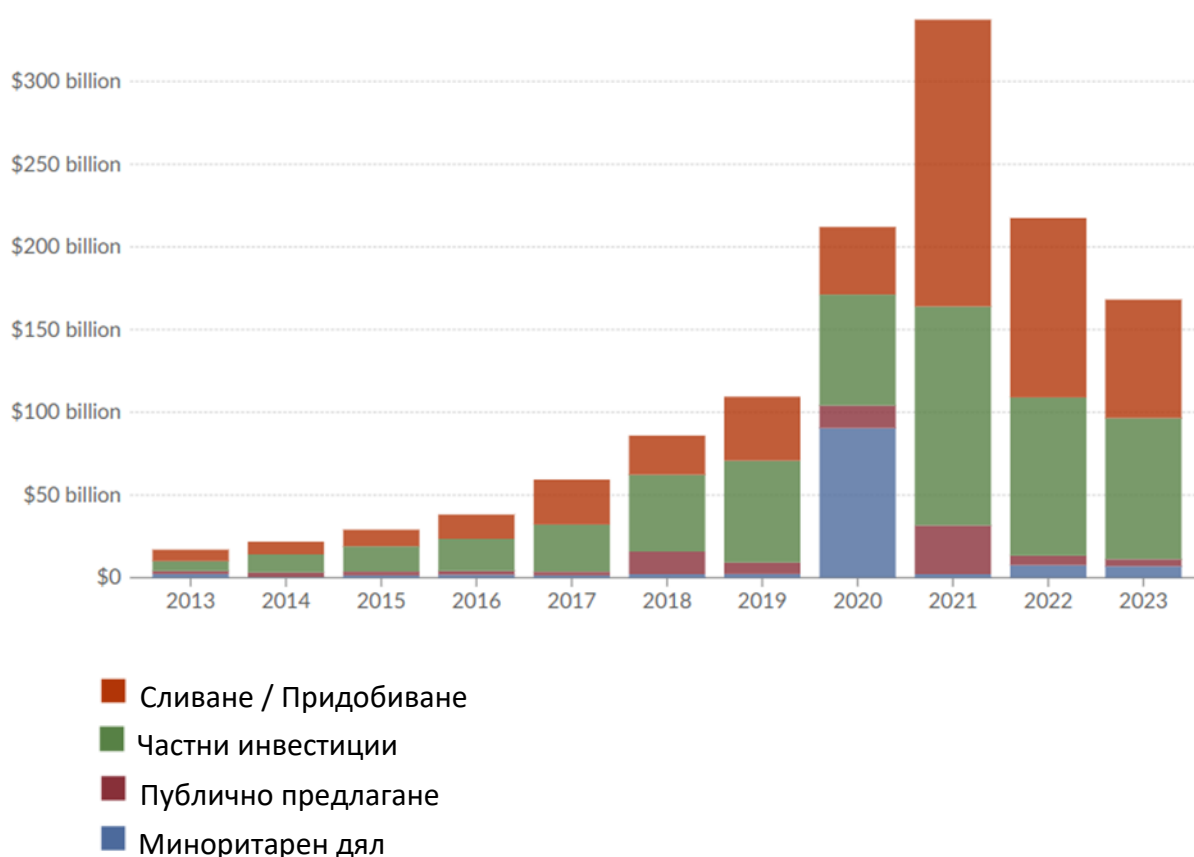
Доскоро инвестициите като капитал и научни усилия в областта на изкуствения интелект бяха малки. За кратък период от време корпоративните инвестиции се увеличиха, а голям напредък отбеляза и научната дейност. В редица области ресурсите предназначени за разработване на AI се увеличиха значително.

В статията се разглеждат промените в глобалните корпоративни инвестиции в изкуствен интелект за десет годишен период от 2013 г. до 2023 г. Показани са данни за годишни частни инвестиции в изкуствен интелект в 24 избрани области в световен мащаб, в Европейски съюз и Обединеното кралство.

1. Корпоративни инвестиции в изкуствен интелект

Инвестициите в изкуствен интелект обхващат средства от сливане или придобиване на компании, публично предлагане, частни инвестиции и миноритарни дялове.

На фиг. 1 е показана графика на корпоративните инвестиции в изкуствен интелект в световен мащаб за периода от 2013 г. до 2023 г.



Забележка: Данните са изразени в щатски долари, коригирани спрямо инфлацията

Фиг. 1. Годишни глобални корпоративни инвестиции в изкуствен интелект по вид, 2013 - 2023 г.

Източник: NetBase Quid чрез AI Index Report (2023) [4; 5]

Най-голямо увеличение на инвестициите има през 2021 г., когато общата сума се е увеличила почти 21 пъти спрямо 2013 г. Средствата от публично предлагане са нараснали 16 пъти, частните инвестиции са се увеличили 22 пъти, но най-голямо увеличение се наблюдава при инвестициите от сливане или придобиване – 25 пъти [5].

В Таблица 1 са данните за сумите за корпоративни инвестиции в изкуствен интелект през 2013 г. и периода 2021 - 2023 г. През 2022 и 2023 г. се наблюдава спад както на общите нива, така и на споменатите видове

корпоративни инвестиции. През 2023 г. общите корпоративни инвестиции намаляват 2 пъти спрямо максимума от 2021 г. Почти толкова е намалението и на инвестициите от сливане и придобиване (2.5 пъти), и на частните инвестиции (1.55 пъти). През този период най-голям спад се наблюдава при публичното предлагане - 7 пъти. Единственият дял от корпоративните инвестиции, който отбелязва непрекъснато нарастване през десетгодишният период (2013 – 2023 г.) са миноритарните дялове – увеличение над 3 пъти.

Таблица 1. Данни за инвестициите в изкуствен интелект по вид за 2013 г. и за 2021 – 2023 г. Източник: NetBase Quid чрез AI Index Report (2024) [4; 5]

Вид инвестиции	2013 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Сливане / Придобиване	6.89	173.42	108.48	71.69
Публично предлагане	1.80	29.51	5.74	4.21
Частни инвестиции	6.01	132.36	95.74	85.36
Миноритарен дял	2.24	2.11	7.58	6.96
Обща сума	16.95	337.4	127.54	168.22

Забележка: Данните са изразени в милиарди щатски долари и са коригирани спрямо инфлацията.

2. Частни инвестиции в изкуствен интелект за избрани области

Представени са данни за годишни частни инвестиции в изкуствен интелект в избрани области за 2017 г. и 2022 г. Данните включват компании, които са получили повече от 1.5 милиона долара инвестиции [2].

В Таблицы 2 и 3 са показани данни за частните инвестиции съответно в световен мащаб, в Европейски съюз и Обединеното кралство.

Таблица 2. Частни инвестиции в изкуствен интелект в избрани области, в целия свят за 2017 г. и 2022 г.

Източник: NetBase Quid чрез AI Index Report (2023) [2]

Частни инвестиции в изкуствен интелект за целия свят				
Избрани области	2017	2022	Абсолютно изменение	Относително изменение
AI начинания	\$705,626,292	\$1,242,838,005	+\$537,211,713	+76%
Индустриална автоматизация	\$830,608,913	\$3,628,084,361	+\$2,797,475,448	+337%
Разширена или виртуална реалност	\$313,686,338	\$2,214,330,335	+\$1,900,643,997	+606%
Кибер защита	\$2,477,972,877	\$4,978,670,210	+\$2,500,697,333	+101%
Управление на данни	\$4,009,032,159	\$5,423,724,972	+\$1,414,692,813	+35%
Дронове	\$83,470,232	\$1,745,272,701	+\$1,661,802,469	+1,991%
Полупроводници	\$300,236,435	+\$1,231,872,507	+\$1,231,872,507	+410%
Образователни технологии	\$1,444,291,271	\$344,161,272	-\$1,100,129,999	-76%
Технология за човешките ресурси	\$351,127,133	\$1,506,868,367	+\$1,155,741,234	+329%
Медицина и здравеопазване	\$2,643,466,659	\$5,605,698,104	+\$2,962,231,445	+112%
Технологии за разпознаване на лица	\$151,974,274	\$62,498,395	-\$89,475,879	-59%

Научна конференция „Знание, наука, иновации, технологии” 2024
ISSN 2815-3480 (CD)

Енергия, нефт и газ	\$625,514,140	\$1,487,149,762	+\$861,635,622	+138%
Земеделска технология	\$309,478,503	\$810,137,282	+\$500,658,779	+162%
Финансова технология	\$2,344,769,845	\$5,114,007,205	+\$2,769,237,360	+118%
Забавление	\$923,252,885	\$804,408,782	-\$118,844,103	-13%
Фитнес и уелнес	\$362,743,638	\$487,005,579	+\$124,261,941	+34%
Геопространствен и технологии	\$395,927,816	\$661,432,857	+\$265,505,041	+67%
Застрахователна технология	\$960,704,780	\$1,612,298,318	+\$651,593,538	+68%
Правна технология	\$77,691,051	\$768,606,509	+\$690,915,458	+889%
Маркетинг и дигитални реклами	\$1,018,117,875	\$2,824,636,407	+\$1,806,518,532	+177%
Музикално и видео съдържание	\$1,691,121,432	\$1,588,582,322	-\$102,539,110	-6%
Обработка на естествен език, поддръжка на клиенти	\$1,064,713,214	-\$133,004,320	-\$133,004,320	-12%
Търговия на дребно	\$1,304,954,256	+\$2,583,985,933	+\$2,583,985,933	+198%
Възможности за продажби	\$2,806,352,754	+\$135,482,926	+\$135,482,926	+5%
Общо	\$6,011,920,914	+\$79,043,344,153	+\$79,043,344,153	+1,315%

Забележка: Данните са изразени в щатски долари и коригирани спрямо инфлацията.

От данните в таблиците се вижда, че има разлики в относителното изменение на частните инвестиции в отделните области - в световен мащаб, в Европейски съюз (ЕС) и Обединеното кралство (УК). Например, частните инвестиции в Индустриална автоматизация са се увеличили значително в ЕС и УК - с 1706%, докато в световен мащаб нарастването е с 337%. В областта на Кибер защитата относителното нарастване в ЕС и УК е едва 3%, докато в световен мащаб то е 33 пъти по-голямо - 101%.

Частните инвестициите в приложението на изкуствен интелект в Технологиите за човешките ресурси в ЕС и УК са нараснали 11 пъти повече в сравнение с увеличението в световен мащаб (съответно +3679% и +329%).

При управлението на данни се забелязва друга тенденция – в ЕС и УК има 21% относително намаление на частните инвестиции, но в световен мащаб те са се увеличили с 35%. Същата е промяната и при технологиите с полупроводници. В тази област частните инвестиции в ЕС и УК са намалели с 90%, а в световен мащаб са се увеличили с 410%. При инвестициите в Образователни технологии се наблюдава обратна тенденция – значително увеличение от 1001% в ЕС и Обединеното кралство, и намаление от 76% в световен мащаб.

Таблица 3. Частни инвестиции в изкуствен интелект в избрани области, в Европейски съюз и Обединеното кралство за 2017 г. и 2022 г.

Източник: NetBase Quid чрез AI Index Report [2]

Частни инвестиции в изкуствен интелект в Европейски съюз и Обединеното кралство				
Избрани области	2017	2022	Абсолютно изменение	Относително изменение
AI начинания	\$34,720,055	\$14,814,431	-\$19,905,624	-57%
Индустриална автоматизация	\$84,674,899	\$1,528,970,761	+\$1,444,295,862	+1,706%

Научна конференция „Знание, наука, иновации, технологии” 2024
ISSN 2815-3480 (CD)

Разширена или виртуална реалност	\$28,642,184	\$60,016,045	+\$31,373,861	+110%
Кибер защита	\$211,647,287	\$217,439,686	+\$5,792,399	+3%
Управление на данни	\$275,908,858	\$219,221,105	-\$56,687,753	-21%
Дронове	\$2,847,899	\$39,090,208	+\$36,242,309	+1,273%
Полупроводници	\$113,199,044	\$11,481,184	-\$101,717,860	-90%
Образователни технологии	\$8,637,220	\$95,099,978	+\$86,462,758	+1,001%
Технология за човешките ресурси	\$31,312,804	\$1,183,301,340	+\$1,151,988,536	+3,679%
Медицина и здравеопазване	\$339,881,508	\$707,457,022	+\$367,575,514	+108%
Технологии за разпознаване на лица	\$33,163,782	\$0	-\$33,163,782	-100%
Енергия, нефт и газ	\$55,211,067	\$185,258,640	+\$130,047,573	+236%
Земеделска технология	\$7,554,717	\$76,739,673	+\$69,184,956	+916%
Финансова технология	\$220,566,399	\$868,080,225	+\$647,513,826	+294%
Забавление	\$219,675,849	\$160,331,685	-\$59,344,164	-27%
Фитнес и уелнес	\$39,285,906	\$129,626,269	+\$90,340,363	+230%
Геопространствени технологии	\$76,866,016	\$6,343,098	-\$70,522,918	-92%
Застрахователна технология	\$11,498,501	\$1,193,451,134	+\$1,181,952,633	+10,279%
Правна технология	\$20,540,507	\$56,314,360	+\$35,773,853	+174%

Маркетинг и дигитални реклами	\$251,016,930	\$701,624,001	+\$450,607,071	+180%
Музикално и видео съдържание	\$73,139,026	\$408,435,253	+\$335,296,227	+458%
Обработка на естествен език, поддръжка на клиенти	\$44,535,026	\$33,783,127	-\$10,751,899	-24%
Търговия на дребно	\$254,675,526	\$1,914,569,974	+\$1,659,894,448	+652%
Възможности за продажби	\$133,648,989	\$147,968,093	+\$14,319,104	+11%
Общо	\$612,766,048	\$10,217,823,819	+\$9,605,057,771	+1,567%

Забележка: Данните са изразени в щатски долари и коригирани спрямо инфлацията.

Заклучение

От показаните данни може да се обобщи, че през периода от 2013 г. до 2017 г. финансирането в областта на изкуствения интелект е било доста ограничено. До преди няколко години инвестициите от частния сектор бяха сравнително ниски. Нарастване се наблюдава от 2018 г. нататък, като по-значително е увеличението във всички области през 2021 г. Въпреки кратките спадове на някои видове корпоративни инвестиции през 2022 и 2023 г., инвестиционните тенденции в AI остават положителни.

Възможностите за инвестиции в AI предлагат голям потенциал. Инвестирането в тази област изисква непрекъснато обучение и ангажираност, за да се разберат възможностите и ограниченията на базираните на AI продукти.

Повечето организации осъзнават необходимостта от увеличаване на инвестициите си в изкуствен интелект през следващите години. Това подчертава бързо развиващия се характер на AI технологията и нейното нарастващо значение за постигане на стратегически бизнес цели.

Източници

1. Стефанова, Т. Новите технологии – приложения, професии, умения. Изд. „Аскони-Издат“, София, 2024 г. ISBN 978-954-383-151-7
2. Annual private investment in artificial intelligence, by focus area, NetBase Quid via AI Index Report, In Our World in Data, June 14, 2023. Available from: <https://ourworldindata.org/grapher/private-investment-in-artificial-intelligence-by-focus-area>
3. Nestor Maslej, Loredana Fattorini, Raymond Perrault et al. The AI Index 2024 Annual Report, AI Index Steering Committee, Institute for Human-Centered AI, Stanford University, Stanford, CA, April 2024
4. NetBase Quid. Total corporate investment - inflation adjusted [dataset], NetBase Quid via AI Index (2024) [original data], Our World in Data, June 28, 2024.
5. Roser, M. Artificial intelligence has advanced despite having few resources dedicated to its development – now investments have increased substantially. Published online at OurWorldInData.org., August 2024. Available from: <https://ourworldindata.org/ai-investments>

ПОДХОД И СТРАТЕГИИ ЗА КИБЕРСИГУРНОСТ ПРИ ИЗКУСТВЕНИЯ ИНТЕЛЕКТ НА НЕЩАТА AIOT (ARTIFICIAL INTELLIGENCE OF THINGS)

Цветелина Симеонова

Нов български университет, департамент Телекомуникации
tsvsimeonova@nbu.bg

Илиан Запартов

Нов български университет, департамент Телекомуникации
f103919@students.nbu.bg

***Анотация:** Цел на работата е да се предложи подход за осигуряване на киберсигурност при изкуствения интелект на нещата AIoT (Artificial Intelligence of Things). Получени са резултати свързани с изясняване на спецификата на киберсигурността в AIoT, както и на стратегията и предизвикателствата при внедряване на AIoT. Приноси моменти представляват създаването на подход за защита от атаки при AIoT, при което са разгледани и основни стратегии за защита на AIoT.*

***Ключови думи:** киберсигурност, изкуствен интелект на нещата*

CYBERSECURITY APPROACH AND STRATEGIES IN ARTIFICIAL INTELLIGENCE OF THINGS

Tsvetelina Simeonova

New Bulgarian University, Department Telecommunications
tsvsimeonova@nbu.bg

Ilian Zapartov

New Bulgarian University, Department Telecommunications
f103919@students.nbu.bg

Abstract: *The aim of the work is to propose an approach to ensure cybersecurity in Artificial Intelligence of Things (AIoT). Results related to clarifying the specifics of cybersecurity in AIoT, as well as the strategy and challenges in implementing AIoT have been obtained. Contribution represent the creation of an AIoT attack defense approach, where basic AIoT defense strategies are also addressed.*

Keywords: *cybersecurity, Artificial Intelligence of Things*

1. Въведение

Интернет на нещата IoT (Internet of Things) се състои обикновено от четири основни компонента: сензори, свързване, обработка на данни, потребителски интерфейс. IoT устройствата използват мрежова връзка, като 5G, WiFi и др. Данните, които се събират от сензорите се предават на IoT шлюз откъдето се изпращат към „облак” за обработка и съхранение. Данните от околната среда се събират от сензорите, преобразуват и предават, след което в облака се извършва обработка и съхранение на събраната информация, съобразно потребителските задачи^{967 968 969 970}.

Изкуственият интелект на нещата AIoT (Artificial Intelligence of Things) е интеграция на технологиите за изкуствен интелект AI (Artificial Intelligence) с устройства на IoT, като съчетава силата на AI алгоритмите с огромния обем данни, събрани от IoT устройства, което им позволява да вземат интелигентни решения и да автоматизират процесите. Такава

⁹⁶⁷ Симеонова Цв. Развитие на перспективните технологии в "Интернет на свързаните неща" IoT (Internet of Things). ISBN 978-619-7586-25-1, Изд. "Асеновци", София, 362 с., 2021.

⁹⁶⁸ Пасарелски Р. Ново 5G поколение мобилни клетъчни системи. Изд. НБУ, ISBN 978-619-265-048-3, 2024.

⁹⁶⁹ Петров Г. Развитие на Интернет и отворените системи. Част 1. Авангард Прима - София, 2017, 401 с. ISBN 978-619-160-834-8.
<http://www.bg.cobiss.net/scripts/cobiss?ukaz=DISP&id=1947124467419891&rec=1&sid=1>

⁹⁷⁰ Nikolay Milovanov. 2024. Case study: LoRa/LoRaWAN as a suitable LPWAN choice for pressure and flow monitoring in Bulgarian water utility sector. In International Conference on Computer Systems and Technologies 2024 (CompSysTech '24), June 14-15, 2024, Ruse, Bulgaria. ACM, New York, NY, USA, 10 Pages. <https://doi.org/10.1145/3674912.3674945>

конвергенция на AI и IoT обаче също така въвежда нови уязвимости и рискове. Тъй като AIoT усъвършенства индустриите и трансформира начина, по който бизнесът оперира, значението на киберсигурността е съществено. Точно както при IoT, взаимосвързаният характер на AIoT системите означава, че пробив в сигурността на едно устройство или компонент може да предизвика каскаден ефект върху цялата екосистема.

Последствията от неадекватни мерки за киберсигурност в AIoT могат да бъдат сериозни. В допълнение към финансовите загуби и репутационните щети, фирмите могат също така да понесат правни задължения, ако не успеят да защитят данните на клиентите или ако техните AIoT системи участват в кибератаки. Освен това доверието на клиентите и заинтересованите страни може да бъде значително засегнато, ако тяхната лична информация е компрометирана или ако решенията на AI, базирани на манипулирани данни, водят до грешни резултати с негативен ефект.

За да смекчат тези рискове, от съществено значение е предприятията да дадат приоритет на киберсигурността в своите внедрявания на AIoT. Това включва прилагане на подходящи мерки за сигурност на всяко ниво на екосистемата на AIoT, от защита на отделни устройства и мрежи до гарантиране на целостта и поверителността на данните.

2. Особенности при внедряването на AIoT в бизнеса⁹⁷¹

Тъй като AI и IoT се конвергират, техните приложения стават по-усъвършенствани, предоставяйки нови перспективи за бизнеса и потребителите. AIoT създава свързан свят с разширени възможности, а при

⁹⁷¹ Lab45. Future of connected world with AIoT. A Primer. <https://lab45thinktank.com/wp-content/uploads/2024/02/future-of-connected-world-with-aiot-a-primer.pdf>

неговото изграждане и експлоатация има различни предизвикателства⁹⁷²
973 .

2.1. Стратегия при внедряване на AIoT

Стратегията при внедряване на AIoT включва най-общо следните стъпки:

• **Дефиниране на визията, обхвата и целите на AIoT.** Разработването на успешна стратегия за AIoT включва изработване на ясна визия и обхват, както и идентифициране на случаите на употреба. Необходимо е идентифициране на ключови цели и възможни конфликтни точки, оценка на идеи спрямо бизнес целите и създаване на подробен план за внедряване. Процесът включва уточняване на възможности, стратегически изводи и проектиране на модел, както и финална оценка на готовността.

• **Оценка на възможностите на IoT, подбор на устройства и подсистеми на AIoT.** За да се разработи безпроблемна стратегия за AIoT е от решаващо значение да се оценят възможностите, да се подберат устройства и подсистеми, да се оценят комуникационните протоколи, сензорните технологии и логическите алгоритми на AI/ML. Извършването на оценка на готовността на AIoT и създаването на план осигурява съвместимост и цялостна удовлетвореност за успешно внедряване.

• **Дефиниране на архитектурата на свързаната корпоративна система.** Проектиране на цялостна системна архитектура с четири основни слоя: устройства, комуникация, данни и приложения. Всеки слой трябва да съответства на обхвата и възможностите на предприятието и екосистемата на устройствата.

• **Разработване на AIoT системата и пилотно внедряване.** Разработването на AIoT система изисква проектиране както на хардуерни, така и на софтуерни компоненти, като сензори, задействащи механизми и комуникационни модули. Също така включва тестване на решения първоначално с малък мащаб и прилагане на мерки за сигурност. Разработването на решения с малък мащаб, финансовото моделиране,

⁹⁷² Пасарелски Р., Т. Стефанова. Методи за преход и внедряване на IPv6. Сп. Управление и образование, том VIII (4) 2012, с. 203-211. https://www.conference-burgas.com/maevolumes/vol8/BOOK%204/b4_31.pdf

⁹⁷³ Иванова Йоана. Методи и средства за агентно-базирана визуализация на дигитализирани данни. Годишник Телекомуникации 2021, том 8, с. 13 - 22, eISSN 2534-854X, DOI: <https://doi.org/10.33919/YTelecomm.21.8.2>

придобиването на потребителски опит и оценка на използваемостта, както и количествените изследвания и валидирането, са решаващи стъпки в процеса.

- **Широко приложение в предприятието.** Интеграцията на AIoT в цялото предприятие включва непрекъснато усъвършенстване, обучение на потребителите и обратна връзка за оптимизиране на подсистеми, управлявани от AI. Това позволява на организациите да подобрят процеса при вземане на решения, да рационализират процесите и да подобрят цялостната ефективност.

2.2. Предизвикателства при изпълнение на стратегията

Внедряването на сложна система като AIoT изисква внимателно планиране, сътрудничество и внимание към детайлите. Интегрирането на различни подсистеми, мениджмънта на данни и опасенията относно запазването на поверителността могат да представляват значителни пречки пред успешното внедряване:

- **Оперативна съвместимост:** Внедряването на множество разнородни устройства може да доведе до проблеми с оперативната съвместимост и комуникацията.

- **Уязвимости в поверителността и сигурността:** Чувствителните потребителски данни, събрани от AIoT системи, могат да доведат до проблеми с поверителността на данните, които се нуждаят от защита и сигурност.

- **Сложна инфраструктура:** Внедряването на AIoT изисква сложна инфраструктура, която може да бъде предизвикателна за поддръжка.

- **Възприемане/одобряване от потребителите:** Убеждаването на потребителите в предимствата на AIoT обикновено изисква време за изграждане на доверие.

- **Етични съображения:** Осигуряване на отговорно използване на технологията AIoT, която да не нарушава правата на хората или на определени групи.

- **Технически предизвикателства:** осигуряване на достатъчни данни за обучение на алгоритмите на AI, което налага използване на техники с увеличаващи се или синтетични данни; необходимост от надеждна и точна система за разпознаване на реч; обезпечаване с ресурси и квалифициран персонал и др.

За преодоляване на тези предизвикателства е необходимо разработване на цялостни стратегии и екосистеми, включително с

партньорства с доставчици на информационни технологии и облачни услуги, производители на IoT и регулаторни агенции. Тези партньорства позволяват на бизнеса да използва експертния опит на водещите в индустрията за мениджмънт на данни, облачните изчисления и киберсигурността, за да се гарантира успешното внедряване на AIoT. AIoT е доминирано от ключови участници като IBM, Microsoft и др. Преодоляването на предизвикателствата води до иновации в AIoT и усъвършенстване на функционирането на бизнеса - от предсказуема поддръжка и автоматизация, до анализи в реално време и съответни изводи, управлявани от данни.

AIoT е неразделна част от корпоративните стратегии, тъй като има потенциала да подобрява ефективността и потребителската удовлетвореност чрез безпроблемната интеграция на смарт устройства.

3. Специфика на киберсигурността в AIoT

Примери за уязвимости, заплахи и атаки при AIoT:⁹⁷⁴

- Една от най-критичните уязвимости, с които фирмите, внедряващи AIoT решения, трябва да се справят, е потенциалът за неототоризиран достъп до чувствителни данни. С експоненциалния растеж на свързаните устройства и огромните количества данни, които те генерират, е от първостепенно значение да се приложат стабилни мерки за сигурност, за да се защитят тези данни от киберзаплахи. Хакерите непрекъснато търсят и се стремят да използват уязвимостите в екосистемата на AIoT, целейки да получат неототоризиран достъп до ценни данни. Последствията от такива нарушения могат да бъдат тежки, вариращи от финансови загуби и репутационни щети, дори до правни последици.
- Друга уязвимост, за която бизнесът трябва да е наясно при AIoT, е потенциалната манипулация или „отравяне” на AI алгоритми. Тези алгоритми разчитат до голяма степен на големи масиви от данни - за обучение и за да правят точни изводи. Ако тези набори от данни са компрометирани или манипулирани, това може да доведе до неточно или дори злонамерено вземане на решения с AI. Например, в сценарий,

⁹⁷⁴ Kajeet. Securing AIoT: The Importance of Cybersecurity. <https://www.kajeet.com/en/blog/securing-aiot-the-importance-of-cybersecurity>

при който нападател манипулира данните, използвани за обучение на AI алгоритъм, който контролира автономни превозни средства.

- Тъй като системите на AIoT са сложни и многокомпонентни, на цялата система могат да повлияят негативно някои съществуващи уязвимости на облачните технологии, даващи възможност за възникване на заплахи.

- Липсата на процес на проактивна оценка на текущото състояние на сигурността на системата също е уязвимост за сигурността, т.е. не се търсят проблемите, съответно не се предприемат мерки за тяхното решение. Проблемите при оценяването на сигурността са: липса на непрекъснат мониторинг; липса на корелация на информацията; незащитени архитектури и др.

- Атаките със зловреден софтуер представляват значителна киберзаплаха. Като компрометира функционалността на AIoT устройствата, зловредния софтуер може да манипулира поведението им, което води до смущения в бизнес операциите.

- Сериозни последствия при неадекватни мерки за киберсигурност представляват атаките с отказ на услуга DoS (Denial-of-Service). Нападателят може да наводнят системите на AIoT с поток от трафик, което ги прави недостъпни или нереагиращи. Това може да доведе до прекъсване на предоставянето на услугата, което води до загуба на приходи, недоволство на клиентите и увреждане на репутацията.

4.Подход за защита от атаки при AIoT

Интегрирането в стандартния Интернет на обекти на AIoT, които са с ограничени възможности (компютинг, памет и честотна лента), отключва предизвикателства пред сигурността, тъй като повечето Интернет технологии и протоколи за свързаност са специално разработени за ресурсно неограничени обекти. Тъй като технологията AIoT също е обект на атаки, задължително се оказва разработването на подход за защита от атаки при AIoT и уточняване на набор от мерки за противодействие.

Такъв подход за защита от атаки при AIoT включва четири основни етапа:

- | |
|--|
| - идентифициране на уязвимата област за атаки, базирано на активите на AIoT; |
| - уточняване на показателите на сигурността; |
| - класифициране на атаки насочени към сигурността в AIoT; |

- уточняване на набор от мерки за противодействие и за защита при AIoT.

4.1. Уязвими за атаки области на база на активите на AIoT

Активите на AIoT може да се класифицират, например, според заплахите и възможностите за атаки срещу неговите съставни елементи, както следва:

- Физически обекти: Категорията обхваща всички атаки, насочени към хардуерните компоненти (ресурсно ограничени и ресурсно неограничени обекти) функциониращи във възприемачия слой на IoT и съответно в слоя компютинг в периферията;

- Протоколи: Тази категория включва всички потенциални атаки срещу протоколите за комуникация, използвани в протоколния стек на IoT: протоколи за свързаност, за работа в мрежа и маршрутизиране, на транспортния слой, на приложния слой;

- Данни: В тази категория се разглеждат основните атаки срещу данните в „покой” (разположени или в обекти на AIoT или в облака). Атаките срещу данни в „движение” се включват към атаките на протоколите на IoT;

- Софтуер: В тази категория се идентифицират всички възможни атаки срещу софтуера в AIoT (вкл. приложения на AIoT, разположени в обекти на AIoT или в облак): операционни системи, фърмуер, шлюз за приложения, услуги.

4.2. Показатели на сигурността

Двете необходими и най-често срещани концепции, използвани в домейна на AIoT са: „защитен обект” и „атака срещу сигурността”. За тяхното еднозначно дефиниране задължително трябва да се уточнят „показателите на сигурността”. Понастоящем конвенционалните показатели за сигурност включват триадата CIA: конфиденциалност, цялостност и готовност. Триадата CIA не успява да обхване новите заплахи, възникващи в коопериращата се среда за сигурност. Съществува и поизчерпателен набор от показатели за сигурност, известни като IAS-octave (Information, Assurance and Security octave), отнасящи се до информационното осигуряване и сигурността като цяло. Следователно, защитен обект е обект, който удовлетворява всички показатели за

сигурност, а атака срещу сигурността е атака, която компрометира поне един от показателите за сигурност.

Тези набори от показатели могат да се прилагат към AIoT, а по отношение на кибер-физическите аспекти на AIoT е необходимо да се отчитат и други показатели, като „устойчивост” и „безопасност”.

4.3. Атаки насочени към сигурността в AIoT

Атаките са насочени срещу всяка от категориите активи - табл. 3.

Таблица 3. Атаки и категории активи при AIoT.

Атакуващ	Атаки	Обекти	Протоколи	Данни	Софтуер
<ul style="list-style-type: none"> • вътрешен; • външен. 	<ul style="list-style-type: none"> • Physical damage; • Hardware Trojans; • Replay; • Social engineering; • etc, ... 	<ul style="list-style-type: none"> • с ограничен ресурс; • с неограничен ресурс. 	<ul style="list-style-type: none"> • за свързаност; • мрежови; • комуникационни; • за веб услуги. 	<ul style="list-style-type: none"> • хранилище, съхранение на данни; • поточно предаване 	<ul style="list-style-type: none"> • приложения на AIoT; • модели на AI; • Firmware; • ОС; • услуги; • шлюз.
<p>инициатор заплахи</p> 					

Всяка от описаните категории активи може да бъде допълнително прецизирана, например при атаките насочени към протоколи:

- Атаки насочени към протоколи за свързаност (комуникация в близкото поле NFC, RFID, Bluetooth, WiFi, ZigBee);
- Атаки насочени към мрежови протоколи (протокол RPL (Routing Protocol for Low power and lossy network), към протокол 6LoWPAN (IPv6 over Low-power Wireless Personal Area Network, IPv6 върху безжична персонална мрежа с ниска мощност);
- Атаки насочени към комуникационни протоколи (TCP-UDP и протоколите на приложен слой).

4.4. Мерки за противодействие и за защита при AIoT.

Мерките за противодействие и за защита от атаки на AIoT зависят от конкретната архитектура на системата, както и от възприетата политика и процедури за сигурност на организацията, както и от съответната конкретна уязвимост и експлоатиращата я заплаха довела до възможността за реализиране на дадена атака.

Възможните решения за укрепване на сигурността са: създаване на политики за сигурност, оценка на уязвимости и управление на риска, откриване и предотвратяване на прониквания, автоматизиран одит на приложения, управление на поправките (Patch), защита от Malware.

В тази връзка ще бъдат разгледани основните стратегии за защита на AIoT.

5. Основни стратегии за защита на AIoT

Осигуряването на киберсигурността на AIoT системите изисква подход на много нива, който да адресира уязвимостите на всяко ниво на екосистемата. Такива основни стратегии за сигурност на AIoT са от решаващо значение за защитата на бизнеса от киберзаплахи и запазването на интегритета (целостта) на системите с AI.

5.1. Силна автентификация и контрол на достъпа

Внедряването на силни механизми за автентификация (например двуфакторно удостоверяване), е от съществено значение за предотвратяване на неоторизиран достъп до устройства и мрежи на AIoT. Фирмите могат да гарантират, че само оторизирани/ упълномощени лица имат достъп до чувствителни данни и системи като използват различни форми на многофакторно удостоверяване.

Двуфакторното удостоверяване 2FA (Two-Factor Authentication) е ефективен метод за подобряване на сигурността на устройства и мрежи на AIoT с което се добавя допълнителен слой на защита. Чрез прилагането на 2FA бизнесът може значително да намали риска от неоторизиран достъп до своите AIoT системи. Дори ако нападателят успее да пробие една форма на удостоверяване, той пак ще се нуждае от втория фактор, за да получи достъп. Това осигурява допълнителна бариера, която прави много по-трудно за хакерите да компрометират чувствителни данни или

системи.

Има различни методи за прилагане на 2FA, включително кодове за потвърждение, базирани на SMS, приложения за удостоверяване, хардуерни токени и биометрично удостоверяване. Всеки метод има своите силни и слаби страни и бизнесът трябва да избере най-подходящия вариант въз основа на своите специфични нужди и изисквания.

Освен подобряването на сигурността, 2FA има положително въздействие и върху удовлетвореността на потребителите. Въпреки, че въвежда допълнителна стъпка при процеса на достъп, допълнителната сигурност и спокойствието, които предоставя, могат да надделеят над незначителното неудобство. Много потребители вече са запознати с 2FA, тъй като обикновено се използва от различни онлайн услуги. Това познаване може да направи приемането на 2FA в системите на AIoT по-безпроблемно и лесно за потребителя.

5.2. Криптиране на данни

Криптирането на данни, както в покой, така и в транзит, е критична стъпка в защитата им от неоторизиран достъп или прихващане. Използването на силни алгоритми за криптиране, може силно да затрудни хакерите да декриптират и използват данните, събрани от AIoT устройства, като гарантират тяхната поверителност и цялост.

Чрез криптиране на данните, фирмите могат да гарантират, че дори ако нападател успее да прихване данните, няма да успее да се възползва от тях.

Внедряването на силни алгоритми за криптиране е от решаващо значение за гарантиране на поверителността и целостта на данните на AIoT. Усъвършенстваните стандарти за криптиране, като например AES (Advanced Encryption Standard), осигуряват стабилно ниво на сигурност срещу неоторизиран достъп, тъй като използват сложни математически изчисления.

Освен това, фирмите трябва също така да осигурят правилно менажиране на ключовете, за да поддържат ефективността на криптирането. Ключовете за криптиране трябва да бъдат сигурно съхранявани и защитени, а достъпът до тях трябва да бъде строго контролиран. Редовната смяна на ключовете за криптиране и внедряването на силни практики за менажиране на ключове допълнително ще повишат сигурността на криптираните данни.

5.3. Софтуерни актуализации и мениджмънт на корекции

Редовното актуализиране на софтуера на устройствата на AIoT с най-новите корекции за сигурност и актуализации на фърмуера е от изключителна важност за справяне с известните уязвимости. Тъй като киберзаплахите продължават да се развиват, за

бизнеса е важно да бъде проактивен при актуализирането на своите AIoT решения, за да се предпази от възникващи рискове.

Поддържането на актуална информация за актуализациите на защитата е от решаващо значение, тъй като непрекъснато се откриват нови уязвимости и се създават нови експлойти. Фирмите трябва редовно да актуализират своите устройства и софтуер, тъй като киберпрестъпниците търсят нови начини да използват слабостите в системите на AIoT. Пренебрегването на актуализациите може да изложи AIoT системите на най-новите киберзаплахи, излагайки на риск чувствителни данни и критична инфраструктура.

В допълнение към справянето с известни уязвимости, редовните актуализации предоставят и възможност за внедряване на нови функции за сигурност и подобрения. Като поддържат системите на AIoT актуални, фирмите могат да се възползват от тези подобрения и да осигурят най-високо ниво на сигурност за своите устройства и мрежи.

Важно е да се отбележи, че актуализирането на AIoT системи може да бъде сложен процес, особено когато се работи с голям брой устройства или различни софтуерни платформи. Бизнесът трябва да установи стабилен процес за мениджмънт на корекции, за да гарантира, че актуализациите се прилагат ефективно в цялата AIoT инфраструктура. Това може да включва тестване на актуализации в контролирана среда, преди да бъдат внедрени в производствени системи, планиране на актуализации в некритични часове, за да се минимизира прекъсването, и наблюдение на процеса на актуализация, за да се гарантира успешното му завършване.

5.4. Сегментиране на мрежата

Сегментирането на AIoT мрежи е основна практика, на която бизнесът трябва да даде приоритет, за да подобри сигурността на своите системи. Чрез разделянето на мрежата на отделни сегменти, всеки със собствени мерки и контроли за сигурност, компаниите могат ефективно да изолират критични системи и да ограничат потенциалното въздействие на пробив в сигурността.

Едно от основните предимства на мрежовото сегментиране е, че предотвратява компрометиране на цялата AIoT екосистема от пробив в един сегмент. Всеки сегмент може да има свой собствен набор от протоколи за сигурност, контроли за достъп и системи за наблюдение, гарантиращи, че всяка злонамерена дейност или неоторизиран достъп остава в рамките на този конкретен сегмент. Това минимизира потенциалните щети, причинени от атака, и позволява на бизнеса бързо да изолира и

смекчи заплахата.

Освен това, мрежовото сегментиране помага също при менажирането на сложни AIoT системи. Тъй като тези системи често включват множество взаимосвързани устройства и мрежи, може да бъде предизвикателство да се наблюдава и контролира ефективно цялата екосистема. Чрез разделянето на мрежата на по-малки сегменти, фирмите могат да опростят процеса на мениджмънт и наблюдение. Те могат да се съсредоточат върху защитата на всеки сегмент поотделно, като гарантират, че всички уязвимости или пробиви се адресират своевременно, без да се засяга цялата инфраструктура на AIoT.

В допълнение, мрежовото сегментиране предоставя възможност на бизнеса да приоритизира сигурността на определени ресурси. Фирмите могат да прилагат по-строги контроли за сигурност и системи за наблюдение в сегменти, които съдържат чувствителни данни или критични операции, като същевременно приемат по-малко строги мерки в сегменти, които са по-малко критични. Този подход позволява на бизнеса да оптимизира усилията си за сигурност и да се съсредоточи върху защитата на най-важното.

Важно е да се отбележи, че сегментирането на мрежата трябва да бъде придружено от стабилен контрол на достъпа и системи за наблюдение. Внедряването на системи за откриване и предотвратяване на проникване (Intrusion Detection and Prevention Systems), както и непрекъснат мониторинг и анализ на сигурността, може да помогне за идентифициране и смекчаване на потенциални заплахи в реално време.

5.5. Мониторинг и откриване на аномалии

Надеждните системи за наблюдение и механизмите за откриване на аномалии са жизненоважни за идентифициране и реагиране на потенциални инциденти със сигурността в реално време. Чрез непрекъснатото наблюдение на AIoT системите за необичайно поведение или подозрителни дейности, фирмите могат да открият и смекчат киберзаплахите, преди да причинят вреда.

Цялостната и всеобхватна система за мониторинг е от съществено значение за поддържането на сигурността на системите на AIoT. Това включва наблюдение за опити за неоторизиран достъп, необичайни трансфери на данни или други индикатори за потенциални пробиви в сигурността.

Механизмите за откриване на аномалии играят решаваща роля при идентифицирането на модели или поведение, които се отклоняват от нормата. Чрез установяване на базови линии на поведение и сравняването им с данни в реално време, фирмите могат да открият аномалии, които могат да показват заплаха за

сигурността. Това може да включва откриване на необичаен мрежов трафик, неочаквани промени в поведението на устройството или необичайни модели на данни. След като бъде открита аномалия, фирмите могат да предприемат незабавни действия за разследване и смекчаване на потенциалната заплаха.

Мониторингът в реално време и откриването на аномалии позволяват на бизнеса да реагира бързо на инциденти, свързани със сигурността. Получавайки незабавно предупреждения или известия, те могат да предприемат както реактивни, така и проактивни мерки за справяне с проблема, като изолиране на засегнатите устройства или блокиране на подозрителен мрежов трафик. Това помага за предотвратяване на ескалацията на инцидент със сигурността и минимизира потенциалните щети върху IoT системите и данните.

Също така, непрекъснатият мониторинг и откриването на аномалии позволяват на бизнеса да събере ценна информация за сигурността на своите IoT системи. Чрез анализиране на събраните данни те могат да идентифицират тенденции, модели или повтарящи се заплахи, което им позволява да прилагат проактивни мерки за сигурност и да подобрят цялостната устойчивост на системата.

За да приложат стабилно наблюдение и откриване на аномалии, фирмите могат да използват различни технологии и инструменти. Това може да включва внедряване на системи за откриване и предотвратяване на проникване, инструменти за анализ на мрежов трафик, решения за мониторинг на регистрационни файлове или платформи за управление на информация и събития за сигурност.

Чрез комбиниране на тези технологии с усъвършенствани възможности за анализ и машинно обучение, фирмите могат да подобрят способността си да откриват и реагират ефективно на инциденти със сигурността.

6. Заключение

IoT има огромен потенциал за развитие на иновации и подобряване на ефективността в различни индустрии, но при конвергенцията на AI и IoT възникват нови уязвимости и рискове, които изискват реакция. Чрез внедряване на базови стратегии като силна автентификация и контрол на достъпа, криптиране на данни, редовни актуализации и мениджмънт на корекции, мрежово сегментиране,

наблюдение и откриване на аномалии, фирмите могат да подобрят сигурността на своите AIoT системи и да минимизират рисковете.

Основните моменти са: - разгледана е стратегията и предизвикателствата при внедряване на AIoT; - акцентирано е на изясняване на спецификата на киберсигурността в AIoT; - предложен е подход за осигуряване на киберсигурност при изкуствения интелект на нещата AIoT, за защита от атаки при AIoT, при което са разгледани и основни стратегии за защита на AIoT.

Подходът за защита от атаки при AIoT включва разглеждането на уязвимите за атаки области на база на активите на AIoT, на показателите на сигурността, на атаките насочени към сигурността в AIoT и на мерките за противодействие и за защита при AIoT.

Киберсигурността е непрекъснат процес при който трябва да бъдат отчетени, както активите на AIoT, така и мерките за тяхната защита.

Литература

1. Симеонова Цв. Развитие на перспективните технологии в „Интернет на свързаните неща” IoT (Internet of Things). ISBN 978-619-7586-25-1, Изд. „Асеновци”, София, 362 с., 2021.

2. Пасарелски Р. Ново 5G поколение мобилни клетъчни системи. Изд. НБУ, ISBN 978-619-265-048-3, 2024.

3. Петров Г. Развитие на Интернет и отворените системи. Част 1. Авангард Прима - София, 2017, 401 с. ISBN 978-619-160-834-8. <http://www.bg.cobiss.net/scripts/cobiss?ukaz=DISP&id=1947124467419891&res=1&sid=1>

4. Nikolay Milovanov. 2024. Case study: LoRa/LoRaWAN as a suitable LPWAN choice for pressure and flow monitoring in Bulgarian water utility sector. In International Conference on Computer Systems and Technologies 2024 (CompSysTech '24), June 14-15, 2024, Ruse, Bulgaria. ACM, New York, NY, USA, 10 Pages. <https://doi.org/10.1145/3674912.3674945>

5. Lab45. Future of connected world with AIoT. A Primer. <https://lab45thinktank.com/wp-content/uploads/2024/02/future-of-connected-world-with-aiot-a-primer.pdf>

6. Пасарелски Р., Т. Стефанова. Методи за преход и внедряване на IPv6. Сп. Управление и образование, том VIII (4) 2012, с. 203-211. https://www.conference-burgas.com/maevolumes/vol8/BOOK%204/b4_31.pdf

7. Иванова Йоана. Методи и средства за агентно-базирана визуализация на дигитализирани данни. Годишник Телекомуникации 2021, том 8, с. 13 - 22, eISSN 2534-854X, DOI: <https://doi.org/10.33919/YTelecomm.21.8.2>

8. Kajeet. Securing AIoT: The Importance of Cybersecurity. <https://www.kajeet.com/en/blog/securing-aiot-the-importance-of-cybersecurity>

ОСОБЕНОСТИ НА ПОДХОДИ ЗА ИНТЕГРАЦИЯ И КОНВЕРГЕНЦИЯ ПРИ КИБЕРСИГУРНОСТТА

Цветелина Симеонова

Нов български университет, департамент Телекомуникации
tsvsimeonova@nbu.bg

Илиан Запартов

Нов български университет, департамент Телекомуникации
f103919@students.nbu.bg

***Анотация:** Цел на настоящата работа е да се изяснят особеностите и подходите за развитие на различни инструменти свързани с киберсигурността, както и възможностите за конвергенция на физическата сигурност. Като резултат е направен анализ на избрана съвкупност от актуални технологични решения със специфична насоченост. Приноси моменти са направеният анализ на подходи за многослойна и многофункционална киберсигурност разглеждани като перспективни решения, както и анализа на конвергенцията и интеграцията на физическата сигурност и киберсигурността.*

***Ключови думи:** сигурност, киберсигурност, интеграция, конвергенция.*

PECULIARITIES OF INTEGRATION AND CONVERGENCE APPROACHES IN CYBERSECURITY

Tsvetelina Simeonova

New Bulgarian University, Department Telecommunications
tsvsimeonova@nbu.bg

Ilian Zapartov

New Bulgarian University, Department Telecommunications
f103919@students.nbu.bg

Abstract: *The aim of present work is to clarify the features and approaches for the development of various tools related to cybersecurity, as well as the possibilities for convergence of physical security. As a result, an analysis of a selected set of current technological solutions with a specific focus has been made. Contributing moments are the analysis of approaches for multilayered and multifunctional cybersecurity considered as promising solutions, as well as the analysis of the convergence and integration of physical security and cybersecurity.*

Keywords: *security, cybersecurity, integration, convergence.*

1. Въведение

С развитието на цифровите инфраструктури, особено с навлизането на Интернет, облачните технологии, мобилността и Интернет на нещата IoT (Internet of Things), киберсигурността става все по-важна^{975 976 977 978}. При това се разширява повърхността за атака и следователно киберсигурността и физическата сигурност все повече се превръщат в територия на бизнеса.

В началото на 90-те години продуктите за киберсигурност започнаха да запълват стелажите до достигане на точката, в която сложността, като резултат от неуточненост и неуреденост на присъстващата функционалност в отделните продукти, поражда объркване в определени случаи на използване на технологиите за откриване и реагиране на

⁹⁷⁵ Петров Г. Развитие на Интернет и отворените системи. Част 1. Авангард Прима - София, 2017, 401 с. ISBN 978-619-160-834-8. <http://www.bg.cobiss.net/scripts/cobiss?ukaz=DISP&id=1947124467419891&rec=1&sid=1>

⁹⁷⁶ Пасарелски Р., Т. Стефанова. Методи за преход и внедряване на IPv6. Сп. Управление и образование, том VIII (4) 2012, с. 203-211. https://www.conference-burgas.com/maevolumes/vol8/BOOK%204/b4_31.pdf

⁹⁷⁷ Nikolay Milovanov. 2024. Case study: LoRa/LoRaWAN as a suitable LPWAN choice for pressure and flow monitoring in Bulgarian water utility sector. In International Conference on Computer Systems and Technologies 2024 (CompSysTech '24), June 14-15, 2024, Ruse, Bulgaria. ACM, New York, NY, USA, 10 Pages. <https://doi.org/10.1145/3674912.3674945>

⁹⁷⁸ Иванова Йоана. Методи и средства за агентно-базирана визуализация на дигитализирани данни. Годишник Телекомуникации 2021, том 8, с. 13 - 22, eISSN 2534-854X, DOI: <https://doi.org/10.33919/YTelecomm.21.8.2>

заплахи към киберсигурността и затруднява наблюдението и управлението на огромния брой предупреждения (alerts) идващи от различни продукти.

Множеството системни предупреждения, както и от крайни точки предупреждения, генерирани всеки ден, трябва да бъдат приоритизирани, разследвани и смекчени. Предупрежденията по отношение на киберсигурността са нарастващо предизвикателство за операциите по сигурността. Конвергенцията на преди това отделни и разнородни технологии е общ път, по който поемат навлизащите иновативни технологии с цел предоставяне на конвергентни услуги за киберсигурност на потребителите. Решаващо се оказва доколко добре конкретното решение се справя с удовлетвореността на потребителите и реализира бизнес печалби, водещо до конвергенция на технологиите.

Голяма част от съществуващите технологии се базират на специфична (специализирана) насоченост, съчетано с основната функционалност „откриване и реакция” (Detection and Response), която от своя страна използва принципите на широко разпространените наследени системи, например „системи за откриване/ предотвратяване на проникване” IDS (Intrusion Detection System) IPS (Intrusion Prevention System).

От друга страна, традиционна практика е поддържането на отделни функционалности за физическа и за киберсигурност, при което остава празнина, представляваща значителен риск. Нарастването на взаимосвързаните и взаимозависими системи води до необходимостта предишните изолирани екипи и системи да работят заедно. Конвергенцията на сигурността (или конвергентната сигурност) е подход за интегриране на стратегии за киберсигурност и информационни технологии с мерки за физическа сигурност за повишаване на осведомеността и укрепване на защитата на съоръжения, хора и данни.

2. Подходи при създаване на многофункционална платформа за откриване и реагиране на заплахи

2.1. Характеристики, функционалност и анализ на подходите при специализирани системи за откриване и реагиране на заплахи:

Решението „Откриване и реакция на крайна точка“ EDR (Endpoint Detection and Response) непрекъснато наблюдава крайните точки (всяко устройство, свързано към мрежата), за да открие злонамерено поведение или зловреден софтуер.⁹⁷⁹

EDR може да се разгледа като естествена еволюция на антивирусния софтуер, тъй като и двата инструмента изпълняват подобни функции. EDR използва базирано на поведението откриване за нововъзникващи атаки, базирани на усъвършенствани постоянни заплахи APTs (Advanced Persistent Threats) и специфичен злонамерен софтуер, докато традиционната антивирусна програма обикновено не го прави.

Съществуващите EDR решения се различават по функционалност, като някои EDR имат антивирусна функционалност, а други са проектирани да откриват това, което традиционната антивирусна програма не може.

EDR софтуерът може да бъде компонент на антивирусни продукти от следващо поколение.

Един недостатък на EDR е, че софтуерът е ограничен само до крайни точки. За цялостен поглед върху съвременните хибридни среди и за най-ефективни способности за откриване и реагиране трябва да се събират, анализират и корелират данни от много различни източници.

През последните години технологията EDR беше включена в други платформи и инструменти, поради което тя е по-малко използвана като самостоятелна опция за киберсигурност.

Причина за това е осъзнаването от организациите, че заплахите трябва да се наблюдават и спират, преди да достигнат до крайна точка. Откриването на заплахи в крайни точки е важно за цялостната телеметрия и реакция при инциденти, но се счита за твърде закъсняло, ако се случи кибератака.

Друг аспект е категоризирането на EDR като част от XDR (Extended Detection and Response). Междувременно доставчиците на EDR са добавили допълнителни функции за телеметрия, а доставчиците на XDR са добавили функции за обща наличност/достъпност. На база на добавената функционалност е налице тенденцията за сближаване на EDR и XDR.

⁹⁷⁹ StreamScan. EDR vs NDR vs XDR vs MDR. 30 juin 2022.
<https://streamscan.ai/en/blog/edr-ndr-xdr-mdr/>

Решението „Мрежово откриване и реакция” NDR (Network Detection and Response)

помага за защита на мрежовия периметър срещу насочени кибератаки.⁹⁸⁰

Една от характеристиките на NDR е използването на изкуствен интелект AI при откриването на кибератаки. Обобщено може да се каже, че NDR са усъвършенствани системи за откриване на проникване (NDR ≈ IDS/IPS).

Откриванията при NDR често се базират на обобщен изглед на околната среда. Вместо да открива заплахи въз основа на необичайни процеси или на детайлизирани събития, както при EDR, NDR търси потенциални заплахи въз основа на неототоризирани протоколи, аномалии при използване на портове, необичайно време и размери на трансфер и др.

Сигурността на мрежата стана по-важна през последните години, тъй като източниците на заплахи са насочили погледа си към тази част от сигурността на инфраструктурата - особено към облачните мрежи.

Едно ключово предимство е, че не се разчита на внедрен агент във всяка крайна точка. Това го прави много подходящ за среди, в които EDR може да не е в състояние да покрие всяка система. Друго предимство е, че NDR може да открие и да реагира на неототоризирани устройства.

Решенията за „разширено откриване и реакция” XDR (Extended Detection and Response)

се развиха от системите за „откриване и реакция на крайна точка” EDR. Разширявайки се отвъд крайната точка, XDR решенията събират информация от мрежи, сървъри, облачни приложения и др. XDR централизирано обработва предупрежденията за сигурност от няколко съществуващи инструмента за сигурност в мрежата (антивирус, EDR, NDR, /IDS/IPS и др.). След това сигналите ще бъдат обработени и анализирани от XDR за откриване на по-сложни атаки.⁹⁸¹

XDR е единна платформа, която може да възприема данни от агент на крайна точка, информация на ниво мрежа и в много случаи информация от регистрационни файлове на устройството. Тези данни са свързани (корелирани) и откриванията могат да възникнат от един или много източници на телеметрия за да се постигне цялостен изглед за откриването на заплахи. Тези инструменти могат да видят какво се случва не само в крайните точки, но и между крайните точки.

⁹⁸⁰ Christopher Fielder. Understanding the Lines Between EDR, NDR, TDR, XDR, and MDR. December 27, 2023. <https://arcticwolf.com/resources/blog/understanding-between-edr-ndr-tdr-xdr-mdr/>

⁹⁸¹ Blumira. SIEM vs XDR vs SOAR vs SOC vs EDR vs MDR. December 12, 2023. <https://www.blumira.com/blog/siem-soc-soar-xdr-defined>

Предимство на XDR е рационализирането на функциите на ролята на анализатора, като позволява да се преглеждат по-точно засичанията и да се предприемат ответни действия от една конзола (командно табло). Този подход предлага по-кратко време за оценяване, по-опростено обучение и по-кратки времена за реакция.

Някои доставчици на XDR предоставят платформи, които работят само с техния пакет инструменти, докато други предоставят отворени XDR опции, които се интегрират по-широко с инструменти на трети страни за подобрени възможности за откриване и реагиране.

Решенията XDR се различават от Системата за информационна сигурност и управление на събития SIEM (Security Information and Event Management) и от Оркестрация на сигурността, автоматизация и реакция SOAR (Security Orchestration, Automation and Response) по нивото на интеграция при внедряване и способността да се справят с откриването на заплахи и случаите на използване в отговор на инциденти.

Решението „Управлявано откриване и реакция” MDR (Managed Detection and Response) се отнася до проактивно наблюдение на киберсигурността на компютърни мрежи.

Една MDR услуга използва една или повече технологии за киберсигурност. Някои MDR използват само EDR, други използват само NDR, а друга категория използва комбинация от технологии. MDR е решение за менажирана услуга, което често комбинира технологии с външни анализатори (аутсорсинг услуга) за откриване и реагиране на злонамерено поведение в мрежа. Доставчиците на MDR предлагат технология, която обхваща крайни точки, мрежи, облачни услуги, оперативна технология и Интернет на нещата IoT (Internet of Things), както и събиране на данни от други източници като регистрационни файлове и данни.

MDR е естествена еволюция на традиционния подход за управление на киберсигурността, под формата на Център за операции по сигурността SOC (Security Operation Center). SOC е пасивен и анализаторите на центъра SOC се намесват само при подаване на предупреждение. Често обаче, когато се генерира сигнал, вече е късно. Следователно MDR е много по-адаптиран към текущото управление на мрежовата сигурност.

Решението за „Откриване и реакция в облак” CDR (Cloud Detection and Response),

предоставя възможности за предотвратяване, откриване и реагиране на заплахи, пригодени за мултиоблачни среди⁹⁸². CDR по принцип използва технология без агенти, за да предложи защита, видимост в реално време и идентифициране на заплахи, уязвимости, неправилни конфигурации и пропуски в съответствието, без да пречи на функционирането. CDR предоставя гъвкаво внедряване, централизирано табло за управление, наблюдение в реално време, автоматизирана реакция, приоритизиране на риска.

Система за информационна сигурност и управление на събития SIEM (Security Information and Event Management)

Решенията за SIEM съществуват от десетилетия, с различна степен на функционалност в зависимост от продукта или доставчика. SIEM е централизиран инструмент за управление на регистрационни файлове (centralized log management tool), който се интегрира с приложения, системи, сървъри и т.н., за да събира данни от всяка услуга (log files).

SIEMs се използват за анализ на събития за сигурност, за да помогнат при разследване, ранно откриване на заплахи и реакция при инциденти. Също така поддържат съответствие на случаи на използване, тъй като много регулаторни рамки за данни изискват от организациите да поддържат одитни регистрационни файлове за една година или повече в зависимост от рамката и индустрията.

SIEMs могат да бъдат хоствани в облака или локално. Модерният SIEM трябва да може да обслужва облачни данни и да открива ранни признаци на злонамерено поведение, като опити за неоторизиран достъп и др. SIEM са разработени с предварително изграден набор от „откривания” и наръчници за улесняване на потребителите за по-бърза реакция на заплахи.

Усъвършенстването на SIEM с използване на „разширено откриване и реакция” XDR може да автоматизира откриването и реакцията и е приложим за по-малки екипи, като същевременно запазва исторически данни, за да помогне за спазването на множество разпоредби за съответствие. SIEM, в съчетание с XDR, интегрира широко различни инструменти, вкл. EDR, за да осигури по-добър мониторинг, автоматично да съпостави данните и да изпраща констатации с отчитане на контекста за индикатори с висока степен на увереност за заплахи в конкретна среда.

Оркестрация на сигурността, автоматизация и реакция SOAR (Security Orchestration, Automation and Response)

⁹⁸² Paloalto. What Is Cloud Detection and Response (CDR).
<https://www.paloaltonetworks.com/cyberpedia/what-is-cloud-detection-and-response-cdr>

Системите SIEMs често изискват много ръчна работа отнемаща време за изпълнение на задачи за сигурност, включително настройка на правилата за откриване, за да се предотвратят фалшиви положителни резултати. Други ръчни задачи включват корелация на данни. Решенията SOAR се развива като начин да се помогне на анализаторите в Центъра за операции по сигурността SOC (Security Operations Center) да са по-ефективни, позволявайки по-автоматизирано приоритизиране и обработка на събития и инциденти, свързани със сигурността. Ключовите възможности на SOAR решенията включват: оркестрация, автоматизация, реакция.

SOAR инструментите често се използват за подобряване на традиционните SIEM платформи на които липсват тези възможности. Въпреки това, много съвременни SIEM + XDR платформи консолидират много от изброените възможности за реагиране в едно интегрирано решение, елиминирайки необходимостта от закупуване и свързването им заедно на различни инструменти за откриване и реагиране.

2.2. Особености на подходите за многослойна и многофункционална киберсигурност, като перспективни решения

- **Многослойна сигурност (Multi-layered security)** - многослойният подход за сигурност интегрира разнородни продукти, често от различни производители, които често са и еднофункционални инструменти за сигурност. Интегрирането на разнородни еднофункционални продукти може да има рискови пропуски и слепи петна във видимостта. Персоналът по сигурността и ИТ отделя твърде много ресурси за поддържане и управление на тези различни продукти за сигурност. Еднофункционалните продукти за сигурност оперативно използват специфични ограничени среди и не могат лесно да споделят критична информация. Това изисква екипите по сигурността да поддържат и менажират системите и ръчно да извършват анализ, потенциално създавайки уязвимости в сигурността.

- **Изначално вградена многофункционална сигурност (Native Unified Convergence)**

Изначално вградената многофункционална сигурност използва логическите кръстосани връзки на множество възможности за сигурност и

прилагане на усъвършенствани анализи и разследване на заплахи. Платформите за киберсигурност с изначално вградена архитектура предоставят интуитивен поглед върху пълния контекст спрямо една или повече атаки, с пълна видимост в цялата верига от събития. Автоматизираното агрегиране на веригата от дейности довежда до цялостен изглед за вземане на решения с висока степен на сигурност, с по-малко и по-приоритизирани предупреждения за бързо действие.

2.3. Пример за изначално създадена унифицирана многофункционална платформа включваща XDR, SIEM и SOAR

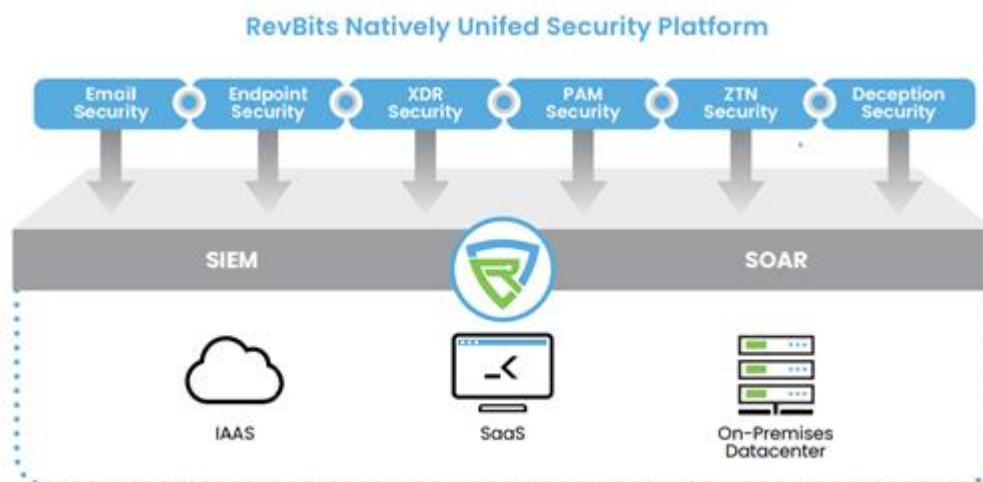
Киберсигурността обхваща екосистема от софтуер, процеси, услуги, най-добри практики и квалифицирани хора с опит в областта. Основната цел на киберсигурността е да намали риска чрез елиминиране на уязвимостите и откриване, реагиране и ограничаване на заплахи. Решението се фокусира върху функционалността на XDR, SIEM и SOAR. Възможностите на XDR, SIEM и SOAR и тяхната позиция в структурата на продуктите за корпоративна сигурност са еволюирали до точката, в която се конкурират за пазарен дял.

Понастоящем доставчиците на XDR интегрират SIEM и SOAR, за да допълнят своите платформи за откриване и реагиране. Доставчиците на SIEM и SOAR включват XDR в тяхното наблюдение и оркестрация на предупреждения.

Платформата за киберинтелигентност CIP (Cyber Intelligence Platform) е основа, която автоматизира откриването и реакцията на аномална дейност в рамките на многофункционален стек за сигурност (фиг. 1). Обединявайки множество продукти за сигурност и техните данни в едно интуитивно табло за управление, платформата CIP осигурява бърза реакция с анализи и контекст за незабавно блокиране на заплахи.

Във всички вградени продукти данните и показателите за сигурност се наблюдават и обединяват, за да осигурят цялостен поглед върху заплахите с автоматизирано откриване и реакция. Разследването на

заплахите и AI подобряват вземането на решения, а автоматизираната реакция и дълбоката диагностика намаляват времето за блокиране на заплахите.



Фиг. 1. Пример за облачно-базиран интегриран многофункционален стек за сигурност.⁹⁸³

Концепцията за оркестрация е свързана със замяната на индивидуалното конфигуриране с по-мощен механизъм за мениджмънт, способен да осигури комплексно дефиниране, конфигуриране, разгръщане и мониторинг. Оркестрацията е централна за платформата CIP. Всеки продукт за сигурност и свързаният с него функционален модул се обединяват в едно унифицирано табло за управление. Оркестрацията при CIP предупреждава, докладва и действа спрямо всички вградени продукти и модули. Оркестрацията събира данни за сигурността, заедно с контекста, за да предостави пълен изглед на заплахите за сигурността във всички повърхности за атака.

Автоматизацията на събития в CIP намалява административната тежест за мрежовия и охранителния персонал. Вместо да се налага да

⁹⁸³ RevBits CIP – Native Unified Convergence of XDR, SIEM, and SOAR. EBOOK. December 2022.

https://www.revbits.com/pdf/RevBits_Cyber_Intelligence_Platform_XDR_SIEM_SOAR_eBook_12_2022.pdf

управлява продукти за сигурност на трети страни чрез отделни табла за управление, SIP изтегля данни за сигурност от вградените продукти за сигурност и ги показва в рамките на едно унифицирано табло за управление. Това е различно от самостоятелен SOAR, който използва самостоятелни продукти или инструменти за сигурност на трети страни за да автоматизира реакциите.

3. Конвергенция и интеграция на физическата сигурност и киберсигурността

Традиционната практика за поддържане на отделни функционалности за физическа и за киберсигурност оставя празнина, която представлява значителен риск. Престъпниците могат или да се стремят да влязат в зони с ограничен достъп, за да причинят физически щети, или да получат достъп до вътрешни системи чрез кибератаки, за да деактивират системи или да откраднат данни. Те могат да използват уязвимости както във физическите системи, така и в мрежите, за да атакуват на множество фронтове.⁹⁸⁴

Повърхността на атаката също стана още по-сложна с нарастващото приемане на отдалечена работа, която може да превърне физическия периметър на организацията във виртуален периметър, оставяйки потенциални пропуски в мрежата, които хакерите могат да използват. Липсата на цялостен поглед върху заплахите за сигурността в цялата организация е възможно да създаде по-големи пропуски и уязвимости.

Конвергентната стратегия за сигурност се основава на споделена информация за заплахи и сътрудничество между екипите за подобряване на сигурността.

3.1. Конвергенция на сигурността

Физическата сигурност и киберсигурността традиционно се третират като различни области, обаче нарастването на взаимосвързаните системи води до необходимостта тези предишни изолирани екипи и системи да

⁹⁸⁴ <https://www.avigilon.com/blog/cloud-based-security-convergence>

работят заедно. Конвергенцията на сигурността (или конвергентната сигурност) е подход за интегриране на стратегии за киберсигурност и информационни технологии с мерки за физическа сигурност за повишаване на осведомеността и укрепване на защитата на съоръжения, хора и данни.

Конвергентната сигурност съчетава усилията за защита на физически активи, като ограничаване на достъпа, инсталиране на видеонаблюдение и същевременно използване на защита на киберпространството.

Основа на конвергенцията на сигурността е, че екипите за физическа сигурност и за киберсигурност споделят целта да осигурят защита на критични активи. Въпреки че двата екипа подхождат към тази цел от различни гледни точки, организациите могат да постигнат максимално ниво на защита чрез сближаване на тези екипи и системи.

3.2. Използване на базирани на облак решения за конвергентно управление на сигурността

Приемането на облачно базирано решение за сигурност и конвергенцията на сигурността са нарастващи тенденции в различните индустрии. Конвергенцията може да протича по-плавно, ако екипите по сигурността използват облака за управление както на кибер, така и на физически системи. Използването на облак може също така да поддържа „сигурността като услуга” (SECaaS), което може да помогне за ускоряване на конвергенцията на сигурността чрез управление, както на физическата, така и на киберсигурността чрез доставчици на сигурност като услуга от трети страни.

Сигурността като услуга в облачния компютинг позволява на вътрешните екипи да използват усъвършенствани инструменти за сигурност чрез визуализиране на едно командно табло, докато доставчикът на услугата управлява системите. Сигурността като услуга е общ термин, който включва други по-специфични услуги, включително физическа сигурност като услуга (PSaaS) и сигурност на крайната точка като

услуга (EDRaaS). Доставчиците на PSaaS поемат отговорност за ежедневното управление и актуализиране на хардуер за сигурност като видеокамери, сензори, електронни брави на врати и системи за контрол на достъпа, докато вътрешните екипи могат да управляват други функции за сигурност (като нива на потребителски достъп, издаване на пропуски за гости или достъп до сигурността на данни и видеозаписи).

Доставчиците на сигурността като услуга SECaaS могат да предложат много различни категории услуги, включително мрежова сигурност, тестване на уязвимости, предотвратяване на загуба на данни, непрекъснат мониторинг и управление на самоличности и др.

Заключение

Изяснени са особеностите и подходите за развитие на различни инструменти свързани с киберсигурността, както и възможностите за конвергенция на физическата сигурност. Направен е целенасочен анализ на избрана съвкупност от актуални технологични решения със специфична насоченост.

Приносните моменти са свързани с анализ на подходите за интеграция и конвергенция при киберсигурността, при което са разгледани специфични подходи и инструменти. Направен е анализ на подходи за многослойна и многофункционална киберсигурност разглеждани като перспективни решения. Показан е пример за изначално създадена унифицирана многофункционална платформа, включваща функционалности на системите XDR, SIEM и SOAR. Направен е анализ на конвергенцията и интеграцията на физическата сигурност и киберсигурността.

Използвани източници:

1. Петров Г. Развитие на Интернет и отворените системи. Част 1. Авангард Прима - София, 2017, 401 с. ISBN 978-619-160-834-8.

<http://www.bg.cobiss.net/scripts/cobiss?ukaz=DISP&id=1947124467419891&ec=1&sid=1>

2. Пасарелски Р., Т. Стефанова. Методи за преход и внедряване на IPv6. Сп. Управление и образование, том VIII (4) 2012, с. 203-211. https://www.conference-burgas.com/maevolumes/vol8/BOOK%204/b4_31.pdf

3. Nikolay Milovanov. 2024. Case study: LoRa/LoRaWAN as a suitable LPWAN choice for pressure and flow monitoring in Bulgarian water utility sector. In International Conference on Computer Systems and Technologies 2024 (CompSysTech '24), June 14-15, 2024, Ruse, Bulgaria. ACM, New York, NY, USA, 10 Pages. <https://doi.org/10.1145/3674912.3674945>

4. Иванова Йоана. Методи и средства за агентно-базирана визуализация на дигитализирани данни. Годишник Телекомуникации 2021, том 8, с. 13 - 22, eISSN 2534-854X, DOI: <https://doi.org/10.33919/YTelecomm.21.8.2>

5. StreamScan. EDR vs NDR vs XDR vs MDR. 30 juin 2022. <https://streamscan.ai/en/blog/edr-ndr-xdr-mdr/>

6. Christopher Fielder. Understanding the Lines Between EDR, NDR, TDR, XDR, and MDR. December 27, 2023. <https://arcticwolf.com/resources/blog/understanding-between-edr-ndr-tdr-xdr-mdr/>

7. Blumira. SIEM vs XDR vs SOAR vs SOC vs EDR vs MDR. December 12, 2023. <https://www.blumira.com/blog/siem-soc-soar-xdr-defined>

8. Paloalto. What Is Cloud Detection and Response (CDR). <https://www.paloaltonetworks.com/cyberpedia/what-is-cloud-detection-and-response-cdr>

9. RevBits CIP – Native Unified Convergence of XDR, SIEM, and SOAR. EBOOK. December 2022. https://www.revbits.com/pdf/RevBits_Cyber_Intelligence_Platform_XDR_SIEM_SOAR_eBook_12_2022.pdf

NFC ТЕХНОЛОГИЯТА В СГРАДНАТА АВТОМАТИЗАЦИЯ

Николай Илиев, Красимир Иванов

*Технически университет-Габрово, ул.Х.Димитър 4, Габрово,
България, niliev@tugab.bg*

Анотация: *Технологията NFC (Near Field Communication) е сред иновациите, които постепенно намират все повече пазарни приложения в редица сфери на съвременния живот. Известна още като „комуникация в близко поле“, тази безконтактна технология отдавна се използва в платежни системи и платформи за проверка на билети и карти за контрол на достъпа. NFC постепенно навлиза и в автоматизацията – от автоматично отключване или заключване на вратите на автомобила, включване на GPS навигация или включване на радиото – до умни домове и сгради, където все повече ежедневни дейности стават автоматизирани. Възможностите в тази посока непрекъснато се разширяват благодарение на технологични платформи като Internet of Things, които улесняват дистанционното управление на различни устройства, уреди и системи. Допълнителен фактор в полза на все по-широкото приложение на NFC технологията е фактът, че тя е интегрирана в повечето съвременни мобилни телефони, които постоянно използваме, за да организираме и улесняваме ежедневието си.*

Ключови думи: *NFC; умни градове; Internet of Things*

NFC TECHNOLOGY IN BUILDING AUTOMATION

Nikolay Iliev, Krasimir Ivanov

*Technical University-Gabrovo, st. H.Dimitar 4, Gabrovo, Bulgaria;
niliev@tugab.bg*

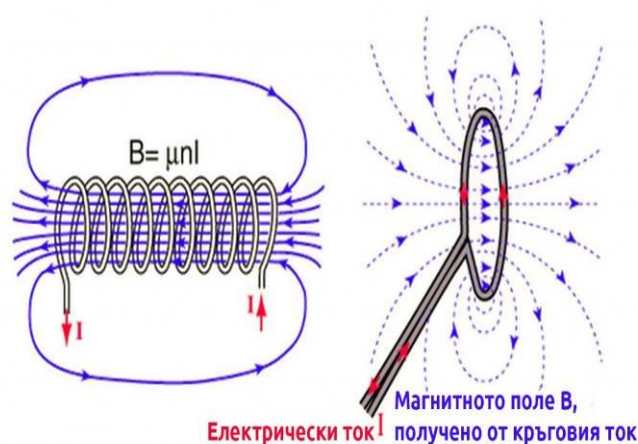
Abstract: *NFC (Near Field Communication) technology is among the innovations that are gradually finding more and more market applications in a number of spheres of modern life. Also known as „near field communication“, this contactless technology has long been used in payment systems and platforms for ticket verification and access control cards. NFC is*

gradually entering automation as well – from automatically unlocking or locking car doors, turning on GPS navigation or turning on the radio – to smart homes and buildings where more and more everyday activities are becoming automated. The possibilities in this direction are constantly expanding thanks to technological platforms such as the Internet of Things, which facilitate the remote management of various devices, appliances and systems. An additional factor in favor of the increasingly widespread application of NFC technology is the fact that it is integrated into most modern mobile phones that we constantly use to organize and facilitate our daily lives.

Keywords: NFC; smart homes; Internet of Things.

ВЪВЕДЕНИЕ

NFC технологията е базирана на радиочестотната (RFID) идентификация, която използва електромагнитни полета да декодира и разчита информация (фиг.1).



Фиг. 1 Принцип на работа на NFC

NFC устройствата са способни едновременно да изпращат и получават данни, осъществявайки мониторинг на радиочестотното поле и регистрирайки несъответствия в сигнала. Всяко устройство с вградена NFC технология разполага с малък интегриран чип, който се активира автоматично, когато е в близост до друг такъв чип (на разстояние от около 10 см или по-близо). Така се създава универсален интерфейс, позволяващ

проста, лесна и безопасна двупосочна комуникация между свързаните електронни устройства. Има два типа NFC устройства – активни и пасивни. Активните, каквито са потребителските смартфони, могат както да изпращат, така и да получават информация. Пасивните са в състояние да изпращат информация, когато биват сдвоени и разчетени от активно устройство, но самите те не могат да осъществяват разчитане. Поради множеството си предимства тази технология се предпочита в много платформи за безконтактни разплащания, споделяне на бизнес контакти, достъп до дигитално съдържание, както и идентифициране на лица в системи за контрол на достъпа. Предимствата на метода включват лесно сдвояване на устройствата и бърз и лесен трансфер на данни.

ИЗЛОЖЕНИЕ

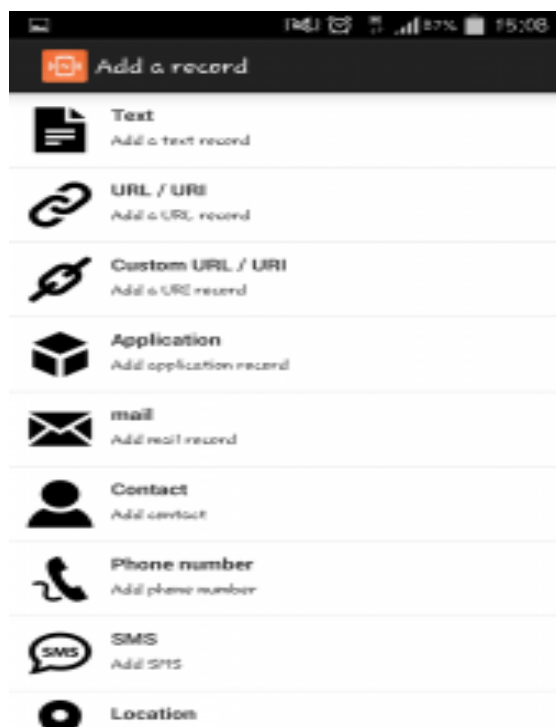
Сред основните особености на NFC технологията, които я правят подходящо решение за сградна и домашна автоматизация, са: възможността за изпълнение в пасивен режим без намеса на потребителя; бърз автоматичен процес на сдвояване на устройствата (за по-малко от една десета от секундата); малкият радиус на действие (от 0 до 20 см); съвместимостта със съществуващите RFID системи, както и способността да работи с обекти, които не разполагат със собствено захранване, каквито са т.нар. NFC етикети или тагове. Когато две NFC устройства се намират в близост (на разстояние от 0 до 4 см), те могат да комуникират помежду си посредством радиовълни. Основно изискване е поне едното устройство да е активно (и да разполага със свое захранване). В повечето случаи това е смартфон, таблет, панел за контрол на достъпа или разплащателен терминал. NFC технологията поддържа три режима на работа: peer-to-peer (при две активни устройства), read/write (с изпращане и разчитане на информация при едно активно и едно пасивно устройство) и т. нар. емуляция на карта (т.е. „генериране” чрез мобилно приложение в потребителския смартфон на различни карти за безконтактна комуникация например кредитни, за достъп, за пътуване и т. н.)[5]. NFC етикетите

представяват малки импулсни приемо-предаватели, които разполагат с интегриран чип, подобно на RFID идентификаторите (фиг.2).



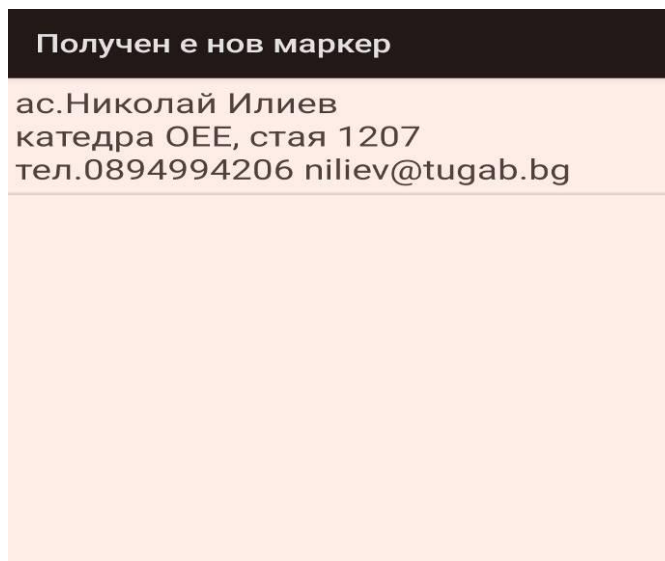
Фиг. 2. NFC тагове и чипове

Те са програмируеми и могат да бъдат разчитани посредством мобилен телефон, таблет, смарт часовник или гривна. Тези етикети могат да работят с приложения от познати сдвоени устройства и дори да инициират цяла последователност от действия. Приложението им в комбинация с активно устройство предстои тепърва да се разширява, особено в области като сградната автоматизация и smart home платформите, тъй като с помощта на NFC технологията всяка свързана услуга или устройство в дома или сградата могат да бъдат задействани и управлявани автоматично. За да се програмира един таг, трябва да се свали съответно приложение от интернет. Там има много предложения, които позволяват използването на тага за различни неща. Приложението обикновено ще попита какво искаме да запишем, както е показано на (фиг.3.)



Фиг. 3. Запис на NFC таг

И след това, следвайки стъпките му, завършваме процеса на въвеждане на данните, с които искаме да ползваме „етикетчето”. Акцентът тук не е толкова върху възможностите за отдалечен контрол, колкото върху автоматичното задействане на дадено (предварително зададено) мероприятие всеки път, когато активното устройство влезе в обхвата на NFC етикета. Също така може да се програмират данни за контакт т.н. електронна визитка. В конкретния случай съм програмирал NFC етикет с моя електронна визитка(фиг.4.), която може да се ползва от всеки студент притежаващ смарт телефон за информация и връзка с мен.



Фиг. 4.. NFC електронна визитка

Предимството е, че се елиминира нуждата от повторно сдвояване всеки път и въвеждане на дълги пароли, както и използването на допълнителни приложения. Самите етикети представляват малки пластични дискове с вградена пасивна верига и микрочип за управление(фиг.5).



Фиг. 5. NFC етикети

В зависимост от паметта им и скоростите на изпращане на данни се класифицират в четири типа. NFC етикетите са още един пример за

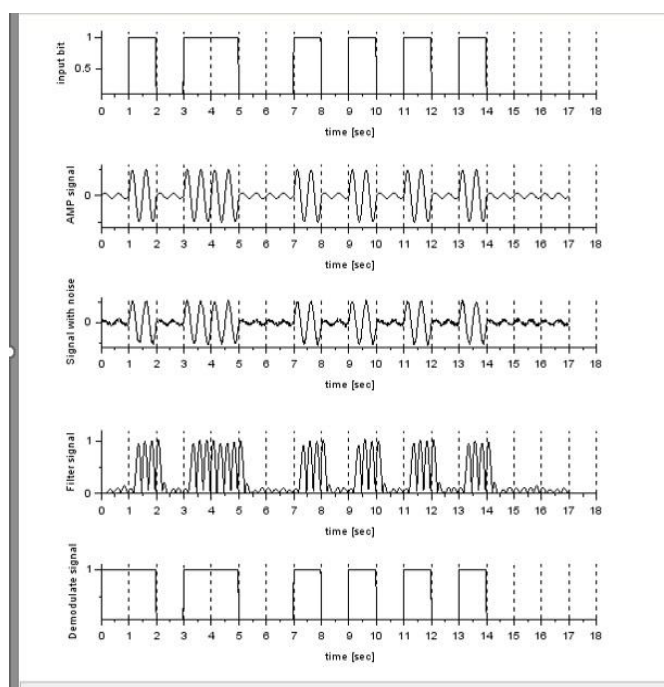
пасивни безконтактни комуникационни устройства, които се активират при захранване от външен източник, подобно на RFID идентификаторите. Тази комуникация е базирана на електромагнитна индукция, а самият етикет не разполага със собствено захранване, чрез което самостоятелно да обработва сигнали. С предимства като прост механизъм, сигурност и автоматично сдвояване (включително с пасивни обекти) NFC технологията притежава потенциал да ускори и разшири приложението на Internet of Things решенията в различни смарт платформи. Безконтактната комуникация разрешава много от предизвикателствата, свързани с възприемането на IoT (фиг.6).



Фиг. 6. NFC технология и Internet of Things

Основно предимство е възможността за интуитивно свързване на две устройства с едно докосване на дисплея – без нужда от въвеждане на дълги и сложни пароли и изобщо използване на клавиатура. И тъй като NFC чиповете трябва да са в голяма близост един до друг, за да се инициира разчитане и трансфер на данни, то това се счита за достатъчна индикация, че потребителят има намерение да предприеме съответното действие. Малкият работен обхват защитава и от неоторизиран достъп до комуникационната връзка от злонамерени лица. NFC технологията

разполага с вградени функции като криптиране, които допълнително подсилват сигурността на данните. Сигурността на данните допълнително се подсигурява чрез използване на определен вид модулация. За работа модела беше извършено: манчестерско кодиране, амплитудна модулация, амплитудно детектиране, двоична фазова манипулация, фазово детектиране, налагане на адитивния гауссовски шум върху полезен сигнал, разчет на контролната сума на пакетите, инициализация на генериране на пакети, алгоритъм за определяне на грешки на бит (фиг.7).



Фиг. 7. Модулация и демодулация на сигнала

Методът на модулиране на сигнала силно влияе върху броя грешки при предаване. Както е известно, че при използване на BPSK BER значително пада в сравнение с амплитудната модулация[3]. Както се вижда от проведен анализ на база Matlab, Simulink Scilab при различни протоколи за безжично предаване на данни, NFC е най-подходящата технология за реализиране на платежна система. Технологията е енергоефективна, тъй като използва неголямо количество енергия за

предаване на данни между устройствата. Неголемият радиус на работа е предимство, тъй като намалява енергопотреблението и е защита от прослушване на канала за предаване. Друго важно предимство на технологията в IoT платформи е възможността NFC етикети да бъдат използвани с различни устройства, дори и такива без собствено хранване. В (табл.1.) са дадени едни от основните употреби и функции, но без да са изчерпани в нея.

Табл.1

NFC употреба	Описание
За стартиране на задача	Домашните потребители вече използват NFC тагове за достъп с едно докосване до прогнозата за времето, за включване на тяхната WiFi мрежа, за спиране звука на телефона, за изпращане на текстово съобщение и още много.
Маркетинг и реклама	NFC тагове, поставени зад „интелигентни плакати”, интегрирани в брошури (или в подложки за бира!), химикалки, стикери и други елементи осигуряват с едно докосване достъп до видео, уеб сайт, Facebook страница и т.н.
Безконтактни плащания	NFC е технология за използване с вашия мобилен телефон (или безконтактна кредитна карта) за бързо и лесно плащане на малки предмети като кафе или вестник.
Сигурност и контрол на достъпа	NFC таговете осигуряват лесно регистриране на данни за влизане с сграда, медицинско обслужване и проверки за сигурност.
Идентификация на продукти	NFC тагове се вграждат или залепват върху продукти за изтегляне на ръководства за потребителя, за идентификация на продукта, за да помогнат за предотвратяване на фалшификации, за следене на движението в склада само и др. и разбира се, само с едно докосване.
Определяне на местоположение	NFC тагове се поставят в туристически табели и знаци за предоставяне на незабавен достъп до информация за мястото и на автобусни спирки, така че потребителите могат да получат в реално време данни за времето, което ще чакат.
Събития	NFC тагове се вграждат в гривни или карти за контрол на достъпа или за плащания в рамките на изложения, фестивали и други събития.
Други	Видеоигри, играчки, слушалки, високоговорители и т.н.

Заклучение

С повече от 2 млрд. устройства с вградена NFC технология в експлоатация в наши дни приложенията на безконтактната комуникация в интелигентните сгради и домове предстои тепърва да нарастват. Автоматизирането на сградната екосистема посредством активни устройства като смартфон, часовник или гривна привлича все повече потребители с възможности като автоматично отключване и заключване на входните врати, включване и изключване на осветлението, управление на ОВК системите и т. н. Единственото, което се изисква от системата, е да провери дали активното потребителско устройство с предварително зададени персонални настройки за сградните системи и услуги е в обхвата на NFC етикета. В допълнение са налице възможности за подобряване на енергийната ефективност на обекта, тъй като при увеличаване на разстоянието между NFC чиповете над работния обхват на технологията (например при излизане от съответното помещение на лицето, носещо активното устройство) лампите могат автоматично да се изгасят, отоплението или климатизацията да се изключат, а вратата да се заключи. NFC контролът ни предоставя по-бързо и лесно безжично решение за управление на интелигентни домашни устройства. NFC може да бъде използвана и в училищата за отчитане присъствието на учениците, също така и за пътуване в градски транспорт. През последните години NFC се превърна в привлекателна изследователска област за много изследователи предвид бързия растеж на технологията и приложенията свързаните с нея.

Докладът се публикува във връзка с резултатите от изпълнение на дейностите по проект № 2213Е

ЛИТЕРАТУРА

1. Finkenzeller, Klaus (2003). RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification. 2nd Ed. Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd. 446p. ISBN: 0-470-84402-7.
2. RFID Journal (2002). A Summary of RFID Standards. [online] [cited 8 May. 2012]. Available from the Internet <http://www.rfidjournal.com/article/print/1335>
3. Бодян Г., Сорокин Г. Прямая цифровая демодуляция ВРСК-сигналов // IV-я Международная конференция „Телекоммуникации, электроника и информатика”. Молдова, г. Кишинев. — 2012.
4. <https://sonoff.tech/product-review/tutorial/a-beginners-guide-how-to-use-nfc-tag-to-trigger-sonoff-smart-home-devices%EF%BF%BC/>
5. Atmel (2010). Considerations for RFID Technology Selection [online] [cited 12 Feb. 2012]. <http://www.docstoc.com/docs/44727761/%20Considerations-for-RFID-Technology-Selection>
6. Liou J.C. et al. A Sophisticated RFID Application on Multi-Factor Authentication // Information Technology: New Generations (ITNG), 2011 Eighth International Conference on. – IEEE, 2011. – С. 180–185.

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ВИСШИ ТОКОВИ ХАРМОНИЧНИ НА ЦЕХОВ ТРАНСФОРМАТОР

Николай Илиев, Красимир Иванов

Технически университет-Габрово, ул.Х.Димитър 4, Габрово,
България, niliev@tugab.bg

***Анотация:** Докладът описва параметрите на електромагнитната съвместимост. Дадени са резултатите от измерванията на токовете хармонични и коефициента на хармонично изкривяване по ток на шините на трансформатори захранващи промишлен робот, климатици и компютри.*

***Ключови думи:** електромагнитна съвместимост, хармонично изкривяване по ток вследствие на работа на честотни управления на двигатели.*

INVESTIGATION OF HIGHER CURRENT HARMONICS ON A WORKSHOP TRANSFORMER

Nikolay Iliev, Krasimir Ivanov

Technical University-Gabrovo, st. H.Dimitar 4, Gabrovo, Bulgaria;
niliev@tugab.bg

***Abstract:** The paper inhere describes the parameters of electromagnetic compatibility. Results are provided in regard with harmonic currents measured at the bus-bars connected to power transformers supplying powering industrial robot, air conditioners and computers and the respective coefficients of total harmonic distortion in the current curve.*

***Keywords:** electromagnetic compatibility, harmonic distortion of the current curve due to operation of electrical motors frequency convertors.*

Въведение

В промишлените предприятия и в бита непрекъснато нараства броя на консуматорите с нелинейна волт-амперна характеристика – вентилни преобразуватели, статични изправители, електродъгови заваръчни апарати, компютри с импулсни захранвания и led лампи. В групата на вентилните преобразуватели се включват- токоизправителите, инверторите, преобразувателите на честота, честотните регулатори на асинхронните двигатели и регулаторите на напрежение. Всички тези потребители консумират несинусоидален ток и в резултат на това се получават изкривявания в синусоидалната напрежението и тока. Хармоници на ток причиняват спадове на напрежения в импедансите на електрическите вериги, които се наслагват върху синусоидалната напрежението и изкривяват идеалната синусоида. Това води до влошаване качеството на електрическата енергия подавана към потребителите, което може да доведе до проблеми при експлоатацията им [2, 5]. Най-често се забелязва греене в магнитопровода на електрическите машини, проблеми в кондензаторните батерии защото с повишаване номера на хармоника, тяхното съпротивление намалява, което може да доведе до протичане на недопустимо големи токове през тях. Не на последно място източниците на висши хармоници като вентилните преобразуватели е възможно сами да си затруднят нормалната експлоатация, ако се захранват от напрежение с деформирана синусоида, която е резултат от работата на самите тях.

Електромагнитна съвместимост

Известно е, че теорията на електромагнитната съвместимост (EMC) се занимава с генерирането, разпространението и приемането на електромагнитна енергия и появата на съпътстващи ефекти при тези процеси. Целта на EMC е правилната работа в същата електромагнитна среда на различно по вид оборудване и избягването на всякакъв интерферентен ефект.

Кривата на тока $i(t)$ или на напрежението $u(t)$, които имат несинусоидална форма, могат да бъдат описани чрез разлагане в ред на Фурие на хармоници от n -ти порядък, кратни на основната честота във вид на сбор от елементарни синусоидални съставлящи с различна честота. На практика се използва още една форма за представяне на несинусоидалните сигнали – спектралната форма на представяне. В този случай се използват амплитудно – честотните спектри на кривите на напрежение и ток.

Хармоничният състав на кривата на напрежението се нормира [за хармоници от 2-ри до 40-ти включително според коефициента на v -ти хармоник:

$$K_{U(v)} = \frac{U_v}{U_1} \cdot 100\% \quad (1)$$

и според коефициента на изкривяване синусоидалната форма на кривата на напрежението:

$$K_U = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^{40} U_v^2}}{U_1} \cdot 100\% \quad (2)$$

Аналогично се определят коефициентите по ток $K_{I(n)}$ и K_I , но те се нормират в стандартите за електромагнитна съвместимост.

$$K_{I(v)} = \frac{I_v}{I_1} \cdot 100\% \quad (3)$$

$$K_I = \frac{\sqrt{\sum_{v=2}^{40} I_v^2}}{I_1} \cdot 100\% \quad (4)$$

Стандартът IEC 61000-3-4 [1] определя граничните стойности за хармонични съставлящи на тока в ниско волтови електроразпределителни системи за оборудване с номинален ток по-голям от 16А на фаза. Коефициентът $R_{scc} = S_{sc} / S_n$ представлява отношение на мощността на късо съединение към номиналната мощност. В IEC 61000-3-4 е въведена и понятието частично измерено хармонично изкривяване (PWHD):

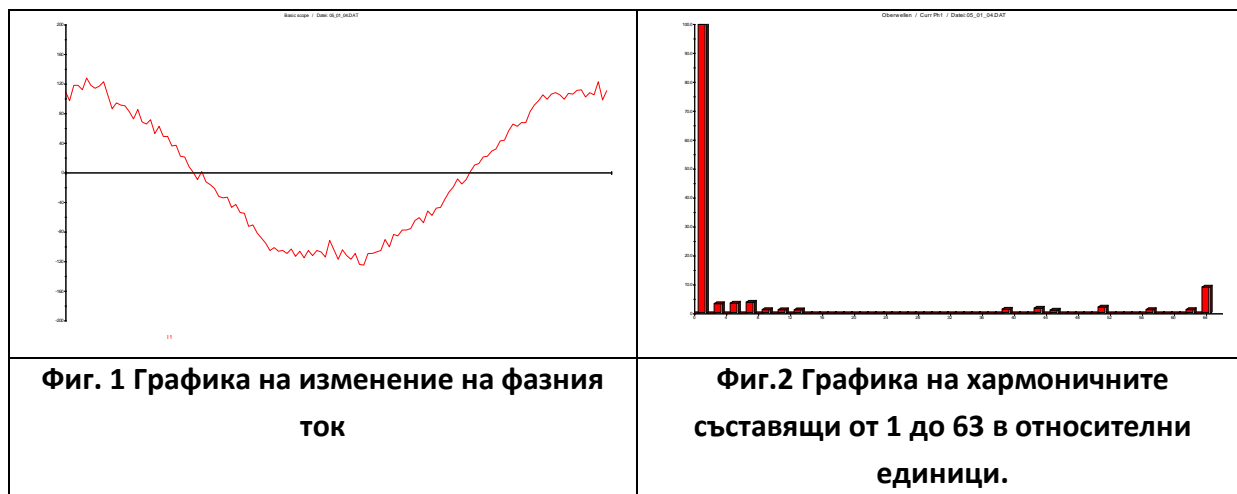
$$PWHD = \sqrt{\sum_{n=14}^{40} n \left(\frac{I_n}{I_1}\right)^2} \quad (5)$$

Таблица 1. Стойности на емисиите ток за симетрично трифазно оборудане

Minimal R_{sce}	Admissible harmonic current distortion factors %		Admissible individual harmonic current I_n/I_1^* %			
	THD	PWHD	I_5	I_7	I_{11}	I_{13}
66	16	25	14	11	10	8
120	18	29	16	12	11	8
175	25	33	20	14	12	8
250	35	39	30	18	13	8
350	48	46	40	25	15	10
450	58	51	50	35	20	15
600	70	57	60	40	25	18

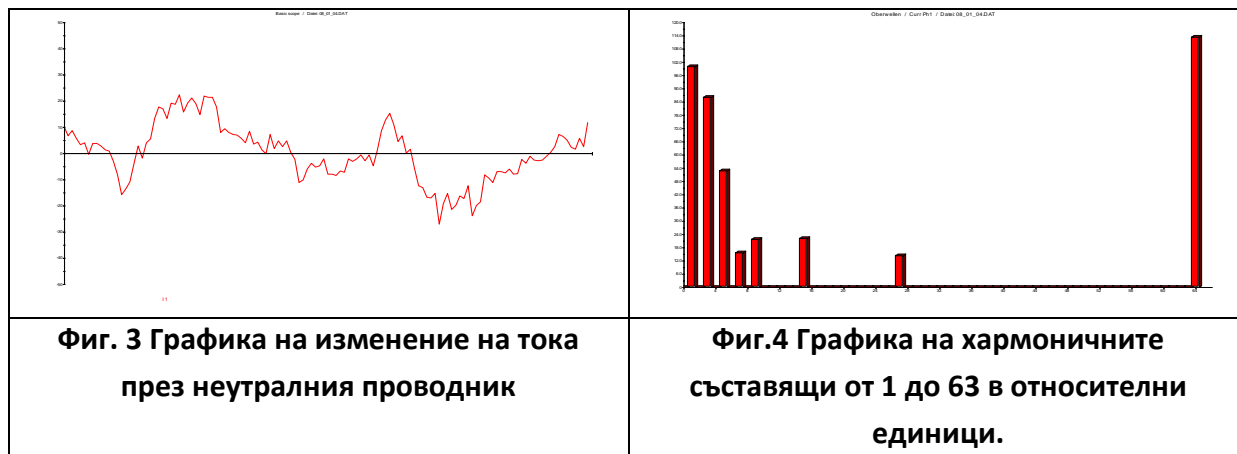
Резултати от измерванията

В индустриалните работи заедно с двигателите се използват честотни управления. Честотните управления на двигатели водят до увеличаване на хармоничните изкривявания в електрическите мрежи [2, 4, 7]. Тези изкривявания са индивидуални. Те зависят от режима на работа. За измерването на електротехническите величини е използван мрежов анализатор HT Italia GSC53N.

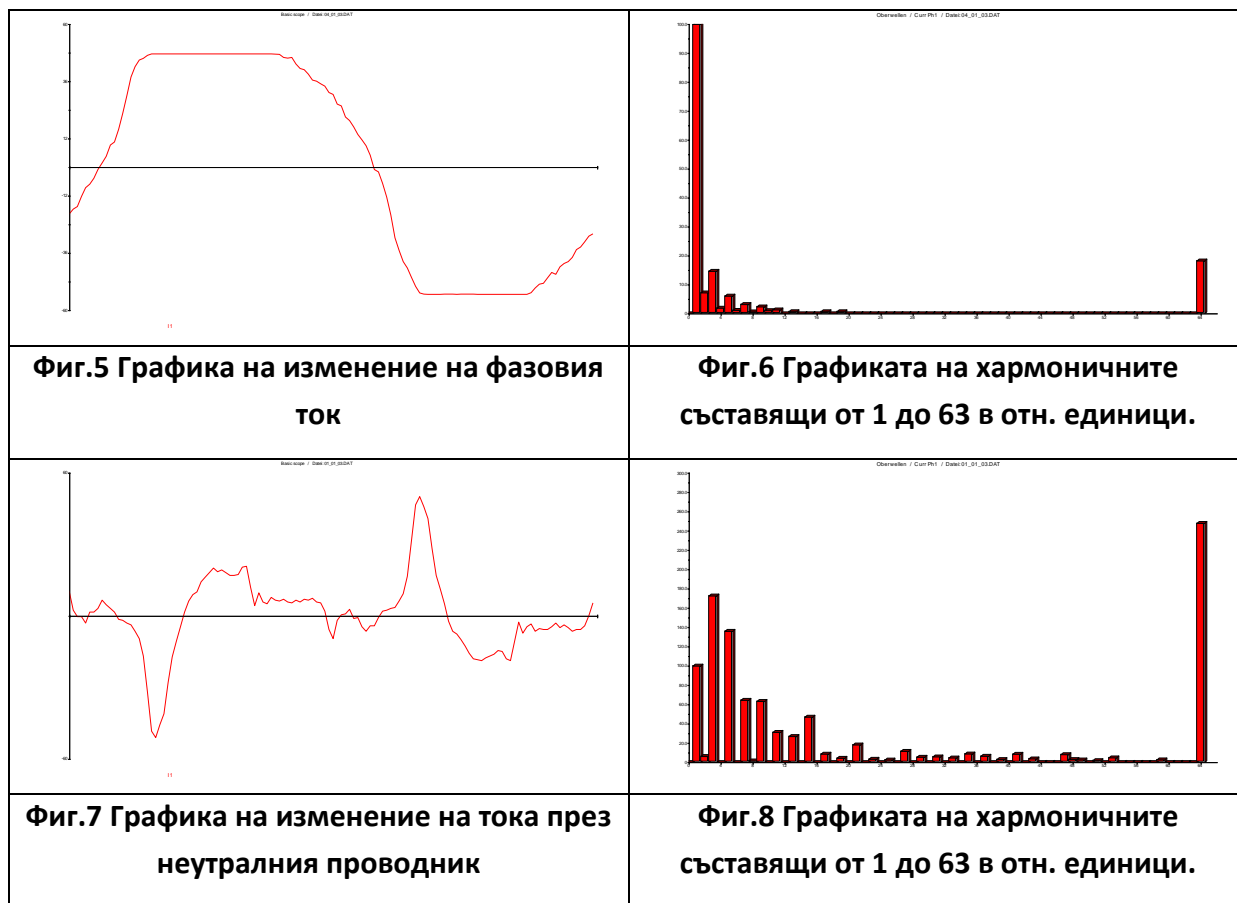


Меренето е извършено на страна 400В на изходните шини на захранващите трансформатори с мощност 1000 кВА, захранващи промишлен робот и други двигатели с мощност 105 кВА. Коефициентът R_{sce} в този случай е равен на 162. Измерени бяха трите фазни тока. Коефициентът на хармонично изкривяване по ток не надвишава $K_i=10,1$. На фиг.1 е представено изменението на фазния ток в момента на снемане на резултатите. На фиг.2 са дадени коефициентите на отделните хармонични спрямо основната хармонична в %. Основната хармонична е обозначена като 100%, останалите хармонични са изчислени в относителни единици спрямо нея. В този случай имаме преобладаване на 3, 5 и 7 хармонична на тока. Лимитираните нива на индивидуалните хармонични изкривявания по ток и коефициент на хармонично изкривяване по ток не са надвишени. Филтрите са настроени за номинални режими и при товари значително по малки от номиналния може да се получи нарастване на хармоничните съставлящи. Токовете хармонични се сумират в неутралния проводник. Нивата на токовете хармонични нарастват силно в този случай. На фиг.3 е представено изменението на тока в момента на снемане на резултатите през неутралния проводник. На фиг.4 са дадени коефициентите на отделните хармонични спрямо основната хармонична в %. Това води до повишени

загуби и нагряване на неутралния проводник. Коефициентът на хармонично изкривяване по ток достига $K_I=112,4\%$.



Меренето и във втория случай е извършено на страна 400V на изходните шини на захранващия трансформатор с мощност 1000 кВА. Измерени бяха фазните токове от страна на захранването на офис сградата на фирмата, захранена от същия трафопост. Към момента на измерването имаме включени компютри, климатици и осветления. Към момента на измерването на фазните токове бяха 16,96, 17,91 и 41,71А. На фиг.5 е дадено изменението на фазния ток на най-натоварената фаза. Коефициентите на отделните хармонични спрямо основната хармонична в % за тази фаза са дадени на фиг.6. Коефициент на хармонично изкривяване по ток е равен на $thd(I)=18.25$. Подходът на построяване на графиката е аналогичен и на фиг.2. В този случай имаме преобладаване на 2,3 и 5 хармонична на тока. Лимитираните нива на индивидуалните хармонични изкривявания по ток и коефициент на хармонично изкривяване по ток не са надвишени. На фиг.7 и 8 е представено изменението на ток през неутралата в момента на снемане на резултатите.



В този случай основната хармонична е по-малка, тоест 3 и 5 хармонични надвишават основната хармонична в неутралния проводник, което води до увеличаване на коефициента на хармонично изкривяване по ток. Коефициентът на хармонично изкривяване по ток достига стойности до 247,89%.

Изводи

Проведените измервания показват, че в дадените случай индивидуалните хармонични изкривявания и коефициента на хармонично изкривяване по ток надвишават допустимите норми за неутралния проводник, които води до допълни загуби. Тези резултати за да се иска увеличение на сечението на неутралния проводник.

Исползвана литература

1. Жежеленко И.В. Электромагнитная совместимость потребителей: монография – М.: Машиностроение, 2012. – 351 с.
2. Д. Ю. Руди, А. И. Антонов, М. Г. Вишнягов С. В. Горелов Д. А. Зубанов А. А. Руппель, Е. Ю. Руппель, Исследование высших гармоник в электрических сетях низкого напряжения, Омский научный вестник, 2018, 6
3. IEC 61000-3-4: 1998. Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-4: Limits - Limitation of emission of harmonic currents in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16 A.
4. Bachry, Z. Styczynski, T. Lobos „The Analysis of Low Voltage Distribution Power System Under Nonsinusoidal Conditions – Case Study”, *4th International Conference on Power Networks PNET 2000*, Wroclaw, Poland, vol. II, June 2000, pp. 583-591.
5. FRANCISCO C. DE LA ROSA, Harmonics and power systems, 2006
6. Harmonics in power systems, Causes, effects and control, Whitepaper, Siemens, 2013
7. H.A. Attia, M. El-Metwally, „Harmonic Distortion Effects and Mitigation in Distribution Systems”, *Journal of American Science*, 2010.
8. Max Borissov, Oberschwingungen und deren Auswirkungen auf den N-Leiter, GMC-I Messtechnik GmbH

ПРОЕКТИРАНЕ НА СЦЕНИЧНА КОЛЕКЦИЯ ГРАДСКО ОБЛЕКЛО ОТ КРАЯ НА 19 ВЕК С ЕЛЕМЕНТИ ОТ БЪЛГАРСКИЯ НАЦИОНАЛЕН КОСТЮМ

Маргарет Сивова

Технически университет-София, Колеж-Сливен

msivova@tu-sofia.bg, тел.: 0895586624

***Анотация:** В разработката са разгледани характерните особености на стила „а ла франга”, отнесени спрямо женското градско облекло. Чрез използване на съвременни средства и методики за конструиране е проектирана колекция дамско облекло, в която са интегрирани елементи от българския национален костюм. Колекцията включва пет ансамбъла, носещи характерните конструктивни особености на стила „модерн”, ясно подчертаващи българската идентичност чрез вмъкнати в дизайнерското решение везбени орнаменти и декоративни елементи. Моделните разработки са получени върху предварително уточнена изходна моделна конструкция на дамска рокля в полувтален силует с едношевевен ръкав. Всички конструктивни чертежи са изпълнени с графична CAD система. Модел 1 е реализиран в материал.*

***Ключови думи:** стил „а ла франга”, колекция градско женско облекло, национален костюм, бродерия, везбени орнаменти.*

DESIGN OF A STAGE COLLECTION OF URBAN CLOTHING FROM THE LATE 19TH CENTURY WITH ELEMENTS OF THE BULGARIAN NATIONAL COSTUME

Margaret Sivova

College – Sliven, Technical University-Sofia

msivova@tu-sofia.bg, tel.: 0895586624

Abstract:: *The study examines the distinctive features of the „à la franga” style in relation to women's urban clothing. Using contemporary tools and construction methodologies, a women's clothing collection has been designed, incorporating elements from Bulgarian national costume. The collection includes five ensembles that reflect the characteristic structural features of the „modern” style, clearly emphasizing Bulgarian identity through the integration of embroidered ornaments and decorative elements into the design. The models are based on a pre-defined base pattern for a semi-fitted women's dress with a one-seam sleeve. All technical drawings were created using a graphic CAD system. Model 1 has been realized in material.*

Keywords: *„a la franca” style, urban women's clothing collection, national costume, embroidery, embroidery ornaments.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Възраждането на българската държава през 1878 г. води до промяна и разнообразяване на традиционното народно облекло. Разширява се влиянието на европейската мода върху българския градски костюм⁹⁸⁵. Проникването на модерната европейска култура по българските земи обхваща период от няколко десетилетия и е известно с името „а ла франга” (буквално „по френски маниер”). Под влияние на европейските модни тенденции и обогатяване на пазара с фабричен текстил и нови кройки се получава смесване между „родното” и „чуждото”. Възниква нов стил, който се утвърждава като официална градска мода.

Характерните особености на стила „а ла франга” в женското градско облекло се изразяват в следното:

- ✓ Навлизане на нови елементи в женската носия – по отношение на материали, техники, изработване, украси;
- ✓ Сукманът се заменя с една средна форма между сукман и рокля, рязана в кръста, с надиплени поли и опънат корсаж;
- ✓ Силно подчертаване на талията чрез корсет;

⁹⁸⁵ Наследникова, В., История на българския костюм, Наука и изкуство, С., 1974

- ✓ Разширяване на силуета посредством обръчи или фусти (кринолин, турнюр, S-образен силует);
- ✓ Корсажът се трансформира в блуза, изработена от друг плат;
- ✓ Промяна в основния елемент на костюма – ризата, и превръщането му в долна дреха, лишена от декорации;
- ✓ Роклята завоюва позиция на официален дамски тоалет, цветовата гама е предимно от светли тонове. За всекидневното облекло се препоръчват тъмни цветове;
- ✓ Постепенно отпадане на везмото по полите и ръкавите на ризата и замяната им с дантели, ресни, ширити, мънистена украса;
- ✓ Дрехите се шият не от ръчно изтъкани, а от фабрично произведени платове (коприна, атлаз).

Първото българско модно списание „Мода и домакинство“ (1897-1906 г.)⁹⁸⁶ с издател Елена Ушева поставя началото на използването на българската народна шевица в модерния градски дамски тоалет. Демонстрация на актуалния за периода 1898-1905 г. женски градски костюм със силно европейско влияние е показана на Фиг. 1.

Целта на разработката е чрез използване на съвременни средства и методики за конструиране да се проектира сценична колекция дамско градско облекло в стил „а ла франга“, в която са интегрирани елементи от българския национален костюм.

⁹⁸⁶ <https://digital.libplovdiv.com/bg/view/660d5314759d09b7791b27c5>



Фиг. 1 Модели женско облекло в списание „Мода и домакинство”

ДИЗАЙНЕРСКИ ПРОЕКТ

Въз основа на направеното задълбочено проучване на женското градско облекло в периода от втората половина на 19 до началото на 20 век, влиянието върху него на западно-европейската мода⁹⁸⁷, както и специфичните елементи на българския национален костюм^{988 989} е

⁹⁸⁷ <https://www.french-crea-vintage.com/en/62-from-1890-to-1899>

⁹⁸⁸ <https://www.youtube.com/watch?v=W2KetzvBzR4>

⁹⁸⁹ Сивова М., Т. Пенева, В. Ганев, Изследване на устойчивите елементи и взаимовръзки в българския национален костюм, Сп. Машиностроене и машинознание, година XIX,

съставена Атмосфера-карта на колекцията (Фиг. 2), която илюстрира авторския източник на вдъхновение и разноцветната палитра от цветове за осъществяване на дизайнерския замисъл⁹⁹⁰.



Фиг. 2. Атмосфера-карта на колекцията

Разработена е сценична колекция дамско градско облекло „Традиции и модерност”, представена чрез творческите ескизи на Фиг. 3. Колекцията включва пет ансамбъла, носещи характерните конструктивни особености на стила „модерн” (90^{те} години на 19 - началото на 20 век), ясно подчертаващи българската идентичност чрез вмъкнати в дизайнерското решение взбени орнаменти и декоративни елементи.

Моделите се характеризират с:

- ✓ Издължени изискани линии, придаващи стройност и елегантност;
- ✓ S-образен силует;

- ✓ Ясно изразена талия;
- ✓ Форма, която придава на фигурата форма на пясъчен часовник;
- ✓ Висока яка-столче, богато декорирана с дантели, панделки и ширити;
- ✓ Поли в А-силует, наподобяващи камбана. Предната част е леко разкроена, плътно приляга в областта на талията и ханша. Гърбът, силно разкроен, е със среден шев, в който е вмъкнат допълнителен веревен клинообразен детайл с широка плоха, образуващ ветрилообразна гънка. При движение плохата се разтваря и придава на фигурата своеобразна линия и грация;
- ✓ Дължината на изделията е до глезена или до пода. Част от моделите са с асиметрична линия на подгъва, преминаваща в шлейф;
- ✓ Допълнения към костюмите са позиционирани в различни места по корсажа, полата и яката волани с различна широчина, набори, тесни ленти от тюл или сатен, ширити, дантели, бродерии;
- ✓ Ръкави с различни форми – прави и гладки; буфан-ръкави с обем както в горната, така и долната част; или тип жиго (фр. gigot mouton) – със специфична форма благодарение на натрупване на тъкан в горната част на овала и стесняващи се до плътно прилягане от лакътя до китката;
- ✓ Светла и ярка цветова гама: преобладават жълто, оранжево, маслиново-зелено, светло-синьо, червено и лилаво;
- ✓ Копринени тъкани в ролята на основен материал за изработка - крепдешин, тафта, шифон, плюш, бархат;
- ✓ В ролята на допълнителен елемент при част от моделите е добавена стилизирана престилка, богато орнаментирана с везбени орнаменти и шевици.

Декоративното оформяне на колекцията като цяло е извършено чрез съпоставянето между фактурите на приложените материали (кадифе, сатен, шифон), изисканите цветове комбинации, широкото използване на дантела и българска бродерия с копринени конци.



Фиг. 3. Творчески ескизи на моделите от колекцията

ИЗБОР НА КОНСТРУКТИВНА ОСНОВА

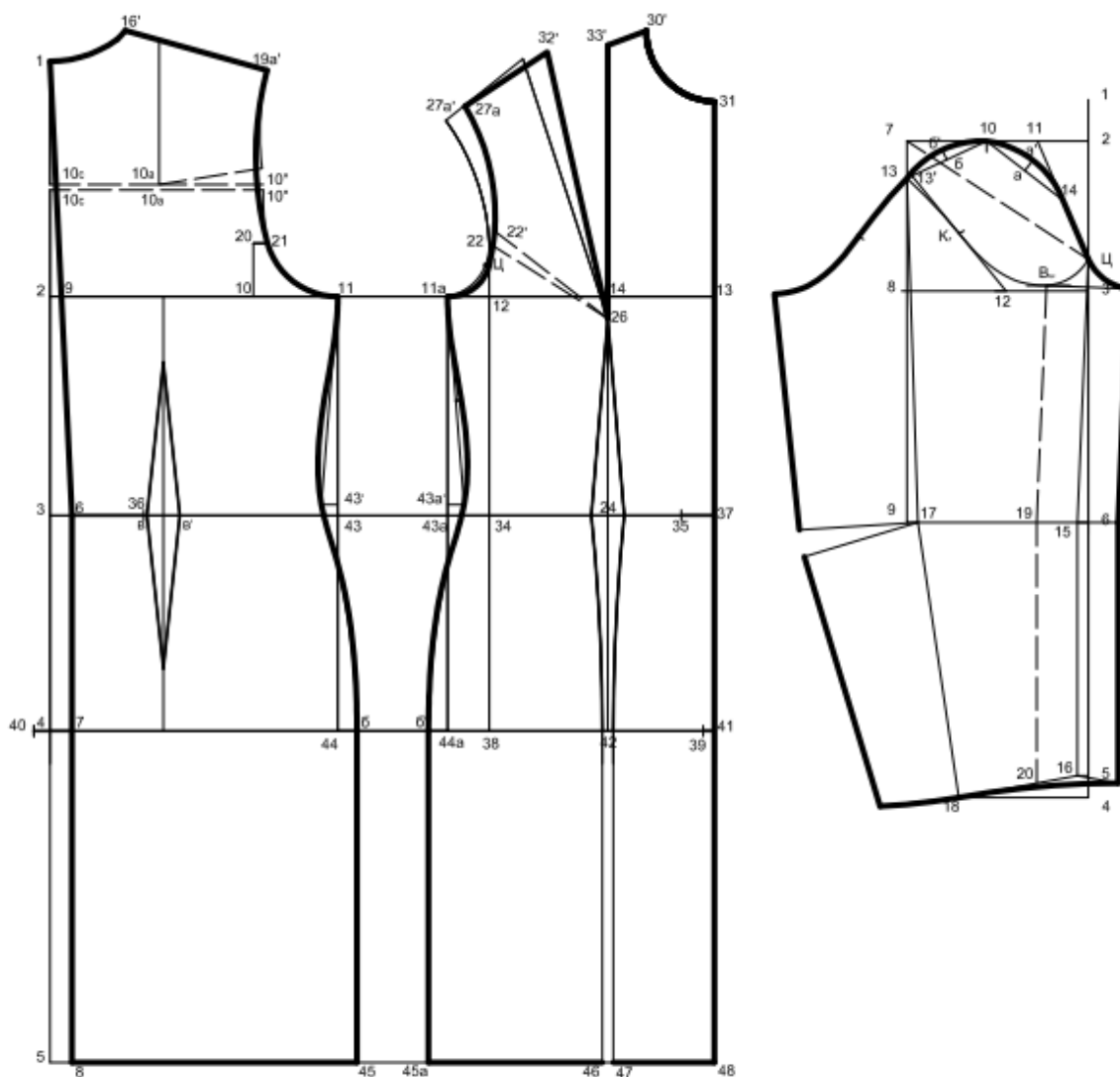
В ролята на базова конструктивна основа за техническо моделиране на моделите е използвана Фигура 5 от литературен източник⁹⁹¹. Конструктивните чертежи са разработени за стандартен размер 164-92-100 по обмерни данни съгласно БДС 8371-89.

Приети са следните прибавки за свобода към основните конструктивни участъци:

- ✓ Към полуобиколката на гърдите – трета: $2,5 \div 3,5$ cm;
- ✓ Към полуобиколката на талията: $2,5 \div 3,5$ cm;
- ✓ Към полуобиколката на ханша: $2,0 \div 3,0$ cm.

В резултат е получена изходната моделна конструкция (Фиг. 4).

⁹⁹¹ Сивова М., В. Ганев, Проектиране на саяна народна носия чрез съвременни методики за конструиране, Сп. Известия на Съюза на учените-Сливен, том 36 (1), 2021 г., с. 97-102, ISSN: 1311-2864



Фиг. 4 Изходна моделна конструкция за разработване на Модел 1

МОДЕЛНА РАЗРАБОТКА

Акцент в колекцията е Модел 1, за който е разработен комплект конструкторска документация (художествен ескиз, техническо описание, основна конструкция, моделна конструкция).

Техническо описание на Модел 1:

Дамски ансамбъл от две части – блуза и пола, в стил „а ла франга” със силно модно европейско влияние, изработена от смес на памук и коприна, в светло син цвят.

Блузата е с леко вталяване в страничния шев, с дължина до линия на ханша, със закръглена платка над линия на гърдите в предната част и гърба. В шева на платката е пришита декоративна прозрачна лента в бледо сиво заедно с тесен волан от сатинираната част на основния плат. Закопчаването е в средния шев на платката на гърба с ефектни кръгли копчета. Яката-столче се закопчава на гърба, по горния край е декорирана с тясно воланче от сатен. Ръкавът е с дължина $7/8$, прикачен, с голям обем при овала, тип буфан, стесняващ се към линия на лакътя, където е пришит коничен веревен детайл. В шева е вмъкната декоративна лента с българска бродерия.

Полата е разкроена, в А-силует, с шлейф. Предната част, плътно прилягаща в областта на талията и ханша, се състои от три детайла. Гърбът е от четири части, със среден шев, в който е вмъкната широка плоха. Закопчаването е в средния шев със скрит цип. Коланът е широк, закопчава се отзад с две декоративни копчета.

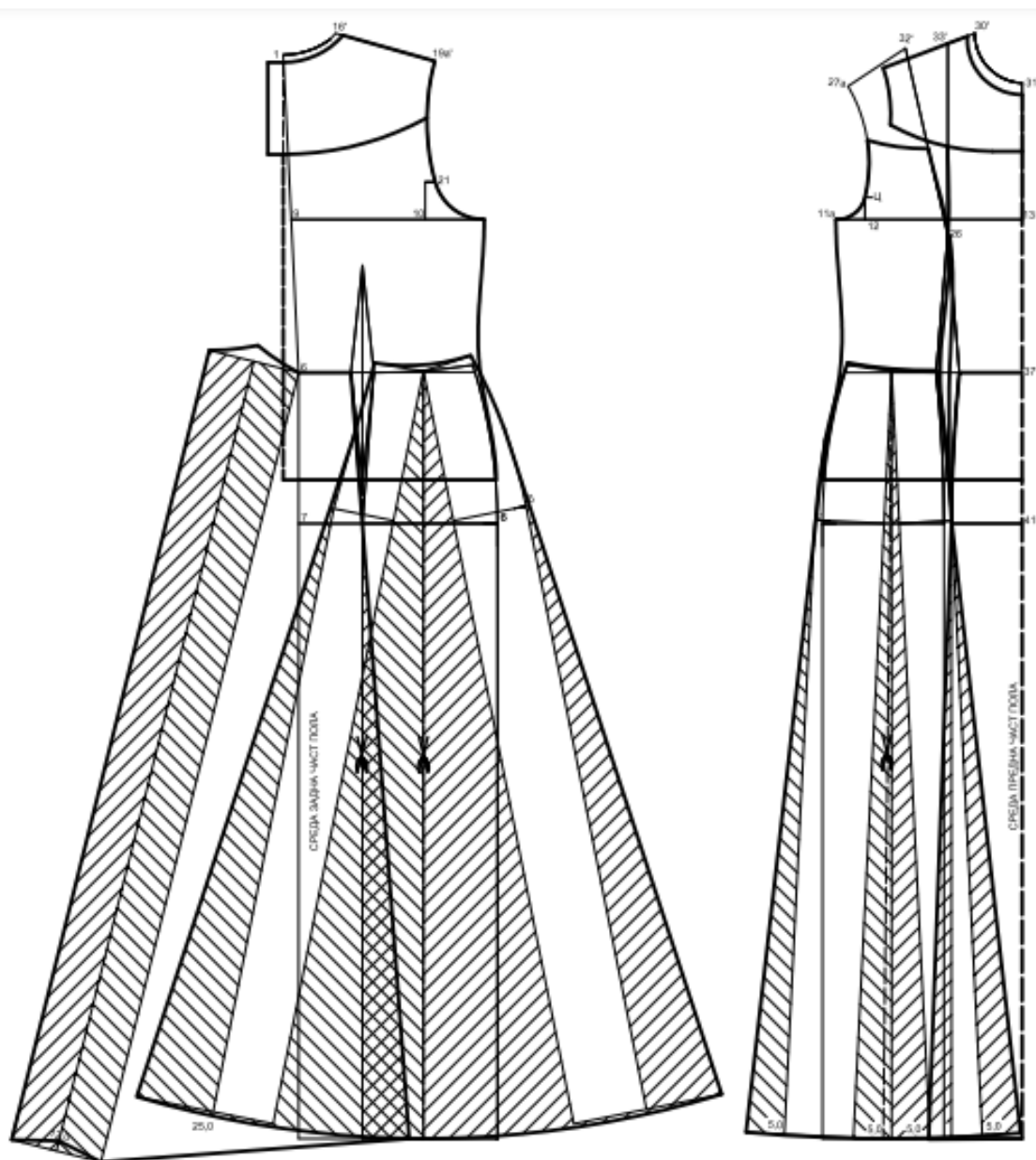
На Фиг. 5 и Фиг. 6 са представени моделните разработки на блузата и полата за Модел 1.

Разработването на моделните конструкции на двете изделия е решена чрез:

За блузата:

- ✓ Хоризонтална линия на дължината на 14,0 cm под линията на талията;
- ✓ Удълбочаване на вратната извивка: 1,0 cm в средния шев на гърба; по раменната линия - 1,0 cm; 1,5 cm по линия на предната среда;
- ✓ Позициониране на платката: по 12,0 cm в средния шев на гърба и по линия на предната среда;
- ✓ трансформиране на раменната свивка по линия на платката в предната част;
- ✓ преобразуване на талийната свивка във вертикален релефен шев;
- ✓ отсъствие на среден шев на гърба;

- ✓ закопчаване с копчета в средния шев на платката на гърба;
- ✓ леко вталяване в страничния шев;
- ✓ конично разтваряне по указаните линии при ръкава.

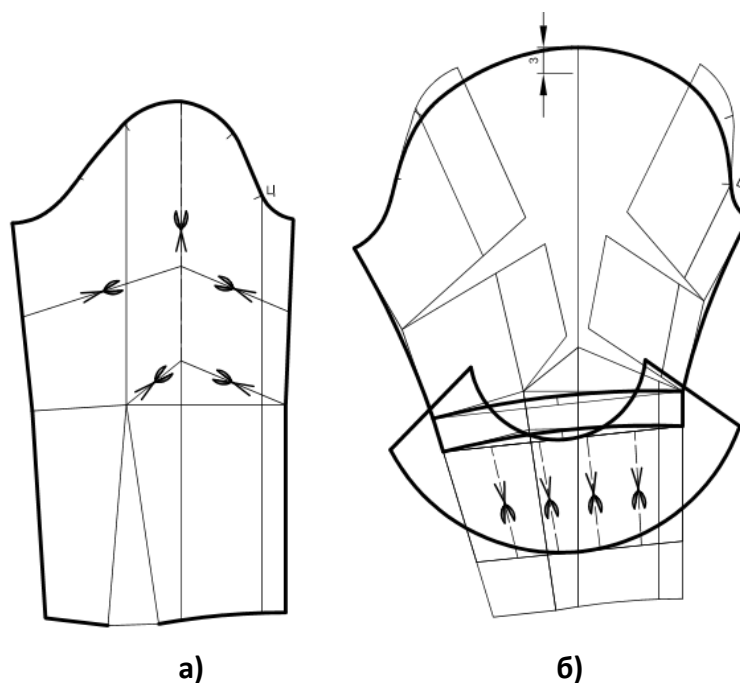


Фиг. 5 Моделна разработка на Модел 1

За полата:

- ✓ изходна дължина на полата по средния шев на гърба – 100,0 cm;

- ✓ неголямо конично разширение по линия на дължината за детайлите на предната част (3,0÷5,0 cm);
- ✓ голямо конично разширение по линия на дължината за детайлите на гърба (10,0÷40,0 cm);
- ✓ шлейф в средния шев на гърба под наклон и оформяне на плоха с дълбочина 12,0 cm;
- ✓ закопчаване с цип в шева на плохата.



Фиг. 6 Нанасяне на моделни линии (а) и моделиране на ръкав (б) за Модел 1

На Фиг. 7 е представен изработеният от материал Модел 1.



Фиг. 7 Дизайнерски проект, реализиран в материал

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Краят на 19-ти - началото на 20-ти век е свързан с фундаментални промени във всички сфери на живота. За няколко десетилетия модният стил „а ла франга” успява да се наложи като официална градска мода. Вследствие на засиленото европейско влияние в българското общество се извършва проникване на елементи от модния градски костюм в народната носия, което води до видимо изменение в традиционното народно облекло. Това намира своето отражение и в женското облекло.

Чрез използване на съвременни средства и методики за конструиране е проектирана сценична колекция дамско градско облекло „Традиции и модерност”, в която са интегрирани елементи от българския

национален костюм. Моделите, носещи характерните конструктивни особености на стила „модерн”, изразяват българската идентичност чрез вмъкнати в декоративното оформление национални шевици и елементи.

Моделите успешно могат да бъдат използвани в качеството на сценични костюми за различни исторически възстановки.

СПИСЪК С ИЗПОЛЗВАНИ ИЗТОЧНИЦИ

1. Наследникова, В., История на българския костюм, Наука и изкуство, С., 1974.
2. <https://digital.libplovdiv.com/bg/view/660d5314759d09b7791b27c5>.
3. <https://www.french-crea-vintage.com/en/62-from-1890-to-1899>.
4. <https://www.youtube.com/watch?v=W2KetzuzBzR4>.
5. Сивова М., Т. Пенева, В. Ганев, Изследване на устойчивите елементи и взаимовръзки в българския национален костюм, Сп. Машиностроене и машинознание, година XIX, книга 2, 2024. Издателство: Национален комитет по теория на механизмите и машините, с. 65-69, ISSN 1312-8612.
6. <https://ethnograph.info/>.
7. Сивова М., В. Ганев, Проектиране на саяна народна носия чрез съвременни методики за конструиране, Сп. Известия на Съюза на учените-Сливен, том 36 (1), 2021 г., с. 97-102, ISSN: 1311-2864.

ПРОЕКТИРАНЕ НА ИНТЕРАКТИВЕН 3D КИЛИМ- ТРАНСФОРМЪР ЗА ОБУЧЕНИЕ НА ДЕЦА ЧРЕЗ ИГРА

Маргарет Сивова

Технически университет-София, Колеж-Сливен
msivova@tu-sofia.bg, тел.: 0895586624

Таня Пенева

Технически университет-София, Колеж-Сливен
tannna.peneva@tu-sofia.bg, тел.: 0878278067

***Анотация:** В доклада е представено дидактичното средство „интерактивен 3D килим-трансформър”. Изработеният килим от екологични безопасни текстилни материали е предназначен за обучение на деца в предучилищна възраст. Той е двулицев, обемен, термоизолиран. Състои се от 9 модула, които се съединяват помежду си чрез рипсови ленти. Всеки модул представлява самостоятелен многофункционален игрови елемент с две лица, между които е вложена термо-вата. Подредбата на модулите позволява изпълнение на десет сюжетни задания и различни игри. Чрез изпълнение на поставените от педагога задачи децата доразвиват следните умения: тактилно и зрително възприятие; логическо мислене и координация на движенията; формиране на цветоусещане; памет, слух и фина моторика; творчески умения.*

***Ключови думи:** Интерактивен килим, предучилищна възраст, игра, учебен процес.*

DESIGNING AN INTERACTIVE 3D TRANSFORMER CARPET FOR CHILDREN'S LEARNING THROUGH PLAY

Margaret Sivova

College – Sliven, Technical University-Sofia
msivova@tu-sofia.bg, tel.: 0895586624

Tanya Peneva

College – Sliven, Technical University-Sofia
tanna.peneva@tu-sofia.bg, tel.: 0878278067

Abstract: *The report presents the didactic tool „Interactive 3D Transformer Rug.” The rug, made from eco-friendly and safe textile materials, is designed for the education of preschool-aged children. It is double-sided, voluminous, and thermally insulated. It consists of nine modules that are connected to each other using grosgrain ribbons. Each module serves as an independent multifunctional play element with two sides, between which thermal batting is inserted. The arrangement of the modules allows for the implementation of ten storyline tasks and various games. By completing the tasks set by the educator, children further develop the following skills: tactile and visual perception; logical thinking and movement coordination; color recognition; memory, hearing, and fine motor skills; as well as creative abilities.*

Keywords: *Interactive carpet, preschool, game, learning process.*

ВЪВЕДЕНИЕ

Съгласно НАРЕДБА № 5 от 03.06.2016 г. за предучилищното образование в Република България основната форма на педагогическо взаимодействие в детската градина е педагогическата ситуация, която протича предимно под формата на игра (чл. 23, ал.1)⁹⁹². Чрез играта децата не само се забавляват, но и учат, развиват се физически, емоционално и социално, и усвояват важни умения и знания.

По проект № 241ХТД0001-16, реализиран от Вътрешния конкурс за научни изследвания на Технически Университет-София за 2024 г., е създадено дидактично средство „интерактивен 3D килим-трансформър”, чиято цел е да се създаде интерактивна среда, насърчаваща ученето чрез игра. Включването в учебния процес на този иновативен образователен продукт би довело до усъвършенстване на условията за развитие на самостоятелна познавателна дейност, до формиране на познавателен

⁹⁹² <https://lex.bg/bg/laws/ldoc/2136850647>

интерес, до развитие на логическо и творческо мислене при децата от предучилищна възраст⁹⁹³.

Интерактивният 3D килим-трансформър, изработен от екологични безопасни текстилни материали, е предназначен за обучение на деца в предучилищна възраст (трета и четвърта подготвителна възрастова група) чрез изпълнение на различни дидактически задачи в процеса на играта.

ТЕХНИЧЕСКО ОПИСАНИЕ НА ИНТЕРАКТИВНИЯ КИЛИМ

Килимът е двулицев, обемен, термоизолиран. Състои се от 9 модула, всеки един от които представлява квадрат с размери 60x60 см. Отделните модули се съединяват помежду си посредством завързване на рипсови ленти с дължина 30 см., разположени по 2 броя върху всяка страна на квадрата.

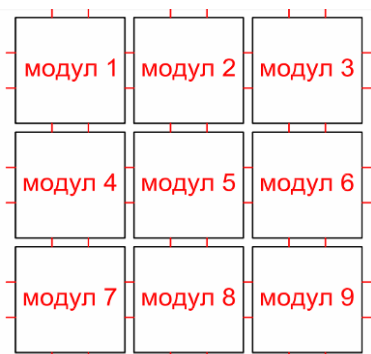
Всеки модул представлява самостоятелен многофункционален игрови елемент с две лица, а между тях е вложена термо-вата.

Основният материал при изработване на модулите от Лице 1 е разноцветно памучно хасе Ранфорс, върху което са разположени множество подвижни и неподвижни елементи с различна големина и форма.

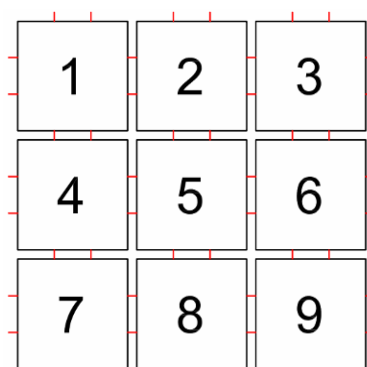
Основният материал при изработване на модулите от Лице 2 е памучен плат ДУК хидрофобиран, който не задържа течности и петна. В средата на всеки модул е апликирана цифра от 1 до 9 с габаритни размери, отговарящи на лист формат А4.

Чрез използване на универсалната графична система за инженерно проектиране AutoCAD са разработени техническите скици на пилотната мостра (Фиг.1.÷ Фиг.3.).

⁹⁹³ Sivova M., T. Peneva, V. Ganev, The Interactive Carpet Made of Textile Materials as an Innovative Educational Tool in Kindergarten, Proceedings of the Technical University of Sofia, vol. 74, issue 3, 2024, Bulgaria, DOI: 10.47978/TUS.2024.74.03.012



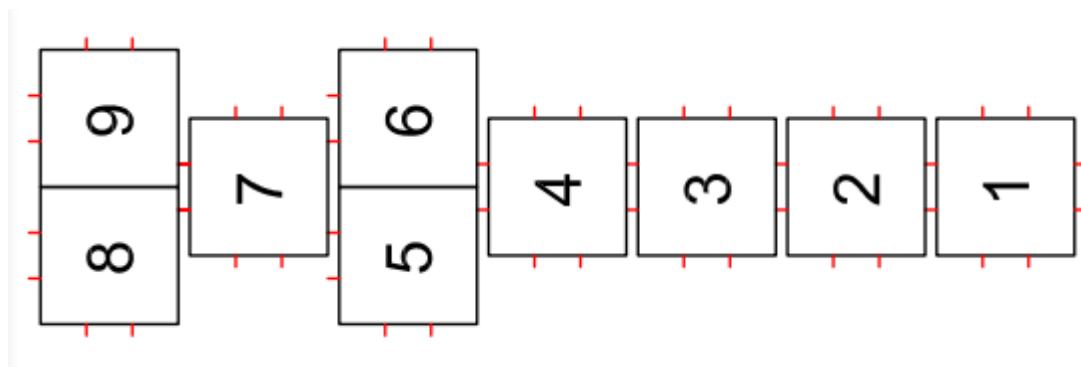
Фиг. 1. Техническа скица на свързаните модули Лице 1 (квадратна схема на килим)



Фиг. 2. Техническа скица на свързаните модули Лице 2 (квадратна схема на килим)

Подредбата на модулите на интерактивния килим-трансформър по квадратна схема (Фиг. 1., Фиг. 2.) позволява изпълнение на девет сюжетни задания и различни игри по следните образователни направления:

- „Математика”;
- „Български език и литература”;
- „Околен свят”;
- „Конструирание и технологии”.



Фиг. 3. Техническа скица на свързаните модули Лице 2 (схема на килим при ИГРА НА ДАМА)

При подредбата на модулите по схема при игра на Дама⁹⁹⁴ (Фиг. 3.) се осъществяват дейности по образователно направление „Физическа култура”.

Играта на Дама спомага за:

⁹⁹⁴ <https://www.noviteroditeli.bg/zaedno/ot-7-do-10-ot-11-do-14/kak-se-igraeshe-na-dama>

- усъвършенстване на естествено приложните движения;
- развитие на двигателните качества, на уменията за изпълнение на елементи от спортните игри;
- усвояване на социално-комуникативни умения за коопериране, взаимодействие и за работа в екип;
- развитие на игровата култура.

ПРОВЕДЕНИ ЕКСПЕРИМЕНТИ С РАЗРАБОТЕНИЯ КИЛИМ

Модулите на изработения от авторите килим-трансформър и възможните задачи за изпълнение са представени в Таблица 1.

Таблица 1. Реализация на педагогическа ситуация

Модул 1 – „Танграм” ⁹⁹⁵		
Лице 2	Лице 1	Подвижни елементи
		
<p>Образователно направление: „КОНСТРУИРАНЕ И ТЕХНОЛОГИИ”.</p> <p>Образователно ядро: Конструирание и моделиране.</p> <p>Очаквани резултати: Детето самостоятелно довършва модел по образец, като селектира форма, размер и цвят. Съединява елементи, като ги залепва и свързва посредством велкро.</p> <p>Вариант за реализация на педагогическата ситуация:</p> <p>Играта „Танграм” се състои от седем плочки, наречени тани, които при подходящо нареждане образуват квадрат. Целта е да се редят специфични фигури, зададени само със силуетите им, но при условие, че се използват всичките седем плочки и то така, че да не се застъпват. Седемте плочки са съответно: 5 равнобедрени триъгълника с различна големина; един квадрат и един успоредник.</p> <p>Модулът Лице 1 е условно разделен на две части – отляво е интерактивната „черна”</p>		

⁹⁹⁵ <https://umnodete.com/sedem-plochki-na-poznaniето-ili-matematikata-kato-detska-igra>

дъска от велкро, а отдясно – примерна готова фигура „танграм” и джоб със скрити разноцветни плочки „тани”. Учителят предварително е подготвил картинки, които показват коя част къде да се постави. Всяко дете самостоятелно закрепя върху дъската своя дизайн на фигура „танграм”. Играта дава възможност децата да се научат да разпознават различните видове геометрични фигури, да ги сортират по размер, цвят и вид.

Модул 2 – „ЗАБАВНА КРЪСТОСЛОВИЦА”

Лице 2	Лице 1	Подвижни елементи
		

Образователно направление: „БЪЛГАРСКИ ЕЗИК И ЛИТЕРАТУРА”, „ОКОЛЕН СВЯТ”

Образователно ядро: Звукова култура; Културни и национални ценности; Светът на природата и неговото опазване.

Очаквани резултати: Децата да придобият умения да определят звука в началото и в края на думата; да разпознават и назовават графични знаци на някои печатни букви, свързани с наименованията на познати лица и предмети; да съставят срички и да изписват двусрични думи. Да назовават лични, официални и национални празници. Да назовават поне едно условие за живот и развитие на растенията.

Вариант за реализация на педагогическата ситуация:

С помощта на педагога децата закопчават чрез тик-так копче последователно подвижните избродирани детайли /торта, роза, ягода, диня, луна, заек/ на съответните места. Назовават фигурата, описват я с най-характерните й качества /например, „вкусна торта”/ и след това поставят в началото на всяка дума липсващата буква. Посочват втората липсваща буква от всяка дума, закрепват я с помощта на велкро. Вертикално в кръстословицата се образува думата „Родина”, която децата произнасят. Разглеждат избродираното изображение на картата на България и заедно рецитират първия стих на стихотворението „Аз съм българче”.

Модул 3 – „АЗ ОБИЧАМ БЪЛГАРИЯ”

Лице 2	Лице 1	Подвижни елементи
--------	--------	-------------------



Образователно направление: „ОКОЛЕН СВЯТ”, „МАТЕМАТИКА”

Образователно ядро: Културни и национални ценности; Равнинни фигури.

Очаквани резултати: Детето назовава и разпознава официалните и национални символи. Графично възпроизвежда геометрични фигури.

Вариант за реализация на педагогическата ситуация:

Учителят насочва децата към темата на ситуацията – задава въпрос „На какво ви прилича цветната фигура отдясно?” /три правоъгълника – бял, зелен, червен/. Децата изказват своите предположения. Заедно изговарят буква по буква изречението „**АЗ обичам БЪЛГАРИЯ**”. Групираат в три групи по цветове подвижните триъгълници. С помощта на педагога подреждат пъзел, който изгражда националния флаг. Изслушват химна на Република България и се научават как да се държат, когато той звучи.

Модул 4 – „КОЛКО Е ЧАСЪТ?”



Образователно направление: „МАТЕМАТИКА”

Образователно ядро: Времеви отношения; количествени отношения.

Очаквани резултати: Децата познават предназначението на часовника като уред за измерване на времето. Подреждат часовете върху циферблата в правилна последователност. Разпознават точен час и го моделират върху циферблата. Определят реда на обект в редица от дванадесет предмета. Броят в прав и обратен ред.

Вариант за реализация на педагогическата ситуация:

Числата на часовника са подвижни и се закрепят към циферблата чрез тик-так копчета, което дава възможност за развитие на фината моторика. Учителят обяснява значението на голямата и малката стрелка на часовника. Първата задача е децата да подредят подвижните елементи от 1 до 12 в правилната последователност върху циферблата. Следващата задача е свързана с определянето на точен час. Децата завъртат малката и голямата стрелки на часовника според зададен им точен час. Задачата се изпълнява и в обратен ред – децата определят часа, показан на циферблата. В процеса на играта детето се запознава с понятията ден, нощ, час, минута и секунда.

Модул 5 – „НЕ СЕ СЪРДИ ЧОВЕЧЕ”⁹⁹⁶

Лице 2	Лице 1	Подвижни елементи
		

Образователно направление: „МАТЕМАТИКА”, „ОКОЛЕН СВЯТ”

Образователно ядро: Количествени отношения, Пространствени отношения, Самоутвърждаване и общуване с околните.

Очаквани резултати: Детето брои до шест в прав ред. Определя реда на обекти, взаимното разположение (пред, зад), пространствените отношения (вътре, вън, между). Познава и спазва духа на „честната игра”. Разбира разликата между ролеви и реални взаимоотношения.




Вариант за реализация на педагогическата ситуация:

„Не се сърди, човече” е класическа настолна игра за деца със зар и цветни комплекти пионки. Игралното табло е изработено на компютърна шевна машина, а игралните зони представляват четири народни шевици, извезани на бродировъчна машина в различна цветова гама. Върху редицата са отбелязани стартовите и финални полета за пионките от съответен цвят. В началото на играта учителят обяснява правилата. Децата са разделени на четири отбора. Всеки отбор подрежда пионките си в изходните позиции върху игралното поле. За пионки се използват различни по цвят

⁹⁹⁶https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5_%D1%81%D0%B5_%D1%81%D1%8A%D1%80%D0%B4%D0%B8,_%D1%87%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D1%87%D0%B5

за всеки отбор капачки. Пионките на всички играчи се движат по посока обратна на часовниковата стрелка. Играта започва отборът, чийто участник пръв хвърли зарчето с шестлица. По време на играта, дете, което отново хвърли 6, има право да играе повторно. Победител е отборът, който пръв вкара четирите пионки в центъра.

Модул 6 – „ЗАБАВНА МАТЕМАТИКА”

Лице 2	Лице 1	Подвижни елементи
		

Образователно направление: „МАТЕМАТИКА”

Образователно ядро: Количествени отношения, Пространствени отношения.

Очаквани резултати: Детето възприема събирането като практическо добавяне, а изваждането като отнемане на част от група. Брои до девет в прав и обратен ред, отброява предмети до девет. Определя реда на обект в редица от девет предмета. Възприема събирането като практическо добавяне, а изваждането като отнемане на част от група.

Вариант за реализация на педагогическата ситуация:

В два плика са поставени подвижни елементи – цифри от 1 до 9, знаци за събиране, изваждане, равенство, и различни фигури-плодове. На интерактивна дъска, изработена от велкро, децата се обучават да подреждат редицата на числата от 1 до 9. С помощта на педагога решават математически задачи от събиране и изваждане.

Модул 7 – „ЕЖКО БЕЖКО СЪБИРА ХРАНА ЗА ЗИМАТА”

Лице 2	Лице 1	Подвижни елементи
		

Образователно направление: „МАТЕМАТИКА”, „ОКОЛЕН СВЯТ”.

Образователно ядро: Количествени отношения; Светът на природата и неговото

опазване.

Очаквани резултати: Детето има представа за промените в поведението на някои животни в различните сезони. Възприема събирането като практическо добавяне, а изваждането като отнемане на част от група

Вариант за реализация на педагогическата ситуация:

Ежко Бежко събира храна за зимата като отговаря на зададена математическа задача. Всеки правилен отговор носи награда – ябълка, гъбка, морковче и др. Децата придобиват умения да извършват операциите отнемане и прибавяне на числата от 1 до 9.

Модул 8 – „ПЛОДОРОДНА ЕСЕН”

Лице 2	Лице 1	Подвижни елементи
		

Образователно направление: „ОКОЛЕН СВЯТ”, „МАТЕМАТИКА”, „КОНСТРУИРАНЕ И ТЕХНОЛОГИИ”.

Образователно ядро: Количествени отношения; Измерване; Светът на природата и неговото опазване; Обработване на материали, съединяване и свързване.

Очаквани резултати: Детето разбира потребностите на растенията през различните сезони. Назовава поне едно условие за живот и развитие на растенията. Показва в природен календар метеорологичното време и сравнява промените в сезоните. Сравнява обекти по техни признаци: големина и цвят. Сравнява броя на обектите (до 10) в две множества. Съединява елементи, като закачва и откачва.

Вариант за реализация на педагогическата ситуация:

Ситуацията започва с беседа, чрез която се уточнява, че лятото вече отминава и идва следващият сезон – есента. Педагогът насочва децата към темата на ситуацията – наричат този сезон „плодородна есен” – защо? Децата изказват своите предположения. Уточнява се, че голяма част от плодовете зреят в края на лятото и началото на есента и това е сезонът, в който хората подготвят зимнина за следващия сезон – зимата. Беседата продължава с въпрос „Къде растат плодовете?”. Въвежда се терминът овощна градина. Задачата се реализира фронтално с групата. Учителят избира конкретен плод - ябълка, а децата я назовават. Описват я. Едно дете закача

ябълката върху дървото, а останалите следят за правилно изпълнение на задачата. Децата се сменят до приключване на обектите. Ябълките на дървото са подвижни и се закрепват към дървото с копче и ластиче. Следващата задача затвърждава знанията за част-цяло и голям-малък, развива се наблюдателността и окомера у децата. Децата обират плодовете на дървото, като ги сортират в двете касетки по различни признаци – цвят, големина. Така се развиват уменията за групиране и класифициране по различен признак. Децата изброяват събраните плодове в касетките и решават задачи за отнемане и прибавяне.

Модул 9 – „КОЯ Е ДУМАТА?”

Лице 2	Лице 1	Подвижни елементи
		

Образователно направление: „БЪЛГАРСКИ ЕЗИК И ЛИТЕРАТУРА”, „ОКОЛЕН СВЯТ”.

Образователно ядро: Звукова култура; Светът на природата и неговото опазване.

Очаквани резултати: Детето определя звука в началото и в края на думата.

Разпознава и назовава графични знаци на някои печатни букви, свързани с наименованията на познати лица и предмети; съставя срички и изписва двусрични думи. Има представа за промените в поведението на някои животни в различните сезони. Разбира потребностите на растенията през различните сезони. Назовава поне едно условие за живот и развитие на растенията.

Вариант за реализация на педагогическата ситуация:

Учителят провежда беседа с цялата група. Върху интерактивната дъска, изработена от черно велкро, той поставя последователно фигура на животно, плод или зеленчук. Назоават я заедно с децата като артикулират фонемите в срички. Затвърждават се думите: петел, куче, риба, гъба, тиква, ябълка. По всяка от фигурите педагогът формулира словосъчетания и кратки изречения – петелът кукурига, кучето лае, рибата плува, гъбата има пънче, тиквата е оранжева, ябълката е сладка и т.н. Децата и учителят назовават различните фигури и обясняват тяхното предназначение. На дъската се закрепва една от фигурите, скрити в джоба в долния ляв ъгъл. След назоваване на обекта, учителят изважда от джоба нужните букви. Задачата е децата да се научат да съставят четири, пет и шестбуквени думи след показване от педагога

като се цели придобиване на елементарни познания за сричкване и четене. Посочено дете поставя липсващите звукове в началото / в края на думата или само гласните звукове. Играта се повтаря с всички фигури, като децата се сменят до приключване на обектите.

Модул 10 – „ИГРА НА ДАМА”



Образователно направление: „ФИЗИЧЕСКА КУЛТУРА”.

Образователно ядро: Игрова двигателна дейност.

Очаквани резултати: Детето владее набор от подвижни игри: щафетни; за усъвършенстване техниката на естествените движения; за комплексно развитие на двигателните способности. Познава и спазва духа на „честната игра”.

Вариант за реализация на педагогическата ситуация:

Модулите се подреждат по схемата на Фиг. 3, като децата съединяват отделните модули посредством завързване тип „панделка” на рипсовите ленти една с друга. Децата се разделят на два отбора. С хвърляне на зарче се определя кой отбор ще играе първи. Първият играч трябва да хвърли капачка на полето с номер 1, след което трябва да скача на един крак като стъпва във всяко поле, а там където са две – с двата крака. В последното поле се обръща и тръгва обратно, като на връщане се спира преди квадратчето, в което е капачката и докато е на „куц крак” трябва да се наведе и да го вдигне. После се връща до началото и продължава с номер 2. Трябва да се внимава да не се излезе извън очертанията на полето. Който сбърка, губи реда си и започва следващият участник. Хвърлянето на капачка не трябва да излиза извън очертанията на желаното поле. Това се повтаря от едно до девет. Печели този, който първи успее да стигне и да изиграе полето с числото девет.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внедряването на интерактивния килим-трансформър като средство за обучение в детски градини би могло да промени традиционния учебен процес в нерегламентираните игрово-познавателни педагогически ситуации, като го направи по-модерен и ориентиран към индивидуалните нужди на всяко дете.

Децата могат да развиват основни познавателни умения, като решаване на логически задачи и разпознаване на форми и цветове, както и двигателна координация чрез активни игри и физическа активност.

3D килимът насърчава работата в екип, комуникацията и взаимодействието между децата, като стимулира емоционалната интелигентност и социалните умения. Учителите могат да създават ситуации на сътрудничество и съревнование, които подпомагат развитието на децата.

Пилотната мостра на килима-трансформър е тествана с активното участие на деца от трета и четвърта група от детска градина „Зорница” в гр. Сливен

Научните изследвания, резултатите от които са представени в настоящата публикация, са финансирани от Вътрешния конкурс на ТУ-София - 2024 г.

СПИСЪК С ИЗПОЛЗВАНИ ИЗТОЧНИЦИ

1. <https://lex.bg/bg/laws/ldoc/2136850647>
2. Sivova M., T. Peneva, V. Ganey, The Interactive Carpet Made of Textile Materials as an Innovative Educational Tool in Kindergarten, Proceedings of the Technical University of Sofia, vol. 74, issue 3, 2024, Bulgaria, DOI: 10.47978/TUS.2024.74.03.012
3. <https://www.noviteroditeli.bg/zaedno/ot-7-do-10-ot-11-do-14/kak-se-igraeshe-na-dama>

4. <https://umnodete.com/sedem-plochki-na-poznaniето-ili-matematikata-kato-detska-igra>

5. https://bg.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%B5_%D1%81%D0%B5_%D1%81%D1%8A%D1%80%D0%B4%D0%B8,_%D1%87%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D1%87%D0%B5

ИНОВАТИВЕН ПОДХОД ЗА ДИЗАЙН НА ТЪКАНИ, ИЗРАБОТЕНИ В СПЛИТКА ФИГУРНО ДВОЙНО ЛИТО

Таня Пенева

Технически университет-София, Колеж-Сливен
tannna.peneva@tu-sofia.bg, тел.: 0878278067

***Анотация:** Високата конкуренция в сектора поставя пред производителите на облекло сложната задача да произвеждат нови модели облекла в кратки срокове. Един от подходите за решаването на проблема е използването на разнообразни платове за изработка на изделията. Това от своя страна налага пред производителите на тъкани да разширят и разнообразят асортимента си. Непрекъснато повишаващите се цени на суровините и енергийните източници налагат решението на проблема да се измести от практическите аспекти като структура и влакнест състав на платовете и да се насочи към тяхното художествено оформяне.*

Настоящата разработка представя изследване на възможностите за проектиране на нови дизайни платове чрез сплитка фигурно двойно лито.

***Ключови думи:** проектиране на тъкани, художествено оформяне на тъкани, сплитка фигурно двойно лито.*

INNOVATIVE DESIGN APPROACH FOR FABRICS MADE IN FIGURED DOUBLE PLAIN WEAVE

Tanya Peneva

College – Sliven, Technical University-Sofia
tannna.peneva@tu-sofia.bg, tel.: 0878278067

***Abstract:** The high competition in the sector, poses a complex task for clothing manufacturers to produce new clothing models in a short time. One approach to solving the problem is to use a variety of fabrics to make the products. This, in turn, makes it necessary*

for fabric manufacturers to expand and diversify their product range. The constantly rising prices of raw materials and energy sources make it necessary to shift the solution of the problem away from practical aspects such as the structure and fibre composition of fabrics and towards their artistic design.

This paper presents an investigation into the possibilities of designing new fabric designs using figured double plain weave

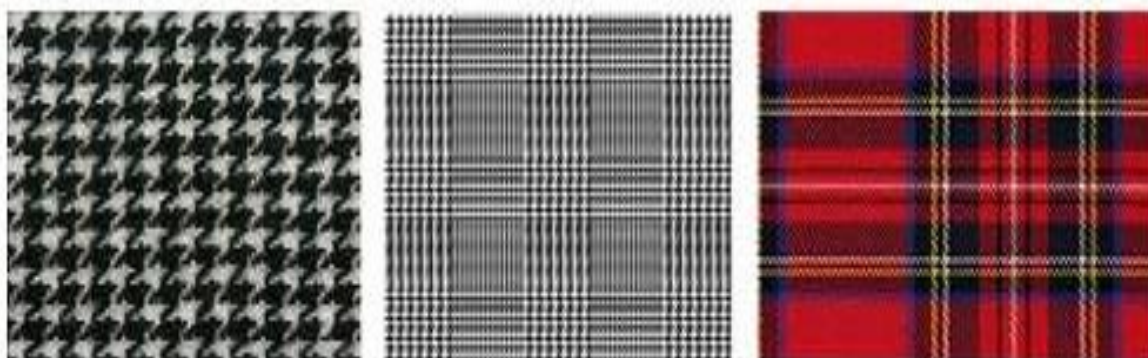
Keywords: *figured double plain weave, design of fabrics*

ВЪВЕДЕНИЕ

Модата е движеща сила в живота на съвременния човек. Най-ярък израз на този социален феномен е облеклото. Между облеклото и платовете съществува тясна функционална зависимост. Този факт поставя пред производителите на тъкани сложната задача, да произвеждат голям и бързо променящ се асортимент от артикули.

Високата конкуренция в сектора, непрекъснато повишаващите се цени на суровините и енергийните източници, налагат решението на проблема да се измести от практическите аспекти като структура и влакнест състав на платовете и да се насочи към тяхното художествено оформяне.

Дизайнът на платовете е комплексна дейност, обединяваща и отчитаща редица фактори - модни тенденции, предназначение, влакнест състав, конструкция, различни апретурни обработки, технологични възможности на машините и др. Независимо от развитието на техниката и технологиите, нишелковите тъкачни машини налагат известни ограничения при дизайнът на тъканите. Най-разпространени са т.нар класически десени като различните видове райета, карета, популярният дизайн пепит и не на последно място Glen Check, наричан още Prince of Weles check – фиг.1.



А – пепит⁹⁹⁷

Б - Glen Check⁹⁹⁸

В – шотландско каре⁹⁹⁹

Фиг.1. Десени на тъкани платове

Представените дизайни се изграждат от различни по цвят и размер линии, фигурни разцветки на първичните сплитки и техните производни. За разширяване асортимента на изделията е необходимо да бъдат изследвани възможностите за дизайн на тъкани с комбинирани и сложни сплитки.

Настоящата разработка има за цел създаването на нови иновативни дизайни на тъкани на базата на сплитка фигурно двойно лито.

ИЗЛОЖЕНИЕ

Сплитката фигурно двойно лито принадлежи към групата на сплитките за двойни тъкани. Известно е, че двойните тъкани са изградени от две самостоятелни системи нишки, като съществуват различни методи за свързването им. Сплитката фигурно двойно лито се базира на принципа на т.нар. кухи тъкани. Двата плата се свързват помежду си като променят своето положение един спрямо друг т.е. горният плат преминава в долната равнина, а долният в горната.¹⁰⁰⁰ Някои автори твърдят, че в този

⁹⁹⁷ <https://www.art-fabric.ru/tvid-kostyumnyy-gusinaya-lapka-klassika-008903>

⁹⁹⁸ <https://natalyaworobei.blogspot.com/2018/10/blog-post.html>

⁹⁹⁹ Martin, R., Clans and Tartans of Scotland, Mainstream Publishing Company, The Limited, 1996.

Розанов Ф.М., Кутепов О.С., Жупикова Д.М., Молчанов С.В. Строение и проектирование тканей. - М.: Государственное научно-техническое издательство Министерства промышленных товаров широкого потребления СССР, 1953¹⁰⁰⁰

Характерна особеност за този вид тъкани е свързването между двата слоя, което е по контура на проектираната фигура. В следствие на размяната на положението им фигурите на опаковата страна са негатив на фигурите от лицевата. Всеки слой плат се образува от преплитането на собствената му основа и вътък, което дава възможност, получените фигури да бъдат с ясни и чисти цветове. Това се дължи на факта, че при този начин на тъкане се избягва ефектът на едновременен контраст на цветовете на преплитащите се нишки. Размерът на фигурите трябва да се проектира в зависимост от функционалното предназначение на тъканта, тъй като в тях се образува кухня, която може да влоши качеството на изделието¹⁰⁰².

Тъканите изработени в сплитка фигурно двойно лито са предназначени най-вече за различни видове битови текстилни изделия – покривки, дамаски, ковертюри. Намират широко приложение и в приложното изкуство и ръчното тъкачество – фиг.3.



Фиг.3. Шал, изработен в сплитка фигурно двойно лито¹⁰⁰³



Фиг.4. Дизайн на тъкан в сплитка фигурно двойно лито

При анализ на дизайните на този вид артикули, се установява, че в повечето случаи се използват различни по големина правоъгълници, квадрати или фигури, образувани от тях, които са разположени успоредно на основата на тъканта. Това се дължи на факта, че при проектирането на

¹⁰⁰² Shenton, J. Woven Textile Design, <https://www.pdfdrive.com/woven-textile-design-e166930205.html>

¹⁰⁰³ <https://evasweaving.wordpress.com/2010/02/14/patterned-double-weave-two-projects/>

изделията, се спазва разпространеното в практиката правило: Всяко изменение на контура на фигурата да бъде равно на повтората на сплитката, което значително облекчава проектирането на тъканите, дава възможност да се изработват по-големи фигури, но контурите им са по-груби и стълбовидни.

За използването на сплитка фигурно двойно лито при производството на изделия с приложение в облеклото е необходимо фигурите да бъдат с по-ясни, фини и гладки контури. Това налага необходимостта от нов подход при проектирането им, като за оформяне контура на фигурите се използва възможно най-малкото изместване. При разглежданата сплитка най-малкото възможно изместване е равно на $\frac{1}{2}$ от повтората и т.е. - 2 нишки

ПРОЕКТИРАНЕ НА ФИГУРИ СЪС СПЛИТКА ФИГУРНО ДВОЙНО ЛИТО

Направен е сравнителен анализ на двата метода за проектиране на десени със сплитка фигурно двойно лито. За целта са проектирани две мостри с различни геометрични фигури: Мостра 1 е кръг; Мостра 2 е квадрат, стоящ на единият си връх и разположен перпендикулярно на вътъка на тъканта.

От всяка мостра са проектирани по два варианта с еднакви размери, като при вариант 1 очертаването на контура е с изместване равно на повтората на сплитката – 4 нишки, а при вариант 2 с изместване равно на $\frac{1}{2}$ от повтората на сплитката – 2 нишки.

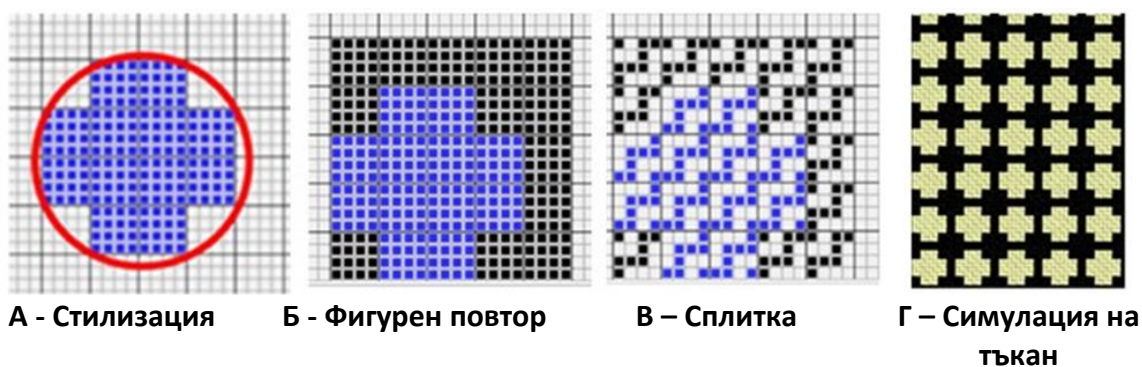
Първоначално е представена стилизацията на фигурите върху мрежна хартия, всяко квадратче, от която отговаря на едно прекръстосване на нишките от сплитката. Съставена е сплитката на тъканта като за фон на тъканта е използван Модул 1, а за проектираната фигура е използвана Модул 2. Направена е симулация на изделието с помощта на приложен софтуер.

На фиг. 5 са представени етапите от проектирането на Мостра 1 - вариант 1, на фиг.6. Мостра 1 – вариант 2, на фиг.7. Мостра 2 – вариант 1 и

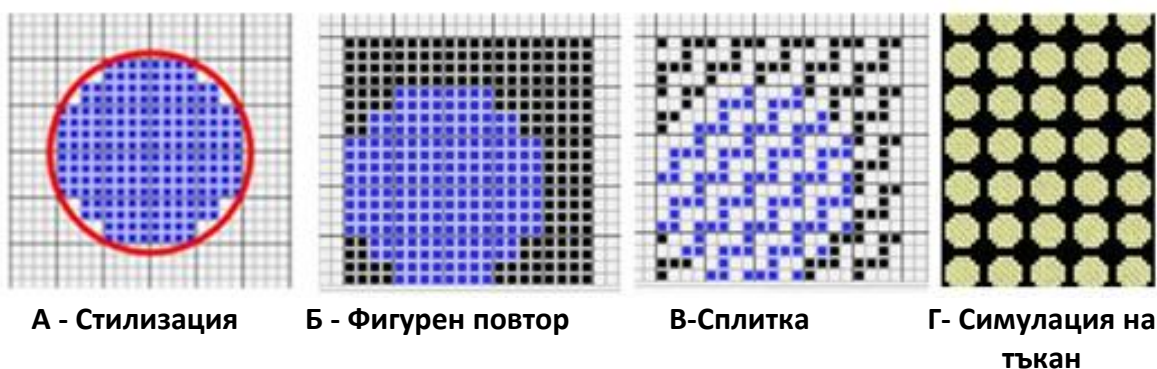
на фиг.8. Мостра 2 – Вариант 2. Проектите са осъществени с помощта на софтуерните продукти DB – Weave и Weave Point Demo.

Съставен е алгоритъм за изработване на образците, който включва следните етапи: Определяне на фигурата за проектиране; Определяне броят на нишките по основа и вътък, съгласно размера на желаната фигура и вътъчната и основна гъстина на артикула; Стилизиране на фигурата; Изработване на цветния повтор; Съставяне на сплитката; Визуализация на тъканта с приложен софтуер; Производство на експериментален образец.

Проектиране на Мостра 1

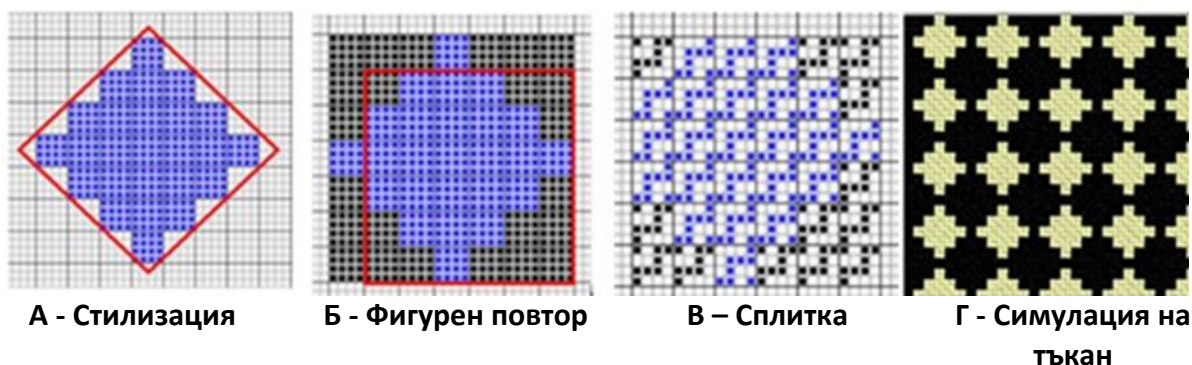


Фиг.5. Етапи на проектиране на Мостра 1 - Вариант 1

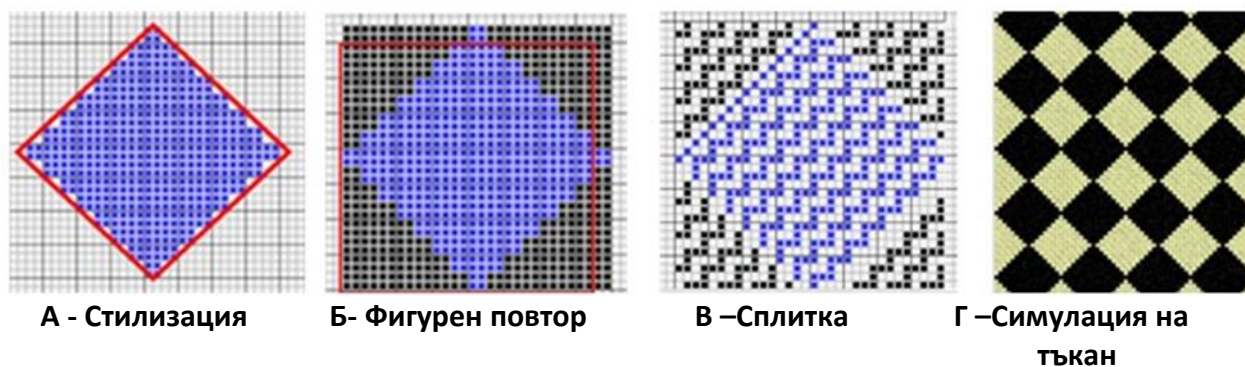


Фиг.6. Етапи на проектиране на Мостра 1 - Вариант 2

Проектиране на Мостра 2



Фиг.7. Етапи на проектиране на Мостра 2 - Вариант 1



Фиг.8. Етапи на проектиране на Мостра 2 - Вариант 2

Анализът на проектираните мостри установи:

- Десенът на проектираната тъкан на Мостра 1 - Вариант 1 и се различава значително от проектирания;
- Десенът на проектираната тъкан на Мостра 1 - Вариант 2 съответства на проектираната форма;
- Десенът на проектираната тъкан на Мостра 2 –Вариант 1 съответства на проектирания, но контурът на линиите е стъпаловиден;
- Размерът на фигурите на Мостра 2 – Вариант 1 се отклонява от проектирания;
- Десенът и размерът на фигурите на Мостра 2 – Вариант 2 съответстват на проектирания, като контурът на линиите е гладък.

Проведеният сравнителен анализ на двата метода за проектиране на тъкани със сплитка фигурно двойно лито позволява да се направят следните изводи:

- Проектирането на контура на фигурите с изместване равно на $\frac{1}{2}$ от повтора на сплитката дава възможност за производството на тъкани с по-ясни очертания и сложни форми;
- Размерите и формата на фигурите съответстват на идейния замисъл.

ИЗРАБОТВАНЕ НА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЕН ОБРАЗЕЦ

За изработването на експерименталния образец е избрана сплитката на Мостра 2 – Вариант 2. Взето е решение да се използват три цвята преди. Целта е освен контура и формата на линиите на фигурите да се изследва и ефектът на едновременен контраст на цветовете при прекръстосването на преждите.



Фиг.9. Проект на експерименталния образец



Фиг.10. Произведен експериментален образец

Проектираната тъкан е със следните характеристики:

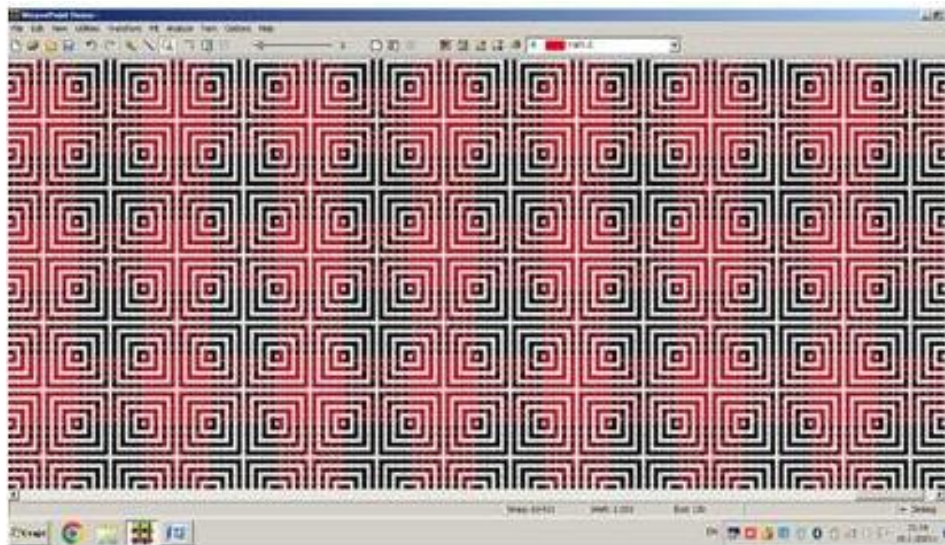
Основна гъстина на суровия плат:	30 [бр. нишки / cm]
Вътъчна гъстина на суровия плат:	28 [бр. нишки / cm]
Състав и линейна плътност на прежди за основа:	100% Памук, 30 [tex]
Състав и линейна плътност на прежди за вътък:	97% Вискозна коприна 3% Еластан, 30 [tex]
Сноване:	16(1А, 1Б) 16(1В, 1Б)
Соване:	16(1А, 1Б) 16(1В, 1Б)
Основна гъстина на готовия плат:	40 [бр. нишки / cm]
Вътъчна гъстина на готовия плат:	32 [бр. нишки / cm]
Ширина и грамаж на готовия плат:	145 cm, 350 [g/m]

Експерименталната мостра е изработена със съдействието на фирма „E.Miroglio” EAD. На фиг.9 са представени проектът, експерименталният вариант – фиг.10. Установено е съответствие между дизайна на проекта и експерименталния вариант. Едновременния контраст на цветовете, създава илюзията за допълнителен цвят, което разширява възможностите за проектиране.

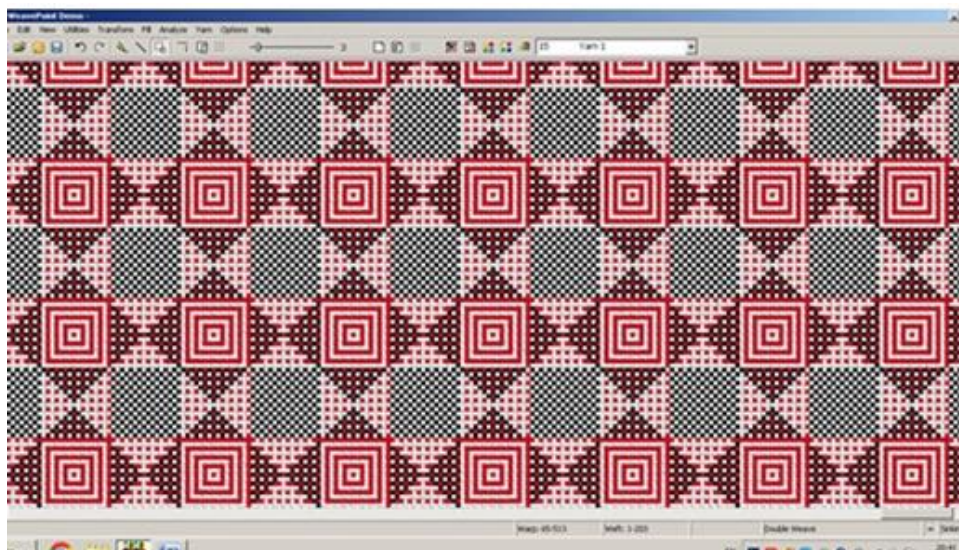
Проектирани са дизайни чрез промяна на цветното редуване на преждите базата на разработената сплитка. За означаване цветовете на преждите са използвани означенията: А – червено, Б –бяло, В –черно. Разработените дизайни са с еднакво сноване и соване. На фиг. 11 е представен дизайн: 8(2А, 2Б) 8(2В, 2Б). На фиг. 12 е представен дизайн: 8(2А, 2Б) 8(2В, 2Б). На фиг. 13 - 16(1В,1Б) 8(2А,2Б).



Фиг.11.Дизайн с цветово редуване: 8(2А, 2Б) 8(2В, 2Б).



Фиг.12.Дизайн с цветово редуване: 8(2А, 2Б) 8(2В, 2Б).



Фиг.12.Дизайн с цветово редуване: 16(1В,1Б) 8(2А,2Б).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разширяването на асортимента на тъканите платове е немислимо без разработването на нови дизайни. Оперирането само с промени в цветовото редуване на преждите е недостатъчно и налага значителни ограничения при художественото оформяне на тъканите.

Направеното изследване на възможностите за създаване на нови дизайни с помощта на сплитка фигурно двойно лито, представя нови перспективи за разширяване на асортимента на тъканите.

Предложеният нов подход за проектиране и съставяне на сплитката дава възможност да се проектират фигури с разнообразни форми и гладки контури.

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://www.art-fabric.ru/tvid-kostyumnyy-gusinaya-lapka-klassika-008903>
2. <https://natalyaworobei.blogspot.com/2018/10/blog-post.html>
3. Martin, R., Clans and Tartans of Scotland, Mainstream Publishing Company, The Limited, 1996.

4. Розанов Ф.М., Кутепов О.С., Жупикова Д.М., Молчанов С.В. Строение и проектирование тканей. - М.: Государственное научно-техническое издательство Министерства промышленных товаров широкого потребления СССР, 1953

5. Б.Лунд-Иверсен, Ткацкие переплетения, Издательство Техника, София 1989.

6. Shenton, J. Woven Textile Design, <https://www.pdfdrive.com/woven-textile-design-e166930205.html>

7. <https://evasweaving.wordpress.com/2010/02/14/patterned-double-weave-two-projects/>

ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА ПО ПЪТЯ КЪМ ЦИФРОВИ ДНЕВНИЦИ НА СТРОЕЖИТЕ

Мария Тодорова

Университет по архитектура, строителство и геодезия, София
e-mail: m.todorova_fce@uacg.bg

Михаела Кутева-Генчева

Университет по архитектура, строителство и геодезия, София
e-mail: kouteva_fce@uacg.bg

Любка Пашова

Национален институт по геофизика, геодезия и география –
Българска академия на науките
e-mail: lpashova@geophys.bas.bg

Анотация: *Цифровите дневници на строежите създават възможност за прилагане на съвременен подход за управление на строителната информация, централизирано съхранение на данни и улеснен достъп до информация на заинтересованите страни за целия жизнен цикъл на сградния фонд. Успешните примери за внедряване на цифрови дневници в строителната практика и интеграцията им със СИМ и кадастрални системи предоставят нови перспективи за по-ефективно управление на данните, създаване на прозрачност и възможности за разработване на нови бизнес модели и инструменти за устойчиво строителство. Въвеждането на цифровите дневниците е свързано с редица предизвикателства като избор на подходяща класификационна система, методи за събиране, съхраняване и валидиране на данни за съществуващи сгради, осигуряване на надеждност и сигурност на информацията и др.*

Ключови думи: *цифрови дневници на сгради, сграден фонд, класификационна система, СИМ, кадастрална система*

CHALLENGES ON THE ROAD TO DIGITAL BUILDING LOGBOOKS

Maria Todorova

University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, Sofia
e-mail: m.todorova_fce@uacg.bg

Mihaela Kouteva-Guetcheva

University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy, Sofia
e-mail: kouteva_fce@uacg.bg

Lyubka Pashova

National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography – Bulgarian
Academy of Sciences, Sofia
e-mail: lpashova@geophys.bas.bg

Abstract: *Digital building logbooks create an opportunity to implement a modern approach to construction information management, centralized data storage, and facilitated access to information for stakeholders for the entire life cycle of the building stock. Successful examples of implementing digital logs in construction practice and their integration with BIM and cadastral systems provide new perspectives for more effective data management, creating comprehensive sector transparency and opportunities for developing new business models and tools for sustainable construction. The digital logs implementation faces many challenges related to the choice of an appropriate classification system, methods for collecting and validating data for existing buildings and their storage, ensuring timeliness, accuracy (correctness), and security of information, etc.*

Keywords: *digital building logbook, building stock, classification scheme, BIM, cadastral system*

1. Необходимост и ползи от цифрови дневници

В съвременните условия на динамичен технологичен прогрес, прилагането на дигитализация в строителството е неотложен приоритет. Традиционният формат на документи на хартия често затруднява тяхното съхраняване и намиране, което води до загуби на информация и забавя вземането на решения. Цифровите дневници (ЦД) обединяват процесите по събиране, съхранение и управление на информация за сградния фонд в

една интегрирана система. Те предоставят централизирана база данни с възможност за обновяване в реално време, осигурявайки актуални данни за всички заинтересовани страни.¹⁰⁰⁴ SWOT анализът на фиг. 1 ясно илюстрира основните аспекти на необходимостта и ползите от тяхното въвеждане.



Фиг. 1. SWOT анализ на цифровите дневници

Цифровите дневници предлагат платформа за ефективно управление на застроената среда. Те представляват основен инструмент за устойчиво развитие и интегрирано планиране, като същевременно намаляват оперативните разходи и улесняват достъпа до конкретна информация за отделните компоненти на сградния фонд.

1.1. Европейско и национално законодателство

Увеличаващата се потребност от цифровизация в строителния сектор е тясно свързана с изискванията на европейското и националното законодателство. Процесът на дигитализацията в строителството се разглежда в редица европейски директиви и национални законодателни

¹⁰⁰⁴ Тодорова, М., Класификационните системи като възможен инструмент за създаване на цифров паспорт на сгради и съоръжения, II Младежка научна конференция, стр. 61-70

актове (Таблица 1), в които е структурирана съвременната рамка за цифровизация на информацията, свързана със сградния фонд.

Таблица 1. Европейско и национално законодателство за дигитализация

Документ	Същност	Кратко описание
Директива 2007/2/ЕО (INSPIRE) ¹⁰⁰⁵	Инфраструктура за пространствена информация в ЕО	Закон за достъп до данните ¹⁰⁰⁶ Национален портал за пространствени данни https://inspire.egov.bg/
Директива (ЕС) 2019/1024 ¹⁰⁰⁷	Отворени данни и повторно използване на информацията от обществеността	Задължава публичните органи да предоставят данни за повторна употреба, вкл. данни за сградите, които да бъдат достъпни в стандартизирани формати, улесняващи тяхното използване
Директива (ЕС) 2024/1275 ¹⁰⁰⁸	Енергийни характеристики на сградите	Стандартизация на цифровите формати и осигуряване на оперативна съвместимост между различни системи и платформи, за по-лесен обмен на данни и интеграцията на цифрови технологии в строителния процес
„Цифрова България 2025” ¹⁰⁰⁹	Цели в областта на цифровата трансформация	Въвеждане на интелигентни информационно-технологични решения във всички сфери на икономиката и социалния живот, включително в строителния сектор

¹⁰⁰⁵ Директива 2007/2/ЕО на Европейския парламент и на Съвета от 14 март 2007 г. за създаване на инфраструктура за пространствена информация в Европейската общност (INSPIRE)

¹⁰⁰⁶ Закон за достъп до обществена информация. Обнародван в Държавен вестник, бр. 55 от 7 юли 2000 г

¹⁰⁰⁷ Директива (ЕС) 2019/882 на Европейския парламент и на Съвета от 17 април 2019 година относно изискванията за достъпност на продуктите и услугите

¹⁰⁰⁸ Директива (ЕС) 2024/1275 на Европейския парламент и на Съвета от 24 април 2024 година относно енергийните характеристики на сградите

¹⁰⁰⁹ Национална програма „Цифрова България 2025”. Приета с Решение № 730 от 5 декември 2019 г.

Стратегия за цифрова трансформация на строителния сектор до 2030г. 1010	Разработване на нормативна рамка и информационна инфраструктура, вкл. формати за електронно предаване на строителна документация, съхранение и систематизиране на данни в регистри и интеграция на информационни системи. Предвижда се и създаване на бази данни за устройствено планиране, инвестиционно проектиране, разрешаване на строителството, кадастър и свлачищни процеси, които да бъдат достъпни електронно за заинтересованите страни.
--	--

1.2. Нарастваща значимост на цифровите решения в строителството

Строителният сектор е един от най-големите потребители на ресурси. Липсата на ефективно управление често води до загуби на време, материали и средства. Цифровизацията предлага решения за преодоляване на тези проблеми чрез автоматизация, дигитално управление на данни и внедряване на иновативни технологии. Съвременните инструменти за автоматизация като Строително информационно моделиране (СИМ), Интернет на нещата (IoT) и изкуствен интелект предоставят решения за последяване на напредъка, оптимизиране на ресурсите и намаляване на разходите.

Въвеждането на ЦД на сградите е съществена стъпка по пътя на дигитализацията на строителния сектор, насочена към повишаване на прозрачността на строителните процеси. ЦД на сградите представляват централизирана система за съхраняване и управление на данни за всяка фаза от жизнения цикъл на строежа – от проектиране до разрушаване или промяна на предназначението. Те предоставят прозрачност и отчетност, оптимизация на управлението във фазите на строителния процес, на енергийната ефективност (ЕЕ) и др., с което ще подпомогнат строителния

¹⁰¹⁰ Национален стратегически документ „Цифрова трансформация на България за периода 2024–2030 г.”, приет с Решение № 264 от 4 април 2024 г.

сектор да отговори на съвременните предизвикателства и да осигури по-добри резултати за всички заинтересовани страни.

1.3. Централизирано съхранение и достъп до цифрови данни за устойчиво строителство

Цифровите дневници на сградите представляват централизирана платформа за съхранение и управление на данни, която обхваща целия жизнен цикъл на сградата – от проектиране и строителство до експлоатация и разрушаване. Те съхраняват разнообразни данни, включително (1) статични данни - архитектурни планове, разрешение за строеж и др.; (2) динамични данни - показатели за ЕЕ, използвани материали, история на ремонтите и др. Източниците на тези данни могат да бъдат кадастрални карти, енергийни сертификати, IoT устройства и др.¹⁰¹¹, което улеснява достъпа до информация за собственици, строители, застрахователи и регулаторни органи. Централизираното съхранение на данни и информация позволява всички участници в строителния процес да могат да използват единна платформа за достъп до информация в реално време. Интеграцията със СИМ улесняват проследимостта на жизнения цикъл на сградния фонд и оценка на въздействието върху околната среда.¹⁰¹² Чрез интегриране на кръговата икономика и устойчивото управление на ресурси, ЦД играят важна роля в насърчаването на устойчивото строителство. Информацията, която съхраняват за строителните материали, включва детайли за произхода, рециклирането и повторната им употреба. Това позволява ЦД да играят роля в намаляването на въглеродния отпечатък на строителния сектор чрез: (1) управление на материалите, (2) оценка на въглеродните емисии, (3) стратегическо планиране на ремонти. Данните в дневника позволяват оценка на ЕЕ и

¹⁰¹¹ Gómez-Gil, et al., (2022). Contribution of New Digital Technologies to the Digital Building Logbook. *Buildings, Buildings*, 12(12), 2129.

¹⁰¹² Buchholz, M., & Lützkendorf, T. (2023). European building passports: developments, challenges and future roles. *Buildings and Cities*, 902–919p

спомагат за идентифициране на възможности за подобрения.¹⁰¹³ Дневниците осигуряват актуални данни, което води до намаляване на загубите и повишаване на ефективността при поддръжката на сградите.

1.4. Роля на ЦД в управлението на застроената среда

Цифровите дневници имат за цел да подкрепят устойчивото развитие чрез предоставяне на детайлни и структурирани данни, които могат да бъдат използвани при пространствено планиране и управление на урбанизираните територии. Те могат да се интегрират с географска информация чрез възможността за съвместяване на сградни данни с кадастрални карти и географски информационни (ГИС) системи. Това позволява генерирането на визуални справки за градоустройствената среда, които могат да бъдат използвани от общини, архитекти и урбанисти за вземане на информирани решения.¹⁰¹⁴ Съвързането на дневниците с ГИС позволява професионално картографиране на специфична информация за застроената среда като енергийно потребление, година на построяване и история на ремонтите върху кадастрална карта. Така потребителите ще имат възможност да разглеждат данни за конкретни райони, квартали или местности, което ще улесни идентифицирането на зони, нуждаещи се от реновация.

Цифровите дневници значително улесняват достъпа до информация за сградите както за държавни институции, така и за частни потребители. С осигуряването на централизирано хранилище на информация, те подпомагат оценката и мониторинга на различни параметри като: (1) ЕЕ – осигуряват точни данни за текущото състояние на застроената среда, което подпомага планирането на реновации с цел нейното повишаване и (2) устойчивост –

¹⁰¹³ Alonso, R., etc., (2023). Towards the Definition of a European Digital Building Logbook: A Survey. *Heliyon* 9(9), e19285. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19285>

¹⁰¹⁴ Buildings Performance Institute Europe (BPIE). (2024). Unlocking the Potential of Digital Building Logbooks for a Climate-Neutral Building Stock.

подпомагат анализите за въздействие върху околната среда и устойчивото използване на ресурси.¹⁰¹⁵

2. Добри практики за успешна интеграция на цифрови системи за строителни данни

Редица европейски проекти и национални инициативи в Европа успешно интегрират модела на цифров дневник на сградата¹⁰¹⁶ (Таблица 2.) и демонстрират неговия потенциал за подпомагане на устойчивото управление, ЕЕ и прозрачността в строителния сектор. Европейските проекти и националните инициативи демонстрират значителния потенциал на ЦД за управление на строителния сектор. Те улесняват устойчивото планиране, оптимизират разходите и подобряват прозрачността, което е ключово за постигане на целите за устойчиво развитие и ЕЕ. България може да използва тези добри практики за адаптиране и разширяване на своя „Технически паспорт” така, че да отговаря на съвременните нужди от информация.

Цифровият дневник е ключов компонент на строително-информационния модел (СИМодел), позволяващ централизирано управление на данните. В процеса на проектиране и строителство той осигурява актуализация в реално време и надежден архив на документираните решения и промени. Интеграцията на ЦД в 3-4-5-6D СИМодели подпомага мониторинга на проекта, като изпълнителите регистрират напредъка, синхронизиран с модела. При предаване на строежа ЦД предоставя пълна документация за ползване и управление. Във фазите на експлоатация и реновация той служи като архив на конструктивни и оперативни данни, улеснявайки поддръжка и адаптации. Цифровата трансформация предполага свързване на дневника със системи

¹⁰¹⁵ Gómez-Gil, M., Espinosa-Fernández, A., & López-Mesa, B. (2023). A New Functionality for the Digital Building Logbook: Assessing the Progress of Decarbonisation of National Building Sectors. *Environmental Impact Assessment Review*, 97, 107393. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107393>

¹⁰¹⁶ Carbonari, G., etc. (2020). Definition of the Digital Building Logbook. Publications Office of the European Union.

за мониторинг (IoT) и цифрови близнаци, като се осигурява актуализация в реално време за ЕЕ, заетост и поддръжка.

Дигиталният двойник е виртуално копие на физическа сграда, което обединява статични и динамични данни от сензори и устройства за наблюдение на състоянието, прогнозиране на повреди и планиране на поддръжка. Дигиталният двойник обогатява информацията в ЦД чрез непрекъснат поток от данни и възможност за визуализации в реално време. Интеграцията на тези инструменти улеснява проследяването на сградни промени, оценката на екологичния отпечатък и насърчава устойчиви решения.

Таблица 2. Добри практики в Европа за интеграция на цифров дневник

Проект/ Държава	Характеристики
ALDREN	<ul style="list-style-type: none">• стимулиране на инвестициите в „дълбоки” реновации;• създаване на почти нулево енергийни сгради;• „Паспорт за реновация”, включващ пътна карта за обновяване и цифров дневник;• дневникът съдържа информация за ЕЕ, геометрията и обвивката на сградата, което улеснява планирането и изпълнението на устойчиви ремонти.
iBroad	<ul style="list-style-type: none">• индивидуални пътни карти за реновация, с цел повишаване на ЕЕ на жилищата;• удобен достъп до централизирани данни за собствениците и фасилити мениджърите;• предоставя информация за строителните материали, енергийното потребление и препоръчителните мерки за подобрене.

X-tendo	<ul style="list-style-type: none"> • разширяване на енергийните сертификати чрез модулен подход; • ЦД служи като хранилище за информация, свързана с енергийното потребление, използваните материали и характеристиките на сградата; • насърчава устойчивото планиране и оптимизацията на сградните фондове в ЕС.
Рамка на ЕС за ЦД ¹⁵	<ul style="list-style-type: none"> • структура за централизирано съхранение, управление и обмен на данни за сградите през целия им жизнен цикъл; • обединява информация от различни източници - СИМ, ГИС и IoT системи; • подпомага създаването на стандартизирани и достъпни платформи, които да улеснят цифровизацията на строителния сектор в Европа.
Германия	<ul style="list-style-type: none"> • „Hausakte” - Досие на дома, включващо цялата необходима информация за новопостроени еднофамилни къщи; • поддръжката и актуализирането е задължение на собствениците; • съхранява данни за конструкцията, използваните материали и извършените ремонти.
Финланд-дия	<ul style="list-style-type: none"> • „Building passport” - централизирано електронно хранилище, което съдържа информация за ЕЕ, строителни материали и климатични данни; • подпомага устойчивото управление на сградния фонд и насърчава дългосрочното планиране.
Шотланд-дия	<ul style="list-style-type: none"> • „Home report” - задължителен документ при продажба на имоти; • данни за енергийното състояние, текущото състояние на имота и препоръчителните ремонти; • подобрява прозрачността и подпомага устойчивото управление на жилищния фонд.
Италия	<ul style="list-style-type: none"> • Fascicolo del Fabbricato – Лична карта на сградата • съдържа информация за безопасността, експлоатацията и поддръжката на сградата; • актуализира се на всеки 10 години; • насърчава прозрачността и ефективността в сделките с недвижими имоти.

Пример за приложение е дигиталният двойник на гр. София, разработван от Институт GATE¹⁰¹⁷, който симулира градски процеси и съдържа данни като етажност, конструктивни характеристики, ЕЕ и екологични показатели. Цифровите дневници съхраняват информация за енергийна консумация и други параметри, използвани за симулации на устойчиви сценарии. Комбинирането им с дигиталния двойник оптимизира управлението на сградния фонд, улеснява планирането на ремонти и подобрява ефективността на застроената среда.

3. Предизвикателства при внедряването на ЦД

3.1. Структура и обхват на ЦД

Класификационните системи са инструмент за организиране и категоризиране на информацията, съдържаща се в ЦД. Те представляват единни структури за идентификация на елементите и компонентите на сградата и подпомагат ефективното управление на данните.¹

При избора на класификационна система за ЦД на сградите, Construction Operations Building Information Exchange (COBie) се откроява като ефективно решение.¹ Това е отворен стандарт за обмен на информация, която обхваща данните за активите на сградата и структуриран формат за описание на тези данни (Таблица 3). CoBie обединява структура и формат за обмен на информация в рамките на СИМ процеса, свързана и поддръжката на завършените строежи в процеса на експлоатация. Тази структура може да бъде допълвана и променяна според конкретна задача. Тя предоставя формат за организиране и обмен на данни за операциите и поддръжката на сгради, който може да бъде поддържан от различни софтуерни приложения и системи за управление на информация за сградния фонд.

¹⁰¹⁷ Dimitrov, H. and Petrova-Antonova, D.: 3D city model as a first step towards digital twin of Sofia city, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLIII-B4-2021, 23–30, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B4-2021-23-2021>, 2021.

Таблица 3. Структурата на COBie таблицата

Contact	Контакти на лица, свързани с обекта
Facility	Обща информация за сградата – име, адрес, собственик и др.;
Floor	Информация за етажите – име, кота, височина и др.;
Space	Информация за помещенията – функция, площ, етаж и др.;
Zone	Например информация за отделните апартаменти в една сграда
Type	Описва различни типове оборудване или обзавеждане
Component	местоположение; описание; модел; продавач; гаранция; дата на монтаж; размери
System	Информация за сградните инсталации
Assembly	Описва съставните части на отделни компоненти или системи
Connection	Информация за връзките между отделни компоненти или системи
Job	Задачи, свързани с поддръжката на сградата
Resource	Ресурси и материали, необходими за поддръжка
Spare	Резервни части за различните компоненти и системи
Document	Гаранции, декларации за експлоатационни характеристики и др.;
Attribute	Допълнителни спецификации на елементи
Issue	Възможност за записи, свързани с определени въпроси или проблеми

Европейските проекти като iBRoad, X-Tendo, BIM4EEB и ALDREN, заедно с рамката на ЕС (Фиг. 2, 3) са ценен ресурс за разработването на национални решения. Те предлагат разнообразни технологии и подходи за управление и дигитализация на сградната информация, които се различават по обхват, цели и ниво на интеграция. Разработването на ефективни национални системи за ЦД, съобразени с местните изисквания и нужди, изисква внимателен задълбочен анализ на тези различия. Изборът на рамката на ЕС за ЦД за разширяване на техническите паспорти е логична стъпка към модернизиране и оптимизиране на управлението на сградния фонд в България. Това позволява съчетаването на съществуващия технически паспорт с европейските стандарти и законови рамки като осигурява съвместимост с международните практики и подпомага интеграцията на различни системи като ГИС и СИМ, които са важни за

дигитализацията на сградния фонд. Графиката на фиг. 2 визуализира основните прилики и разлики между нея и техническия паспорт, подчертавайки предимствата на избора на подход.



Фиг. 2. Сравнение между рамката на ЕС за цифрови дневници и техническия паспорт

3.2. Събиране и валидиране на данни за сградния фонд

Събирането и валидирането на данни за ЦД на съществуващи сгради представлява значително предизвикателство в процеса на дигитализация на строителния сектор. Много често за вече построени сгради липсва актуална документация, често има несъответствия в наличната информация и необходимост от конвертиране на данни в цифров формат. В България проблемът се задълбочава от липсата на задължителна паспортизация. По данни на Министерството на регионалното развитие и благоустройство от 2021 г. едва 2200 жилища имат паспорти, като по-голямата част от тях са съставени във връзка с участие в програми за обновяване и подобряване на енергийните им характеристики.¹⁰¹⁸ Липсата на централизирано хранилище за технически паспорти е друг огромен проблем. Малкото съществуващи документи се

¹⁰¹⁸ Министерски съвет на Република България. (2021). Дългосрочна национална стратегия за подпомагане обновяването на националния сграден фонд от жилищни и нежилищни сгради до 2050 г. Приета с Решение № 8 на Министерския съвет от 27 януари 2021 г.

съхраняват във физически архиви и достъпът до тях е изключително труден. Дигитализирането на съществуващата информация и конвертирането на аналогови данни изисква време и ресурси. Необходимо е унифицирането на данните, за да се осигури съвместимост и лесна интеграция в цифровите системи и надежно валидиране на данните. Валидирането на данните в ЦД на сградите и осигуряването на тяхната актуализация и актуалност са от съществено значение за ефективното управление на сградния фонд. Валидност и актуалност на данните може да се осигури с помощта на няколко метода: (а) автоматизирани проверки; (б) сравнение с други източници и (в) ръчна проверка. Актуалността на информацията в ЦД актуална се поддържа чрез редовно въвеждане на нови данни след извършени ремонти, промени в собствеността или други значими събития, свързани със сградата. Ясното дефиниране на отговорностите на различните заинтересовани страни за поддържане и обновяване на данните е от съществено значение.

	Предимства	Ограничения
IBROAD	Събира и съхранява информация за текущото състояние на сградата, улеснявайки планирането на бъдещи подобрения.	Фокусира се основно върху еднофамилни къщи; Успехът зависи от участието на собствениците
X-TENDO	Позволява адаптиране към специфичните нужди на различни държави и пазари.	Изисква координация между различни заинтересовани страни и адаптация към националните регулации.
BIM4EEB	Интеграция със СИМ технологии Подобрена ефективност на реновациите	Високи първоначални разходи Изисква специализирани знания и умения за работа със СИМ софтуер.
ALDREN	Фокус върху дълбоки реновации и повишаване на качеството на живот	Сложност на процеса
РАМКА НА ЕК ЗА ЦД	Съответствие с регулаторните рамки на ЕС Подобрена прозрачност и достъп до данни	Затруднена дигитализация за някои държави поради липса на условия Трудности при защита на лични данни
ТЕХНИЧЕСКИ ПАСПОРТ	Задължителен в някои случаи Съдържа информация за конструкцията, инсталациите и извършените ремонти.	Ограничена актуализация Липса на цифровизация Не е изцяло задължителен

Фиг. 3. Предимства и ограничения на европейските проекти за цифрови дневници и техническия паспорт в България

3.3. Връзка с кадастър

Концепцията за ЦД на сграда е въведена чрез законодателството на ЕС с европейската стратегия „Вълна на обновяване“ („Renovation Wave“), 2020 г.¹⁰¹⁹. При определяне на енергийните характеристики в Директивата за сградите (EPBD)¹⁰²⁰, ЦД се определя като „общо хранилище за всички съответни данни за сградите, включително данни, свързани с енергийните характеристики, като сертификати за енергийни характеристики, паспорти за обновяване и интелигентни индикатори за готовност, които улесняват вземането на информирани решения и споделянето на информация в рамките на строителния сектор, между собствениците и обитателите на сгради, финансовите институции и публичните органи“. Съгласно член 19 от EPBD „Държавите-членки гарантират, че националната база данни за енергийните характеристики на сградите е оперативно съвместима и интегрирана с други административни бази данни, съдържащи информация за сгради, като националните кадастри на сградите и цифровите дневници на сградите“. Това условие задължава свързването на базите данни на националните сертификати за енергийна ефективност с ЦД, съответно с базите данни на кадастъра (БДК)¹⁰²¹. Кадастралните карти и кадастралните регистри се изготвят в графичен и писмен вид, съхраняват се в цифров вид и са основа за създаване на поземлен регистър, изготвяне на устройствени планове, инвестиционни проекти и др. дейности.

Изградената кадастрално-административна информационна система на България (<https://kais.cadastre.bg/>), съгласно ЗКИР (2001)¹⁰²²

¹⁰¹⁹ European Commission. COM. 662 Final—A Renovation Wave for Europe—Greening our Buildings, Creating Jobs, Improving Lives; European Commission: Brussels, Belgium, 2020.

¹⁰²⁰ European Commission. COM. 802 Final—Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the Energy Performance of Buildings (Recast); European Commission: Brussels, Belgium, 2021.

¹⁰²¹ Malinovec Puček, M.; Khoja, A.; Bazzan, E.; Gyuris, P. A Data Structure for Digital Building Logbooks: Achieving Energy Efficiency, Sustainability, and Smartness in Buildings across the EU. *Buildings* 2023, 13, 1082. <https://doi.org/10.3390/buildings13041082>

¹⁰²² Закон за кадастъра и имотния регистър. Обнародван в "Държавен вестник", бр. 34 от 25 април 2000 г.

съдържа основни данни за местоположението, границите и размерите на недвижимите имоти. Всеки обект от кадастъра получава свой собствен идентификационен номер - уникален номер, с който недвижимият имот се идентифицира еднозначно на територията на страната. ЦД съдържа информация за всяка сграда с координати и уникален идентификатор, която лесно може да се интегрира в база данни на ГИС. Данните за всяка сграда в кадастралните регистри включват контур на сградата, РЗП, брой етажи, предназначение и адрес. Информацията за съоръженията в сградата включва идентификатор, местоположение, етаж и предназначение, вкл. има информация за правото на собственост и други вещни права. Уникални идентификационни номера се издават за самостоятелен обект на собственост (СКОП) в сграда или в съоръжение на техническата инфраструктура или за част от сградата или съоръжението, която има самостоятелна функция и сграда с открити стени, като апартамент, офис, студио, гараж, магазин и др. Основно предизвикателство в процеса на реализиране на връзката ЦД-БДК е осигуряване на съвместимост във форматите и структурата на данните.

3.4. Сигурност и защита на данните

Сигурността и защитата на данните са основополагащи аспекти при внедряването и управлението на ЦД.¹⁵ Въпросите за поверителността на информацията и защитата от неоторизиран достъп са ключови за доверието на потребителите и успешната реализация на този инструмент. Дневниците трябва да отговарят на изискванията на Регламент (ЕС) 2016/679 на Европейския парламент и на съвета относно защитата на физическите лица във връзка с обработването на лични данни и относно свободното движение на такива данни.¹⁰²³ Това включва ограничаването на достъпа до чувствителна информация само за оторизирани лица и осигуряване на възможност за скриване на поверителни данни при нужда,

¹⁰²³ Регламент (ЕС) 2016/679 на Европейския парламент и на Съвета от 27 април 2016 година относно защитата на физическите лица във връзка с обработването на лични данни и относно свободното движение на такива данни

както и защита на ЦД от кибератаки чрез внедряване на съвременни решения за сигурност, включително криптиране на данните и двуфакторна автентикация (напр. чрез електронен подпис) за лицата, които могат да променят информацията в тях.

3.5. Финансови и икономически аспекти

Внедряването на ЦД за сгради е комплексен процес, който носи дългосрочни икономически и оперативни ползи и изисква значителни първоначални инвестиции. Основните разходи включват разработването и поддръжката на онлайн платформи, дигитализацията на съществуващите архиви, закупуването на софтуер и обучението на персонала. В дългосрочен план основните ползи са минимизиране на човешки грешки и икономия на време чрез значително съкращаване на срока за събиране и валидиране на данни, както и за изготвяне на различни справки, скици и карти и възможността за обмяна на тази информация в цифров вид по съответните канали.

4. Заключение и коментари

Цифровите дневници предлагат уникална възможност за дигитализация и модернизация на управлението на застроената среда. Развитието им е тясно свързано с европейското законодателство и националните инициативи, с енергийната ефективност и дигитализацията в строителния бранш. Чрез тяхната интеграция с ГИС и градоустройствени данни, те осигуряват мощен инструмент за устойчиво и ефективно планиране на урбанизираните територии. Въвеждането на този мощен съвременен инструмент за дигитализация в строителния бранш е свързано с редица технически, институционални и технологични предизвикателства. Всички те са преодолими във времето, като скоростта на преодоляване зависи от добрата професионална и политическа воля на участниците в строително-инвестиционния процес.

Използвани източници:

1. Тодорова, М. (2024). Класификационните системи като възможен инструмент за създаване на цифров паспорт на сгради и съоръжения, Сборник доклади от II Младежка научна конференция, стр. 61-70.
2. Директива 2007/2/ЕО на Европейския парламент и на Съвета от 14.03.2007 г. за създаване на инфраструктура за пространствена информация в Европейската общност (INSPIRE)
3. Закон за достъп до обществена информация. Държавен вестник, бр. 55/07.07.2000 г.
4. Директива (ЕС) 2019/882 на Европейския парламент и на Съвета от 17.04.2019 г. относно изискванията за достъпност на продуктите и услугите.
5. Директива (ЕС) 2024/1275 на Европейския парламент и на Съвета от 24.04.2024 г. относно енергийните характеристики на сградите.
6. Национална програма „Цифрова България 2025”, Приета от МС с Решение № 730/05.12.2019 г.
7. Национален стратегически документ „Цифрова трансформация на България за периода 2024–2030 г.” Приет от МС с Решение № 264 от 4.04.2024 г.
8. Gómez-Gil, M. et al. (2022). Contribution of New Digital Technologies to the Digital Building Logbook. *Buildings*, *Buildings*, 12(12), 2129.
9. Buchholz, M., & Lützkendorf, T. (2023). European building passports: developments, challenges and future roles. *Buildings and Cities*, 902–919.
10. Alonso, R. et al. (2023). Towards the Definition of a European Digital Building Logbook: A Survey. *Heliyon* 9(9), e19285. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19285>.
11. Buildings Performance Institute Europe (BPIE). (2024). Unlocking the Potential of Digital Building Logbooks for a Climate-Neutral Building Stock.
12. Gómez-Gil, M., Espinosa-Fernández, A., & López-Mesa, B. (2023). A New Functionality for the Digital Building Logbook: Assessing the Progress of

Decarbonisation of National Building Sectors. Environmental Impact Assessment Review, 97, 107393. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2023.107393>

13. Carbonari, G. et al. (2020). Definition of the Digital Building Logbook. Publ. Office of the European Union.

14. Dimitrov, H. and Petrova-Antonova, D. (2021). 3D city model as a first step towards digital twin of Sofia city, Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLIII-B4-2021, 23–30, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B4-2021-23-2021>.

15. Министерски съвет на Република България. (2021). Дългосрочна национална стратегия за подпомагане обновяването на националния сграден фонд от жилищни и нежилищни сгради до 2050 г. Приета с Решение № 8 на Министерския съвет от 27.01.2021 г.

16. European Commission. COM. 662 Final—A Renovation Wave for Europe—Greening our Buildings, Creating Jobs, Improving Lives; European Commission: Brussels, Belgium, 2020.

17. European Commission (2021).COM. 802 Final—Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the Energy Performance of Buildings (Recast); EC: Brussels, Belgium.

18. M. Puřcek, M.;Khoja, A.; Bazzan, E.; Gyuris, P. A. (2023). Data Structure for Digital Building Logbooks: Achieving Energy Efficiency, Sustainability, and Smartness in Buildings across the EU, Buildings, 13, 1082, <https://doi.org/10.3390/buildings13041082>.

19. Закон за кадастъра и имотния регистър. Държавен вестник, бр. 34/25.04.2000 г.

20. Регламент (ЕС) 2016/679 на Европейския парламент и на Съвета от 27.04.2016 г. относно защитата на физическите лица във връзка с обработването на лични данни и относно свободното движение на такива данни

ANALYSUS OF SERVEY RESULTS AMONG STUDENTS ON THE USE OF COMPUTER TECHNOLOHIES IN ARCHITCTURAL EDUCATION

Martin Evlogiev

University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy
evlogievm_far@uacg.bg, 0895995703

Abstract: *This study explores the role of computer technologies in architectural education through a survey of architecture students at the University of Architecture, Civil Engineering, and Geodesy. Findings indicate that students view the curriculum as well-aligned with industry standards, equipping them with essential skills in software such as AutoCAD and BIM. Additionally, there is interest in integrating advanced tools like Rhino and Twinmotion to expand capabilities in 3D modeling and visualization. Recommendations include greater access to video tutorials, reflecting a preference for flexible, self-paced learning options. Overall, the results underscore the need for continuous adaptation of the curriculum to better prepare students for the demands of a technology-driven architectural field.*

Keywords: *architectural education, computer technologies, software training, BIM, visualization tools, digital skills, architecture, education, digitization, archviz, architectural design*

1. INTRODUCTION

The survey aimed to present the primary objectives and context of the research conducted among architecture students. The survey took place at the end of the summer semester of the 2023/2024 academic year (in June and July). The timing was chosen as students had already completed and assimilated the curriculum, allowing a realistic assessment of their additional needs for understanding and tackling more complex issues within the respective software products. A total of 47 students from the University of Architecture, Civil Engineering, and Geodesy, across various study years, participated in the survey. The main focus of the research was on assessing the

use of computer technologies and software in architectural education and on exploring students' perceptions regarding the effectiveness of these technologies in the learning process.

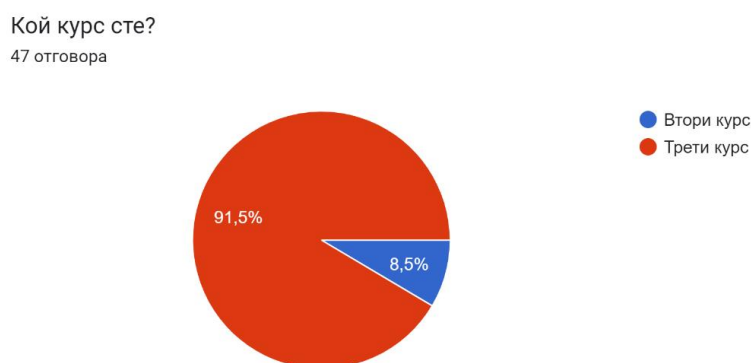


Fig. 1 Number of Survey Participants

The survey's objective was to gather participants' opinions on their satisfaction with the software and teaching methods used, to determine the extent to which the curriculum meets their needs, and to collect suggestions for possible improvements. The analysis of the results aims to provide recommendations for the more effective integration of new technological solutions, such as introducing new software tools and resources that could enhance students' practical and theoretical skills in architectural design.

2. THE USEFULNESS OF CURRICULUM WITH COMPUTER PROGRAMS

Most students reported that the curriculum with computer programs was beneficial for them. This feedback is crucial in understanding the role of software tools in architectural education. In architecture, mastering computer technologies enables students not only to visualize their projects but also to analyze complex structures and interactions within the design process.

Учебната програма с изучаваните компютърни програми беше ли полезна за Вас? Моля, обосновайте се в последния ред.

47 отговора

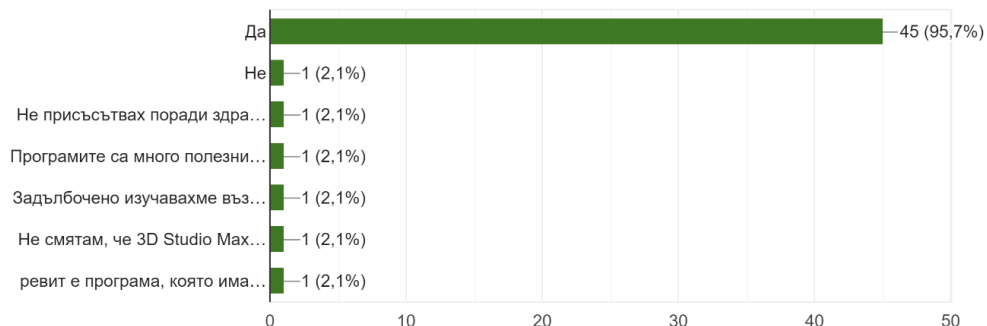


Fig.2 Questions 2

The positive responses indicate that the curriculum aligns well with current professional needs. This also highlights the importance of the program's practical focus, helping students acquire skills applicable to the labor market. Additionally, students may perceive the curriculum as contemporary and relevant to the latest technological trends in the industry, such as the integration of modeling, simulation, and analysis software.

3. MEETING EXPECTATIONS FROM ARCHITECTURAL SOFTWARE TRAINING

Обучението по преминатия архитектурен софтуер покри ли очакванията Ви, които имахте в началото на курса? Моля, обосновайте се в последния ред.

47 отговора

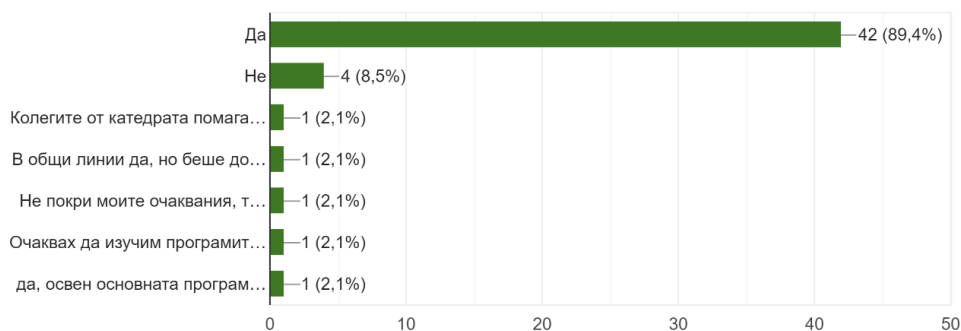


Fig.3 Questions 3

Evaluations on whether the architectural software training met students' expectations were also predominantly positive. Architectural education inherently involves a variety of disciplines, ranging from classical architectural principles to modern digital tools. Using these software tools allows students to develop their technical skills alongside their artistic talent.

The positive feedback in this section suggests that instructors likely achieve a successful balance between theoretical preparation and practical application. Students seem to appreciate the integration of new software and methodologies that directly address their expectations at the start of the course. The program's alignment with new digital design standards, a crucial element in contemporary architecture, is also noteworthy.

4. LEVEL OF KNOWLEDGE AND SKILLS ACQUIRED IN COMPUTER DISCIPLINES

Смятате ли, че нивото на знания и умения, които получавате по изучаваните компютърни дисциплини ще Ви дадат предимство при кандидат...тта? Моля, обосновайте се в последния ред.
47 отговора

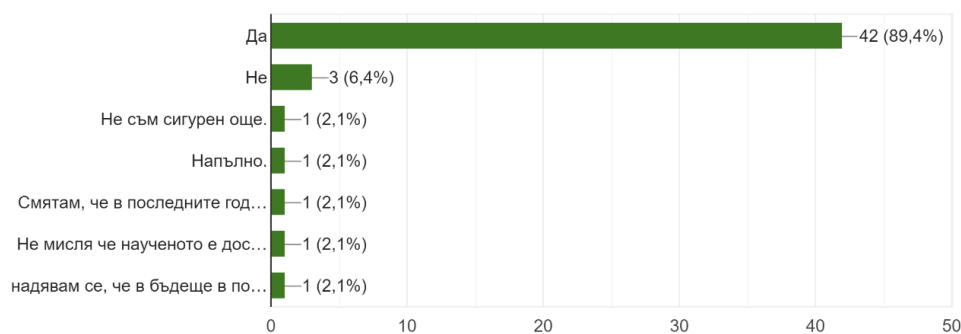


Fig.4 Questions 4

The next section of the survey examined the level of knowledge and skills students acquire during the course. A positive assessment in this area is critical for the quality of the education itself. Today's architectural education extends beyond mere building design skills and includes expertise in a range of software essential for an architect's professional development.

The fact that students feel adequately prepared in this area indicates that the program accurately reflects technological advancements in the industry. Developing skills in areas such as computer modeling, simulations, and visualization is vital for the modern architect. Proficiency with software like AutoCAD, Rhino, or BIM systems enhances students' competitiveness upon course completion.

5. NEED FOR NEW SOFTWARE IN THE CURRICULUM

Смятате ли, че преподаваните дисциплини имат ползва за бъдещото Ви професионално развитие? Моля, обоснове се в последния ред.
47 отговора

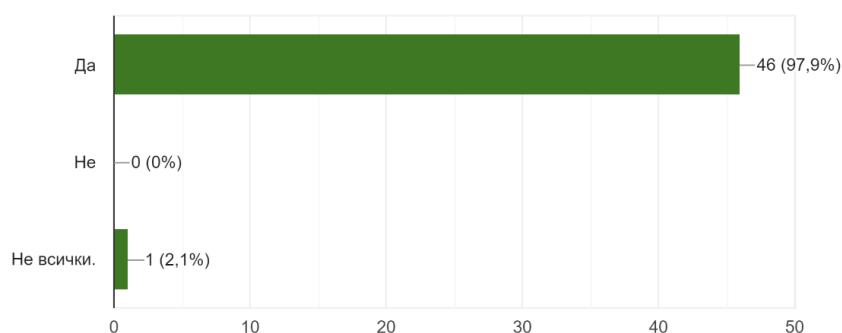


Fig.5 Questions 5

When asked if new software products should be introduced to replace existing ones, most students responded negatively. This could be interpreted as a sign that the current software suite sufficiently meets educational needs. Students appear to be satisfied with the tools provided and may not feel the need for new platforms at this stage in their training.

The lack of need for new software may also suggest that the existing programs offer the necessary range of functions and capabilities for learning and design. This is a positive indicator of curriculum quality, showing it is not lagging behind the profession's development and providing students with the essential tools for contemporary practice.

6. SUGGESTIONS FOR NEW SOFTWARE IN FUTURE TRAINING

Смятате ли, че в този курс трябва да се изучава друг софтуерен продукт вместо изучаваните? Моля, обосновете се в последния ред.

47 отговора

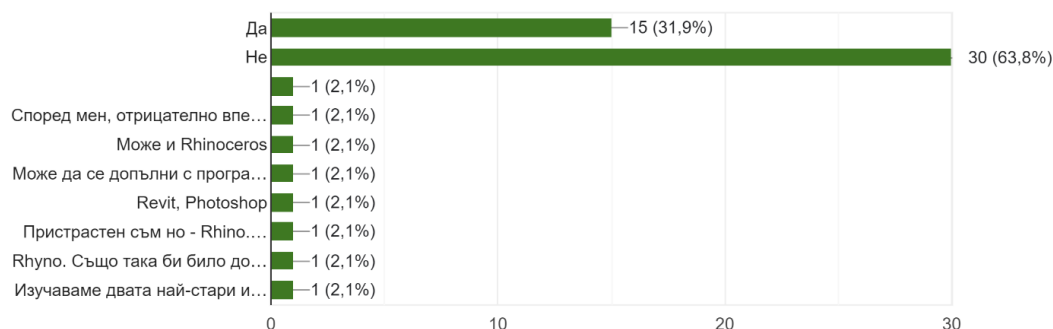


Fig.6 Questions 6

Although students do not believe that existing software should be replaced, some have suggested new programs that could be beneficial in upcoming courses. The software most frequently mentioned in the survey includes „Rhino” and „Twinmotion,” indicating students’ interest in additional visualization and 3D modeling tools.

„Rhino” is a popular 3D modeling software often used in architectural settings to create complex and innovative shapes. Its popularity among students can be explained by the flexibility it offers in designing unconventional architectural forms and structures. „Twinmotion,” on the other hand, is a visualization and animation software that allows for the creation of realistic 3D visualizations in real-time. This tool is particularly valuable for students seeking to present their ideas in a more visual and interactive manner.

It would be advisable for instructors to consider incorporating these tools into the curriculum, as they could expand students’ creative expression and project presentation capabilities.

7.RECOMMENDATIONS FOR TEACHING MATERIAL

The survey also included recommendations for improving the teaching material. Some students suggested uploading video tutorials on the platform, which would provide additional support in understanding the material. This

indicates that students are seeking more flexibility and access to resources outside the classroom, which would facilitate their self-learning.

This recommendation can be viewed as a response to the growing demand for remote and hybrid learning in modern educational contexts. Uploading video tutorials could make it easier for students to review materials and work on their projects with additional resources. Although there is already a system in place with an updated video tutorial library on current topics, functions, and challenges, students often do not utilize it, despite systematic instructions on how to access the information they need.

8.CONCLUSION

The survey clearly demonstrates the importance of computer technologies in architectural education and their impact on students' development. Although the current curriculum is positively received by participants, there is a notable desire for the integration of additional software tools and modern technologies. The recommendations for using Rhino and Twinmotion, as well as adding video tutorials, indicate the need for greater diversity in educational resources and underscore the importance of continuously enhancing teaching methods.

Incorporating new platforms and digital tools could enrich the learning process, providing students with access to more modern and practically applicable technologies. This would better prepare them for the dynamic architectural practice, where proficiency with contemporary software is key to successful project execution. In this context, video materials and self-directed learning play a significant role, especially in the realm of remote education and the increasingly globalized educational environment.

The survey results also highlight the importance of a balanced approach to education. Despite high satisfaction with the program, students express a need for broader access to resources that allow for independent work and more in-depth practical training. This underscores the importance for

educational institutions to remain flexible and open to changes, while offering a learning environment that encourages critical thinking and innovation.

Finally, the survey shows that instructors play an essential role in implementing new technologies and adapting curricula to meet labor market needs. This implies that universities should encourage the ongoing professional development of their staff to stay current with new trends in architectural design and visualization. Based on personal observations, it can be argued that students currently lack the motivation and interest to actively seek information. Based on the numerous evaluations, tests, and assignments conducted during the semester, only a few access the electronic resource platform or use online platforms (search engines, YouTube, etc.) for reference. This may result from a lack of skills in information searching in today's technological world, which is subject to further study and research.

In conclusion, the survey results emphasize the need for continued development and enhancement of architectural education programs. Integrating new tools and technologies, alongside maintaining flexible teaching methods, will help students be better prepared for their professional careers in an increasingly technology-oriented world.

Source used

1. Personal conclusions and observations

ARTIFICIAL INTELLIGENCE – TOOL FOR DESIGN AND AUTOMATION

Martin Evlogiev

University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy
evlogievm_far@uacg.bg, 0895995703

Abstract: *This paper examines the transformative potential of advanced technologies—artificial intelligence, virtual and augmented reality, robotics, and 3D printing—in contemporary architectural and construction practices. Their integration enables automation, precision, and optimization in design and building processes, while offering innovative ways to engage with spatial environments. These technologies also introduce challenges, including high costs, specialized knowledge requirements, and potential job displacement. The study emphasizes the need for educational initiatives and interdisciplinary collaboration to fully harness these technologies for the evolving demands of the field.*

Keywords: *artificial intelligence, computer technologies, architecture, education, digitization, archviz, 3D printing, virtual reality, augmented reality, VR, AR, modeling, AI*

1. INTRODUCTION

The introduction of this study outlines the main sections defining artificial intelligence and the developmental stages of specific technologies currently utilized in architectural practice, particularly in the creation of architectural and construction documentation. Since their inception, computer technologies and systems have dynamically evolved, profoundly impacting human activity. This evolution has subsequently influenced the role of these technologies in architectural and creative processes, where they were initially employed for automation and parametrization during form creation, partial or full documentation generation, and other design processes. Today, architecture benefits from not only a streamlined design process but also the ability to shape spatial perception and creation. This is achieved through computer-

generated reality, robotics, and 3D printing, which are increasingly integral to architectural and construction processes.

2.VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY IN ARCHITECTURAL EDUCATION AND PRACTICE

In recent years, virtual reality (VR) technology has become more accessible and feasible due to advancements in related technologies and has found applications in architectural education alongside augmented reality (AR). VR originated in the 1960s, when the first device was created. Over time, similar devices emerged primarily for entertainment rather than architectural use, such as the Sega VR and Nintendo Virtual Boy in the 1990s. Later, Oculus Rift's ¹⁰²⁴ Kickstarter ¹⁰²⁵ campaign reignited interest. These technological solutions allow users—architects, students, and clients—to „enter” their projects and view them firsthand, providing a more comprehensive understanding of the created spaces and enabling an experiential presentation of architectural ideas.

¹⁰²⁴ A headset that allows users to "immerse" themselves in virtual reality: <https://www.kickstarter.com/projects/1523379957/oculus-rift-step-into-the-game>

¹⁰²⁵ A website platform for funding creative projects through crowdfunding, aimed at bringing products to fruition: <https://www.kickstarter.com/about?ref=global-footer>



Fig.1 Left – Sega VR¹⁰²⁶, Right – Nintendo Virtual Boy¹⁰²⁷



Fig.2 Oculus Rift¹⁰²⁸

VR technology enables users to experience architectural designs through virtual walkthroughs, which convey scale, proportions, and spatial relationships. This facilitates the presentation of projects to educators and allows architects to showcase designs to clients who can explore buildings in full detail, adjusting or suggestions based on a realistic perception of the space.

¹⁰²⁶ https://segaretro.org/Sega_VR

¹⁰²⁷ https://nintendo.fandom.com/wiki/Virtual_Boy

¹⁰²⁸ <https://www.oculus.com/rift-s/>

In her 2017 lecture ¹⁰²⁹at Woodbury School of Architecture, Kelly Colclough discussed her experience with VR and AR, stating that these technologies are „an excellent way to connect people with the emotions we hope they feel when they are in your building,” essentially fostering empathy.

AR allows for overlaying digital models onto real-world environments, aiding in evaluating a project's fit within its actual context by considering factors like lighting, surroundings, and interaction with adjacent buildings. Additionally, AR can be employed during construction to provide real-time information to construction teams about specific project elements. Examples of VR and AR usage include integration in various universities and architectural faculties worldwide. For instance, Oxford's School of Architecture uses VR labs, and the course „Digital Twins: Enhancing Model-Based Design with AR, VR, and MR” covers the use of digital twins, including simulation, machine learning, and virtual technologies with applications in construction and manufacturing, using a hands-on approach to problem-solving.¹⁰³⁰

The Polytechnic University of Milan ¹⁰³¹uses AR to present design developments within the context of historical buildings in the city, incorporating digital solutions directly into the urban environment to address real-world contexts. Despite their numerous advantages, VR and AR also face significant technological challenges, including high equipment and software costs and the need for specialized knowledge and skills. This underscores the necessity for new courses and educational materials to prepare current and future professionals for utilizing these innovative tools.

3. ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND AUTOMATION IN THE CONSTRUCTION PROCESS

3.1 ROBOTIC TECHNOLOGIES IN CONSTRUCTION

¹⁰²⁹

https://www.youtube.com/watch?v=h3D1lszN2SE&ab_channel=WoodburyUniversityLive

¹⁰³⁰ <https://www.conted.ox.ac.uk/courses/digital-twins-enhancing-model-based-design-with-ar-vr-and-mr>

¹⁰³¹ <https://mecc.polimi.it/ricerca/laboratori-dipartimentali/virtual-prototyping-human-modelling>

The use of tools and machinery dates to antiquity, with inventions such as irrigation systems and mills aimed at reducing human labor. The introduction of the first machines into production processes marked the beginning of the first industrial revolution. The application of AI in construction now opens new avenues for automation and precision through the integration of robotic systems for building element creation and task execution. Robotic technologies, combined with AI to parameterize and define their actions, can automate various building tasks, including wall construction, welding, drilling, structural element assembly, and the placement of materials like concrete or steel. There are numerous examples of companies that manufacture such machines¹⁰³².

Using robots not only accelerates construction processes but also reduces costs and waste, both from the construction activities and from the workforce. Although automation replaces certain manual jobs, the requirement for human oversight remains essential in every production process. Robotic systems are capable of high precision, handling complex tasks requiring detail and consistency while minimizing human error. An example of successful implementation of robotic technologies is the DFAB House¹⁰³³ in Switzerland, constructed with the help of robots and AI. This building highlights how robots can execute complex construction tasks while also achieving innovative and sustainable design.

¹⁰³² <https://www.solomon-3d.com/applications/>

¹⁰³³ <https://dfabhouse.ch/>

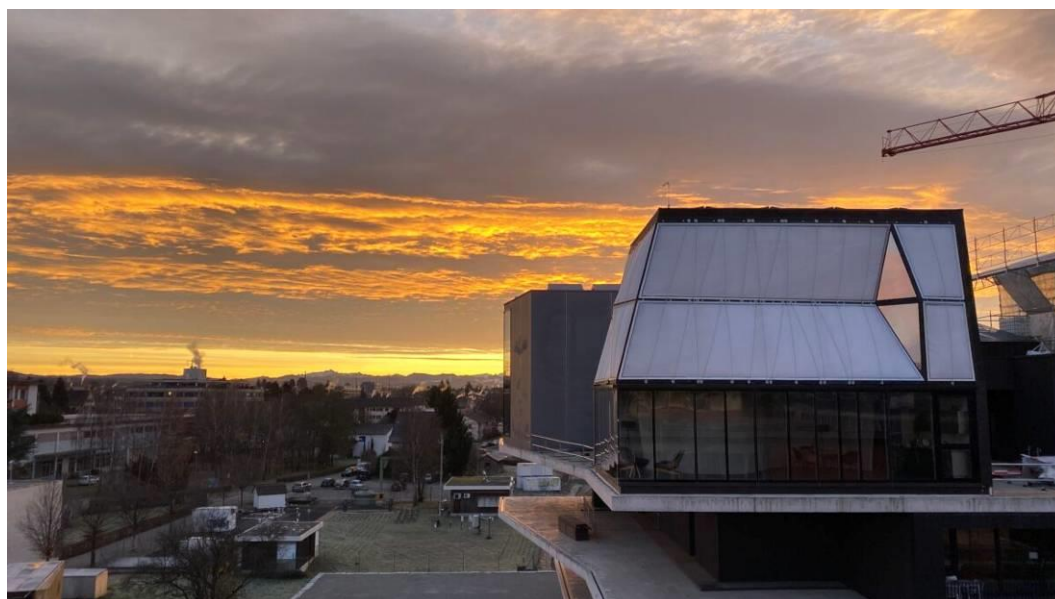


Fig.3 DFAB HOUSE

3.2 3D PRINTING OF BUILDINGS

The process of prototyping and printing objects has been in development for several decades. The first known instances of 3D creation emerged in the 1980s. Like many technologies invented in the previous century, 3D printing has evolved as a method for creating three-dimensional objects through techniques like stereolithography (SLA), selective laser sintering¹⁰³⁴ (SLS), fused deposition modeling (FDM), selective laser melting (SLM), and direct metal laser sintering (DMLS). PolyJet and MultiJet extrusion technologies, and bioprinting for medical applications, among others, highlight the interdisciplinary nature of 3D printing, which is used for machine parts, medical tools, toys, figures, car components, models, and more.

The widespread use of 3D printing in architecture focuses on model making for architectural and urban design projects. Prepared solutions are printed based on the chosen printing technology, determined by desired

¹⁰³⁴ The sintering process, a thermal treatment used to convert powdered materials into a solid mass without reaching the full melting point

results, effects, machine availability, economic considerations, and more. Numerous examples of this technology are already in use.

A notable innovation related to AI and 3D printing in construction is the use of 3D printing technology for building structures¹⁰³⁵. This technology provides new possibilities for rapid and efficient building construction with minimal waste and reduced costs. 3D printing utilizes software for model generation and materials that are printed layer by layer, enabling the creation of complex and unique structures.



Fig.4 One of the first 3D-printed buildings, located in Milan, Italy, designed by Mario Cucinella Architects

AI aids in construction optimization and printing management, allowing for quality control throughout the process and the creation of models meeting all structural and functional requirements. One such project is the Apis Cor¹⁰³⁶

¹⁰³⁵ <https://www.architecturaldigest.com/story/3-d-printed-home-italy>
<https://www.mcarchitects.it/en/projects/tecla-technology-and-clay>

¹⁰³⁶ <https://www.dezeen.com/2019/12/22/apis-cor-worlds-largest-3d-printed-building-dubai/>

building in Dubai, printed with a 3D printer in record time, demonstrating the potential of 3D printing and AI for fast and efficient construction.



Fig.3 DFAB HOUSE

In conclusion, the advantages of these technologies and their future development in architecture and construction should be highlighted. However, the potential impact on low-skilled positions poses a significant concern, as such jobs may be at risk due to the ongoing technological revolution. At present, it is too early to define the scope of these issues, given the excessive cost of creating such structures and the limitations related to planning, materials, and more.

4.CONCLUSION

The technologies examined in this study—artificial intelligence, virtual and augmented reality, robotic systems, and 3D printing—demonstrate significant potential when integrated into architectural and construction practices. Their application creates opportunities for automation, optimization, and enhanced precision in the design and construction of built environments,

while also offering new ways of perceiving and interacting with these spaces. Virtual and augmented reality facilitate spatial understanding of projects, deepening the emotional connection of participants in the creative architectural process. Robotics and 3D printing significantly reduce construction time and minimize waste, making them sustainable and economically advantageous technologies. However, the high costs of equipment, the need for specialized knowledge, and the potential job displacement associated with these technologies necessitate a strategic approach and further research. In the future, it is essential to develop and implement educational programs and to promote interdisciplinary collaboration, allowing the architectural profession to embrace the challenges and opportunities presented by the technological revolution.

Source used

1. Personal conclusions and observations
2. Lecture at Woodbury School of Architecture – Youtube link - https://www.youtube.com/watch?v=h3D1IszN2SE&ab_channel=WoodburyUniversityLive

ETHICS AND SOCIO-ETHICAL ASPECTS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ARCHITECTURE

Martin Evlogiev

University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy

evlogievm_far@uacg.bg, 0895995703

Abstract: *This paper examines the transformation of AI in architectural practice by introducing innovations and automation while simultaneously raising significant ethical and social concerns. Issues such as data privacy, social inequality, and the impact on the labor market are central challenges associated with the application of AI in architecture. Despite the risks, these technologies offer new opportunities for growth and creativity, necessitating the development of ethical guidelines and policies for sustainable implementation. This document examines these aspects, highlighting the need for a balanced approach that reconciles technological progress with social responsibility.*

Keywords: *artificial intelligence, computer technologies, architecture, AI, ethics, social, architecture, architectural design*

1. INTRODUCTION

The introduction of artificial intelligence (AI) into architectural education and practice has raised numerous ethical and social concerns. Although AI provides significant benefits for the automation and optimization of design processes, it also entails risks related to ethics, including issues of privacy, equality, and equitable access to technology. While its application in architecture offers many advantages, it raises ethical questions that must be addressed carefully. As technology and automation expand, concerns about privacy, fairness, and social inequality become more pronounced.

Generative AI has sparked considerable public discontent due to problems such as copyright infringement and energy inefficiency. Models like

ChatGPT¹⁰³⁷ and MidJourney¹⁰³⁸ utilize artists' works without their consent, leading to numerous lawsuits and undermining creators' rights. While generative AI offers a fast and accessible means of content creation, the technology is highly energy-intensive and requires constant human annotation for effective operation, resulting in significant environmental impacts and questioning its overall benefits. Moreover, it poses a potential threat to the creative industry by offering low-cost substitutes for artistic work, devaluing human creativity and effort.

AI-generated art often lacks depth, contains „errors,” and is devoid of human intentionality. The absence of contextual understanding and personal perspective renders AI incapable of producing original and inspired works. Many artists, such as Hayao Miyazaki, disdain AI-generated art, considering it an „insult to life.” The lack of perspective and personal experience makes AI-generated creations unremarkable and incapable of leaving a lasting cultural impact. Despite its ability to automate tasks and generate content rapidly, AI cannot replace the creativity and uniqueness that human creators bring to their works.¹⁰³⁹

In November 2023, a collective lawsuit was filed by a group of artists against developers of such software, citing the unauthorized use of their works for AI training. Similarly, in September 2023, ArtStation¹⁰⁴⁰ – a prominent platform for sharing digital and architectural visualizations – announced contest criteria explicitly prohibiting the use of AI tools and visual references, positioning itself against such technologies.¹⁰⁴¹

While the generative use of AI in digital arts has prompted clear and decisive reactions, its application in architecture remains vague, inconsistent, and largely absent. Although plagiarism in architecture is defined and regulated

¹⁰³⁷ <https://openai.com/index/chatgpt/>

¹⁰³⁸ <https://www.midjourney.com/home>

¹⁰³⁹ <https://finance.yahoo.com/news/4-700-artist-ai-controversy-182916995.html>

¹⁰⁴⁰ Artstation - <https://www.artstation.com/about/company>

¹⁰⁴¹ <https://www.artstation.com/challenges/neo-tokyo/categories/180/briefing>

under intellectual property law, instances of similar-looking buildings appearing in different parts of the world—designed by different architects and firms—are often perceived as poor taste or as a source of local pride for having a building resembling another.

2. DATA PRIVACY AND SECURITY

AI relies on vast amounts of data to perform analyses and generate designs. This data may include user information and details about buildings, including entire cities, creating potential risks to privacy and information security. In the context of smart cities and associated sensors collecting data on citizens' movements and behaviors, questions arise about how this data is used and stored.

Architectural programs must educate students not only on how to use AI but also on addressing the ethical challenges related to data usage. This includes understanding legislation related to data privacy and principles of information security. Students must be prepared to work with technologies that adhere to privacy standards and ensure the ethical use of citizen information.

3. ACCESS TO TECHNOLOGY AND SOCIAL INEQUALITY

Another critical social issue associated with AI in architecture is equitable access to technology. Although AI offers significant advantages for designers and architects, access to these technologies is not equal for everyone. Many AI-related tools and automation technologies are expensive and inaccessible to poorer regions and social groups, exacerbating inequality among communities and potentially leading to greater social disparities.

Addressing this issue requires initiatives to expand access to software and hardware and to provide training for educators and professionals on AI application in architectural practice. Universities and governments must collaborate to ensure equal access to these technologies and prevent the deepening of social inequalities.

4. AI'S IMPACT ON THE ARCHITECTURAL JOB MARKET

The introduction of AI in architecture also raises questions about the future of the labor market in the field. AI can automate many tasks traditionally performed by architects and engineers, potentially reducing the demand for certain types of jobs, particularly those involving routine activities such as drafting and technical analyses.

At the same time, AI creates new opportunities for developing professions and skills related to managing and advancing technology. Architects proficient in AI usage will have a competitive edge in the job market, offering innovative services and solutions beyond the scope of traditional methods. Universities must prepare students not only for conventional architectural practice but also for the emerging challenges and opportunities AI presents.

5. ETHICAL GUIDELINES AND REGULATIONS

To ensure the responsible use of AI in architecture and architectural education, clear ethical guidelines and regulations must be developed. These should establish rules for data usage, access to technologies, and fairness in the labor market.

Universities and professional organizations in architecture must collaborate to create ethical standards guiding AI's use in professional practice. This includes educating students on the ethical dimensions of AI application, ensuring they understand both the benefits and risks associated with these technologies.

6. CONCLUSION

The integration of AI in architecture raises complex ethical and social issues that demand comprehensive consideration. While the technology offers significant advantages in automation, optimization, and innovation, it also presents substantial challenges related to data privacy, social equality, and the labor market. Generative AI, for instance, necessitates regulations to protect intellectual property rights and mitigate its environmental footprint.

Despite potential risks, AI can be a transformative tool for the architectural profession, fostering new opportunities for creativity and

efficiency. Achieving this, however, requires active involvement from universities, governments, and professional organizations in developing ethical standards, educational programs, and policies that ensure equitable access to technology while preserving human uniqueness and creativity.

The advancement and implementation of AI in architecture must be guided by principles that balance technological innovation with social responsibility, thereby ensuring sustainable and equitable progress in the profession.

ПРИЛОЖЕНИЕ НА КОМПЮТЪРНИТЕ ОБЛАЧНИ ТЕХНОЛОГИИ В ОБУЧЕНИЕТО НА МОРСКИ КАДРИ: СЪЩНОСТ, ПРЕДИМСТВА И ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА

Пламен Браняков

ВВМУ „Н. Й. Вапцаров”

branyakov@naval-acad.bg, тел.: 0887201158

Анотация: Публикацията разглежда приложението на компютърните облачни технологии в обучението на морски кадри, като акцентира върху тяхната същност, предимства и предизвикателства. Изследването включва анализ на основните модели на облачните технологии (IaaS, PaaS, SaaS) и тяхното приложение в образованието, като подчертава значението на виртуалните симулации, онлайн курсовете и управлението на обучителни платформи в облачна среда. Публикацията анализира също предимствата от внедряването на облачни решения в морското образование, като намаляване на разходите, гъвкавост и достъпност, както и предизвикателствата като техническите ограничения и проблемите със сигурността.

Ключови думи: облачни технологии, морско обучение, виртуални симулации, IaaS, PaaS, SaaS, онлайн образование, предимства, облачна инфраструктура.

APPLICATION OF CLOUD COMPUTING TECHNOLOGIES IN MARITIME TRAINING: ESSENCE, ADVANTAGES, AND CHALLENGES

Plamen Branyakov

Nikola Vaptsarov Naval Academy

email: branyakov@naval-acad.bg, phone: 0887201158

Abstract: This publication explores the application of cloud computing technologies in maritime training, focusing on their essence, advantages, and challenges. The research includes an analysis of the main cloud technology models (IaaS, PaaS, SaaS) and their

application in education, emphasizing the importance of virtual simulations, online courses, and the management of educational platforms in a cloud environment. The publication also analyzes the benefits of implementing cloud solutions in maritime education, such as cost reduction, flexibility, and accessibility, as well as the challenges, including technical limitations and security issues.

Keywords: *cloud technologies, maritime education, virtual simulations, IaaS, PaaS, SaaS, online education, maritime training, advantages, cloud infrastructure.*

1. Въведение

Компютърните облачни технологии революционизират множество сектори, включително образованието. В контекста на обучението на морски кадри, тези технологии предоставят нови възможности за достъпност, интерактивност и персонализирано обучение. Морската индустрия изисква високо специализирани умения, а модерните образователни платформи са ключови за ефективното предаване на тези умения.

2. Основни концепции на облачните технологии

Облачната технология, трансформираща парадигма в ИТ индустрията, интегрира ориентирана към услугите архитектура с интернет базирани решения, за да осигури достъп при поискване до споделени ресурси. Този модел се характеризира със своята мащабируемост, гъвкавост и рентабилност, предлагайки на организациите възможност да възлагат хардуер, софтуер и мрежови услуги.

2.1. Дефиниция на облачните технологии

Облачните технологии се базират на предоставянето на изчислителни ресурси (сървъри, съхранение на данни, мрежови услуги) чрез интернет. Това позволява мащабируемост, намалени разходи и лесен достъп до ресурсите. Основните концепции на облачната технология се въртят около нейното определение и различните модели на услуги, които обхваща, които са от решаващо значение за разбирането на нейното приложение и предимства.

- **Услуги по заявка:** Облачните изчисления се определят като доставка на виртуални ресурси при поискване, вариращи от приложения до центрове за данни, през интернет на база заплащане за употреба. Този модел позволява на потребителите да имат достъп до изчислителни ресурси, без да е необходимо да управляват основната инфраструктура¹⁰⁴².

- **Виртуализация и обединяване на ресурси:** Облакът използва виртуализацията за обединяване на ресурси, позволявайки ефективно разпределение и управление на ресурсите. Това позволява динамичното мащабиране на ресурсите, за да отговори на различни изисквания¹⁰⁴³.

- **Интернет-базирани решения:** Облачните изчисления съчетават ориентирана към услуги архитектура с интернет базирани решения, предоставяйки платформа за мащабируема и гъвкава ИТ инфраструктура¹⁰⁴⁴.

2.2. Модели на облачните услуги

- **Infrastructure as a Service (IaaS) / Инфраструктурата като услуга:** Осигурява достъп до хардуерна инфраструктура. Подходящ за образователни институции, които искат да изградят собствени среди за симулации. IaaS предоставя виртуализирани изчислителни ресурси през интернет. Тя позволява на потребителите да наемат ИТ инфраструктура като сървъри и съхранение на база плащане според използването (pay-as-you-go). Примерите включват Amazon EC2 и Blue Cloud на IBM¹⁰⁴⁵.

¹⁰⁴² RATNAKUMARI, Challa and KANUSU, Srinivasa Rao, 2022. SERVICES OF CLOUD COMPUTING. International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science, ISSN 25825208. Available from: <https://doi.org/10.56726/IRJMETS31489>.

¹⁰⁴³ GHOSH, Sohini et al., 2024. Revealing Concepts of a Cloud Deployment Model. In:, pp. 331–339

¹⁰⁴⁴ PRAGYA DEVI, 2024. Literature Review on Cloud Computing: A Paradigm Combining Service-Oriented Architecture with Internet-Based Solutions. International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology, pp. 178–184. ISSN 2581-9429. Available from: <https://doi.org/10.48175/IJAR SCT-19629>.

¹⁰⁴⁵ SURAJ PATEL, 2024. Cloud Computing: Revolutionizing IT Infrastructure with On-Demand Services and Addressing Security Challenges. International Journal of Advanced Research in

- **Platform as a Service (PaaS)/ Платформа като услуга:** Позволява разработка на приложения в облака. PaaS предлага платформа, позволяваща на клиентите да разработват, стартират и управляват приложения без сложността на изграждането и поддържането на инфраструктурата. Google App Engine е забележителен пример за PaaS.

- **Software as a Service (SaaS)/ Софтуер като услуга:** Осигурява готови приложения като Moodle или Canvas, подходящи за обучение. SaaS доставя софтуерни приложения през интернет, на абонаментна основа. Той елиминира необходимостта потребителите да инсталират и стартират приложения на собствените си компютри. Customer Relationship Management (CRM) системата на Salesforce е пример за SaaS¹⁰⁴⁶.

Таблица 1. Основни разлики между IaaS, PaaS и SaaS и възможности за приложението им в морското обучение

Модел	Описание	Пример	Приложение в морското обучение
IaaS	Инфраструктура като услуга. Предоставя виртуализирани ресурси.	AWS EC2, OpenStack	Създаване на виртуални лаборатории и симулации
PaaS	Платформа за разработка на приложения.	Google App Engine, Heroku	Създаване на обучителни приложения
SaaS	Готови за употреба софтуерни приложения, достъпни чрез интернет.	Moodle, Canvas	Управление на курсове и обучение онлайн

3. Значение на облачните технологии в образованието

Science, Communication and Technology, pp. 272–280. ISSN 2581-9429. Available from: <https://doi.org/10.48175/IJARSCT-19647>.

¹⁰⁴⁶RIZVI, Dr. Qaim Mehdi et al., 2024. COMPARATIVE ANALYSIS OF SAAS, IAAS, AND PAAS: EXPLORING THE CLOUD COMPUTING PARADIGM. In: International Journal of Innovative Research in Computer Science and Technology (IJIRCST), pp. 89–93. Innovative Research Publication. Available from: <https://doi.org/10.55524/CSISTW.2024.12.1.16>.

Облачните технологии се превърнаха в неразделна част от съвременното образование, предлагайки значителни ползи по отношение на достъпността, мащабируемостта, намаляването на разходите и интерактивността. Тези технологии позволяват на образователните институции да осигурят гъвкава и приобщаваща среда за обучение, която е от съществено значение в днешната дигитална ера. Използвайки облачни изчисления, образователните системи могат да преодолеят традиционните бариери, да подобрят учебния опит и да подготвят обучаемите за бъдещи предизвикателства. Следващите раздели изследват значението на облачните технологии в образованието, като се фокусират върху ключови аспекти като: достъпност, мащабируемост, намаляване на разходите и интерактивност.

3.1. Достъпност

- Облачните технологии улесняват достъпа до образователни ресурси по всяко време и навсякъде, нарушавайки географските и времевите бариери. Това е особено полезно за дистанционното обучение, което позволява на учениците от различни места да участват в образователни програми¹⁰⁴⁷.

- Облачните системи за управление на обучението (LMS) подобряват достъпа до качествено образование, като предоставят цифрови платформи за управление на курсове и взаимодействие, като по този начин подкрепят приобщаващия и адаптивен учебен опит¹⁰⁴⁸.

3.2. Мащабируемост

¹⁰⁴⁷ LOEBIS, Iin Almeida et al., 2024. The Role of Cloud Computing Technology in Supporting Educational Accessibility and Scalability. *Journal International of Lingua and Technology*, vol. 3, no. 2, pp. 469–483. ISSN 2830-456X. Available from: <https://doi.org/10.55849/jiltech.v3i2.682>.

¹⁰⁴⁸ RIJAL, Syamsu et al., 2024. The Impact of Using a Cloud-Based Learning Management System on Access and Quality of Education. *Journal Emerging Technologies in Education*, vol. 2, no. 2, pp. 163–176. ISSN 3025-0676. Available from: <https://doi.org/10.70177/jete.v2i2.1062>.

- Облачните изчисления предлагат мащабируеми решения, които могат да отговорят на променливите изисквания в образователните условия. Тази мащабируемост е от решаващо значение за институциите, които трябва ефективно да управляват голям брой потребители и ресурси¹⁰⁴⁹.

- Интегрирането на облачните технологии в образователните платформи позволява безпроблемно разширяване на услугите, като виртуални класни стаи и интерактивно предоставяне на съдържание, без да се компрометира производителността или качество¹⁰⁵⁰.

3.3. Намаляване на разходите

- Използвайки облачни услуги, образователните институции могат значително да намалят разходите, свързани с инфраструктурата, поддръжката и разпределението на ресурсите. Облачните платформи премахват необходимостта от скъп хардуер и софтуер, предлагайки рентабилни алтернативи чрез услуги като Инфраструктура като услуга (IaaS) и Софтуер като услуга (SaaS)¹⁰⁵¹.

- Икономическата ефективност на облачните технологии се простира и до споделянето на ресурси и сътрудничеството, което дава възможност на институциите да оптимизират бюджетите си, като

¹⁰⁴⁹ PERAM, Purnimanand, 2024. Cloud-Enabled Personalization: Transforming Educational Paradigms through Adaptive Learning Technologies. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, vol. 12, no. 9, pp. 1338–1346. ISSN 23219653. Available from: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2024.64346>.

¹⁰⁵⁰ NONCHEVA, Teodora, 2024. LEARNING WITHOUT LIMITS: CLOUD TECHNOLOGIES ARE EXPANDING EDUCATIONAL HORIZONS. *Education and Technologies Journal*, vol. 15, no. 1, pp. 219–224. ISSN 13141791. Available from: <https://doi.org/10.26883/2010.241.5983>.

¹⁰⁵¹ ANOKHINA, Olga N., 2024. CLOUD TECHNOLOGIES IN EDUCATIONAL PROCESSES OF HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS. *EKONOMIKA I UPRAVLENIE: PROBLEMY, RESHENIYA*, vol. 9/1, no. 150, pp. 176–185. ISSN 22273891. Available from: <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2024.09.01.018>.

същевременно поддържат висококачествени образователни предложения¹⁰⁵².

3.4. Интерактивност

- Облачните технологии подобряват интерактивността в образованието чрез поддържане на системи за обратна връзка в реално време, адаптивни платформи за обучение и инструменти за сътрудничество. Тези характеристики насърчават ангажирания и персонализиран учебен опит, подобрявайки резултатите и мотивацията на учениците¹⁰⁵³.

- Използването на симулации и виртуални лаборатории позволява създаването на динамични образователни сценарии.

4. Облачните технологии в морското образование

Облачните технологии значително трансформират морското образование, като осигуряват достъп до реалистични симулации, персонализирано обучение и виртуални лаборатории. Този напредък засилва обучението на морските кадри в областта на навигацията, управлението на корабите и комуникациите, правейки го по-завладяващо, достъпно и рентабилно. Интегрирането на виртуалната реалност (VR), разширената реалност (AR) и смесената реалност (MR) в морското образование отваря нови възможности за обучение и операции, предлагайки по-ангажиращ и практически опит в обучението. Този отговор изследва различните аспекти на облачните технологии в морското образование, като се фокусира върху реалистични симулации, персонализирано обучение и виртуални лаборатории. Морските кадри

¹⁰⁵² GOVEA, Jaime et al., 2023. Optimization and Scalability of Educational Platforms: Integration of Artificial Intelligence and Cloud Computing. Computers, vol. 12, no. 11, pp. 223. ISSN 2073-431X. Available from: <https://doi.org/10.3390/computers12110223>.

¹⁰⁵³ SMORZHEVSKY, Yuriy and SHLAPAK, Liudmyla, 2023. CLOUD LEARNING AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES ARE A NECESSARY TOOL FOR STEM EDUCATION. Collection of scientific papers Kamianets-Podilsky Ivan Ohienko National University Pedagogical series, vol. 29, pp. 76–80. ISSN 23074507. Available from: <https://doi.org/10.32626/2307-4507.2023-29.76-80>.

изискват специфични знания и практически умения. Облачните технологии в морското образование позволяват:

4.1. Достъп до реалистични симулации. Потопяващи технологии: VR, AR и MR се интегрират в морското образование, за да създадат потапящи симулации, които подобряват учебното изживяване. Тези технологии предоставят реалистични сценарии, за практикуване и развиване на компетенции в контролирана среда.

4.2. Персонализирано обучение с адаптивни курсове. Облачните технологии улесняват асинхронния и неограничен достъп до симулатори, позволявайки на обучаващите се да се включат в специфично за задачите обучение, когато им е удобно. Тази гъвкавост подпомага непрекъснатото обучение и развитие на умения в навигацията и комуникацията¹⁰⁵⁴.

4.3. Виртуални лаборатории, които заменят нуждата от физическа инфраструктура. Една от най-големите ползи от облачните технологии е внедряването на виртуални лаборатории, които елиминират необходимостта от скъпа физическа инфраструктура. Обучаемите имат възможност да извършват експерименти, симулират аварийни ситуации и упражняват технически умения чрез виртуални платформи.

5. Предизвикателства при внедряването

Внедряването на облачни изчислителни технологии за обучение на морски кадри представлява няколко предизвикателства, включително технически бариери, опасения за сигурността, съпротива срещу промени и липса на квалифициран персонал. Интегрирането на изчисленията в облак в морското обучение предлага потенциални ползи като рентабилност и мащабируемост, но също така въвежда сложности, които трябва да бъдат разгледани, за да се гарантира успешното прилагане.

5.1. Технически бариери.

¹⁰⁵⁴ HJELLVIK, Simen and MALLAM, Steven, 2023. Integrating motivated goal achievement in maritime simulator training. WMU Journal of Maritime Affairs, vol. 22, no. 2, pp. 209–240. ISSN 1651-436X. Available from: <https://doi.org/10.1007/s13437-023-00309-2>.

- Ограничения на инфраструктурата: Морската индустрия често работи в отдалечени райони с ограничен достъп до високоскоростен интернет, което е от съществено значение за облачните приложения. Това може да попречи на ефективното внедряване на облачни изчислителни технологии за целите на обучение¹⁰⁵⁵.

- Проблеми със съвместимостта: Съществуващите системи може да не са съвместими с нови решения, базирани на облак, изискващи значителни надстройки или подмяна, което може да бъде скъпо и отнема време¹⁰⁵⁶.

- Сложност на интеграцията: Интегрирането на облачните изчисления със съществуващите системи за морско обучение изисква усъвършенствана техническа експертиза и може да бъде сложен процес, включващ синхронизиране на различни цифрови инструменти и платформи.

5.2. Сигурност.

- Рискове за киберсигурност: Облачните изчисления могат да изострят тези рискове чрез разширяване на повърхността на атаката, което налага стабилни мерки за киберсигурност.

- Поверителност на данни: Осигуряването на неприкосновеността на личния живот и сигурността на чувствителните данни в облачни среди представлява съществен проблем, особено предвид международния характер на морските операции и различните регулаторни изисквания.

5.3. Съпротива към промени.

- Културна и организационна съпротива: Често има съпротива срещу приемането на нови технологии в организациите поради

¹⁰⁵⁵ RAICU, Gabriel and RAICU, Alexandra, 2016. Environments for online maritime simulators with cloud computing capabilities. In: VLADESCU, Marian et al. (eds.), pp. 100102L. Available from: <https://doi.org/10.1117/12.2243355>.

¹⁰⁵⁶ DELLIOS, Kleanthis and PAPANIKAS, Dimitrios, 2014. Deploying a Maritime Cloud. IT Professional, vol. 16, no. 5, pp. 56–61. ISSN 1520-9202. Available from: <https://doi.org/10.1109/MITP.2014.67>.

установени практики и норми. Тази съпротива може да попречи на прехода към базирани на облак решения за обучение¹⁰⁵⁷.

- Липса на осведоменост и разбиране: Много морски обучаеми може да не разбират напълно ползите и функционалностите на облачните изчисления, което води до нежелание да приемат тези технологии за целите на обучение.

5.4. Липса на квалифициран персонал.

- Пропуск в уменията: Налице е забележителен недостиг на персонал с необходимите умения за управление и експлоатация на облачни системи в морската индустрия. Тази пропаст в уменията представлява значителна бариера за ефективното внедряване на облачни изчислителни технологии¹⁰⁵⁸.

- Необходимост от специализирано обучение: Развиването на цифрови компетенции сред морския персонал е от решаващо значение, за да се гарантира, че те могат ефективно да използват базирани на облак системи за обучение. Това изисква целенасочени програми за обучение и развитие на стандартизирани компетенции.

Въпреки че предизвикателствата при внедряването на облачни изчислителни технологии за обучение на морски кадри са значителни, те не са непреодолими. Справянето с тези предизвикателства изисква многостранен подход, включително инвестиране в инфраструктура, засилване на мерките за киберсигурност, насърчаване на култура на иновации и разработване на всеобхватни програми за обучение за преодоляване на пропастта в уменията.

6. Ползи от внедряването

¹⁰⁵⁷ THEOTOKAS, Ioannis N. et al., 2024. Challenges of maritime human resource management for the transition to shipping digitalization. *Journal of Shipping and Trade*, vol. 9, no. 1, pp. 6. ISSN 2364-4575. Available from: <https://doi.org/10.1186/s41072-024-00165-0>.

¹⁰⁵⁸ HOPCRAFT, Rory, 2021. Developing Maritime Digital Competencies. *IEEE Communications Standards Magazine*, vol. 5, no. 3, pp. 12–18. ISSN 2471-2825. Available from: <https://doi.org/10.1109/MCOMSTD.101.2000073>.

Технологиите за облачни изчисления предлагат значителни ползи за обучението на морския персонал, подобрявайки качеството на обучението, достъпността, ефективността и устойчивостта. Тези технологии позволяват преминаване от традиционни, зависими от местоположението методи на обучение към по-гъвкави, при поискване и интерактивни учебни среди. Тази трансформация е от решаващо значение за морската индустрия, която изисква висококвалифициран персонал за експлоатация на все по-сложни системи. Следващите раздели подробно описват специфичните ползи от внедряването на облачни изчислителни технологии в морското обучение.

6.1. Подобро качество на обучението.

- **Подобрени възможности за симулация:** Облачните симулатори осигуряват реалистична и интерактивна среда за обучение, която подобрява качеството на обучението. Тези симулатори позволяват специфично за задачата обучение и адаптивни функции, които отговарят на индивидуалните нужди на стажантите, повишавайки мотивацията и представянето¹⁰⁵⁹.

- **Интеграция на виртуалната реалност:** Използването на VR технологии в облачни системи за обучение позволява потапящ опит в обучението, който е особено ефективен при развиването на практически умения и екологична компетентност сред моряците¹⁰⁶⁰.

- **Цялостно предоставяне на съдържание:** Облачните изчисления подпомагат интегрирането на различни образователни ресурси,

¹⁰⁵⁹ HJELLVIK, Simen and MALLAM, Steven, 2023. Integrating motivated goal achievement in maritime simulator training. *WMU Journal of Maritime Affairs*, vol. 22, no. 2, pp. 209–240. ISSN 1651-436X. Available from: <https://doi.org/10.1007/s13437-023-00309-2>.

¹⁰⁶⁰ VOLOSHYNOV, S A et al., 2022. Seafarers high quality training provision by means of VR technologies in the context of maritime transport sustainability. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1049, no. 1, pp. 012022. ISSN 1755-1307. Available from: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1049/1/012022>.

включително мултимедийно съдържание и интерактивни модули, които обогатяват учебния опит и подобряват задържането на знания¹⁰⁶¹.

6.2. Международен достъп.

- Асинхронно обучение: Облачните технологии позволяват асинхронно обучение, позволявайки на обучаемите да имат достъп до учебни материали и да участват в симулации по тяхно удобство, независимо от географското местоположение¹⁰⁶².

- Глобално сътрудничество: Облачните платформи улесняват международното сътрудничество и споделянето на знания между морските специалисти, подобрявайки глобалната стандартизация на обучителните практики¹⁰⁶³.

- Отдалечен достъп до ресурси: Стажантите имат достъп до широка гама от образователни материали и симулатори от всяка точка на света, което улеснява морския персонал да продължи образованието си, докато е в морето.

6.3. Икономическа ефективност.

- Разходна ефективност: Облачните изчисления намаляват нуждата от съоръжения и оборудване за физическо обучение, намалявайки общите разходи за програми за обучение. Тази ефективност е особено полезна за организации с ограничени бюджети¹⁰⁶⁴.

¹⁰⁶¹ ATANASOVA, Christiana, 2023. Transforming Maritime Education for a Digital Industry. *Strategies for Policy in Science and Education-Strategii na Obrazovatelnata i Nauchnata Politika*, vol. 31, no. 6s, pp. 9–18. ISSN 13100270. Available from: <https://doi.org/10.53656/str2023-6s-1-mar>.

¹⁰⁶² BONGIORNI, Bruce et al., 1999. On-Demand Education to Meet Marine Industry Professional Development Needs. *Journal of Ship Production*, vol. 15, no. 03, pp. 164–178. ISSN 8756-1417. Available from: <https://doi.org/10.5957/jsp.1999.15.3.164>.

¹⁰⁶³ QIU, Shaoyang et al., 2024. Research on an educational virtual training system for ship life-saving appliances. *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 32, no. 2. ISSN 1061-3773. Available from: <https://doi.org/10.1002/cae.22708>.

¹⁰⁶⁴ BERTRAM, Volker and PLOWMAN, Tracy, 2020. Digital training solutions in the maritime context: Options and costs. *Maritime Technology and Research*, vol. 2, no. 2, pp. 52–68. ISSN 2651-205X. Available from: <https://doi.org/10.33175/mtr.2020.190782>.

- **Мащабируемост и гъвкавост:** Системите за обучение, базирани на облак, могат лесно да бъдат мащабирани, за да се включат в различен брой стажанти и да бъдат актуализирани, за да включат ново съдържание и технологии, като се гарантира, че обучението остава уместно и ефективно¹⁰⁶⁵.

- **Автоматизирана оценка и обратна връзка:** Облачните платформи могат да предоставят автоматизирани оценки на ефективността и обратна връзка, рационализирайки процеса на оценка.

6.4. Устойчивост.

- **Намалено въздействие върху околната среда:** Чрез минимизиране на нуждата от съоръжения за физическо обучение и пътувания, базираното на облак обучение допринася за целите за устойчивост на морската индустрия, в съответствие с екологичните политики на организации като Международната морска организация.

- **Насърчаване на екологичната осведоменост:** Програмите за обучение, базирани на облак, могат да включват модули, фокусирани върху екологичната компетентност, помагачи за внушаването на екологично съзнание у бъдещите моряци.

7. Заключение

Облачните технологии предоставят огромни възможности за подобряване на образованието, особено в специализирани области като морското обучение. Те са инструмент за постигане на по-добра достъпност, ефективност и качество на обучението. Въпреки предизвикателствата, внедряването на облачни платформи в образователния процес е стратегическа необходимост. Внедряването на облачни технологии в морското образование е не само тенденция, но и стратегически инструмент за модернизация. Резултатите показват

¹⁰⁶⁵ LI, Tingyun et al., 2024. Application Prospect of Cloud Model in the Development of New Marine Simulator. In: 2024 3rd International Conference on Artificial Intelligence and Autonomous Robot Systems (AIARS), pp. 806–809. IEEE. ISBN 979-8-3503-7617-3. Available from: <https://doi.org/10.1109/AIARS63200.2024.00151>.

повишена ефективност, достъпност и качество на обучението. Облачните изчислителни технологии предлагат многобройни предимства за морското обучение, важно е да се вземат предвид потенциалните предизвикателства като сигурността на данните, необходимостта от надежден достъп до интернет и първоначалните инвестиции в технологична инфраструктура.

Библиография

1. RATNAKUMARI, Challa and KANUSU, Srinivasa Rao, 2022. SERVICES OF CLOUD COMPUTING. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, ISSN 25825208. Available from: <https://doi.org/10.56726/IRJMETS31489>.
2. GHOSH, Sohini et al., 2024. Revealing Concepts of a Cloud Deployment Model. In: , pp. 331–339
3. PRAGYA DEVI, 2024. Literature Review on Cloud Computing: A Paradigm Combining Service-Oriented Architecture with Internet-Based Solutions. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, pp. 178–184. ISSN 2581-9429. Available from: <https://doi.org/10.48175/IJAR SCT-19629>.
4. SURAJ PATEL, 2024. Cloud Computing: Revolutionizing IT Infrastructure with On-Demand Services and Addressing Security Challenges. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, pp. 272–280. ISSN 2581-9429. Available from: <https://doi.org/10.48175/IJAR SCT-19647>.
5. RIZVI, Dr. Qaim Mehdi et al., 2024. COMPARATIVE ANALYSIS OF SAAS, IAAS, AND PAAS: EXPLORING THE CLOUD COMPUTING PARADIGM. In: *International Journal of Innovative Research in Computer Science and Technology (IJIRCST)*, pp. 89–93. Innovative Research Publication. Available from: <https://doi.org/10.55524/CSISTW.2024.12.1.16>.

6. LOEBIS, lin Almeida et al., 2024. The Role of Cloud Computing Technology in Supporting Educational Accessibility and Scalability. *Journal International of Lingua and Technology*, vol. 3, no. 2, pp. 469–483. ISSN 2830-456X. Available from: <https://doi.org/10.55849/jiltech.v3i2.682>.

7. RIJAL, Syamsu et al., 2024. The Impact of Using a Cloud-Based Learning Management System on Access and Quality of Education. *Journal Emerging Technologies in Education*, vol. 2, no. 2, pp. 163–176. ISSN 3025-0676. Available from: <https://doi.org/10.70177/jete.v2i2.1062>.

8. PERAM, Purnimanand, 2024. Cloud-Enabled Personalization: Transforming Educational Paradigms through Adaptive Learning Technologies. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, vol. 12, no. 9, pp. 1338–1346. ISSN 23219653. Available from: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2024.64346>.

9. NONCHEVA, Teodora, 2024. LEARNING WITHOUT LIMITS: CLOUD TECHNOLOGIES ARE EXPANDING EDUCATIONAL HORIZONS. *Education and Technologies Journal*, vol. 15, no. 1, pp. 219–224. ISSN 13141791. Available from: <https://doi.org/10.26883/2010.241.5983>.

10. ANOKHINA, Olga N., 2024. CLOUD TECHNOLOGIES IN EDUCATIONAL PROCESSES OF HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS. *EKONOMIKA I UPRAVLENIE: PROBLEMY, RESHENIYA*, vol. 9/1, no. 150, pp. 176–185. ISSN 22273891. Available from: <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2024.09.01.018>.

11. GOVEA, Jaime et al., 2023. Optimization and Scalability of Educational Platforms: Integration of Artificial Intelligence and Cloud Computing. *Computers*, vol. 12, no. 11, pp. 223. ISSN 2073-431X. Available from: <https://doi.org/10.3390/computers12110223>.

12. SMORZHEVSKY, Yuriy and SHLAPAK, Liudmyla, 2023. CLOUD LEARNING AND INNOVATIVE TECHNOLOGIES ARE A NECESSARY TOOL FOR STEM EDUCATION. *Collection of scientific papers Kamianets-Podilsky Ivan Ohienko National University Pedagogical series*, vol. 29, pp. 76–80. ISSN 23074507. Available from: <https://doi.org/10.32626/2307-4507.2023-29.76-80>.

13. HJELLVIK, Simen and MALLAM, Steven, 2023. Integrating motivated goal achievement in maritime simulator training. *WMU Journal of Maritime Affairs*, vol. 22, no. 2, pp. 209–240. ISSN 1651-436X. Available from: <https://doi.org/10.1007/s13437-023-00309-2>.

14. RAICU, Gabriel and RAICU, Alexandra, 2016. Environments for online maritime simulators with cloud computing capabilities. In: VLADESCU, Marian et al. (eds.), pp. 100102L. Available from: <https://doi.org/10.1117/12.2243355>.

15. DELLIOS, Kleantith and PAPANIKAS, Dimitrios, 2014. Deploying a Maritime Cloud. *IT Professional*, vol. 16, no. 5, pp. 56–61. ISSN 1520-9202. Available from: <https://doi.org/10.1109/MITP.2014.67>.

16. THEOTOKAS, Ioannis N. et al., 2024. Challenges of maritime human resource management for the transition to shipping digitalization. *Journal of Shipping and Trade*, vol. 9, no. 1, pp. 6. ISSN 2364-4575. Available from: <https://doi.org/10.1186/s41072-024-00165-0>.

17. HOPCRAFT, Rory, 2021. Developing Maritime Digital Competencies. *IEEE Communications Standards Magazine*, vol. 5, no. 3, pp. 12–18. ISSN 2471-2825. Available from: <https://doi.org/10.1109/MCOMSTD.101.2000073>.

18. HJELLVIK, Simen and MALLAM, Steven, 2023. Integrating motivated goal achievement in maritime simulator training. *WMU Journal of Maritime Affairs*, vol. 22, no. 2, pp. 209–240. ISSN 1651-436X. Available from: <https://doi.org/10.1007/s13437-023-00309-2>.

19. VOLOSHYNOV, S A et al., 2022. Seafarers high quality training provision by means of VR technologies in the context of maritime transport sustainability. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1049, no. 1, pp. 012022. ISSN 1755-1307. Available from: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1049/1/012022>.

20. ATANASOVA, Christiana, 2023. Transforming Maritime Education for a Digital Industry. *Strategies for Policy in Science and Education-Strategii na Obrazovatelna i Nauchna Politika*, vol. 31, no. 6s, pp. 9–18. ISSN 13100270. Available from: <https://doi.org/10.53656/str2023-6s-1-mar>.

21. BONGIORNI, Bruce et al., 1999. On-Demand Education to Meet Marine Industry Professional Development Needs. *Journal of Ship Production*, vol. 15, no. 03, pp. 164–178. ISSN 8756-1417. Available from: <https://doi.org/10.5957/jsp.1999.15.3.164>.

22. QIU, Shaoyang et al., 2024. Research on an educational virtual training system for ship life-saving appliances. *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 32, no. 2. ISSN 1061-3773. Available from: <https://doi.org/10.1002/cae.22708>.

23. BERTRAM, Volker and PLOWMAN, Tracy, 2020. Digital training solutions in the maritime context: Options and costs. *Maritime Technology and Research*, vol. 2, no. 2, pp. 52–68. ISSN 2651-205X. Available from: <https://doi.org/10.33175/mtr.2020.190782>.

24. LI, Tingyun et al., 2024. Application Prospect of Cloud Model in the Development of New Marine Simulator. In: 2024 3rd International Conference on Artificial Intelligence and Autonomous Robot Systems (AIARS), pp. 806–809. IEEE. ISBN 979-8-3503-7617-3. Available from: <https://doi.org/10.1109/AIARS63200.2024.00151>.

**ОБЛАЧНИ ПЛАТФОРМИ С ОТВОРЕН КОД: OPENSTACK,
CLOUDSTACK И OPENNEBULA. СРАВНИТЕЛЕН АНАЛИЗ И
ПРИЛОЖЕНИЕ НА АНАЛИТИЧЕН ЙЕРАРХИЧЕН ПРОЦЕС (АНР) ЗА
ИЗБОР НА ПОДХОДЯЩА ПЛАТФОРМА ЗА ОБУЧЕНИЕ НА МОРСКИ
КАДРИ**

Пламен Браняков

ВВМУ „Н. Й. Вапцаров”

branyakov@naval-acad.bg, тел.: 0887201158

***Анотация:** Публикацията разглежда избора на Open Source облачни платформи за изграждане на обучителни среди, фокусирани върху морското образование. Анализът включва сравнение на платформите OpenStack, CloudStack и OpenNebula, като се използва аналитичният йерархичен процес (АНР) за структурирана оценка по критерии като мащабируемост, сигурност, поддръжка и ценова ефективност. Резултатите показват, че OpenStack е най-подходящата платформа за създаване на облачни инфраструктури, които отговарят на специфичните изисквания на морското обучение. В статията са представени графики, таблици и визуализации, които илюстрират сравнението и процеса на внедряване.*

***Ключови думи:** облачни технологии, Open Source, OpenStack, CloudStack, OpenNebula, аналитичен йерархичен процес (АНР), морско обучение, сигурност, обучителни платформи.*

**OPEN SOURCE CLOUD PLATFORMS: OPENSTACK,
CLOUDSTACK, AND OPENNEBULA. COMPARATIVE ANALYSIS AND
APPLICATION OF THE ANALYTICAL HIERARCHY PROCESS (AHP) FOR
SELECTING AN APPROPRIATE PLATFORM FOR MARITIME TRAINING**

Plamen Branyakov

Nikola Vaptsarov Naval Academy

email: branyakov@naval-acad.bg, phone: 0887201158

Abstract: *The publication explores the selection of Open-Source cloud platforms for building training environments tailored to maritime education. The analysis compares OpenStack, CloudStack, and OpenNebula platforms using the Analytic Hierarchy Process (AHP) for structured evaluation based on criteria such as scalability, security, support, and cost-efficiency. The results indicate that OpenStack is the most suitable platform for creating cloud infrastructures that meet the specific demands of maritime training. The paper includes charts, tables, and visualizations to illustrate the comparison and the deployment process.*

Keywords: *cloud technologies, Open Source, OpenStack, CloudStack, OpenNebula, Analytic Hierarchy Process (AHP), maritime education, scalability, security, training platforms.*

1. Въведение

Интеграцията на облачни технологии в образователните процеси е критична за модернизацията на морското обучение. Платформите с отворен код като OpenStack, CloudStack и OpenNebula предоставят надеждни и гъвкави решения за създаване на обучителни среди. Тази публикация анализира предимствата и недостатъците на различни платформи с отворен код, използвайки аналитичния йерархичен процес (АНР) за структурирано и обективно сравнение на платформите по ключови критерии. Облачните технологии се утвърждават като ключов инструмент в модернизирването на морското обучение. Open Source решенията предлагат значителни предимства пред корпоративните платформи, като гъвкавост, прозрачност и намалени разходи. Тази публикация разглежда три популярни Open Source облачни платформи — OpenStack, CloudStack и OpenNebula, като използва метода АНР (Analytic Hierarchy Process) за обективно сравнение.

2. Облачни платформи с отворен код

2.1. OpenStack

OpenStack е облачна изчислителна платформа с отворен код, предназначена предимно да предоставя инфраструктура като услуга (IaaS), позволяваща управлението и внедряването както на публични, така и на частни облаци. Архитектурата му е модулна и силно адаптивна, което позволява интегрирането и управлението на широк спектър от хардуерни ресурси и услуги, като изчисления, съхранение и работа в мрежа, чрез единно табло за управление, известно като Horizon¹⁰⁶⁶. Архитектурата на OpenStack се състои от няколко основни компонента, включително Nova за изчисляване, Swift за съхранение на обекти, Cinder за съхранение на блокове, Neutron за мрежи и Keystone за услуги за идентичност, наред с други. Тези компоненти са проектирани да работят независимо, докато комуникират чрез асинхронни опашки за съобщения, осигурявайки мащабируемост и надеждност¹⁰⁶⁷. Гъвкавостта и мащабируемостта на OpenStack го правят идеално решение за различни сектори, включително образованието, където може да се използва за създаване на мащабируеми и рентабилни среди за виртуализация.

2.2. CloudStack

Apache CloudStack е водеща облачна изчислителна платформа с отворен код, предназначена за внедряване и управление на големи мрежи от виртуални машини като високо достъпно, мащабируемо решение за облачни изчисления Infrastructure as a Service (IaaS)¹⁰⁶⁸.

¹⁰⁶⁶ LE, Dac-Nhuong et al., 2022. OpenStack. In: Cloud Computing Solutions, pp. 313–323Wiley.

¹⁰⁶⁷ ROSADO, Tiago and BERNARDINO, Jorge, 2014. An overview of openstack architecture. In: Proceedings of the 18th International Database Engineering & Applications Symposium on - IDEAS '14, pp. 366–367. New York, New York, USA: ACM Press. ISBN 9781450326278. Available from: <https://doi.org/10.1145/2628194.2628195>.

¹⁰⁶⁸ FLAUZINO, José and DUARTE JR., Elias P., 2022. Uma Plataforma NFV-MANO para Suporte e Orquestração de Serviços de Rede Virtualizados em Nuvem CloudStack. In: Anais Estendidos do XL Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC Estendido 2022), pp. 169–176. Sociedade Brasileira de Computação - SBC. Available from: https://doi.org/10.5753/sbrc_estendido.2022.222414.

Основната му цел е да даде възможност на предприятията да създават и управляват ефективно своите облачни услуги, осигурявайки стабилна рамка за създаване, управление и автоматизиране на ИТ инфраструктурни ресурси, включително съхранение, мрежови ресурси и хостове, като по този начин улеснява управлението на цели центрове за данни. Архитектурата на CloudStack е изградена около сървър за управление на облака, сървър за контрол на облачните ресурси и сървър за сигурност в облака, които заедно управляват жизнения цикъл на изчислителните ресурси, контролират и планират ресурсите на физическия слой и създават система за сигурно взаимодействие между частни и публични облаци. Тази архитектура позволява интегрирането на различни хипервайзори, мрежови конфигурации и системи за съхранение, позволявайки логическото разделяне на центрoвете за данни за подобряване на управлението и достъпа на потребителите, базиран на политики¹⁰⁶⁹.

2.3. OpenNebula

OpenNebula е платформа с отворен код, предназначена за изграждане и управление на корпоративни облаци и виртуализирани центрове за данни, предлагаща просто, но мощно решение, което подчертава откритостта, гъвкавостта и мащабируемостта. Основната му цел е да осигури единна система за управление на ИТ инфраструктурата и приложенията, като по този начин намалява сложността, потреблението на ресурси и оперативните разходи, като същевременно избягва блокирането на доставчика¹⁰⁷⁰. Архитектурата на OpenNebula се основава на архитектура, ориентирана към услуги (SOA) и принципите на виртуалното предприятие, което му позволява да поддържа различни облачни

¹⁰⁶⁹ ZEROUALI, Ahmed and MENS, Tom, 2017. An empirical comparison of the development history of cloudstack and eucalyptus. In: Proceedings of the 2017 International Conference on Smart Digital Environment, pp. 116–121. New York, NY, USA: ACM. ISBN 9781450352819. Available from: <https://doi.org/10.1145/3128128.3128146>.

¹⁰⁷⁰ LE, Dac-Nhuong et al., 2022. OpenNebula. In: Cloud Computing Solutions, pp. 305–311Wiley.

архитектури, включително частни, хибридни и публични облак¹⁰⁷¹. Тази модулна система е проектирана така, че да бъде лесно интегрирана със съществуващите технологии, което я прави лесна за инсталиране, актуализиране и работа за администраторите и лесна за потребители.

3. Сравнителен анализ на OpenStack, CloudStack и OpenNebula

OpenStack, CloudStack и OpenNebula са платформи за управление на облаци с отворен код, всяка с уникални силни и слаби страни по различни критерии. Този анализ сравнява тези платформи въз основа на мащабируемостта, гъвкавостта, поддръжката и документацията, сигурността, рентабилността и способността им да се интегрират със системите за управление на обучението (LMS). Подчертава се пригодността на всяка платформа за различни случаи на употреба, осигурявайки цялостно разбиране на техните възможности.

3.1. Мащабируемост

- OpenStack: Известен със своята масивна мащабируемост, OpenStack може да поддържа петабайти данни и е подходящ за широкомащабна виртуализация, което го прави идеален за образователни и правителствени сектори, които изискват широко управление на ресурсите¹⁰⁷².

- CloudStack: Макар и да не е толкова мащабируем като OpenStack, CloudStack предлага стабилни функции за мащабируемост, подходящи за средни и големи предприятия, с акцент върху лекотата на внедряване и управление¹⁰⁷³.

¹⁰⁷¹ MOLINA, Daniel et al., [no date]. The OpenNebula Cloud Toolkit. In: Open Source Cloud Computing Systems, pp. 19–43 IGI Global.

¹⁰⁷² ABBASI, Maryam et al., 2023. Exploring OpenStack for Scalable and Cost-Effective Virtualization in Education. In: pp. 135–146

¹⁰⁷³ VOGEL, Adriano et al., 2016. Private IaaS Clouds: A Comparative Analysis of OpenNebula, CloudStack and OpenStack. In: 2016 24th Euromicro International Conference on Parallel, Distributed, and Network-Based Processing (PDP), pp. 672–679. IEEE. ISBN 978-1-4673-8776-7. Available from: <https://doi.org/10.1109/PDP.2016.75>.

- OpenNebula: Предлага умерена мащабируемост, често предпочитана за по-малки до средни внедрявания поради своята простота и лекота на използване¹⁰⁷⁴.

3.2. Гъвкавост

- OpenStack: Осигурява широка гъвкавост чрез своята модулна архитектура, позволявайки на потребителите да персонализират и разширяват функционалностите според специфичните нужди.

- CloudStack: Считан за най-гъвкавия сред трите, CloudStack поддържа широк спектър от хипервайзори и е известен с лекотата си на интеграция.

- OpenNebula: Предлага гъвкавост, но е по-рационализиран, като се фокусира върху простотата и лекотата на внедряване, а не върху обширното персонализиране.

3.3. Поддръжка и документация

- OpenStack: Голяма общност и обширна документация, осигуряваща цялостна поддръжка за потребители и разработчици.

- CloudStack: Също така има силна общност и добра документация, макар и не толкова обширна като OpenStack.

- OpenNebula: Въпреки че има по-малка общност, предоставя ясна и кратка документация, което я прави достъпна за нови потребители.

3.4. Сигурност

- OpenStack: Предлага стабилни функции за сигурност, включително управление на самоличността и контрол на достъпа, което го прави подходящ за среди, където сигурността е приоритет.

- CloudStack: Предоставя солидни функции за сигурност, с акцент върху мрежовата сигурност и изолация¹⁰⁷⁵.

¹⁰⁷⁴ WEN, Xiaolong et al., 2012. Comparison of open-source cloud management platforms: OpenStack and OpenNebula. In: 2012 9th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, pp. 2457–2461. IEEE. ISBN 978-1-4673-0024-7. Available from: <https://doi.org/10.1109/FSKD.2012.6234218>.

- OpenNebula: Макар и защитен, често се счита за по-малко изчерпателен по отношение на функциите за сигурност в сравнение с OpenStack и CloudStack.

3.5. Ефективност на разходите

- OpenStack: Намалява разходите за поддръжка и оптимизира използването на хардуерните ресурси, което го прави рентабилно решение за мащабни внедряване.

- CloudStack: Предлага рентабилни решения с фокус върху лекотата на използване и внедряване, намалявайки оперативните разходи.

- OpenNebula: Известен със своята простота и ниски разходи, което го прави рентабилен избор за по-малки внедрявания.

3.6. Възможност за интегриране с LMS

- OpenStack: Неговата мащабируемост и гъвкавост го правят подходящ за интеграция с LMS, като поддържа големи образователни настройки.

- CloudStack: Предлага добри възможности за интеграция, въпреки че специфичната LMS интеграция може да изисква допълнителна персонализация.

- OpenNebula: Макар и способен, може да изисква повече усилия за интегриране с LMS в сравнение с OpenStack.

4. Методология на АНР метода

Аналитичният йерархичен процес (АНР) е метод за вземане на решения, който структурира сложни проблеми в йерархична форма и дава възможност за количествено оценяване на различни алтернативи по

¹⁰⁷⁵ PARADOWSKI, Aaron et al., 2014. Benchmarking the Performance of OpenStack and CloudStack. In: 2014 IEEE 17th International Symposium on Object/Component/Service-Oriented Real-Time Distributed Computing, pp. 405–412. IEEE. ISBN 978-1-4799-4430-9. Available from: <https://doi.org/10.1109/ISORC.2014.12>.

множество критерии¹⁰⁷⁶. Процесът на аналитична йерархия (АНР) е структурирана техника за организиране и анализ на сложни решения, която може ефективно да се приложи за избор на подходяща облачна платформа като OpenStack, CloudStack и OpenNebula. АНР помага на вземащите решения да оценят множество критерии и алтернативи, като разделят проблема с вземането на решения в йерархия от по-лесно разбираеми подпроблеми, всеки от които може да бъде анализиран независимо¹⁰⁷⁷. Този метод е особено полезен в контекста на избора на облачна платформа, където трябва да се вземат предвид различни критерии. Основни характеристики на АНР:

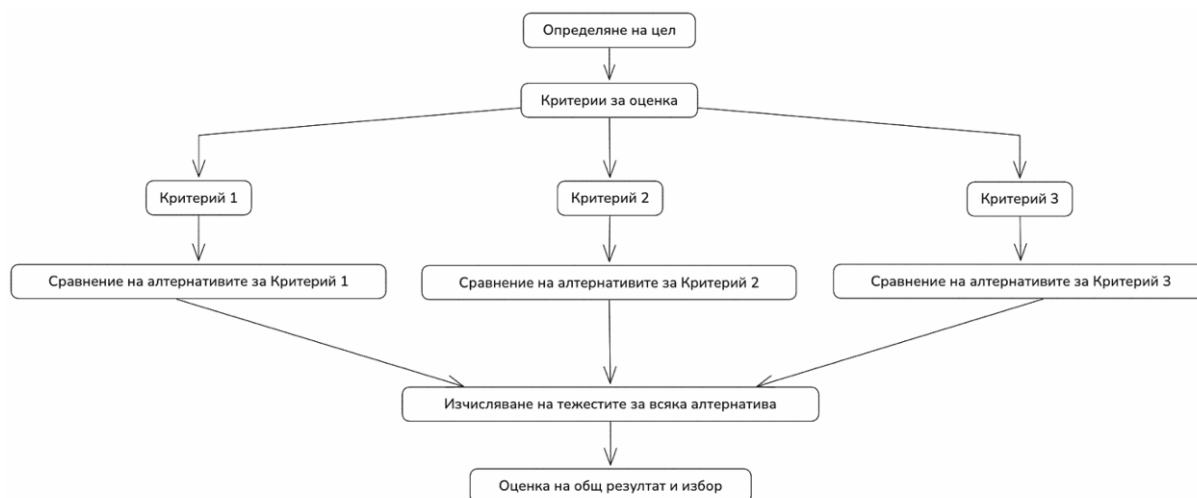
- Йерархично структуриране: АНР организира проблемите с вземането на решения в йерархия от цели, критерии, подкритерии и алтернативи. Тази структура помага за систематичен анализ на проблема, като се фокусира върху по-малки, по-управляеми части¹⁰⁷⁸.
- Двойни сравнения: Методът разчита на сравнения по двойки, за да оцени относителното значение на критериите и алтернативите. Това включва сравняване на елементи два наведнъж, за да се прецени кое е по-важно и по колко, като се използва скала от абсолютни преценки¹⁰⁷⁹.
- Проверка на последователността: АНР позволява известно несъответствие в преценките, признавайки човешката грешка. Той използва основната собствена стойност, за да извлече индекс на последователност, като гарантира, че сравненията са логически стабилни.

¹⁰⁷⁶ DING, Dayong et al., 2007. AHP: A New Strategy for the Semantic Concept Detection in Video. In: Multimedia and Expo, 2007 IEEE International Conference on, pp. 1974–1977. IEEE. ISBN 1-4244-1016-9. Available from: <https://doi.org/10.1109/ICME.2007.4285065>.

¹⁰⁷⁷ WEBER, Karl, 1998. AHP (Analytic Hierarchy Process) — Einsatz im Marketing. In: Computer Based Marketing, pp. 659–667 Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.

¹⁰⁷⁸ VARGAS, Luis G., 1990. An overview of the analytic hierarchy process and its applications. European Journal of Operational Research, vol. 48, no. 1, pp. 2–8. ISSN 03772217. Available from: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90056-H](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90056-H).

¹⁰⁷⁹ KHAZAILI, Javad, 2016. Analytical Hierarchy Process (AHP). In: Advanced Decision Making for HVAC Engineers, pp. 73–85 Cham: Springer International Publishing.



Фиг. 1. Блок-схема на АНР процеса

5. Приложение на АНР метода

Проблемът се разделя на йерархични нива и съответните етапи на АНР анализа включват:

5.1. Структуриране на проблема

- Цел: Избор на оптимална платформа.
- Критерии: Мащабируемост, Гъвкавост, Поддръжка и документация, Сигурност, Ценова ефективност, Възможност за интеграция със система за управление на обучението (LMS)

- Алтернативи: OpenStack, CloudStack, OpenNebula.

5.2. Сравнение по двойки и създаване на матриците съответно за всеки критерий.

Критериите и алтернативите се сравняват по двойки спрямо тяхното значение. Използвана е скала от 1 до 9 за оценка на относителната важност (напр. 1 = равна важност, 9 = изключително по-важно). Резултатите се записват в матрица показани в таблиците по-долу.

Таблица 1. Матрица относно мащабируемост

	OpenStack	CloudStack	OpenNebula
OpenStack	1	2	3
CloudStack	0.5	1	2
OpenNebula	0.3333	0.5	1
	1.8333	3.5	6

Таблица 2. Матрица относно гъвкавост

	OpenStack	CloudStack	OpenNebula
OpenStack	1	2	3
CloudStack	0.5	1	2
OpenNebula	0.3333	0.5	1
	1.8333	3.5	6

Таблица 3. Матрица относно поддръжка и документация

	OpenStack	CloudStack	OpenNebula
OpenStack	1	2	3
CloudStack	0.5	1	1
OpenNebula	0.3333	1	1
	1.8333	4	5

Таблица 4. Матрица относно сигурност

	OpenStack	CloudStack	OpenNebula
OpenStack	1	2	3
CloudStack	0.5	1	1
OpenNebula	0.3333	1	1
	1.8333	4	5

Таблица 5. Матрица относно ценова ефективност

	OpenStack	CloudStack	OpenNebula
OpenStack	1	1	1
CloudStack	1	1	1
OpenNebula	1	1	1
	3	3	3

Таблица 6. Матрица относно интеграция с LMS

	OpenStack	CloudStack	OpenNebula
OpenStack	1	2	3

CloudStack	0.1111	1	1
OpenNebula	0.1111	0.125	1
	1.2222	10.125	18

Таблица 7. Критерийна матрица

	Scalability	Flexibility	Support	Security	Cost	LMS
Scalability	1	1	2	0.5	2	1
Flexibility	1	1	2	0.5	1	1
Support	0.5	0.5	1	0.5	1	1
Security	2	2	2	1	2	1
Cost	0.5	1	1	0.5	1	1
LMS	1	1	1	1	1	1
	6	6.5	9	4	8	6

5.3. Експертна оценка на относителната важност на критериите.

Тежестите показват относителната важност на всеки елемент спрямо целта и се използват за комбиниране на резултатите. Изчисляване на тежести (приоритети) и записването им таблици:

Таблица 8. Матрица относно мащабируемост с изчисляване на тежестите

	OpenStack	CloudStack	OpenNebula	Обща тежест
OpenStack	0.5455	0.5714	0.5	0.539
CloudStack	0.2727	0.2857	0.3333	0.2973
OpenNebula	0.1818	0.1429	0.1667	0.1638
	1	1	1	1

Таблица 9. Матрица относно гъвкавост с изчисляване на тежестите

	OpenStack	CloudStack	OpenNebula	Обща тежест
OpenStack	0.5455	0.5714	0.5	0.539
CloudStack	0.2727	0.2857	0.3333	0.2973
OpenNebula	0.1818	0.1429	0.1667	0.1638
	1	1	1	1

Таблица 2. Матрица относно поддръжка и документация с изчисляване на тежестите

	OpenStack	CloudStack	OpenNebula	Обща тежест
OpenStack	0.5455	0.5	0.6	0.5485
CloudStack	0.2727	0.25	0.2	0.2409
OpenNebula	0.1818	0.25	0.2	0.2106

	1	1	1	1
--	---	---	---	---

Таблица 3. Матрица относно сигурност с изчисляване на тежестите

	OpenStack	CloudStack	OpenNebula	Обща тежест
OpenStack	0.5455	0.5	0.6	0.5485
CloudStack	0.2727	0.25	0.2	0.2409
OpenNebula	0.1818	0.25	0.2	0.2106
	1	1	1	1

Таблица 4. Матрица относно ценова ефективност с изчисляване на тежестите

	OpenStack	CloudStack	OpenNebula	Обща тежест
OpenStack	0.3333	0.3333	0.3333	0.3333
CloudStack	0.3333	0.3333	0.3333	0.3333
OpenNebula	0.3333	0.3333	0.3333	0.3333
	1	1	1	1

Таблица 5. Матрица относно интеграция с LMS с изчисляване на тежестите

	OpenStack	CloudStack	OpenNebula	Обща тежест
OpenStack	0.5455	0.5	0.6	0.5485
CloudStack	0.2727	0.25	0.2	0.2409
OpenNebula	0.1818	0.25	0.2	0.2106
	1	1	1	1

Таблица 6. Критерийна матрица с изчисляване на тежестите

	Scalability	Flexibility	Support	Security	Cost	LMS	Обща тежест
Scalability	0.1667	0.1538	0.2222	0.125	0.25	0.1667	0.1807
Flexibility	0.1667	0.1538	0.2222	0.125	0.125	0.1667	0.1599
Support	0.0833	0.0769	0.1111	0.125	0.125	0.1667	0.1147
Security	0.3333	0.3077	0.2222	0.25	0.25	0.1667	0.255
Cost	0.0833	0.1538	0.1111	0.125	0.125	0.1667	0.1275
LMS	0.1667	0.1538	0.1111	0.25	0.125	0.1667	0.1622
	1	1	1	1	1	1	1

5.4. Консистентност на оценките

Методът включва проверка на консистентността, за да се гарантира, че сравненията са логични. Изчислява се коефициент на консистентност (CI) и се сравнява с произволния индекс (RI). Ако $CI/RI < 0.1$, оценките са приемливо консистентни.

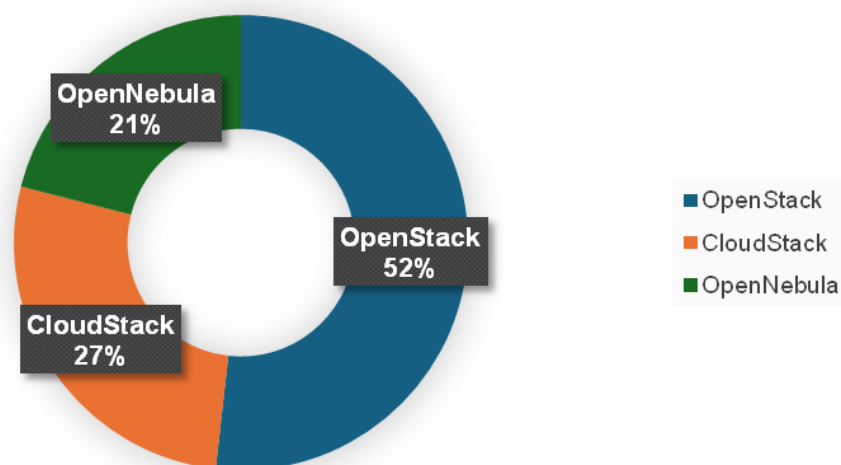
5.5. Крайните резултати се изчисляват чрез комбиниране на тежестите на алтернативите спрямо критериите. Алтернативата с най-висок общ резултат се счита за най-подходяща.

Таблица 7. Матрица с изчисляване на тежестите

	Scalability	Flexibility	Support	Security	Cost	LMS
OpenStack	0.539	0.539	0.5485	0.5485	0.3333	0.5485
CloudStack	0.2973	0.2973	0.2409	0.2409	0.3333	0.2409
OpenNebula	0.1638	0.1638	0.2106	0.2106	0.3333	0.2106
	0.1807	0.1599	0.1147	0.255	0.1275	0.1622

Таблица 8. Финални изчисления

	Scalability	Flexibility	Support	Security	Cost	LMS	Резултат %
OpenStack	0.0974	0.0862	0.0629	0.1398	0.0424	0.0889	51.78
CloudStack	0.0537	0.0475	0.0276	0.0614	0.0424	0.039	27.19
OpenNebula	0.0296	0.0262	0.0242	0.0537	0.0424	0.0341	21.03



Фиг. 2. Графика показваща финалните резултати

6. Заключение

Сравнителният анализ показва, че OpenStack е най-подходящата платформа за изграждане на облачна среда по зададените специфични изисквания като: мащабируемост, гъвкавост, поддръжка и документация, сигурност, ценова ефективност, възможност за интеграция със система за управление на обучението (LMS). Приложението на АНР метода осигурява обективна основа за избор на технологично решение, което отговаря на специфичните изисквания по изграждането на облачна платформа за обучение на морски кадри.

Библиография

1. LE, Dac-Nhuong et al., 2022. OpenStack. In: *Cloud Computing Solutions*, pp. 313–323 Wiley.
2. ROSADO, Tiago and BERNARDINO, Jorge, 2014. An overview of openstack architecture. In: *Proceedings of the 18th International Database Engineering & Applications Symposium on - IDEAS '14*, pp. 366–367. New York, New York, USA: ACM Press. ISBN 9781450326278. Available from: <https://doi.org/10.1145/2628194.2628195>.

3. FLAUZINO, José and DUARTE JR., Elias P., 2022. Uma Plataforma NFV-MANO para Suporte e Orquestração de Serviços de Rede Virtualizados em Nuvem CloudStack. In: Anais Estendidos do XL Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores e Sistemas Distribuídos (SBRC Estendido 2022), pp. 169–176. Sociedade Brasileira de Computação - SBC. Available from: https://doi.org/10.5753/sbrc_estendido.2022.222414.
4. ZEROUALI, Ahmed and MENS, Tom, 2017. An empirical comparison of the development history of cloudstack and eucalyptus. In: Proceedings of the 2017 International Conference on Smart Digital Environment, pp. 116–121. New York, NY, USA: ACM. ISBN 9781450352819. Available from: <https://doi.org/10.1145/3128128.3128146>.
5. LE, Dac-Nhuong et al., 2022. OpenNebula. In: Cloud Computing Solutions, pp. 305–311Wiley.
6. MOLINA, Daniel et al., [no date]. The OpenNebula Cloud Toolkit. In: Open Source Cloud Computing Systems, pp. 19–43IGI Global.
7. ABBASI, Maryam et al., 2023. Exploring OpenStack for Scalable and Cost-Effective Virtualization in Education. In:, pp. 135–146
8. VOGEL, Adriano et al., 2016. Private IaaS Clouds: A Comparative Analysis of OpenNebula, CloudStack and OpenStack. In: 2016 24th Euromicro International Conference on Parallel, Distributed, and Network-Based Processing (PDP), pp. 672–679. IEEE. ISBN 978-1-4673-8776-7. Available from: <https://doi.org/10.1109/PDP.2016.75>.
9. WEN, Xiaolong et al., 2012. Comparison of open-source cloud management platforms: OpenStack and OpenNebula. In: 2012 9th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, pp. 2457–2461. IEEE. ISBN 978-1-4673-0024-7. Available from: <https://doi.org/10.1109/FSKD.2012.6234218>.
10. PARADOWSKI, Aaron et al., 2014. Benchmarking the Performance of OpenStack and CloudStack. In: 2014 IEEE 17th International Symposium on Object/Component/Service-Oriented Real-Time Distributed Computing, pp.

405–412. IEEE. ISBN 978-1-4799-4430-9. Available from:
<https://doi.org/10.1109/ISORC.2014.12>.

11. DING, Dayong et al., 2007. AHP: A New Strategy for the Semantic Concept Detection in Video. In: *Multimedia and Expo, 2007 IEEE International Conference on*, pp. 1974–1977. IEEE. ISBN 1-4244-1016-9. Available from:
<https://doi.org/10.1109/ICME.2007.4285065>.

12. WEBER, Karl, 1998. AHP (Analytic Hierarchy Process) — Einsatz im Marketing. In: *Computer Based Marketing*, pp. 659–667 Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag.

13. VARGAS, Luis G., 1990. An overview of the analytic hierarchy process and its applications. *European Journal of Operational Research*, vol. 48, no. 1, pp. 2–8. ISSN 03772217. Available from: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90056-H](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90056-H).

14. KHAZAI, Javad, 2016. Analytical Hierarchy Process (AHP). In: *Advanced Decision Making for HVAC Engineers*, pp. 73–85 Cham: Springer International Publishing.

ИЗГРАЖДАНЕ НА ОБЛАЧНА ПЛАТФОРМА ЗА ОБУЧЕНИЕ НА МОРСКИ КАДРИ С ПОМОЩТА НА OPENSTACK И MOODLE

Пламен Браняков

ВВМУ „Н. Й. Вапцаров”

branyakov@naval-acad.bg, Тел.: 0887201158

***Анотация:** Настоящата публикация разглежда изграждането на облачна платформа за обучение на морски кадри чрез интеграцията на OpenStack като инфраструктура и Moodle като система за управление на обучението (LMS). Описани са архитектурата на платформата, ключовите компоненти на OpenStack, процесът на интеграция с Moodle и използването на виртуализация за симулиране на реални условия в обучението. Специално внимание е отделено на подходите за скалиране на платформата – вертикално и хоризонтално, което осигурява гъвкавост и надеждност при управление на натоварванията. Изследването подчертава предимствата на използването на облачни технологии за морското образование, включително ефективността, мащабируемостта и адаптивността към специфични нужди.*

***Ключови думи:** облачни технологии, OpenStack, Moodle, виртуализация, морско обучение, скалиране, инфраструктура.*

BUILDING A CLOUD PLATFORM FOR MARITIME TRAINING USING OPENSTACK AND MOODLE

Plamen Branyakov

Nikola Vaptsarov Naval Academy

email:branyakov@naval-acad.bg, phone: 0887201158

***Abstract:** This publication examines the development of a cloud platform for maritime training by integrating OpenStack as the infrastructure and Moodle as the Learning Management System (LMS). The platform's architecture, key components of OpenStack,*

integration process with Moodle, and the use of virtualization to simulate real-world conditions in training are described. Special attention is given to scaling approaches—vertical and horizontal—which ensure flexibility and reliability in managing workloads. The study highlights the advantages of using cloud technologies for maritime education, including efficiency, scalability, and adaptability to specific needs.

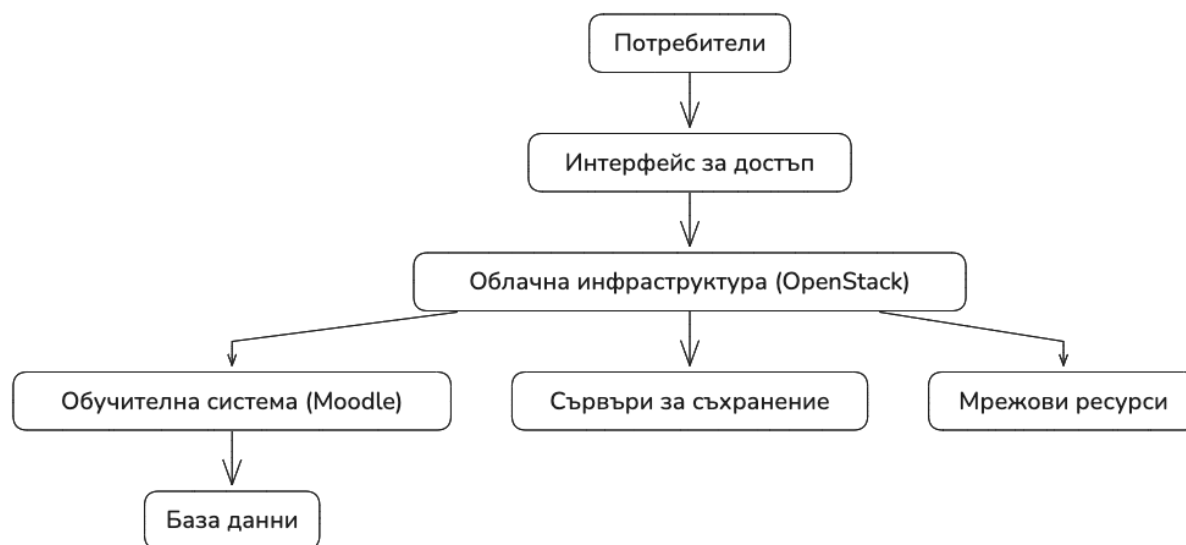
Keywords: *cloud technologies, OpenStack, Moodle, virtualization, maritime training, scaling, infrastructure.*

1. Въведение

Внедряването на облачни технологии в образованието предоставя възможност за трансформация на учебния процес чрез мащабируемост, гъвкавост и лесен достъп до ресурси. Настоящата публикация се фокусира върху създаването на облачна платформа за обучение на морски кадри, използвайки OpenStack като инфраструктурна основа и Moodle като система за управление на обучението (LMS). Разгледани са архитектурата на платформата, процесът на интеграция, виртуализацията и подходите за скалиране.

2. Архитектура на облачната платформа

Архитектурата обединява компонентите на OpenStack за управление на ресурси (Compute, Storage, Network) и интеграцията с Moodle за управление на учебното съдържание.



Фиг. 3. Обща архитектура на платформата

Схемата илюстрира структурата на интегрирана облачна платформа за обучение, съчетаваща потребителски достъп, облачна инфраструктура и обучителни системи. Ето описание на основните компоненти и техните взаимодействия:

- **Потребители (А):** Потребителите включват обучаеми, преподаватели и администратори, които осъществяват достъп до системата чрез интерфейс за достъп. Те взаимодействат с платформата, за да се регистрират, следят прогреса си или управляват учебни ресурси.
- **Интерфейс за достъп (В):** Този интерфейс служи като мост между потребителите и основната система. Може да бъде реализиран чрез уеб портали или мобилни приложения, които предлагат удобен и интуитивен достъп до обучителните ресурси.
- **Облачна инфраструктура (OpenStack) (С):** OpenStack осигурява базовата облачна инфраструктура, която поддържа виртуализацията, изчислителните ресурси, съхранението и мрежовите услуги. Той е отговорен за мащабируемостта и надеждността на системата, като гарантира непрекъснато функциониране.

- **Обучителна система (Moodle) (D):** Moodle е интегрирана в облачната инфраструктура като платформа за управление на обучението. Тя предоставя курсове, тестове и други учебни ресурси, които се съхраняват в облака и са достъпни през интерфейса.

- **База данни (E):** Базата данни съхранява критичната информация за потребителите, курсовете, резултатите и учебните материали. Тя е свързана както с обучителната система, така и с облачната инфраструктура, осигурявайки достъп до данните при поискване.

- **Сървъри за съхранение (F):** Тези сървъри управляват обема от учебни ресурси, включително документи, видеа и симулации. Те използват облачната инфраструктура за оптимално съхранение и осигуряване на бърз достъп до материалите.

- **Мрежови ресурси (G):** Мрежовите ресурси са основен компонент на платформата. Те гарантират свързаността между всички компоненти, като осигуряват сигурност, ниска латентност и висока производителност при комуникацията между потребителите и сървърите.

Взаимодействия между компонентите

- **Потребителите (A)** осъществяват достъп до интерфейса за достъп (B), който се свързва с облачната инфраструктура (C), за да обработи заявките.

- **Облачната инфраструктура (C)** управлява ресурсите и предоставя необходимите изчислителни и мрежови възможности на обучителната система (D) и сървърите за съхранение (F).

- **Обучителната система (D)** използва базата данни (E) за управление на данните, като курсове и оценки, и се интегрира с потребителския интерфейс за достъп в реално време.

- **Сървърите за съхранение (F)** и **мрежовите ресурси (G)** гарантират надеждно съхранение и сигурен пренос на данни в цялата система.

Тази взаимосвързаност осигурява гладка и ефективна работа на платформата, като поддържа съвременните изисквания за дигитално обучение в морския сектор.

3. Инфраструктура с OpenStack

OpenStack е цялостна облачна изчислителна платформа с отворен код, която предоставя инфраструктура като услуга (IaaS) чрез управление на големи басейни от изчислителни, съхраняеми и мрежови ресурси в целия център за данни. Той е проектиран да бъде мащабно мащабируем и гъвкав, което позволява създаването и управлението както на публични, така и на частни облаци. Архитектурата на OpenStack е модулна, състояща се от няколко основни компонента, които работят заедно, за да осигурят стабилна облачна среда. Тези компоненти са от решаващо значение за внедряването и управлението на облачните ресурси и тяхната интеграция формира гръбнака на функционалността на OpenStack. По-долу е даден преглед на основните компоненти на OpenStack и техните роли в системата. Основни компоненти на OpenStack

- **Nova (изчислителна услуга):** Nova е основният изчислителен двигател зад OpenStack, отговорен за осигуряването и управлението на големи мрежи от виртуални машини (VMs)¹⁰⁸⁰. Поддържа различни хипервайзори и осигурява възможност за управление на изчислителните ресурси по мащабируем начин.

- **Neutron (мрежова услуга):** Neutron предоставя мрежа като услуга между интерфейсни устройства, управлявани от други услуги на OpenStack¹⁰⁸¹. Позволява на потребителите да създават свои собствени мрежи и да контролират трафика, предлагайки усъвършенствани мрежови възможности като балансиране на натоварването и защитни стени.

- **Cinder (услуга за съхранение на блокове):** Cinder осигурява постоянно блоково съхранение на работещи екземпляри, подобно на

¹⁰⁸⁰ G., Srinivasa K. and SANTHOSH, Vikram, 2018. An Insight Into Openstack. In:, pp. 243–259

¹⁰⁸¹ KEVIN, Jackson et al., 2012. OpenStack Cloud Computing Cookbook.

концепцията за прикачване на твърд диск към сървър¹⁰⁸². Поддържа различни бекенди за съхранение, предлагайки гъвкавост при управлението на съхранението.

- **Swift (услуга за съхранение на обекти):** Swift е мащабируема система за съхранение, която позволява съхраняване и извличане на неструктурирани обекти с данни¹⁰⁸³. Предназначена е да съхранява големи количества данни и е силно устойчива на грешки.

- **Keystone (Услуга за самоличност):** Keystone предоставя услуги за удостоверяване и авторизация на високо ниво за всички компоненти на OpenStack¹⁰⁸⁴. Управлява потребителите и техните разрешения, осигурявайки сигурен достъп до ресурси.

- **Glance (услуга за изображения):** Glance предоставя услуги за откриване, регистрация и доставка на дискови и сървърни изображения¹⁰⁸⁵. Тя позволява на потребителите да създават и управляват библиотека от сървърни изображения за внедряване.

- **Horizon (табло за управление):** Horizon е уеб базиран интерфейс за OpenStack, който позволява на администраторите и потребителите да управляват ресурси и услуги чрез графичен интерфейс¹⁰⁸⁶.

¹⁰⁸² KEVIN, Jackson et al., 2012. OpenStack Cloud Computing Cookbook.

¹⁰⁸³ BASET, Salman A., 2012. Open source cloud technologies. In: Proceedings of the Third ACM Symposium on Cloud Computing, pp. 1–2. New York, NY, USA: ACM. ISBN 9781450317610. Available from: <https://doi.org/10.1145/2391229.2391257>.

¹⁰⁸⁴ KEVIN, Jackson et al., 2012. OpenStack Cloud Computing Cookbook.

¹⁰⁸⁵ BASET, Salman A., 2012. Open source cloud technologies. In: Proceedings of the Third ACM Symposium on Cloud Computing, pp. 1–2. New York, NY, USA: ACM. ISBN 9781450317610. Available from: <https://doi.org/10.1145/2391229.2391257>.

¹⁰⁸⁶ RAKESH, Kumar et al., 2014. Open Source Solution for Cloud Computing Platform Using OpenStack.

Таблица 9. Компоненти на OpenStack

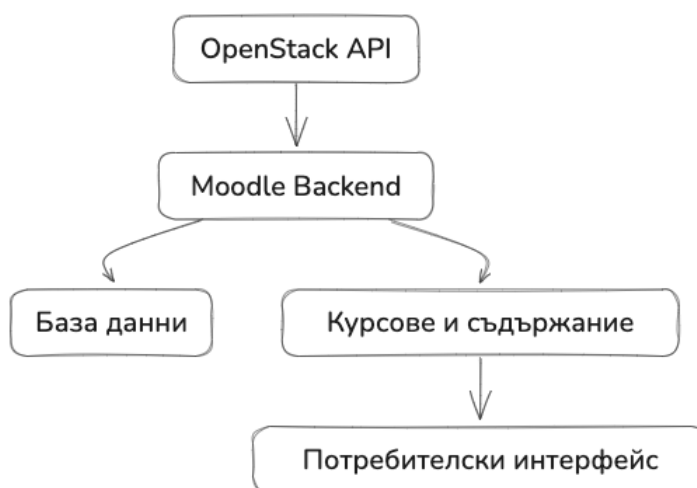
Компонент	Функция	Значение за обучението
Nova	Управление на виртуални машини	Осигурява виртуална среда за симулации, което позволява създаване на учебни сценарии, близки до реалността.
Neutron	Мрежова свързаност	Гарантира връзка между виртуални потребители и ресурси, което е критично за дистанционното обучение и виртуалните класове.
Cinder	Блоково съхранение	Позволява запазване на данни, курсове и учебни материали, осигурявайки надежден достъп до тях.
Swift	Обектно съхранение	Осигурява съхранение на големи обеми данни, като видеолекции, мултимедийни учебни материали и архиви.
Keystone	Удостоверяване и управление на достъпа	Осигурява сигурен достъп за обучаемите и преподавателите, гарантирайки персонализирани права и сигурност.
Glance	Управление на изображения	Позволява използването на виртуални образи (images) за настройка на специфични обучителни среди и симулации.
Horizon	Уеб интерфейс за управление	Предоставя лесен за използване интерфейс за администриране на облачната инфраструктура, улеснявайки достъпа и управлението на ресурси от страна на преподаватели и администратори.

OpenStack осигурява платформа за виртуализация, където изчислителните, мрежовите и съхранителните ресурси се разпределят динамично.

4. Интеграция на Moodle

Системата за управление на обучението (Learning Management System/LMS) е софтуерна платформа, предназначена за управление, провеждане и проследяване на образователни процеси. LMS системата Moodle е избрана заради нейната съвместимост с облачните платформи и възможностите ѝ за адаптивно обучение. Интеграцията включва:

- Свързване с базата данни на OpenStack.
- Достъп до ресурси чрез API интерфейси.
- Конфигуриране на виртуални класни стаи.



Фиг. 4. Интеграция на Moodle с OpenStack

Интегрирането на Moodle с OpenStack включва използване на възможностите за облачни изчисления за подобряване на функционалността и мащабируемостта на учебната платформа Moodle. Тази интеграция може да осигури стабилна инфраструктура за образователните институции, позволявайки им да управляват ресурсите по-ефективно и да предлагат по-надеждна и мащабируема среда за

обучение. Процесът на интеграция включва няколко ключови компонента и съображения, които са разгледани в следващите раздели.

- **Предимства на интегрирането на Moodle с OpenStack:**

- **Мащабируемост и гъвкавост:** OpenStack предоставя инфраструктура, базирана на облак, която може динамично да разпределя ресурси въз основа на търсенето. Това е особено полезно за Moodle, който може да изпита различни натоварвания в зависимост от броя на потребителите и дейностите. Използвайки OpenStack, институциите могат да мащабират своите екземпляри на Moodle нагоре или надолу според нуждите, осигурявайки оптимална производителност без прекомерно предоставяне на ресурси¹⁰⁸⁷.

- **Разходна ефективност:** Използването на облачната инфраструктура на OpenStack може да намали общите разходи. Преминвайки към модел, базиран на облак, институциите могат да избегнат високите разходи, свързани с поддържането на физически сървъри, и вместо това да плащат само за ресурсите, които използват¹⁰⁸⁸.

- **Висока наличност и надеждност:** Инфраструктурата на OpenStack може да подобри наличността и надеждността на Moodle, като предоставя функции като балансиране на натоварването, превключване в неизправност и резервиране. Това гарантира, че платформата Moodle остава достъпна за потребителите дори в случай на хардуерни повреди или други смущения¹⁰⁸⁹.

¹⁰⁸⁷ ZHANG, Jilin et al., 2013. Designing and Applying an Education IaaS System based on OpenStack. Applied Mathematics & Information Sciences, vol. 7, no. 1L, pp. 155–160. ISSN 1935-0090. Available from: <https://doi.org/10.12785/amis/071L22>.

¹⁰⁸⁸ MASUDA, Hideo et al., 2008. An integrated moodle system using VM technology to achieve higher availability and lower TCO. In: Proceedings of the 36th annual ACM SIGUCCS fall conference: moving mountains, blazing trails, pp. 315–318. New York, NY, USA: ACM. ISBN 9781605580746. Available from: <https://doi.org/10.1145/1449956.1450049>.

¹⁰⁸⁹ MASUDA, Hideo et al., 2008. An integrated moodle system using VM technology to achieve higher availability and lower TCO. In: Proceedings of the 36th annual ACM SIGUCCS fall conference: moving mountains, blazing trails, pp. 315–318. New York, NY, USA: ACM. ISBN 9781605580746. Available from: <https://doi.org/10.1145/1449956.1450049>.

- **Технически съображения**

- Инфраструктура като услуга (IaaS): OpenStack предоставя възможности за IaaS, позволявайки на институциите да създават и управляват виртуални машини (VM), които хостват екземпляри на Moodle. Тази настройка може да бъде персонализирана, за да отговори на специфични нужди¹⁰⁹⁰.

- Управление на самоличността и достъпа: Интегрирането на Moodle с OpenStack изисква стабилни решения за управление на идентичността и достъпа, за да се гарантира сигурно удостоверяване и оторизация. Интеграцията на OpenStack с механизмите за федерация на идентичността може да улесни това, позволявайки безпроблемен достъп до различни системи и услуги¹⁰⁹¹.

- Мониторинг и управление: Ефективното наблюдение и управление на облачната инфраструктура са от решаващо значение за поддържането на производителността и сигурността на Moodle¹⁰⁹².

- **Предизвикателства и съображения**

- Сложност на интеграцията: Интегрирането на Moodle с OpenStack може да бъде сложно и изисква технически опит както в облачните изчисления, така и в архитектурата на Moodle. Може да се наложи институциите да инвестират в обучение или да наемат специалисти, за да управляват ефективно процеса на интеграция¹⁰⁹³.

¹⁰⁹⁰ HAROON, Thasviya et al., 2016. Convivial private cloud implementation system using OpenStack. In: 2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT), pp. 3484–3488. IEEE. ISBN 978-1-4673-9939-5. Available from: <https://doi.org/10.1109/ICEEOT.2016.7755352>.

¹⁰⁹¹ PÉREZ MÉNDEZ, Alejandro et al., 2017. Integrating an AAA-based federation mechanism for OpenStack—The CLASSE view. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, vol. 29, no. 12. ISSN 1532-0626. Available from: <https://doi.org/10.1002/cpe.4148>.

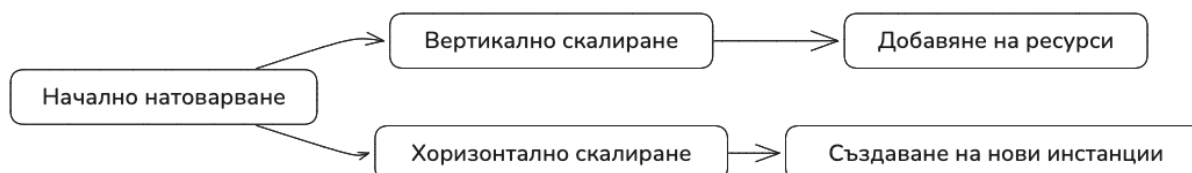
¹⁰⁹² ZHANG, Jilin et al., 2013. Designing and Applying an Education IaaS System based on OpenStack. *Applied Mathematics & Information Sciences*, vol. 7, no. 1L, pp. 155–160. ISSN 1935-0090. Available from: <https://doi.org/10.12785/amis/071L22>.

¹⁰⁹³ PING HE et al., 2015. Study on the integration of cloud computing and moodle learning platform. In: 2015 IEEE International Conference on Communication Software and Networks

- Сигурност и поверителност на данни: Преместването на Moodle към инфраструктура, базирана на облак, поражда опасения относно сигурността и поверителността на данните. Институциите трябва да гарантират, че тяхното внедряване на OpenStack отговаря на съответните разпоредби и най-добрите практики за защита на данни¹⁰⁹⁴.

5. Скалируемост на платформата

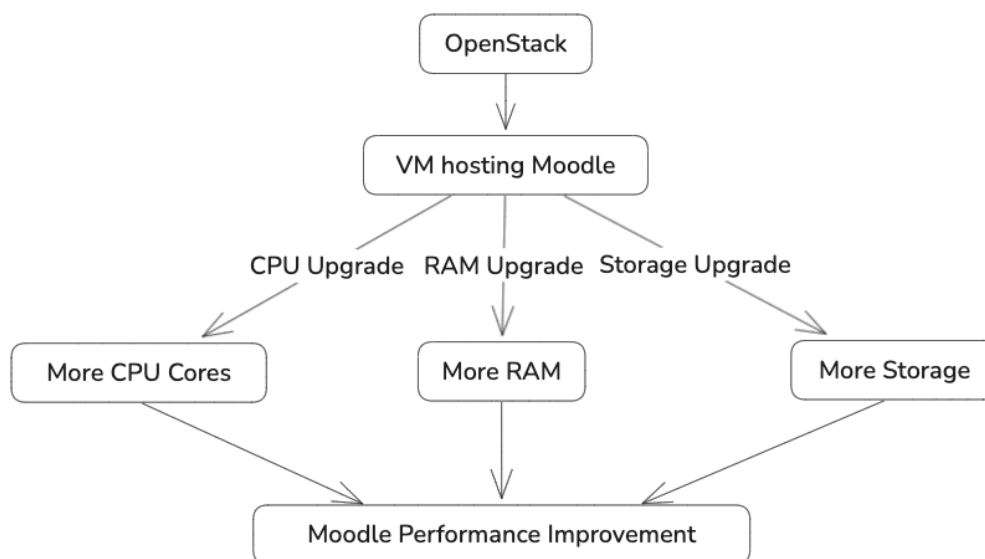
Интегрирането на Moodle с OpenStack за вертикално и хоризонтално скалиране включва използване на възможностите на OpenStack за подобряване на производителността и мащабируемостта на Moodle. OpenStack, като облачна операционна система, предоставя стабилна платформа за управление на изчислителни, съхранение и мрежови ресурси, която може да се използва за мащабиране на Moodle хоризонтално чрез внедряване на допълнителни екземпляри, ако е необходимо. Този подход гарантира, че Moodle може ефективно да се справя с увеличените натоварвания на потребителите чрез разпределяне на задачи в множество виртуални машини.



Фиг. 5. Модел за скалиране

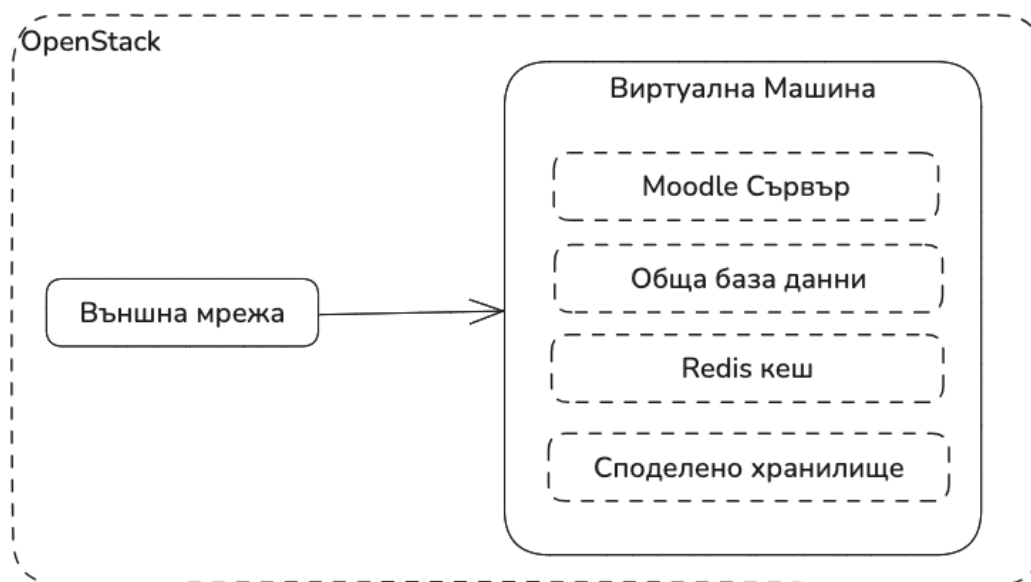
5.1. Вертикално скалиране

При вертикалното скалиране се увеличават ресурсите на съществуващи виртуални машини (CPU, RAM, Storage) за да се увеличи общата производителност на виртуалната машина.



Фиг. 6. Увеличаване на ресурсите на съществуваща виртуална машина

На тази схема ясно се подчертава, че Moodle сървър, общата база данни, кеш сървър (Redis server) и споделеното хранилище функционират на една и съща виртуална машина (instance), демонстрирайки концепцията за вертикално скалиране.



Фиг. 7. Вертикално скалиране

5.2. Хоризонтално скалиране

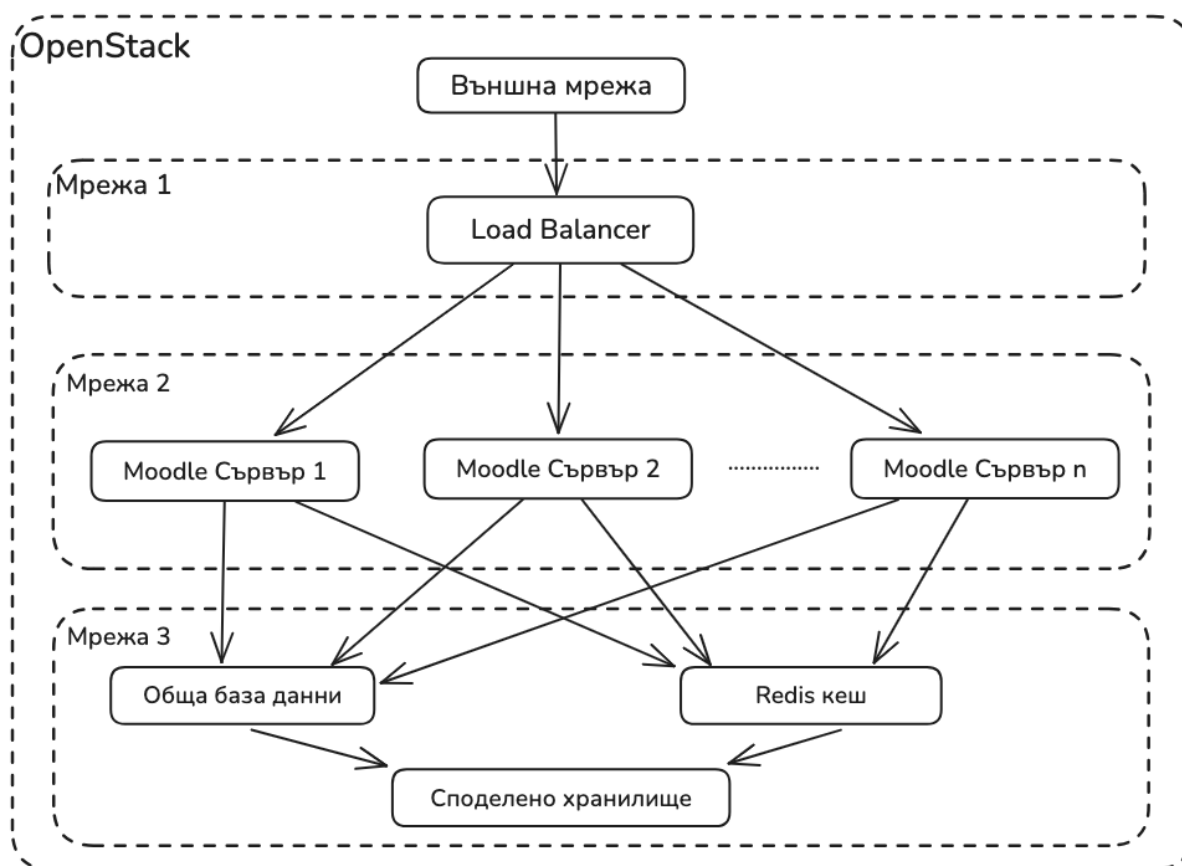
OpenStack улеснява хоризонталното мащабиране, като позволява внедряването на множество виртуални машини за обработка на едновременни задачи, което е от съществено значение за приложения като Moodle, които изискват мащабируемост, за да обслужват голям брой потребители едновременно¹⁰⁹⁵.

Използването на технология за виртуална машина в Moodle, както е показано в казус, показва, че внедряването на множество уеб сървъри и сървъри за бази данни на различни виртуални машини може да подобри наличността и да намали общите разходи за собственост¹⁰⁹⁶. Добавяне на нови виртуални машини за обработка на нарастващия брой потребители.

Схемата показва хоризонтално скалиране на Moodle в OpenStack с включени компоненти: Load Balancer, n на брой инстанции на Moodle (app), обща база данни, кеш сървър (Redis server) и споделено общо хранилище.

¹⁰⁹⁵ G., Srinivasa K. and SANTHOSH, Vikram, 2018. An Insight Into Openstack. In:, pp. 243–259

¹⁰⁹⁶ MASUDA, Hideo et al., 2008. An integrated moodle system using VM technology to achive higher availability and lower TCO. In: Proceedings of the 36th annual ACM SIGUCCS fall conference: moving mountains, blazing trails, pp. 315–318. New York, NY, USA: ACM. ISBN 9781605580746. Available from: <https://doi.org/10.1145/1449956.1450049>.



Фиг. 8. Горизонтално скалиране

Описание на диаграмата:

- Load Balancer разпределя трафика между двете инстанции на Moodle.
- Moodle App инстанции споделят обща база данни и Redis кеш сървър.
- И двете инстанции имат достъп до общо хранилище.
- Добавени са следните виртуална мрежа с цел увеличаване на сигурността: преди Load Balancer, между Load Balancer и Moodle App инстанциите и между Moodle App инстанциите и споделените ресурси (база данни, кеш сървър, хранилище).

6. Заключение

Предложената облачна платформа, базирана на OpenStack и Moodle, предоставя мащабируемо и сигурно решение за обучение на морски

кадри. Чрез интеграцията на виртуализация и динамично управление на ресурси, платформата гарантира адаптивност към специфичните изисквания на морската индустрия.

Библиография

1. G., Srinivasa K. and SANTHOSH, Vikram, 2018. An Insight Into Openstack. In:, pp. 243–259
2. KEVIN, Jackson et al., 2012. *OpenStack Cloud Computing Cookbook*.
3. BASET, Salman A., 2012. Open source cloud technologies. In: *Proceedings of the Third ACM Symposium on Cloud Computing*, pp. 1–2. New York, NY, USA: ACM. ISBN 9781450317610. Available from: <https://doi.org/10.1145/2391229.2391257>.
4. RAKESH, Kumar et al., 2014. Open Source Solution for Cloud Computing Platform Using OpenStack.
5. ZHANG, Jilin et al., 2013. Designing and Applying an Education IaaS System based on OpenStack. *Applied Mathematics & Information Sciences*, vol. 7, no. 1L, pp. 155–160. ISSN 1935-0090. Available from: <https://doi.org/10.12785/amis/071L22>.
6. MASUDA, Hideo et al., 2008. An integrated moodle system using VM technology to achive higher availability and lower TCO. In: *Proceedings of the 36th annual ACM SIGUCCS fall conference: moving mountains, blazing trails*, pp. 315–318. New York, NY, USA: ACM. ISBN 9781605580746. Available from: <https://doi.org/10.1145/1449956.1450049>.
7. HAROON, Thasviya et al., 2016. Convivial private cloud implementation system using OpenStack. In: *2016 International Conference on Electrical, Electronics, and Optimization Techniques (ICEEOT)*, pp. 3484–3488. IEEE. ISBN 978-1-4673-9939-5. Available from: <https://doi.org/10.1109/ICEEOT.2016.7755352>.
8. PÉREZ MÉNDEZ, Alejandro et al., 2017. Integrating an AAA-based federation mechanism for OpenStack—The CLASSe view. *Concurrency and*

Computation: Practice and Experience, vol. 29, no. 12. ISSN 1532-0626.
Available from: <https://doi.org/10.1002/cpe.4148>.

9. PING HE et al., 2015. Study on the integration of cloud computing and moodle learning platform. In: *2015 IEEE International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN)*, pp. 367–371. IEEE. ISBN 978-1-4799-1983-3. Available from: <https://doi.org/10.1109/ICCSN.2015.7296185>.

10. MASUDA, Hideo et al., 2008. An integrated moodle system using VM technology to achive higher availability and lower TCO. In: *Proceedings of the 36th annual ACM SIGUCCS fall conference: moving mountains, blazing trails*, pp. 315–318. New York, NY, USA: ACM. ISBN 9781605580746. Available from: <https://doi.org/10.1145/1449956.1450049>.

THE ROLE OF CARBON-14 IN AEROSPACE APPLICATIONS

Adelina Miteva

Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: ad.miteva@gmail.com

Abstract: Carbon-14 (^{14}C) is a radioactive isotope with promising applications in aerospace, particularly in material science, emissions monitoring, and environmental studies. This study examines ^{14}C 's beta decay properties and isotopic tracing potential, alongside methods like liquid scintillation counting and accelerator mass spectrometry for its measurement and use in aerospace systems. Case studies demonstrate ^{14}C 's role in monitoring material degradation, sustainable aviation fuels, and spacecraft structural health diagnostics, highlighting its precision and isotopic capabilities, but noting challenges like cost and availability. The paper emphasizes ^{14}C 's potential in next-generation materials and sustainable technologies, advocating for more interdisciplinary research to maximize its impact.

Keywords: carbon-14 (^{14}C), aerospace applications, isotopic tracing, radioisotopes, aerospace materials, ^{14}C measurement, material degradation, radiometric techniques

Introduction

Carbon-14 (^{14}C) is a radioactive isotope with a half-life of about 5,730 years, formed through cosmic ray interactions with atmospheric nitrogen. Unlike stable carbon isotopes, ^{14}C 's trace environmental presence and beta decay properties make it invaluable for isotopic tracing and age determination. Its predictable decay rate and compatibility with carbon-based systems render it versatile across research and industrial applications.

In material science^{1097, 1098}, ^{14}C traces carbon movement, assesses degradation, and tracks chemical transformations. Its applications span

¹⁰⁹⁷ Babin, V., Taran, F. and Audisio, D., 2022. Late-stage carbon-14 labeling and isotope exchange: emerging opportunities and future challenges. JACS Au, 2(6), pp.1234-1251.

geology, biology, and environmental science, aiding studies of organic and inorganic carbon compounds. ^{14}C is used in pharmaceuticals for metabolic pathway tracking, in environmental science for emission differentiation, and in industries for quality control and process optimization.

The aerospace sector benefits from ^{14}C 's compatibility with carbon-based materials like composites and polymers, enabling molecular-level insights into wear, stability, and performance under extreme conditions. This aligns with the industry's need for materials that endure thermal, mechanical, and chemical stresses, while addressing challenges like long-term behavior, degradation, and environmental impact.

^{14}C offers unique potential for studying material transformations and carbon migration in aerospace components, aiding greener and more efficient propulsion system development. However, its use in aerospace remains underexplored, with most studies focusing on terrestrial applications, reflecting technical and integration challenges in this field.

This paper aims to bridge gaps in understanding ^{14}C 's aerospace applications by exploring its properties and uses, highlighting limitations, and proposing research directions. It seeks to position ^{14}C as a transformative tool for innovation in aerospace engineering.

Properties of carbon-14 relevant to aerospace

Carbon-14 (^{14}C) is a beta-emitting isotope with a half-life of about 5730 years, making it ideal for long-term studies. Its beta decay produces low-energy particles, transforming ^{14}C into nitrogen-14 (^{14}N). This stability supports its use as a tracer for monitoring material degradation, carbon migration, and chemical transformations in aerospace systems. Its low-energy radiation is safe to handle in laboratories and detectable using techniques like liquid scintillation counting and accelerator mass spectrometry (AMS).

¹⁰⁹⁸ Zhao, Y., Goodwin Jr, D.G., Sung, L., Ramakrishnan, G., Wu, Q., Cen, J., Petersen, E.J. and Orlov, A., 2023. Quantitative evaluation of released nanomaterials from carbon nanotube epoxy nanocomposites during environmental exposure and mechanical treatment. *NanoImpact*, 32, p.100486.

^{14}C is particularly useful in aerospace for:

- material analysis: it tracks carbon migration and degradation in composites, aiding material optimization.
- emission monitoring: it differentiates biogenic and fossil-derived CO_2 emissions, supporting greener propulsion development.
- environmental studies: ^{14}C helps analyze long-term material-environment interactions, like those involving coatings and composites.

In carbon-based aerospace materials, ^{14}C provides stability under high temperatures and mechanical stress. It integrates seamlessly into materials like carbon-fiber-reinforced plastics and carbon-carbon composites, allowing precise tracing without altering their properties. This enables:

- thermal stability: insights into performance in heat shields and hypersonic materials;
- environmental resistance: tracking of UV, moisture, and reactive gas effects on aerospace materials.

^{14}C 's unique properties make it an essential tool for studying material performance and enabling innovative solutions in aerospace engineering.

Applications of carbon-14 in aerospace

Carbon-14 is commonly used in various fields, including aerospace, to assess ages, trace contamination, and understand material stability. The application of ^{14}C dating in aerospace research is an emerging area, particularly in understanding the age and development of materials used in aerospace technology. ^{14}C is used in aerospace dating to determine the age of organic materials ranging from a few decades to about 50000 years. Carbon-14 (^{14}C) is a critical tool for tracking material degradation in aerospace components. When incorporated into carbon-based materials, ^{14}C enables researchers to monitor reactions under extreme conditions like high temperatures and mechanical stress. It identifies chemical and structural breakdown pathways in composites such as carbon-carbon and carbon-fiber-

reinforced plastics (CFRPs), providing essential insights for improving aerospace reliability and safety.

In propulsion systems, ^{14}C tracing helps study fuel composition and efficiency. It differentiates biogenic and fossil-derived carbon in emissions, aiding assessments of sustainable aviation fuels (SAFs) and their environmental impact. Additionally, ^{14}C reveals combustion inefficiencies, supporting the development of engines with reduced carbon footprints.

^{14}C also optimizes carbon-based aerospace materials, offering a molecular-level approach to understanding carbon migration, structural stability, and oxidation. Examples include tracing microstructural changes under stress for better mechanical performance and using ^{14}C in oxidation studies to design protective coatings that extend material lifespans.

In manufacturing, ^{14}C tracing identifies inefficiencies in composite fabrication, ensuring uniform properties, reducing defects, and improving material quality. For environmental impact, ^{14}C distinguishes biogenic from anthropogenic CO_2 emissions, supporting strategies to reduce aerospace carbon footprints and meet sustainability goals.

Innovative applications include using ^{14}C for radiation shielding, advanced sensors for real-time monitoring in extreme conditions, and studying material behavior in extraterrestrial environments. These potential uses further expand ^{14}C 's role in advancing aerospace performance and sustainability.

Methodologies for measuring and applying carbon-14^{1099, 1100, 1101, 1102}

¹⁰⁹⁹ Remeikis, V., Lagzdina, E., Garbaras, A., Gudelis, A., Garankin, J., Plukienė, R., Juodis, L., Duškesas, G., Lingis, D., Abdulajev, V. and Plukis, A., 2018. Rapid analysis method for the determination of ^{14}C specific activity in irradiated graphite. *Plos one*, 13(1), p.e0191677.

¹¹⁰⁰ Woo, H.J., Chun, S.K., Cho, S.Y., Kim, Y.S., Kang, D.W. and Kim, E.H., 1999. Optimization of liquid scintillation counting techniques for the determination of carbon-14 in environmental samples. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 239, pp.649-655.

¹¹⁰¹ Bharath, S., Krishnan, K.A., D'Souza, R.S., Nayak, S.R., Ravi, P.M., Sharma, R., Kumar, P., Chopra, S. and Karunakara, N., 2021. Optimisation of CO_2 absorption and liquid scintillation counting method for carbon-14 specific activity measurement in atmospheric air. *Applied Radiation and Isotopes*, 172, p.109685.

Liquid scintillation counting (LSC) is a highly sensitive method for measuring ^{14}C by detecting light emissions when beta particles interact with scintillating chemicals. It is particularly effective for analyzing ^{14}C in aerospace materials and emissions, with advancements in quenching correction and spectral analysis improving its precision.

Accelerator mass spectrometry (AMS) directly counts ^{14}C atoms at very low concentrations, requiring smaller samples than LSC and offering unmatched isotopic accuracy. AMS is ideal for tracing carbon migration in materials and quantifying biogenic carbon in emissions, making it valuable for long-term studies.

CO_2 trapping techniques capture ^{14}C in gaseous samples, such as emissions, using chemical absorbers like NaOH, which are then analyzed via LSC or AMS. This method is crucial for emissions monitoring and studying environmental interactions in aerospace contexts.

^{14}C is integrated into aerospace testing by embedding ^{14}C -labeled precursors into materials, enabling degradation studies under operational conditions. It is also used in coatings and adhesives to assess performance in extreme environments and in propulsion testing to differentiate biogenic from fossil-derived CO_2 .

In material design, ^{14}C tracing evaluates carbon distribution uniformity and detects impurities, improving material properties. It also supports real-time monitoring of structural health by embedding ^{14}C -labeled components into critical structures, facilitating maintenance and lifecycle management.

Advanced methodologies like LSC, AMS, and CO_2 trapping make ^{14}C a versatile tool for aerospace research, enhancing material performance, durability, and sustainability. These techniques drive innovation and expand ^{14}C 's applications in the aerospace industry.

¹¹⁰² Bronić, I.K., Horvatinčić, N., Barešić, J. and Obelić, B., 2009. Measurement of ^{14}C activity by liquid scintillation counting. *Applied Radiation and Isotopes*, 67(5), pp.800-804.

Case Studies

In a study on carbon-carbon composites used in re-entry vehicle heat shields, ^{14}C served as an isotopic tracer to monitor oxidation at extreme temperatures. Researchers incorporated ^{14}C -labeled precursors into the composites, using beta emissions to track carbon migration and identify oxidative degradation zones, uncovering microstructural vulnerabilities and advancing protective coating designs.

In a propulsion system experiment, ^{14}C analysis quantified the biogenic fraction of emissions from a biofuel blend, trapping and measuring ^{14}C in CO_2 . This method offered precise environmental impact data, demonstrating its utility for sustainability assessments in aerospace fuel studies.

For a satellite project, ^{14}C -labeled adhesives were used to monitor degradation in orbit. Sensors detected beta emissions, providing real-time data on radiation and thermal cycling effects, contributing to models predicting adhesive joint lifespan in long-term space missions.

Traditional methods like mass loss measurements and visual inspections failed to capture detailed degradation mechanisms, while ^{14}C revealed molecular-level changes. In propulsion studies, ^{14}C differentiated fossil and biogenic CO_2 emissions, outperforming conventional CO_2 measurements. For structural monitoring, ^{14}C allowed continuous adhesive degradation tracking, reducing inspection needs and enhancing spacecraft reliability.

The application of ^{14}C in aerospace offers unparalleled precision and insights, addressing complex challenges in material performance, sustainability, and real-time monitoring, advancing aerospace innovation.

In¹¹⁰³ the specific activity of ^{14}C was measured in two types of spectrally pure graphite samples: pressed and coated with glassy carbon. The „space” samples were exposed to open space on the surface of the ISS for 28 months,

¹¹⁰³ Теодосиев, Д., Бузекова-Пенкова, А., Тонев, Д., Гелева, Е. and Славчев, Б., Оценка на специфичната активност на ^{14}C в стъкловъглеродни покрития след продължителен престой на международната космическа станция, Proceedings SES'24, 22 – 25 October 2024, Sofia, Bulgaria, pp. 299-304.

while „reference” samples, made of the same material, were stored on Earth for the same duration. Using a Packard Tri-Carb 2770 TR/SL liquid scintillation spectrometer, it was found that space radiation slightly increased the ^{14}C content in the „space” samples. This shows that long periods (e.g. thousands of years) are not needed to detect changes. If the additionally formed ^{14}C is significant and a sensitive measurement technique is used, a period of 28 months is sufficient to reliably determine the newly formed ^{14}C by measuring the specific activity.

Advantages and limitations

Carbon-14 (^{14}C) provides unparalleled precision in tracking carbon-based processes in aerospace systems. Its beta decay and isotopic properties allow molecular-level insights for applications such as:

Monitoring degradation in carbon-carbon composites.

Differentiating biogenic and fossil-derived carbon in emissions.

Real-time tracking of material changes in extreme environments.

^{14}C 's ability to integrate into materials makes it ideal for long-term studies, offering accurate data throughout the lifecycle of aerospace systems. Its beta emissions enable advanced applications like structural health monitoring, environmental impact studies, and innovative sensing technologies, further supported by its long half-life (~5730 years).

Despite its benefits, ^{14}C faces production and availability challenges. It is produced via neutron activation of nitrogen-14 in nuclear reactors, with high costs and limited supply restricting large-scale use. Its radioactive nature also necessitates stringent safety protocols, regulatory compliance, and specialized waste disposal, increasing operational complexity and costs.

While ^{14}C offers unique capabilities for precision tracking and monitoring, its limitations in cost, availability, and regulations require careful management. When these challenges are addressed, ^{14}C can be a transformative asset for aerospace science and innovation.

Future prospects and innovations

Carbon-14 (^{14}C) is poised to revolutionize aerospace technologies by enhancing the understanding of carbon-based composites, leading to ultra-lightweight, high-strength materials. Embedding ^{14}C into materials offers insights into:

- long-term degradation in extreme environments.
- carbon migration in stressed systems.
- development of self-healing composites.

Integrating ^{14}C into monitoring systems enables real-time diagnostics, predictive maintenance, and extended component lifespans. In propulsion, ^{14}C can optimize sustainable aviation fuels by analyzing combustion efficiency and emissions.

Key research areas:

1. improved measurement techniques: advancing methods like AMS and LSC for broader aerospace applications.
2. material interactions: studying ^{14}C in advanced materials like nanotubes and graphene under spaceflight conditions.
3. sustainability studies: using ^{14}C for emissions tracking and lifecycle analyses.
4. space applications: exploring ^{14}C in radiation shielding for deep-space missions.

Challenges:

- economic constraints: high production costs and limited supply require alternative production methods.
- technical integration: standardized protocols are needed for safe embedding of ^{14}C in aerospace systems.
- regulatory compliance: balancing innovation with safety demands collaboration among stakeholders.

With targeted research and technological progress, ^{14}C can drive innovation in materials, sustainability, and diagnostics, transforming aerospace engineering for future missions.

Conclusion

This study highlights the potential of carbon-14 (^{14}C) in aerospace technology, focusing on its unique capabilities, including:

Material monitoring: tracking material degradation and structural changes under extreme conditions.

Emissions analysis: differentiating biogenic and fossil-derived CO_2 for sustainable fuel optimization.

Technological integration: enhancing carbon-based composites, structural health monitoring, and sensing technologies.

Measurement techniques: leveraging advanced methods like liquid scintillation counting and accelerator mass spectrometry.

^{14}C provides high-resolution molecular and isotopic insights, enabling advancements in aerospace design, sustainability, and performance. As the aerospace industry emphasizes innovation and environmental responsibility, ^{14}C offers indispensable tools for achieving these goals.

Future Focus Areas^{1104, 1105}:

- developing cost-effective production methods.
- enhancing measurement techniques for broader aerospace applications.
- establishing standardized, safe protocols for ^{14}C use.
- fostering collaboration among academia, industry, and regulators.

By addressing these priorities, ^{14}C can drive transformative advancements, offering solutions to critical challenges in aerospace engineering and shaping its future.

¹¹⁰⁴ Babin, V., Taran, F. and Audisio, D., 2022. Late-stage carbon-14 labeling and isotope exchange: emerging opportunities and future challenges. *JACS Au*, 2(6), pp.1234-1251.

¹¹⁰⁵ Bronić, I.K., Horvatinčić, N., Barešić, J. and Obelić, B., 2009. Measurement of ^{14}C activity by liquid scintillation counting. *Applied Radiation and Isotopes*, 67(5), pp.800-804.

References

1. Babin, V., Taran, F. and Audisio, D., 2022. Late-stage carbon-14 labeling and isotope exchange: emerging opportunities and future challenges. *JACS Au*, 2(6), pp.1234-1251.
2. Zhao, Y., Goodwin Jr, D.G., Sung, L., Ramakrishnan, G., Wu, Q., Cen, J., Petersen, E.J. and Orlov, A., 2023. Quantitative evaluation of released nanomaterials from carbon nanotube epoxy nanocomposites during environmental exposure and mechanical treatment. *NanoImpact*, 32, p.100486.
3. Remeikis, V., Lagzdina, E., Garbaras, A., Gudelis, A., Garankin, J., Plukienė, R., Juodis, L., Duškesas, G., Lingis, D., Abdulajev, V. and Plukis, A., 2018. Rapid analysis method for the determination of ¹⁴C specific activity in irradiated graphite. *Plos one*, 13(1), p.e0191677.
4. Woo, H.J., Chun, S.K., Cho, S.Y., Kim, Y.S., Kang, D.W. and Kim, E.H., 1999. Optimization of liquid scintillation counting techniques for the determination of carbon-14 in environmental samples. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 239, pp.649-655.
5. Bharath, S., Krishnan, K.A., D'Souza, R.S., Nayak, S.R., Ravi, P.M., Sharma, R., Kumar, P., Chopra, S. and Karunakara, N., 2021. Optimisation of CO₂ absorption and liquid scintillation counting method for carbon-14 specific activity measurement in atmospheric air. *Applied Radiation and Isotopes*, 172, p.109685.
6. Bronić, I.K., Horvatinčić, N., Barešić, J. and Obelić, B., 2009. Measurement of ¹⁴C activity by liquid scintillation counting. *Applied Radiation and Isotopes*, 67(5), pp.800-804.
7. Теодосиев, Д., Бузекова-Пенкова, А., Тонев, Д., Гелева, Е. and Славчев, Б., Оценка на специфичната активност на ¹⁴C в стъкловъглеродни покрития след продължителен престой на международната космическа станция, *Proceedings SES'24*, 22 – 25 October 2024, Sofia, Bulgaria, pp. 299-304.

APPLICATIONS OF RECYCLED ALUMINUM IN THE MODERN FOOD INDUSTRY

Adelina Miteva

Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences

e-mail: ad.miteva@gmail.com

Gyunver Hodjaoglu

Institute of Physical Chemistry, Bulgarian Academy of Sciences

e-mail: gyunver@ipc.bas.bg

Abstract: *This article examines the role of recycled aluminum in the food industry, focusing on applications in packaging, storage, and processing. Retaining the properties of virgin aluminum - lightweight, corrosion-resistant, and thermally efficient - it is both versatile and sustainable.*

Recycled aluminum reduces energy use by 95% compared to primary production, lowers carbon emissions, and conserves resources. Economically, it saves costs and supports circular economy principles. The article also explores challenges like contamination and regulatory compliance, highlighting innovations and case studies that demonstrate its importance in sustainable food industry practices.

Keywords: *recycled aluminum, food industry, sustainable materials, food packaging, environmental impact, food-grade recycling, aluminum processing, aluminum applications*

Introduction

Aluminum is a versatile and widely utilized material in various industries^{1106, 1107}, including the modern food sector^{1108, 1109, 1110}. Its intrinsic

¹¹⁰⁶ Бузекова-Пенкова А., 2024. Приложения на вторични алуминиеви сплави в морския и обществен транспорт, Сборник доклади от годишна университетска научна конференция, 3 – 4 октомври 2024 година, Велико Търново 2024 г., стр. 701-710, ISSN 2367-7481.

¹¹⁰⁷ Miteva A. Secondary aluminum alloys in transportation. Mechanics Transport Communications - Academic journal, 2024; 2494 (2024/3).

¹¹⁰⁸ <https://www.aluminum.org/recycling> - the aluminum association

properties - such as lightweight structure, resistance to corrosion, and excellent thermal conductivity - make it an ideal choice for applications ranging from packaging to industrial equipment. These attributes ensure the preservation of food quality, facilitate efficient thermal processes, and provide durability in demanding environments. Furthermore, aluminum's ability to be molded into thin sheets or intricate forms adds to its adaptability in meeting diverse food industry requirements.

Despite its functional advantages, the production of primary aluminum is an energy-intensive process with significant environmental implications. According to recent estimates, the production of virgin aluminum accounts for approximately 1% of global greenhouse gas emissions. These emissions stem primarily from the smelting process, which requires vast amounts of electricity and releases carbon dioxide. Additionally, the extraction of bauxite, the primary ore for aluminum production, results in habitat destruction, soil degradation, and considerable waste generation in the form of red mud.

Recycling aluminum emerges as a crucial solution to mitigate these environmental challenges. Unlike primary production, recycling requires only 5% of the energy and generates significantly fewer emissions. Moreover, aluminum is highly recyclable; it can be reprocessed multiple times without losing its essential properties. This closed-loop potential aligns with the principles of the circular economy, offering opportunities to reduce waste and conserve natural resources. In the food industry, recycled aluminum not only contributes to sustainability but also addresses growing consumer demand for environmentally responsible materials.

¹¹⁰⁹ <https://www.ball.com/> - Ball Corporation

¹¹¹⁰ Al-Alimi, S., Yusuf, N.K., Ghaleb, A.M., Lajis, M.A., Shamsudin, S., Zhou, W., Altharan, Y.M., Abdulwahab, H.S., Saif, Y., Didane, D.H. and Ikhwan, S.T.T., 2024. Recycling aluminium for sustainable development: A review of different processing technologies in green manufacturing. *Results in Engineering*, p.102566.

The primary objective of this article is to explore the role of recycled aluminum in enhancing the sustainability¹¹¹¹ of the modern food industry. It seeks to evaluate how recycled aluminum retains its functional benefits while reducing the ecological footprint associated with its use. By examining its applications in food packaging, processing, and storage, as well as addressing potential challenges, this article aims to highlight the transformative potential of recycled aluminum in creating a more sustainable and resilient food system.

Through this exploration, we aim to provide insights into the intersection of material science, environmental stewardship, and industrial innovation, emphasizing the need for broader adoption of recycled aluminum in global food supply chains.

Advantages of recycled aluminum

One of the most compelling reasons for utilizing recycled aluminum in the food industry is its significant environmental advantages. The recycling process reduces carbon emissions by up to 95% compared to the production of virgin aluminum. This dramatic reduction is achieved because recycling bypasses the energy-intensive steps of bauxite mining and alumina refining, relying instead on reprocessing existing materials. In an industry increasingly scrutinized for its environmental impact, recycled aluminum offers a pathway to meet sustainability goals without compromising functionality.

In addition to reducing greenhouse gas emissions, recycling conserves natural resources. Virgin aluminum production demands large quantities of bauxite ore, a finite resource often extracted in ecologically sensitive areas. By leveraging recycled aluminum, the food industry can decrease its reliance on mining activities, thereby preserving ecosystems and reducing the environmental degradation associated with raw material extraction.

Recycled aluminum is also economically advantageous, providing cost savings at multiple levels. The energy efficiency of the recycling process -

¹¹¹¹ Dai, M., Wang, P., Chen, W.Q., Liu, G., 2019. Scenario analysis of China's Aluminum cycle reveals the coming scrap age and the end of primary aluminum boom. *J. Clean. Prod.* 226, 793–804; <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.029>.

requiring only 5% of the energy used in primary production - translates directly into lower manufacturing costs. These savings are particularly significant for large-scale operations in the food industry, where material costs play a critical role in pricing strategies.

Furthermore, market trends indicate a growing consumer preference for sustainable materials. Surveys consistently reveal that modern consumers are willing to pay a premium for products packaged in environmentally friendly materials. By incorporating recycled aluminum, companies can enhance their brand image, align with consumer expectations, and potentially increase market share in a competitive environment.

Crucially, recycled aluminum retains the core properties that make it valuable for the food industry. It maintains its lightweight yet strong structure, its resistance to corrosion, and its superior thermal conductivity. These characteristics ensure that recycled aluminum performs on par with virgin aluminum, making it suitable for a wide range of applications, from packaging and processing equipment to storage solutions.

The material's durability and adaptability further strengthen its case. Recycled aluminum can be shaped and processed to meet the precise specifications required in the food sector. Whether forming thin foils for food wrapping or robust components for processing machinery, recycled aluminum offers versatility without compromise.

In summary, recycled aluminum provides a triad of advantages - environmental, economic, and functional - that make it an indispensable material for the modern food industry. Its ability to reduce carbon emissions, lower costs, and deliver consistent performance positions it as a cornerstone of sustainable innovation in this sector.

Applications in the modern food industry

Recycled aluminum is extensively used in food packaging due to its unmatched combination of functionality, recyclability, and environmental

benefits. Beverage cans, aluminum foil, and food containers^{1112, 1113} made from recycled aluminum are ubiquitous in the industry. Figure 1 shows an illustration (made by AI) of various applications of recycled aluminum in the modern food industry, including beverage cans, food packaging, cookware, thermal equipment, and transport/storage solutions. These applications leverage aluminum's excellent barrier properties, which prevent the ingress of light, air, and moisture, thereby extending the shelf life of food products. The lightweight nature of aluminum also reduces transportation costs and energy consumption, contributing to its environmental appeal.

Moreover, aluminum packaging is infinitely recyclable, making it a cornerstone of circular economy principles. The ability to recycle aluminum containers repeatedly without loss of quality or performance ensures a closed-loop system, reducing waste and minimizing reliance on virgin material. This quality enhances the sustainability profile of food products packaged in aluminum, meeting both regulatory standards and consumer expectations for eco-friendly practices.

In food processing plants, recycled aluminum is widely employed in the manufacture of machinery and equipment due to its durability, thermal efficiency, and ease of fabrication. The thermal conductivity of aluminum makes it ideal for heat exchangers, cooking systems, and refrigeration components, ensuring efficient energy use in temperature-sensitive processes. Additionally, its resistance to corrosion, even in the presence of acidic or alkaline substances, makes it a reliable choice for processing environments that require strict hygiene standards.

Examples of recycled aluminum applications in food processing plants include conveyor systems, mixing and storage tanks, and structural

¹¹¹² AlSaffar, K.A. and Bdeir, L.M.H., 2008. Recycling of aluminum beverage cans. *Journal of Engineering and Sustainable Development*, 12(3), pp.157-163.

¹¹¹³ Niero, M. and Olsen, S.I., 2016. Circular economy: To be or not to be in a closed product loop? A Life Cycle Assessment of aluminium cans with inclusion of alloying elements. *Resources, Conservation and Recycling*, 114, pp.18-31.

components for machinery. These systems benefit from aluminum’s lightweight properties, which reduce mechanical stress and energy requirements. Furthermore, the use of recycled aluminum in these applications supports sustainability goals while maintaining performance and compliance with food safety regulations.

The food industry relies heavily on durable and hygienic storage solutions, and recycled aluminum plays a critical role in meeting these needs. Cold storage facilities, for example, benefit from aluminum’s excellent thermal conductivity and corrosion resistance. Aluminum shelving, racks, and containers used in refrigeration systems ensure long-lasting performance and reduce maintenance costs, even in challenging environments.

Additionally, the adaptability of aluminum allows it to be molded into customized storage solutions that maximize space utilization and operational efficiency. The longevity and low maintenance requirements of recycled aluminum components further enhance their appeal, providing a cost-effective and sustainable solution for food storage needs.

In summary, recycled aluminum finds diverse and impactful applications in the modern food industry. From enhancing the sustainability of packaging to improving the efficiency of processing and storage systems, it exemplifies the convergence of environmental responsibility and industrial performance. These applications not only highlight the material’s versatility but also underscore its critical role in shaping a sustainable future for the food sector.



Fig. 1. An illustration of various applications of recycled aluminum

Challenges and limitations

One of the most significant challenges associated with using recycled aluminum in the food industry is maintaining food-grade standards^{1114, 1115, 1116, 1117}. During the recycling process, aluminum can become contaminated with impurities, such as other metals, coatings, or organic residues from previous uses. These contaminants can compromise the material's quality and safety, posing risks to both production processes and end consumers. Achieving food-grade quality often requires additional processing steps, such as advanced sorting, chemical cleaning, and refining, which can increase costs and complexity.

Furthermore, the food industry operates under strict regulations for materials in direct contact with consumables, necessitating rigorous testing and certification. Even minor contamination can render recycled aluminum unsuitable for certain applications, highlighting the critical need for innovations in contamination detection and removal technologies.

While aluminum recycling has advanced considerably, there are still technological barriers that limit its efficiency and scalability. Current methods for sorting and separating aluminum from mixed waste streams are not always capable of achieving the high levels of purity required for food-grade applications. Advanced sorting technologies, such as laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) and X-ray fluorescence (XRF), offer promise but are not yet widely implemented due to their cost and operational complexity.

¹¹¹⁴ Daugėlaitė, V. and Kruopienė, J., 2024. Barriers of and possibilities for recycling of single-use take-away food and beverage packaging: evidence from Lithuanian market. *Sustainability.*, 16(13), pp.1-22.

¹¹¹⁵ Allazadeh, M. and Petrovski, H., 2024, October. Investigating the circular economy of PET in food packaging: addressing concerns about PET bottled water. In *Scotland Manufacturing & Supply Chain Conference and Exhibition: Food & Beverage Manufacturing*.

¹¹¹⁶ Ariosti, A., 2022. Food contact materials legislation: sanitary aspects. In *Ensuring Global Food Safety* (pp. 275-324). Academic Press.

¹¹¹⁷ Stahl, T., Falk, S., Taschan, H., Boschek, B. and Brunn, H., 2018. Evaluation of human exposure to aluminum from food and food contact materials. *European food research and technology*, 244(12), pp.2077-2084.

Additionally, the development of alloy-specific recycling processes remains an ongoing challenge. Different aluminum alloys used in various industries have unique compositions, which can complicate the recycling process and limit the usability of recycled aluminum in specific applications. Addressing these technological barriers requires continued investment in research and the adoption of innovative recycling techniques that prioritize efficiency, purity, and sustainability.

Compliance with food safety and material use regulations is another significant limitation to the broader adoption of recycled aluminum in the food industry. Regulatory frameworks, such as those established by the U.S. Food and Drug Administration (FDA) and the European Food Safety Authority (EFSA), impose strict standards on materials used in food packaging and processing. These standards often mandate specific levels of purity, durability, and resistance to leaching under various conditions.

For recycled aluminum to meet these stringent requirements, manufacturers must implement comprehensive quality control measures, which can increase production costs and time-to-market. Furthermore, regulatory differences across regions create additional challenges for global companies seeking to standardize their use of recycled aluminum. Harmonizing international standards and fostering collaboration between industry stakeholders and regulatory bodies will be essential for overcoming these hurdles.

In summary, while recycled aluminum offers significant environmental and economic benefits, its adoption in the food industry is hindered by contamination risks, technological limitations, and regulatory challenges. Addressing these issues requires a coordinated effort to advance recycling technologies, enforce robust quality control processes, and align regulatory frameworks to support sustainable practices.

¹¹¹⁸Case studies

Ball Corporation¹¹¹⁹ has successfully integrated recycled aluminum into its production processes, particularly in beverage can manufacturing. In Europe, the company uses up to 85% recycled content in its cans, significantly reducing its carbon footprint. Ball has also collaborated with recycling initiatives to strengthen supply chains, ensuring the availability of high-quality recycled aluminum.

Nestlé¹¹²⁰ has incorporated recycled aluminum into its coffee capsules, emphasizing sustainability without compromising performance. The use of recycled aluminum reduces the environmental footprint of its packaging and aligns with its commitment to achieving net-zero emissions. This initiative demonstrates the feasibility of integrating recycled materials into high-precision food-grade applications.

Norway exemplifies effective recycling practices through its deposit-return system for beverage cans, achieving over 95% recycling rates. Recycled aluminum from this system is reused in food-grade applications, showcasing the impact of government-led initiatives in fostering circular economy principles.

Studies show that recycled aluminum retains 100% of its original properties, such as strength, corrosion resistance, and thermal conductivity, making it ideal for food packaging and processing equipment. These properties ensure compliance with food safety standards and reliable performance across applications.

Recycled aluminum production is 95% more energy-efficient than primary aluminum production, resulting in significant cost savings. For instance, companies like Ball Corporation have reported substantial reductions in production costs due to lower energy consumption, which contributes to both economic and environmental goals.

¹¹¹⁹ <https://www.ball.com/> - Ball Corporation

¹¹²⁰ Circular solutions for coffee capsules -
https://www.nestle.com/searchresults?sort_by=search_api_relevance&keyword=aluminum

Recycled aluminum substantially reduces greenhouse gas emissions. Nestlé’s transition to recycled aluminum in coffee capsules, for example, has lowered the packaging’s carbon footprint by up to 60%. Regional efforts, such as Norway’s recycling programs, demonstrate how systemic approaches can conserve resources and minimize environmental harm.

These case studies illustrate the transformative potential of recycled aluminum in the food industry. By achieving cost savings, enhancing performance, and mitigating environmental impacts, companies and regions effectively leveraging recycled aluminum set a benchmark for sustainability in global food supply chains.

Future directions^{1121, 1122, 1123, 1124, 1125}

Advancements in recycling technologies are critical to overcoming existing challenges and increasing the efficiency of aluminum recycling for food industry applications. Emerging techniques such as advanced sensor-based sorting, laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS), and X-ray fluorescence (XRF) are enabling more precise separation of aluminum alloys from mixed waste streams. These technologies enhance the purity of recycled aluminum, making it more suitable for food-grade applications.

Another promising innovation is the development of low-energy smelting processes that use renewable energy sources, such as solar or hydropower, to

¹¹²¹ Ajmera, D., Kharub, M., Krishna, A. and Gupta, H., 2024. Navigating the challenges of AI-enabled circular economy in the food and beverage sector: strategies for sustainable transformation. *The International Journal of Logistics Management*.

¹¹²² Maidin, S., Ismail, S. and Azman, A.I., 2024. Life cycle analysis of beverage packaging. *Jurnal teknologi (Sciences & Engineering)*, 86(5), pp.191-201.

¹¹²³ Iqbal, A., *Towards Sustainable Solutions: Addressing the Challenges in Laminate Food Packaging*.

¹¹²⁴ Khandeparkar, A.S., Paul, R., Sridhar, A., Lakshmaiah, V.V. and Nagella, P., 2024. Eco-friendly innovations in food packaging: A sustainable revolution. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 39, p.101579.

¹¹²⁵ Tamizhdurai, P., Mangesh, V.L., Santhosh, S., Vedavalli, R., Kavitha, C., Bhutto, J.K., Alreshidi, M.A., Yadav, K.K. and Kumaran, R., 2024. A state-of-the-art review of multilayer packaging recycling: Challenges, alternatives, and outlook. *Journal of Cleaner Production*, p.141403.

further reduce the carbon footprint of recycling. Additionally, research into closed-loop recycling systems specific to food packaging - such as beverage cans and foils - is paving the way for near-zero waste operations. These technologies not only improve efficiency but also make the recycling process more economically and environmentally sustainable.

Alloy development is another critical area of focus for optimizing the use of recycled aluminum in the food industry. Current research is aimed at creating alloys that maintain food-grade standards while increasing recyclability. By engineering aluminum alloys with reduced reliance on rare or incompatible metals, scientists are working to simplify the recycling process and minimize contamination risks.

In the context of food packaging and processing, novel aluminum alloys are being designed to enhance properties such as strength, corrosion resistance, and thermal conductivity. These innovations allow for thinner, lighter materials that reduce resource use while maintaining or improving performance. For example, alloys tailored for high thermal efficiency could revolutionize energy-intensive applications like cooking systems and refrigeration components in food processing plants.

The global food industry is poised to expand its adoption of recycled aluminum, driven by consumer demand for sustainable products and regulatory pressures to reduce carbon emissions. Emerging economies, in particular, represent significant opportunities for growth. Investments in recycling infrastructure and government policies, such as extended producer responsibility (EPR) programs, can help accelerate the adoption of recycled aluminum in these regions.

Furthermore, harmonizing international standards for recycled materials in food-grade applications will play a crucial role in scaling up its global use. Collaborative efforts between governments, industry stakeholders, and research institutions are essential to creating a consistent framework that promotes the use of recycled aluminum across borders.

Increased consumer awareness is also expected to drive market adoption. Brands that highlight their use of recycled aluminum in packaging and products often see enhanced consumer trust and loyalty. As sustainability continues to dominate global market trends, the integration of recycled aluminum into food industry supply chains will likely become a competitive necessity.

The future of recycled aluminum in the modern food industry is shaped by technological innovations, advancements in material science, and global market trends. By investing in cutting-edge recycling processes, developing application-specific alloys, and fostering international cooperation, the food industry can unlock the full potential of recycled aluminum, driving a more sustainable and resilient global food system.

Conclusion

Recycled aluminum has emerged as a transformative material in the modern food industry, offering a unique combination of environmental, economic, and functional benefits. Its use significantly reduces carbon emissions, conserves natural resources, and aligns with global sustainability goals. By maintaining the essential properties of virgin aluminum - such as corrosion resistance, lightweight structure, and thermal efficiency - recycled aluminum seamlessly integrates into critical applications, including food packaging, processing equipment, and storage solutions.

The dual role of recycled aluminum in enhancing sustainability and meeting stringent performance standards underscores its importance in shaping a greener and more resilient food system. Companies adopting recycled aluminum not only benefit from cost savings and improved operational efficiency but also respond to consumer demand for environmentally responsible practices. Moreover, its widespread use strengthens circular economy principles, closing the loop between production and consumption.

Despite its numerous advantages, challenges remain in ensuring food-grade quality, advancing recycling technologies, and navigating regulatory complexities. Addressing these hurdles will require greater investment in research and development, cross-industry collaboration, and supportive policy frameworks. Innovations in recycling efficiency and alloy design will be particularly critical in unlocking the full potential of recycled aluminum for food-grade applications.

To fully realize the benefits of recycled aluminum, the food industry must accelerate its adoption and commitment to sustainable materials. By embracing recycled aluminum, companies can lead the charge toward a more sustainable future, fostering economic growth while safeguarding the planet. The time is now for industry stakeholders to champion the integration of recycled aluminum into every aspect of food production and distribution, setting a precedent for other sectors to follow.

References

1. Бузекова-Пенкова А., 2024. Приложения на вторични алуминиеви сплави в морския и обществен транспорт, Сборник доклади от годишна университетска научна конференция, 3 – 4 октомври 2024 година, Велико Търново 2024 г., стр. 701-710, ISSN 2367-7481.
2. Miteva A. Secondary aluminum alloys in transportation. *Mechanics Transport Communications-Academic journal*, 2024; 2494 (2024/3).
3. <https://www.aluminum.org/recycling> - The aluminum association
4. <https://www.ball.com/> - Ball Corporation
5. Al-Alimi, S., Yusuf, N.K., Ghaleb, A.M., Lajis, M.A., Shamsudin, S., Zhou, W., Altharan, Y.M., Abdulwahab, H.S., Saif, Y., Didane, D.H. and Ikhwan, S.T.T., 2024. Recycling aluminium for sustainable development: A review of different processing technologies in green manufacturing. *Results in Engineering*, p.102566.

6. Dai, M., Wang, P., Chen, W.Q., Liu, G., 2019. Scenario analysis of China's Aluminum cycle reveals the coming scrap age and the end of primary aluminum boom. *J. Clean. Prod.* 226, 793–804.

7. AlSaffar, K.A. and Bdeir, L.M.H., 2008. Recycling of aluminum beverage cans. *Journal of Engineering and Sustainable Development*, 12(3), pp.157-163.

8. Niero, M. and Olsen, S.I., 2016. Circular economy: To be or not to be in a closed product loop? A Life Cycle Assessment of aluminium cans with inclusion of alloying elements. *Resources, Conservation and Recycling*, 114, pp.18-31.

9. Daugėlaitė, V. and Kruopienė, J., 2024. Barriers of and possibilities for recycling of single-use take-away food and beverage packaging: evidence from Lithuanian market. *Sustainability.*, 16(13), pp.1-22.

10. Allazadeh, M. and Petrovski, H., 2024, October. Investigating the circular economy of PET in food packaging: addressing concerns about PET bottled water. In *Scotland Manufacturing & Supply Chain Conference and Exhibition: Food & Beverage Manufacturing*.

11. Ariosti, A., 2022. Food contact materials legislation: sanitary aspects. In *Ensuring Global Food Safety* (pp. 275-324). Academic Press.

12. Stahl, T., Falk, S., Taschan, H., Boschek, B. and Brunn, H., 2018. Evaluation of human exposure to aluminum from food and food contact materials. *European food research and technology*, 244(12), pp.2077-2084.

13. Circular solutions for coffee capsules - https://www.nestle.com/searchresults?sort_by=search_api_relevance&keyword=aluminum

14. Ajmera, D., Kharub, M., Krishna, A. and Gupta, H., 2024. Navigating the challenges of AI-enabled circular economy in the food and beverage sector: strategies for sustainable transformation. *The International Journal of Logistics Management*.

15. Maidin, S., Ismail, S. and Azman, A.I., 2024. Life cycle analysis of beverage packaging. *Jurnal teknologi (Sciences & Engineering)*, 86(5), pp.191-201.

16. Iqbal, A., Towards Sustainable Solutions: Addressing the Challenges in Laminate Food Packaging.

17. Khandeparkar, A.S., Paul, R., Sridhar, A., Lakshmaiah, V.V. and Nagella, P., 2024. Eco-friendly innovations in food packaging: A sustainable revolution. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 39, p.101579.

18. Tamizhdurai, P., Mangesh, V.L., Santhosh, S., Vedavalli, R., Kavitha, C., Bhutto, J.K., Alreshidi, M.A., Yadav, K.K. and Kumaran, R., 2024. A state-of-the-art review of multilayer packaging recycling: Challenges, alternatives, and outlook. *Journal of Cleaner Production*, p.141403.

QUANTUM WELL APPLICATIONS IN HIGH-EFFICIENCY SOLAR CELLS

Adelina Miteva

Space Research and Technology Institute, Bulgarian Academy of Sciences

e-mail: ad.miteva@gmail.com

Abstract: *Quantum well technology offers a significant advancement in high-efficiency solar cells by enhancing photovoltaic performance through quantum mechanical effects. These nanostructures, formed from thin semiconductor layers with varying bandgaps, confine charge carriers, improving carrier dynamics and optical properties. This enables broader-spectrum light absorption and reduced recombination losses.*

Quantum wells enhance the efficiency of multi-junction and thin-film solar cells and are integrated into concentrator photovoltaics (CPV) to utilize intense solar radiation. This article explores their principles, applications, and future potential, emphasizing their transformative impact on scalable, high-performance solar technologies despite challenges in fabrication and material durability.

Keywords: *quantum wells (QWs), high-efficiency solar cells, photovoltaics, carrier confinement, bandgap engineering, semiconductor heterostructures, advanced materials*

Introduction

Solar cells are a cornerstone of modern renewable energy technologies, converting sunlight into electricity through the photovoltaic (PV) effect^{1126,1127,1128}. Over the decades, advancements in solar cell technologies have sought to address two primary goals: increasing energy conversion efficiency and reducing production costs. Traditional single-junction silicon-based solar cells, while dominant in the market, have fundamental efficiency

¹¹²⁶ Nelson, J., 2003. The physics of solar cells. Imperial College Press google schola, 2, pp.62-68.

¹¹²⁷ Fonash, S.J., 2012. Solar cell device physics. Elsevier.

¹¹²⁸ Hansen, C., 2024. Photovoltaic Solar Energy: From Fundamentals to Applications, Volume 2 (No. SAND2024-10534B). Sandia National Lab.(SNL-NM), Albuquerque, NM (United States).

limits dictated by the Shockley-Queisser limit. This constraint arises due to the inability of single-junction cells to utilize the full solar spectrum efficiently, with energy losses occurring through thermalization of high-energy photons and non-absorption of low-energy photons.

Emerging technologies, such as tandem and multi-junction solar cells, aim to overcome these limitations by stacking materials with varying bandgaps, thereby capturing a broader range of the solar spectrum. However, these designs require advanced materials and structures¹¹²⁹ that can achieve precise control over light absorption and carrier dynamics.

Quantum wells (QWs), a type of semiconductor heterostructure, represent a significant innovation in this context. A quantum well (QW) is formed when a thin layer of a low-bandgap semiconductor is sandwiched between two layers of higher-bandgap material. This creates a potential well that confines charge carriers (electrons and holes) within the thin layer, leading to quantum mechanical effects. These structures exhibit unique properties, such as enhanced carrier confinement, tunable electronic and optical characteristics, and the ability to manipulate absorption profiles across the solar spectrum. These features make QWs an attractive solution for addressing the limitations of conventional solar cells.

This article explores the transformative potential of QWs in advancing solar cell performance. Specifically, it examines how QWs enhance energy conversion efficiency through mechanisms such as improved light absorption, reduced carrier recombination, and optimized bandgap engineering. By integrating QWs into solar cell architectures, researchers aim to achieve higher efficiency devices that are competitive with, or even superior to, existing technologies. Furthermore, the article discusses the potential role of QWs in shaping the future of photovoltaic technologies, particularly in the

¹¹²⁹ Karduri, R.K.R. and Ananth, C., 2023. Advancements in Photovoltaic Materials for Sustainable Energy Generation. *International Journal of Advanced Research In Basic Engineering Sciences and Technology (IJARBEST)*, 10.

development of tandem and multi-junction cells, concentrator photovoltaics (CPV), and next-generation thin-film solar cells.

Through a detailed analysis of their principles, applications, and challenges, this discussion aims to provide insights into how QWs could bridge the gap between scientific innovation and practical implementation in the quest for high-efficiency, cost-effective solar energy solutions.

Fundamental principles of quantum wells

A quantum well^{1130,1131} is a nanoscale structure formed by sandwiching a thin layer of a low-bandgap semiconductor material between two layers of higher-bandgap materials. This configuration creates a potential well that confines charge carriers (electrons and holes) in the dimension perpendicular to the layer plane, while allowing free motion in the other two dimensions. This confinement gives rise to quantized energy levels, fundamentally altering the electronic and optical properties of the material.

The properties of a QW depend critically on the choice of materials^{1132, 1133} and the thickness of the well layer. Material selection determines the bandgap offsets between the well and barrier layers, which directly impact the degree of carrier confinement and energy level separation. Common material systems for QWs include GaAs/AlGaAs, InGaAs/GaAs, and

¹¹³⁰ Fox, M. and Ispasoiu, R., 2017. Quantum wells, superlattices, and band-gap engineering. In: Kasap, S., Capper, P. (eds) Springer Handbook of Electronic and Photonic Materials. Springer Handbooks. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48933-9_40

¹¹³¹ Митева Ад. М., 2019. Полупроводникови квантови ями с променлив състав под влияние на постоянно електрично поле с потенциал за наземни и космически приборни приложения, Дисертация – доктор, <https://ras.nacid.bg/api/reg/FilesStorage?key=97d9e1fc-8770-4d31-839f-8a38f962cd2a&mimeType=application/pdf&fileName=Diss--AMM.pdf&dbId=1>

¹¹³² Fox, M. and Ispasoiu, R., 2017. Quantum wells, superlattices, and band-gap engineering. In: Kasap, S., Capper, P. (eds) Springer Handbook of Electronic and Photonic Materials. Springer Handbooks. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48933-9_40

¹¹³³ Islam, M.J. and Chowdhury, M.I.B., 2024. Investigation of an InGaN based quantum well solar cell using silvaco TCAD. Journal of Advance Electrical Engineering and Devices, 2(2), pp.30-41.

GaN/AlGaIn, each offering distinct optical and electronic characteristics suitable for various applications.

The thickness of the QW layer is another key parameter. If the layer becomes too thick, quantization effects diminish, and the material behaves more like a bulk semiconductor. Conversely, if the layer is too thin, quantum confinement becomes too strong, reducing the number of accessible energy states and potentially increasing defect density. Therefore, precise control of layer thickness, often on the order of a few nanometers, is essential for optimizing quantum well performance.

Carrier confinement in QWs significantly enhances the absorption and emission properties of the material. By restricting electrons and holes to discrete energy levels, QWs enable sharper optical transitions, increasing the material's ability to absorb specific photon energies. This confinement also reduces the likelihood of carrier recombination by spatially separating electrons and holes, thereby increasing the efficiency of charge transport in PV applications.

Additionally, carrier confinement improves the radiative recombination rate, a property that can be exploited in solar cells to enhance photoluminescence and reduce non-radiative losses. These effects collectively contribute to higher energy conversion efficiencies in quantum well-based solar cells.

QWs allow for precise bandgap engineering, enabling the design of materials that absorb light across a tailored range of the solar spectrum. By adjusting the thickness of the QW and the composition of the well and barrier materials, the effective bandgap can be fine-tuned. This tunability is particularly advantageous for multi-junction and tandem solar cells, where each layer is optimized to absorb a specific segment of the solar spectrum.

For example, QWs can be engineered to extend absorption into the near-infrared region, capturing low-energy photons that would otherwise pass through traditional solar cells. Conversely, they can also enhance absorption in

the ultraviolet range, depending on the application. This ability to customize absorption characteristics makes QWs highly versatile for photovoltaic systems.

By leveraging these physical mechanisms, QWs offer a pathway to overcome the fundamental limitations of traditional solar cells, paving the way for next-generation, high-efficiency photovoltaic technologies.

Applications in high-efficiency solar cells

QWs are uniquely suited to enhance the light absorption properties of solar cells by extending their absorption capabilities into both the infrared and ultraviolet regions of the solar spectrum. Traditional single-junction solar cells are limited in their absorption range due to fixed bandgap properties, which result in the inability to harness lower-energy photons (infrared) and inefficient capture of high-energy photons (ultraviolet). QWs overcome these limitations through bandgap engineering, enabling tailored absorption profiles.

For example, by selecting materials and designing well thicknesses appropriately, QWs can extend the absorption edge into the near-infrared region, capturing photons that would otherwise be lost. Similarly, they can enhance ultraviolet absorption by optimizing transitions at higher energy levels. This ability to fine-tune absorption properties leads to improved utilization of the solar spectrum and higher overall energy conversion efficiencies.

One of the most significant advantages of QWs in solar cells lies in their ability to improve carrier dynamics. The spatial confinement of electrons and holes within QWs reduces the likelihood of non-radiative recombination, a process that typically results in energy loss. By minimizing such losses, QWs enhance the collection of photogenerated carriers, directly contributing to higher photocurrent.

Additionally, the discrete energy levels in QWs create conditions for efficient charge separation. This is achieved by promoting directional transport of carriers, reducing the chances of recombination before they can be collected at the electrodes. These improvements in carrier dynamics lead to enhanced

device performance, making QWs a key innovation in achieving high-efficiency solar cells.

QWs play a transformative role in the development of tandem and multi-junction solar cells, which consist of multiple layers with varying bandgaps designed to capture different portions of the solar spectrum. By integrating QWs into these architectures, researchers can finely adjust the effective bandgap of each layer, ensuring optimal absorption and energy conversion.

For example, QWs can be incorporated into the middle or bottom layers of multi-junction cells to enhance infrared absorption, where traditional materials may fall short. This approach not only increases the overall efficiency of the cell but also complements existing materials, enabling more effective use of the solar spectrum. Recent studies have demonstrated that quantum well-based multi-junction cells can achieve energy conversion efficiencies exceeding those of traditional designs, highlighting their potential for next-generation photovoltaics.

Beyond traditional photovoltaic applications, QWs are being explored for their potential in advanced solar cell designs such as concentrator photovoltaics (CPV) and thin-film technologies. In CPV systems, where sunlight is concentrated onto high-performance cells using lenses or mirrors, QWs provide the high efficiency and thermal stability^{1134,1135,1136} required to handle increased light intensity. Their ability to sustain performance under high photon flux makes them an attractive option for such applications.

¹¹³⁴ Needleman, D.B., Poindexter, J.R., Kurchin, R.C., Peters, I.M., Wilson, G. and Buonassisi, T., 2016. Economically sustainable scaling of photovoltaics to meet climate targets. *Energy & Environmental Science*, 9(6), pp.2122-2129.

¹¹³⁵ Shaker, L.M., Al-Amiery, A.A., Hanoon, M.M., Al-Azzawi, W.K. and Kadhum, A.A.H., 2024. Examining the influence of thermal effects on solar cells: a comprehensive review. *Sustainable Energy Research*, 11(1), p.6.

¹¹³⁶ Srivastava, A., Karn, R., Mondal, A., Prithiviraj, R., Chandrasekar, P. and Rouray, S., 2024, April. Advancing Solar Energy Efficiency: Exploring Quantum Well Integration in Kesterite-Based Thin Film Solar Cells. In *2024 International Conference on Recent Advances in Electrical, Electronics, Ubiquitous Communication, and Computational Intelligence (RAEEUCCI)* (pp. 1-5). IEEE.

In thin-film solar cells, QWs offer a path to improve performance without significantly increasing material usage or production costs. By incorporating QWs into thin-film architectures, researchers can achieve higher efficiency and flexibility, paving the way for lightweight and versatile photovoltaic systems suitable for a variety of applications, including portable and building-integrated photovoltaics.

Through these diverse applications, QWs are proving to be a cornerstone of innovation in solar cell technology, driving advancements in efficiency, adaptability, and scalability for renewable energy systems.

Case studies and current research

QW technologies have shown significant promise in laboratory environments, with numerous studies demonstrating their ability to enhance the efficiency of solar cells. For instance, experiments incorporating QWs into multi-junction cells have reported energy conversion efficiencies exceeding 40% under concentrated sunlight conditions. A notable example includes the integration of InGaAs/GaAs QWs into tandem architectures, where enhanced light absorption in the infrared range contributed to efficiency gains.

Further research has explored the use of QWs in thin-film solar cells, with laboratory prototypes achieving substantial performance improvements due to reduced carrier recombination and optimized light trapping. In addition, studies have highlighted the ability of QWs to maintain efficiency under varying operational conditions, showcasing their robustness and reliability. These experimental achievements underscore the potential of quantum well technologies to transform solar cell design and performance.

Despite their success in laboratory settings, the commercialization of quantum well-based solar cells remains in its early stages. Challenges such as fabrication complexity, material quality, and cost scalability have slowed their transition to the market. However, ongoing advancements in manufacturing techniques, such as molecular beam epitaxy (MBE) and metal-organic chemical

vapor deposition (MOCVD), are making it increasingly feasible to produce quantum well structures at scale.

Early commercial prototypes leveraging quantum well technologies have begun to emerge, particularly in high-value applications like concentrator photovoltaics (CPV). These systems benefit from the superior efficiency and thermal stability of quantum wells, offering a competitive edge in markets where performance outweighs cost considerations. Additionally, partnerships between research institutions and industry players are accelerating the development of cost-effective production methods, further bolstering the commercialization prospects of this technology.

When compared to traditional solar cell designs, quantum well-based devices exhibit clear efficiency advantages, particularly in applications where spectral tailoring and carrier dynamics are critical. For example, while single-junction silicon solar cells typically achieve efficiencies in the range of 20–25%, quantum well-enhanced multi-junction cells have demonstrated efficiencies exceeding 30% under standard test conditions and even higher under concentrated light.

However, these efficiency gains come with higher production costs due to the precision required in QW fabrication. The cost-performance ratio of quantum well-based solar cells is a critical factor in their adoption, with current efforts focused on reducing costs through material innovations and streamlined fabrication processes. Despite these challenges, the long-term potential for QW technologies to surpass traditional designs in both performance and cost-effectiveness remains strong, particularly as economies of scale are realized.

The current body of research highlights the transformative potential of QWs in solar cell technology¹¹³⁷, with laboratory achievements showcasing significant efficiency improvements and commercialization efforts gaining momentum. While challenges remain, comparative analyses suggest that

¹¹³⁷ Miteva A., 2023. Solar energy and its conversion, БЛИЗКИЯТ КОСМОС – ОБЩА ЦЕЛ. № 2. - 2023. url: <http://ran-nauka.ru/wp-content/uploads/2023/07/Sbornik-Kosmos-2023.pdf#page=18>, doi: 10.34660/INF.2023.64.79.002

quantum well-based solar cells have a clear pathway to outperform traditional designs, making them a compelling candidate for next-generation photovoltaic solutions.

Challenges and limitations

The fabrication of QWs involves complex processes that demand exceptional precision and material quality. One significant challenge is achieving uniform layer thickness, as quantum confinement effects are highly sensitive to variations in the well and barrier dimensions. Small deviations can result in inconsistent energy levels, reducing the overall efficiency and reliability of the solar cell.

Another critical issue is the presence of interface defects between the quantum well and barrier layers. These defects, often arising from lattice mismatches or impurities during growth, act as recombination centers, diminishing carrier lifetime and device performance. Materials such as III-V semiconductors, commonly used for QWs, require advanced epitaxial techniques such as molecular beam epitaxy (MBE) or metal-organic chemical vapor deposition (MOCVD) to minimize these defects. However, these methods are costly and require stringent control, limiting scalability.

Additionally, the choice of materials is constrained by the need for optimal band alignment and thermal compatibility. The search for new material systems that balance these requirements while being cost-effective remains an active area of research.

The long-term performance of quantum well-based solar cells is heavily influenced by their thermal stability¹¹³⁸. Operational conditions such as exposure to high temperatures, fluctuating light intensities, and prolonged environmental stress can degrade quantum well structures. Thermal expansion mismatch between the quantum well and barrier materials may lead to strain accumulation and defect formation over time.

¹¹³⁸ Shaker, L.M., Al-Amiery, A.A., Hanoon, M.M., Al-Azzawi, W.K. and Kadhum, A.A.H., 2024. Examining the influence of thermal effects on solar cells: a comprehensive review. *Sustainable Energy Research*, 11(1), p.6.

Moreover, the confinement of carriers in QWs can exacerbate thermal degradation by intensifying localized heating effects, which in turn accelerates the breakdown of material interfaces. Ensuring the durability of quantum well solar cells requires the development of materials and designs capable of withstanding such stresses without compromising performance.

Research into protective encapsulation techniques and robust material systems is ongoing, but achieving both thermal stability and high efficiency remains a challenging balancing act.

High production costs are a significant barrier to the widespread adoption of quantum well technologies. The precision required for fabricating quantum wells involves sophisticated equipment, meticulous process control, and expensive materials, all of which contribute to increased costs. While these costs are justifiable for high-performance applications, such as concentrator photovoltaics, they hinder the competitiveness of quantum well solar cells in broader, cost-sensitive markets.

Scalability is another challenge. Transitioning from laboratory-scale production to commercial-scale manufacturing often involves trade-offs between quality and cost. The integration of QWs into existing photovoltaic manufacturing workflows requires innovations in process efficiency and material utilization.

Addressing these economic barriers¹¹³⁹ requires interdisciplinary efforts, including the development of less expensive deposition techniques, the use of alternative material systems, and government or industry incentives to support early-stage commercialization.

While quantum well technologies offer substantial advantages for high-efficiency solar cells, their widespread deployment faces challenges related to material quality, thermal stability, and economic feasibility. Addressing these

¹¹³⁹ Needleman, D.B., Poindexter, J.R., Kurchin, R.C., Peters, I.M., Wilson, G. and Buonassisi, T., 2016. Economically sustainable scaling of photovoltaics to meet climate targets. *Energy & Environmental Science*, 9(6), pp.2122-2129.

limitations through innovations in fabrication, material design¹¹⁴⁰, and cost reduction strategies will be critical to realizing the full potential of QWs in advancing photovoltaic technology.

Future Directions

The future of quantum well applications in solar cells^{1141,1142} lies in the exploration of novel materials and advanced architectures that push the boundaries of efficiency and scalability. One promising avenue is the incorporation of perovskite materials into quantum well designs. Perovskites, known for their high absorption coefficients and tunable bandgaps, could complement traditional III-V semiconductor materials to create hybrid structures with enhanced performance. Combining the advantages of QWs and perovskites could lead to devices with unprecedented efficiency levels and lower fabrication costs.

Advanced quantum well architectures, such as multiple quantum well (MQW) systems, are another area of interest. By stacking QWs with precise control over their thickness and composition, researchers can achieve tailored absorption profiles and improved carrier dynamics. Furthermore, the integration of strain-balanced QWs, which mitigate lattice mismatch issues, could significantly enhance device stability and performance.

QWs have the potential to synergize with other cutting-edge nanostructures and materials, opening up new opportunities for high-efficiency photovoltaic devices. For instance, the combination of QWs with quantum dots can create hybrid systems that leverage the benefits of both technologies.

¹¹⁴⁰ Islam, M.J. and Chowdhury, M.I.B., 2024. Investigation of an InGaN based quantum well solar cell using silvaco TCAD. *Journal of Advance Electrical Engineering and Devices*, 2(2), pp.30-41.

¹¹⁴¹ Rehman, F., Syed, I.H., Khanam, S., Ijaz, S., Mehmood, H., Zubair, M., Massoud, Y. and Mehmood, M.Q., 2023. Fourth-generation solar cells: a review. *Energy Advances*, 2(9), pp.1239-1262.

¹¹⁴² Rehman, F., Syed, I.H., Khanam, S., Ijaz, S., Mehmood, H., Zubair, M., Massoud, Y. and Mehmood, M.Q., 2023. Fourth-generation solar cells: a review. *Energy Advances*, 2(9), pp.1239-1262.

Quantum dots provide additional flexibility in bandgap engineering, enabling even broader absorption of the solar spectrum when integrated with QWs.

Other emerging technologies, such as photonic nanostructures and plasmonic materials, can be used to enhance light management in quantum well-based solar cells. Photonic crystals, for example, can optimize light trapping and increase the effective optical path length, while plasmonic nanoparticles can enhance near-field light absorption. These synergies hold the potential to further elevate the performance of quantum well-enhanced solar cells.

To transition quantum well technologies from the laboratory to widespread commercial use, concerted efforts are needed to address economic and scalability challenges. Research into cost-effective deposition techniques, such as solution-based processes and scalable chemical vapor deposition (CVD) methods, will be essential. The use of abundant and less expensive materials, such as earth-abundant semiconductors, can also reduce production costs.

Policy initiatives and industry collaboration will play a crucial role in accelerating commercialization. Government incentives for renewable energy innovation, coupled with private sector investment in advanced manufacturing techniques, can bridge the gap between research and market adoption. Public-private partnerships could also facilitate the establishment of pilot production lines, demonstrating the feasibility of quantum well solar cells on a commercial scale.

Additionally, comprehensive lifecycle analyses and cost-benefit studies are needed to highlight the long-term advantages of quantum well-based technologies over traditional photovoltaic systems. By showcasing their potential for higher efficiency and reduced environmental impact, quantum well solar cells can attract greater attention and investment.

Conclusion

QWs represent a transformative innovation in the field of solar cell technology, offering a pathway to significantly enhance energy conversion

efficiency. Through mechanisms such as improved light absorption, optimized carrier dynamics, and precise bandgap engineering, QWs address key limitations of traditional photovoltaic systems. Their versatility enables integration into a wide range of solar cell architectures, from multi-junction designs to advanced thin-film applications, making them a cornerstone for the next generation of high-efficiency solar cells.

However, the widespread adoption of quantum well-based solar cells requires balancing the pursuit of scientific breakthroughs with practical considerations such as cost reduction, scalability, and durability. While laboratory achievements have demonstrated remarkable efficiency improvements, the challenges of material fabrication, thermal stability, and economic feasibility must be systematically addressed. Efforts to integrate QWs with emerging technologies, such as quantum dots and photonic nanostructures, offer promising routes to overcome these barriers.

The realization of quantum wells' full potential in solar cell technology necessitates interdisciplinary collaboration across physics, materials science, engineering, and policy-making. Researchers must continue exploring innovative materials and architectures, while industrial partnerships and policy incentives are essential to accelerate commercialization. By bridging the gap between research and real-world implementation, QWs can play a pivotal role in advancing global renewable energy goals.

In summary, QWs are not merely a theoretical advancement but a practical solution with the potential to revolutionize solar energy. Achieving this vision will require the collective efforts of the scientific community, industry stakeholders, and policymakers, united by a commitment to innovation and sustainability.

References

1. Nelson, J., 2003. The physics of solar cells. Imperial College Press google schola, 2, pp.62-68.

2. Fonash, S.J., 2012. Solar cell device physics. Elsevier.
3. Hansen, C., 2024. Photovoltaic Solar Energy: From Fundamentals to Applications, Volume 2 (No. SAND2024-10534B). Sandia National Lab.(SNL-NM), Albuquerque, NM (United States).
4. Karduri, R.K.R. and Ananth, C., 2023. Advancements in Photovoltaic Materials for Sustainable Energy Generation. International Journal of Advanced Research In Basic Engineering Sciences and Technology (IJARBEST), 10.
5. Fox, M. and Ispasoiu, R., 2017. Quantum wells, superlattices, and band-gap engineering. In: Kasap, S., Capper, P. (eds) Springer Handbook of Electronic and Photonic Materials. Springer Handbooks. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-48933-9_40
6. Митева Ад. М., 2019. Полупроводникови квантови ями с променлив състав под влияние на постоянно електрично поле с потенциал за наземни и космически приборни приложения, Дисертация – доктор, <https://ras.nacid.bg/api/reg/FilesStorage?key=97d9e1fc-8770-4d31-839f-8a38f962cd2a&mimeType=application/pdf&fileName=Diss--AMM.pdf&dbId=1>
7. Islam, M.J. and Chowdhury, M.I.B., 2024. Investigation of an InGaN based quantum well solar cell using silvaco TCAD. Journal of Advance Electrical Engineering and Devices, 2(2), pp.30-41.
8. Needleman, D.B., Poindexter, J.R., Kurchin, R.C., Peters, I.M., Wilson, G. and Buonassisi, T., 2016. Economically sustainable scaling of photovoltaics to meet climate targets. Energy & Environmental Science, 9(6), pp.2122-2129.
9. Shaker, L.M., Al-Amiery, A.A., Hanoon, M.M., Al-Azzawi, W.K. and Kadhum, A.A.H., 2024. Examining the influence of thermal effects on solar cells: a comprehensive review. Sustainable Energy Research, 11(1), p.6.
10. Srivastava, A., Karn, R., Mondal, A., Prithiviraj, R., Chandrasekar, P. and Rouray, S., 2024, April. Advancing Solar Energy Efficiency: Exploring Quantum Well Integration in Kesterite-Based Thin Film Solar Cells. In 2024 International Conference on Recent Advances in Electrical, Electronics,

Ubiquitous Communication, and Computational Intelligence (RAEEUCCI) (pp. 1-5). IEEE.

11. Miteva A., 2023. Solar energy and its conversion, БЛИЗКИЯТ КОСМОС – ОБЩА ЦЕЛ. № 2. - 2023. url: <http://ran-nauka.ru/wp-content/uploads/2023/07/Sbornik-Kosmos-2023.pdf#page=18>, doi: 10.34660/INF.2023.64.79.002

12. Rehman, F., Syed, I.H., Khanam, S., Ijaz, S., Mehmood, H., Zubair, M., Massoud, Y. and Mehmood, M.Q., 2023. Fourth-generation solar cells: a review. Energy Advances, 2(9), pp.1239-1262.

13. Rehman, F., Syed, I.H., Khanam, S., Ijaz, S., Mehmood, H., Zubair, M., Massoud, Y. and Mehmood, M.Q., 2023. Fourth-generation solar cells: a review. Energy Advances, 2(9), pp.1239-1262.