

Евразийский Союз Ученых. Серия: технические и физико-математические науки

Ежемесячный научный журнал
№ 02 (117)/2024 Том 1

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Макаровский Денис Анатольевич

AuthorID: 559173

Заведующий кафедрой организационного управления Института прикладного анализа поведения и психолого-социальных технологий, практикующий психолог, специалист в сфере управления образованием.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

1. Штерензон Вера Анатольевна

AuthorID: 660374

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт новых материалов и технологий (Екатеринбург), кандидат технических наук

2. Синьковский Антон Владимирович

AuthorID: 806157

Московский государственный технологический университет "Станкин", кафедра информационной безопасности (Москва), кандидат технических наук

3. Штерензон Владимир Александрович

AuthorID: 762704

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт фундаментального образования, Кафедра теоретической механики (Екатеринбург), кандидат технических наук

4. Зыков Сергей Арленович

AuthorID: 9574

Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Отдел теоретической и математической физики, Лаборатория теории нелинейных явлений (Екатеринбург), кандидат физ-мат. наук

5. Дронсейко Виталий Витальевич

AuthorID: 1051220

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Кафедра "Организация и безопасность движения" (Москва), кандидат технических наук

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Художник: Валегин Арсений Петрович
Верстка: Курпатова Ирина Александровна

Адрес редакции:
198320, Санкт-Петербург, Город Красное Село, ул. Геологическая, д. 44, к. 1, литера А
E-mail: info@euroasia-science.ru ;
www.euroasia-science.ru

Учредитель и издатель ООО «Логика+»
Тираж 1000 экз.

СОДЕРЖАНИЕ

КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ И ИНФОРМАТИКА

Katunin D.

THE ESSENTIAL ROLE OF SOFTWARE SOLUTIONS IN
THE REAL ESTATE INDUSTRY 3

МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

Мусаев А.М.

О ПРИБЛИЖЕНИИ ОБОБЩЕННО
ДИФФЕРЕНЦИРУЕМЫХ ФУНКЦИИ m -
СИНГУЛЯРНЫМИ ИНТЕГРАЛАМИ 10

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Trung Thanh Nguyen

COMPARISON OF CFAR ALGORITHMS FOR DETECTING
MULTI-COMPONENT RADAR SIGNALS 14

Гаврилов Е.В.

ВЛИЯНИЕ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ НА
РАЗВИТИЕ МАЛОГО И СРЕДНЕГО БИЗНЕСА 22

Колосов В.Ю.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА:
ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ 27

Рудаков А.О.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕСТИРОВАНИЯ
ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ
АНАЛИЗ ТРАДИЦИОННЫХ И ИННОВАЦИОННЫХ
ПОДХОДОВ 35

КОМПЬЮТЕРНЫЕ НАУКИ И ИНФОРМАТИКА

THE ESSENTIAL ROLE OF SOFTWARE SOLUTIONS IN THE REAL ESTATE INDUSTRY

Катунин Дмитрий Евгеньевич

Katunin Dmitry

Senior Software developer, Investorlift

Punta Cana, Dominican Republic

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2024.1.117.1994

ABSTRACT

This article investigates the transformative role of software development in enhancing the real estate industry's efficiency and client service. Through an examination of market trends and customer behaviors, alongside a detailed analysis of specific software tools such as CRM, ERP, AI, and more, the study demonstrates how technological adoption significantly improves operational processes, customer engagement, and market analysis. It concludes that the integration of advanced software solutions is pivotal for staying competitive and meeting the demands of the digital era. The work underscores the critical need for digital transformation in real estate, highlighting the adoption of VR/AR, blockchain, and predictive analytics as key trends driving innovation and efficiency. The novelty of this research lies in its comprehensive insight into the effectiveness of various software solutions, fundamentally transforming real estate operations and providing a competitive edge in a rapidly evolving market.

Keywords: real estate, software development, digital transformation, CRM, ERP, artificial intelligence, virtual reality, blockchain, predictive analytics, market trends.

Introduction

In the ever-evolving landscape of the real estate industry, managing properties and understanding client needs to demand a comprehensive insight into market trends and customer behaviors. Professionals in this sector encounter a myriad of challenges that necessitate innovative solutions to streamline operations, enhance customer service, and expedite financial and investment processes. The complexity of real estate management underscores the importance of leveraging technology to address these multifaceted challenges [9]. Consequently, the adoption of software solutions

tailored to the specific needs of the real estate sector has become increasingly prevalent. This trend is substantiated by research indicating that 59% of real estate professionals affirm that investments in real estate software development have significantly improved the quality of customer service and accelerated financial and investment operations [1].

The global real estate software market size was evaluated at USD 10.24 billion in 2022 and is expected to grow at a compound annual growth rate (CAGR) of 12.8% from 2023 to 2030 (see Fig. 1). [2]

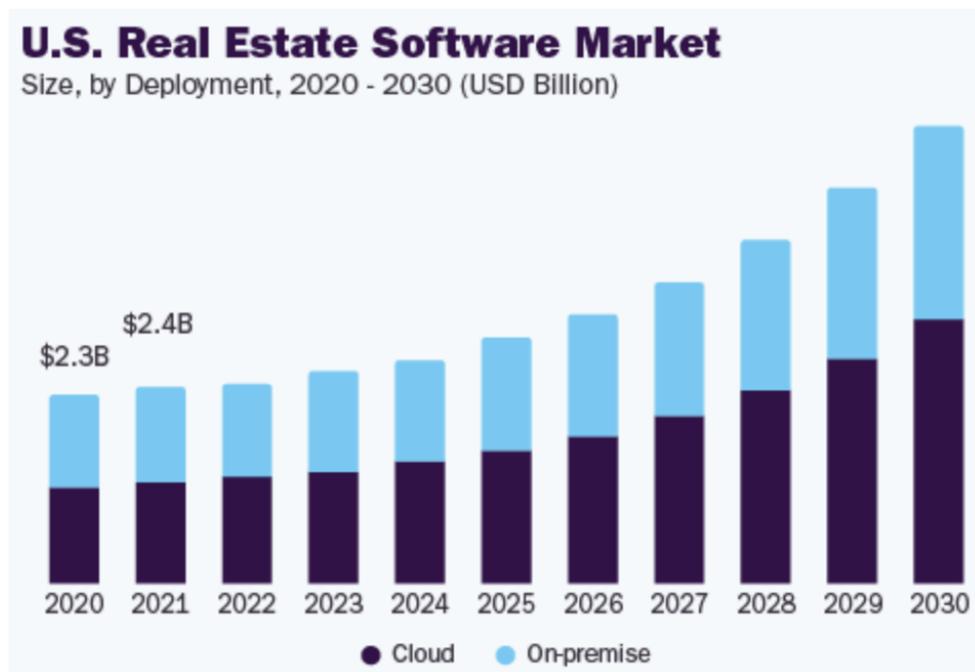


Figure 1 - The global real estate software market size [2]

This article is written against the backdrop of the critical need for digital transformation in the real estate industry. It aims to provide a thorough examination of the challenges faced by real estate professionals and elucidate how software development services not only offer viable solutions but also fundamentally transform the nature of real estate operations. By integrating technological advancements into their workflows, real estate entities can achieve greater efficiency, enhance decision-making processes, and provide superior value to their clients. The rationale behind this paper is to bridge the gap between traditional real estate management practices and modern, technology-driven approaches that are essential for staying competitive in a rapidly changing market.

Understanding real estate software

The integration of software solutions into the real estate industry marks a pivotal shift towards increased productivity and efficiency across various operational domains, including social media, online advertising, and website management. This transition is largely fueled by the growing necessity for efficient software tools that can meet the escalating demands of the digital age. The advent of technology in real estate, designed to cater to the specific needs of agents, property owners, and buyers, significantly enhances the process of buying and selling properties. By enabling real estate professionals to effortlessly showcase available properties for sale or lease, these software solutions provide clients with convenient access to property listings, thereby facilitating the decision-making process.

Furthermore, the surge in digitization within the real estate sector, coupled with advancements in automation technologies, has had a profound impact on the market. These developments not only streamline operational processes but also introduce a level of sophistication in data management strategies and sensitive data protection. As a result, real estate firms are increasingly adopting a variety of software tools to bolster client retention and ensure the security of client information. Among the various software applications prevalent in the industry, Customer Relationship Management (CRM), Property Management, Marketing Automation, and Enterprise Resource Planning (ERP) systems stand out for their ability to automate critical processes. These processes include lease and rent collection, employee management, lead generation, customer management, and financial tracking.

The overarching goal of these software programs is to attract more clients by simplifying the property transaction process, thus providing a competitive edge to real estate professionals in the market. By addressing the dual objectives of enhancing operational efficiency and improving client engagement, real estate software solutions are reshaping the industry landscape, making it more responsive to the needs of today's digital-savvy clientele. This discussion sets the stage for a detailed

exploration of specific software tools later in the article, underscoring their role in automating and optimizing key real estate processes.

Understanding the Challenges

The challenges professionals face in the real estate industry are as varied as the different types of properties they deal with.

Let's explore a few of them:

1. Complexities in Property Management

Real estate professionals consistently deal with the complex nature of managing multiple properties, each with its unique data and requirements. To streamline this process, software solutions prove invaluable, simplifying the sophistication of property management.

The tools simply centralize this complex information and automate routine tasks like updating property listings. Therefore they help in providing real-time insights into property statuses, bringing a transformative level of automation and organization, crucial in an industry where time sensitivity is paramount.

2. Tackling Paperwork and Administrative Tasks

Real estate transactions come with a lot of administrative tasks, from contract preparation to financial document management. These tasks demand time and meticulous attention to detail. Real estate agents here as well can leverage various software and technologies to efficiently handle these administrative challenges.

Software mostly used for such purposes includes document management software which aids agents in organizing and accessing necessary paperwork effortlessly. It consolidates all documents in one accessible platform, simplifying the process of locating and updating files as required.

Another is electronic signature software that enables clients to digitally sign documents, eliminating the requirement for physical signatures. This not only streamlines the process but also diminishes the time and expenses linked with printing and mailing documents.

3. Changing Consumer Preferences

Consumer preferences in the real estate industry are evolving rapidly. Today's clients seek personalized and efficient experiences, prompting real estate professionals to adjust their strategies to stay competitive. The utilization of AI and ML is of stupendous importance in this regard.

Popular real estate software solutions

The diversity of tasks and the complexity of managing property portfolios necessitate the adoption of various types of software programs, each designed to cater to specific needs within the sector. These software solutions facilitate a range of functions, from customer relationship management and enterprise resource planning to the management of properties and the enhancement of client engagement through virtual tours. The following table presents an overview of these tools, delineating their descriptions and the contexts in which they are most effectively employed.

Table 1.

Popular real estate software solutions			
Type of Software	Description	Recommended Architecture	Application Area
CRM Software	Facilitates managing client interactions, tracking leads, and optimizing customer service.	Microservices architecture for scalability and flexibility.	Used by real estate agencies to maintain relationships with clients and streamline sales processes.
ERP Software	Integrates all facets of an operation, including planning, development, sales, and marketing.	Modular monolithic architecture for smaller systems, evolving into microservices as complexity increases.	Suitable for larger real estate firms managing extensive property portfolios and requiring comprehensive operational oversight.
Property Management Software	Aids in the administration of residential, commercial, and rental properties, enhancing efficiency and tenant satisfaction.	Monolithic architecture for smaller systems, transitioning to modular as the system expands.	Utilized by property management companies to oversee daily operations and maintenance tasks.
Real Estate Marketplace Platforms	Enables the listing, searching, and transaction processing of properties, connecting buyers with sellers.	Microservices architecture to support complex functionalities and high scalability.	Employed by online real estate marketplaces to facilitate property transactions and enhance user experience.
Virtual Property Tours Tools	Provides immersive virtual tours of properties, improving engagement and aiding decision-making processes.	Depends on the scale and integration needs, often requiring robust backend support for media processing.	Used by realtors and property managers to offer virtual viewings, particularly useful in remote buying scenarios.
Analytics and Data Visualization Tools	Supports the analysis and presentation of real estate data, aiding in market analysis and strategic decision-making.	Layered architecture separating data collection, processing, and visualization for flexibility and efficiency.	Applied market analysis, trend forecasting, and performance tracking to inform business strategies and client advisories.

Next, we will take a closer look at each software tool, examining its contribution to the real estate sector, architectural nuances, and the specific tasks they solve:

1. *Customer Relationship Management (CRM) Software*

CRM software plays a crucial role in managing client communication. The study shows that 81, 9% of respondents acknowledged the impact of market trends on the development of sales CRM software and tools. 49.1% of them noted that the impact is significant [4].



Figure 2 - Impact of CRM software and tools [4]

By utilizing an online CRM tool, brokers can gather essential client information, including contact details, property requirements, and budget constraints. This centralized platform enables efficient data management, allowing for the addition, deletion, and updating of client information.

Additionally, CRM solutions facilitate lead nurturing automation by categorizing clients and sending automatic emails and notifications based on their interests. The system also manages auto-responses to incoming texts, ensuring timely and personalized interactions [5].

An important thing here however to keep in mind would be that CRM is dependent on a proper setup. If a CRM isn't set up well initially, using it might be challenging or time-consuming. This could result in wasted time or low employee engagement.

2. Enterprise resource planning (ERP) software

An enterprise resource planning (ERP) system is software that helps businesses automate and manage core business processes for optimal performance. An ERP system coordinates the flow of data between corporate business processes, provides a single source of truth, and optimizes business processes across the enterprise [7].

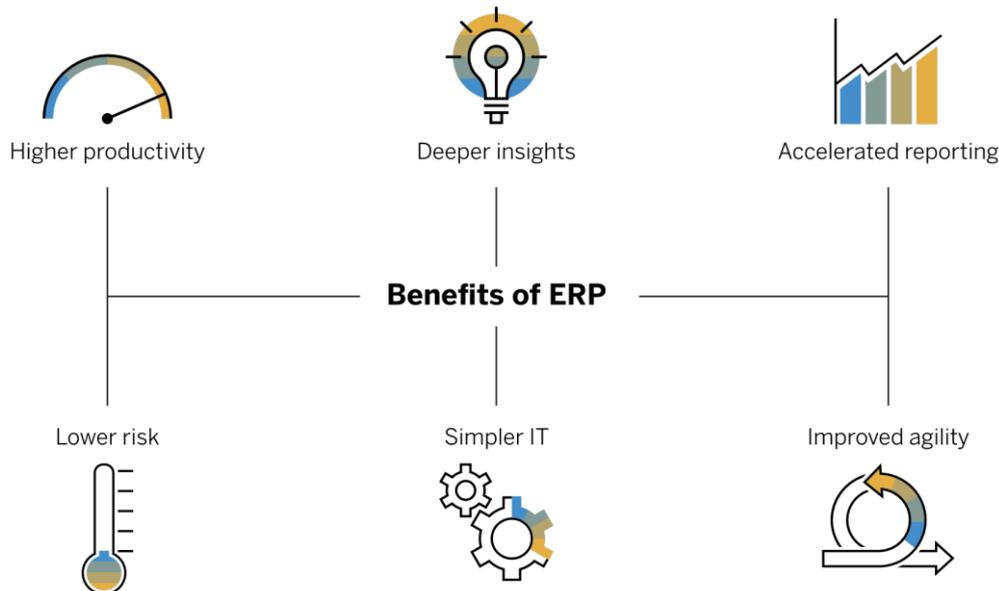


Figure 3 - Benefits of ERP

Modern ERP solutions have six main advantages:

- **Increased productivity.** Optimize and automate core business processes, helping each company employee achieve greater results with fewer resources.
- **A more complete understanding of the situation.** Eliminate data silos, create a single source of truth, and quickly get answers to your most important business questions.
- **Faster reporting.** Generate business and financial reports quickly and easily share results. Act on accurate insights to improve productivity in real-time.
- **Risk reduction.** Increase business visibility and control by ensuring compliance, risk forecasting, and prevention.
- **Simplifying IT processes.** By using integrated ERP applications with a common database, you can simplify your IT environment and give everyone an easier way to work.
- **Increased maneuverability.** Efficient operations and fast access to real-time data enable you to quickly identify and respond to new opportunities [8, 10].

In the context of real estate, ERP software helps professionals track accounting activities, manage projects, and assess risks.

It also provides insight into overall business progress, return on investment (ROI), and individual office performance. This tool is essential for brokerage

houses to stay ahead of the competition by visualizing and analyzing their business performance.

However, when migrating to an ERP, you need to be aware that migrating to a new system can sometimes be confusing and time-consuming for users at first, especially if your current system is outdated. This problem becomes even more serious if you use the traditional method of tracking everything with pen and paper. But it will subside over time and you will be able to reap many benefits from this tool.

3. Real estate management software

Every business needs effective management software to enhance productivity and save time, and real estate management software is tailored for property management.

It covers various aspects, such as accounting and ensuring real-time tracking of company finances. The software is invaluable for managing rented properties, allowing comprehensive tracking of income from various sources, including cash, checks, and credit cards.

Moreover, it facilitates the efficient management of tenant agreements by creating a comprehensive database. This includes storing information on agreements, correspondence, decisions, renewals, and rent details, ensuring legal compliance with local ordinances.

Table 2.

Real estate management tools		
Tool	Primary Purpose	Key Features
AppFolio Property Manager	Property Management	Automates rent collection, account management, and reporting, and tenant and lease management.
Buildium	Property and Association Management	Financial management, rent and lease management, property management, resident portal.
Yardi Voyager	Property Management Platform	Manages operations, finance, leasing, and maintenance, and integrates with Yardi Mobile Apps.
MRI Software	Comprehensive Property Management Solution	Property and investment management, corporate real estate management, and social housing management.
CoStar Real Estate Manager	Commercial Real Estate Management	Real estate market analysis, transaction and portfolio management, lease administration.

This table provides a selection of specialized software solutions designed to enhance the efficiency of real estate management. Each tool offers a unique set of functionalities aimed at automating various aspects of property management, including income and expense tracking, lease agreement management, and ensuring compliance with local regulations.

4. Virtual property tour tools

Virtual tours are digital walkthroughs or immersive renderings that allow users to virtually “walk” through a property. These tours are created using high-definition photography, 360° video, or virtual reality (VR) technology, providing panoramic views of the property's interiors and exteriors.



Figure 4 - An example of a virtual real estate tour

Virtual tours are powered by advanced software and visualization technologies that combine a series of images or videos into one seamless, interactive experience [6].

The virtual real estate tools prove especially useful for showcasing properties to potential buyers who are located out of town. This way, you can cater to a broader audience and facilitate property exploration without the limitations of geographical distance.

One drawback however could be that such tours might not provide the exact details accustomed to physical tours which can lead to misunderstandings and misinterpretations.

Current real estate software trends

Real estate software development is consistently evolving to meet the changing needs of the industry. Recent trends are reshaping how real estate professionals operate and engage with clients. [Kindly note that these trends are discussed in detail below, so there is no need to expand this sentence here]

Let's explore some of these noteworthy trends:

1. Virtual and Augmented Reality (VR/AR)

VR and AR technologies are transforming property showcasing. As mentioned before, VR enables immersive virtual property tours, allowing potential

buyers to explore interactive floor plans from their homes. AR overlays property details when viewing properties on mobile devices, enhancing the overall experience.

To implement VR/AR in real estate software, I recommend using a combination of 3D modeling software and AR/VR development platforms like Unity or Unreal Engine. This allows for the creation of realistic and interactive virtual tours. Challenges include ensuring high-quality graphics and smooth user experiences across different devices.

2. Artificial Intelligence (AI) and Machine Learning (ML)

AI and machine learning revolutionize data analysis and predictive analytics in real estate. These technologies analyze vast amounts of data, providing valuable insights into market trends, property values, and customer behavior.

AI-powered chatbots are also used for instant customer support. Integrating AI and ML into real estate software, I suggest leveraging cloud-based AI services like AWS SageMaker or Google AI Platform. This can enable advanced data analysis and predictive analytics without the need for extensive infrastructure. Key challenges include ensuring data privacy and accuracy in predictions.

3. Utilization of Blockchain

Blockchain technology is gaining traction for secure and transparent real estate transactions. It reduces fraud risk and ensures the authenticity of property records. Smart contracts, which automatically execute agreements, have the potential to streamline commercial property transactions.

To incorporate blockchain technology, I recommend using platforms like Ethereum to create smart contracts that can automate and secure real estate transactions. Challenges include ensuring scalability and interoperability with existing systems.

4. Pricing Predictive Analytics

Predictive analytics tools are becoming more sophisticated, aiding real estate professionals in pricing properties accurately. These tools analyze historical data, market trends, and property features to provide data-driven pricing recommendations, optimizing listings for sellers and agents.

To implement predictive analytics for pricing, I recommend using machine learning libraries like TensorFlow or Scikit-learn to develop models that can analyze historical data and market trends. Challenges include ensuring the accuracy of predictions and keeping the models updated with current market data.

5. Building Information Modeling

BIM is a smart tool for the real estate business. It's a system that gathers all the important information about a property and gives useful insights. One cool thing it does is create 3D models of projects, so you can kind of see how things will look once they're built.

For incorporating BIM into real estate software, I suggest using BIM software platforms like Autodesk Revit or Bentley Systems. These platforms allow for the creation and management of digital representations of physical properties. Challenges include integrating

BIM data with other real estate software and ensuring data consistency.

6. Cloud Technology for Real Estate Software

Cloud computing is yet another cool trend that is gaining traction. It's like having your real estate information stored online. So, real estate professionals can always stay updated on their leads and clients, whether they're old ones or potential new ones.

The fancier cloud-based property software even notes down what customers like, thus helping realtors tailor their pitches. Cloud technology also opens up new ways to market, like through email campaigns.

To leverage cloud technology, I recommend using cloud service providers like Amazon Web Services (AWS) or Microsoft Azure to host your real estate software. This allows for scalable storage and easy access to data from anywhere. Challenges include ensuring data security and privacy, as well as managing costs associated with cloud services.

Discussion

The real estate landscape is undergoing a significant transformation with the integration of advanced technologies. Realtors are recognizing the need to streamline operations through real estate software development, leading to industry evolution. These software programs have played a pivotal role in revolutionizing processes, improving customer experiences, and providing valuable insights.

As technology continues to advance, its crucial role in driving innovation and efficiency in the industry becomes increasingly evident.

Realtors are recognizing the need to streamline operations through real estate software development, leading to industry evolution.

Real estate software development, exemplified by Salesforce Real Estate Cloud and HubSpot CRM, is revolutionizing industry operations, and enhancing customer relationships and communication.

Technologies like Matterport and Zillow 3D Home employ virtual reality for immersive property showcases, while blockchain platforms like Propy ensure secure and transparent transactions, marking a shift towards efficiency and innovation in the industry.

Moreover, tools like CoStar and LoopNet have become indispensable for commercial real estate professionals, offering comprehensive property listings and market data that enhance decision-making processes. Property management software such as Buildium and AppFolio is revolutionizing the way property managers handle daily operations, from tenant screening to maintenance requests. These platforms not only improve efficiency but also elevate the overall customer experience. In addition, innovative technologies like AI-powered chatbots are being integrated into real estate websites to provide instant assistance and personalized recommendations to potential buyers and renters, enhancing customer engagement and lead capture.

As technology continues to advance, its crucial role in driving innovation and efficiency in the industry becomes increasingly evident. This is because of its ability to automate tasks, enhance communication, provide predictive insights, innovate customer

experiences, and introduce secure and transparent transaction processes.

Conclusion

In conclusion, this article has provided an in-depth examination of the increasingly pivotal role of software development in the real estate industry, highlighting how digital transformation is reshaping traditional practices and offering innovative solutions to longstanding challenges.

The analysis reveals that the integration of technologies such as CRM, ERP, AI, VR/AR, blockchain, and predictive analytics into real estate operations not only enhances efficiency and customer service but also provides real estate professionals with invaluable tools for market analysis, customer engagement, and operational optimization.

The findings underscore the necessity for real estate entities to embrace these technological advancements to remain competitive in a rapidly evolving market landscape. Furthermore, the adoption of these technologies reflects a broader trend toward digitalization across industries, signifying a shift in how business operations are conducted in the digital age.

Ultimately, this research contributes to the understanding of the transformative impact of software development on the real estate sector, offering a foundation for further exploration into the integration of technology in industry-specific contexts. The article's exploration into current trends and future directions provides a valuable perspective for professionals seeking to leverage technology to address the dynamic needs of the real estate market, thereby paving the way for continued innovation and growth within the sector.

References

1. Size of the construction and real estate software/application market worldwide from 2015 to 2020. [Electronic resource] - Access mode: <https://www.statista.com/statistics/643811/worldwide-construction-real-estate-software-market-size/>

2. Real Estate Software Market Size & Trends. [Electronic resource] - Access mode: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/real-estate-software-market-report>

3. Embracing AI and Machine Learning in Real Estate Marketing. 2023. [Electronic resource] - Access mode: [https://www.linkedin.com/pulse/role-ai-machine-learning-real-estate-marketing-muhammad-inamullah/#:~:text=Artificial%20Intelligence%20\(AI\)%20and%20Machine%20Learning%20\(ML\)](https://www.linkedin.com/pulse/role-ai-machine-learning-real-estate-marketing-muhammad-inamullah/#:~:text=Artificial%20Intelligence%20(AI)%20and%20Machine%20Learning%20(ML))

4. Insights into CRM Sales Tools: Key Statistics to Guide Your Sales Strategy in 2023. 2023. [Electronic resource] - Access mode: <https://www.bitrix24.com/resources/insights-into-crm-sales-tools-key-statistics-to-guide-your-sales-strategy-in-2023.php>

5. Lead Nurturing. 2022. [Electronic resource] - Access mode: <https://business.adobe.com/blog/basics/lead-nurturing#:~:text=BASICS-,Lead%20Nurturing,-Adobe%20Experience%20Cloud>

6. 5 types of software for virtual tours (importance and benefits). 2023. [Electronic resource] - Access mode: <https://uk.indeed.com/career-advice/career-development/software-for-virtual-tour#:~:text=and%20improve%20profits,-,5%20types%20of%20software%20for%20virtual%20tours,-Here%20are%20five>

7. What is ERP? [Electronic resource] - Access mode: <https://dynamics.microsoft.com/ru-ru/erp/what-is-erp/>

8. Ferreira M. S. et al. Improving real estate CRM user experience and satisfaction: A user-centered design approach // Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity. – 2023. – T. 9. – №. 2. – C. 100076.

9. Siniak N. et al. The impact of proptech on real estate industry growth // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2020. – T. 869. – №. 6. – C. 062041.

10. LOCHAISAKUL M. T. et al. How ERP implementation impacts internal control on a real estate business : дис. – Thammasat University, 2022.

МАТЕМАТИКА И МЕХАНИКА

УДК 517.51

О ПРИБЛИЖЕНИИ ОБОБЩЕННО ДИФФЕРЕНЦИРУЕМЫХ ФУНКЦИЙ m - СИНГУЛЯРНЫМИ ИНТЕГРАЛАМИ.

к.ф.м.н., доц. Мусаев Али Мехти о
Азербайджанский Государственный Нефтяной
и Промышленный Университет, г. Баку.
Azerbaijan State Oil and Industry University
 DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2024.1.117.1974

АННОТАЦИЯ

В период с 1936 по 1946 г. В ряде работ Ж.Фавара, Н.И.Ахиезера, М.Г.Крейна и С.М.Николского был успешно решен целый ряд задач отыскания наилучших приближений на различных классах функций. В частности, Н.А.Ахиезором и М.Г.Крейном при всех натуральных s были найдены наилучшие приближения на классах функций имеющих ограниченную s -ю производную ($s=1,2,\dots$).

В работах П. Л. Бутцера и Р. Г. Мамедова изучены порядок сходимости сингулярных интегралов в генерирующей функции в отдельных характерных точках и метрике пространстве L^p на ограниченных и неограниченных областях. Далее в этих работах, были получены важные теоремы об асимптотическом значении приближения функций сингулярными интегралами.

В данной работе исследуются асимптотические равенства о приближении обобщенно дифференцируемых функции посредством m - сингулярных интегралов.

Ключевые слова: Пространства, асимптотика, сингулярный интеграл, приближения, измеримая, параметр.

Пусть $L_{2\pi}^p$ пространство 2π периодических суммируемых на $(-\pi, \pi)$ в R степени функций $f(t)$ с нормой

$$\|f(t)\|_{L_{2\pi}^p} = \left(\int_{-\pi}^{\pi} |f(t)|^p \right)^{\frac{1}{p}}$$

$$\|f(t)\|_{L_{2\pi}^{\infty}} = \operatorname{ess\,sup}_{|t| \leq \pi} |f(t)|, \quad (1 \leq p < \infty).$$

Положим

$$\phi_m(f; x, t) = [\Delta_t^m + \Delta_{-t}^m]f(x),$$

$$\psi_m(f; x, t) = [\Delta_t^m - \Delta_{-t}^m]f(x),$$

$$\Delta_t^m f(x) = \sum_{k=0}^m (-1)^{m-k} \binom{m}{k} f(x + kt).$$

Рассмотрим следующие производные:

$$d^{(m,s)} f(x) = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{\phi_m(f; x, t)}{t^s}$$

$$D^{(m,s)} f(x) = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{1+s}{t^{1+s}} \int_0^t \phi_m(f; x, t) dt,$$

$$\bar{D}^{(m,s)} f(x) = \lim_{t \rightarrow 0} \frac{1+s}{2t^{1+s}} \int_0^t \psi_m(f; x, t) dt,$$

где $1 \leq s \leq m + 1$.

Для приближения функции $f \in L_{2\pi}^p$ рассмотрим m - сингулярный интеграл

$$A_{\lambda}^{[m]}(f; x) = \int_{-\pi}^{\pi} \left[\sum_{k=1}^m (-1)^{k-1} \binom{m}{k} f(x + kt) \right] K_{\lambda}(t) dt \quad (1)$$

где 2π периодическая функция $K_{\lambda}(t)$ зависит от параметра λ и удовлетворяет условиям:

1⁰. $K_{\lambda}(t)$ четная функция на $[-\pi, \pi]$.

2⁰. $\int_{-\pi}^{\pi} K_{\lambda}(t) dt = 1$.

Теорема 1. Пусть $f \in L_{2\pi}^\infty$, $K_\lambda(t)$ неотрицательная функция удовлетворяет условиям 1^0-2^0 и $v_{\lambda,s}^{(s)}(\phi) = 0[v_{\lambda,0}^{(s)}(\phi)]$ при $\lambda \rightarrow \infty$ для любого $\delta > 0$, где

$$v_{\lambda,s}^{(s)}(\phi) = \int_{-\pi}^{\pi} \phi^s(t) K_\lambda(t) dt, v_{\lambda,0}^{(s)}(\phi) = \int_{-\pi}^{\pi} \phi^s(t) K_\lambda(t) dt \rightarrow 0 \quad (2)$$

при $\lambda \rightarrow \infty$, $1 \leq s \leq m+1$, $\phi(t)$ - некоторая положительная функция на $[0, \pi]$ и $\lim_{t \rightarrow 0} \frac{\phi(t)}{t} = 1$.

Тогда, если существует конечная производная $d^{(m,s)}f(x)$ (в точке) при данном значения x , то справедливо

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} \frac{(-1)^{m+1}}{v_{\lambda,0}^{(s)}(\phi)} [A_\lambda^{[m]}(f; x) - f(x)] = d^{(m,s)}f(x) \quad (3)$$

Теорема 2. Пусть $f \in L_{2\pi}$, неотрицательная функция $K_\lambda(t)$ удовлетворяет условиям 1^0-2^0 и $K_\lambda(t)$ не возрастает на $[0, \pi]$, $K_\lambda(\pi) = 0[v_{\lambda,0}^{(s)}(\phi)]$, $v_{\lambda,\delta}^{(s)}(\phi) = 0[v_{\lambda,0}^{(s)}(\phi)]$ при $\lambda \rightarrow \infty$ для любого $\delta > 0$, где R и $v_{\lambda,\delta}^{(s)}(\phi) = \int_0^\pi \phi^{s+1}(t) d[K_\lambda(t)] \rightarrow 0$ при $\lambda \rightarrow \infty$, $1 \leq s \leq m+1$, $\phi(t)$ некоторая положительная функция на $[0, \pi]$, $\lim_{t \rightarrow 0} \frac{\phi(t)}{t} = 1$.

Тогда, если в точке x существует конечная производная $D^{(m,s)}f(x)$ то справедливо соотношение

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} \frac{(-1)^{m+1}}{v_{\lambda,0}^{(s)}(\phi)} [A_\lambda^{[m]}(f; x) - f(x)] = \frac{1}{1+s} D^{(m,s)}f(x).$$

Пусть $A_\lambda(f; x) = \int_a^b f(x) K_\lambda(t, x) dt$.

Теорема 3. $f(t) \in L(a, b)$ и $K_\lambda(x, t) \in L(a, b)$ удовлетворяет условиям:

$$1. \int_0^x K_\lambda(t, x) dt = \frac{1}{p_1} \int_x^b K_\lambda(t, x) dt = \frac{1}{p_2} \text{const } p_1^{-1} + p_2^{-1} \text{ при } \lambda \rightarrow \infty$$

$$2. v_{\lambda,0}^{(1)}(\phi, x-a) + v_{\lambda,0}^{(2)}(\phi, b-x) = 0(|v_\lambda(\phi, x-a, b-x)|)$$

и

$$|v_{\lambda,0}^{(1)}(\phi, x-a) - v_{\lambda,0}^{(2)}(\phi, b-x)| = 0(|v_\lambda(\phi, x-a, b-x)|)$$

при $\lambda \rightarrow \infty$ где $v_{\lambda,0}^{(1)}(\phi, x-a) = -\int_0^{x-a} \phi^{s+1}(t) [K_\lambda(x-t, x)]'_t dt$,

$$v_{\lambda,0}^{(2)}(\phi, b-x) = \int_0^{b-x} \phi^{s+1}(t) [K_\lambda(x+t, x)]'_t dt,$$

$$\bar{v}_{\lambda,0}^{(1)}(\phi, b-x) = \int_0^{x-a} \phi^{s+1}(t) |[K_\lambda(x-t, x)]'_t| dt,$$

$$\bar{v}_{\lambda,0}^{(2)}(\phi, b-x) = \int_0^{b-x} \phi^{s+1}(t) |[K_\lambda(x+t, x)]'_t| dt,$$

$|v_\lambda(\phi, x-a, b-x)| = \frac{1}{2} |v_{\lambda,0}^{(1)}(\phi, x-a) + v_{\lambda,0}^{(2)}(\phi, b-x)|$ при $\lambda \rightarrow \infty$, $1 < s \leq 1$, $\phi(t)$ некоторая положительная непрерывная функция на $[0, x-a]$ ($[a, b-x]$) и $\lim_{t \rightarrow 0} \frac{\phi(t)}{t} = 1$.

3. $\bar{v}_{\lambda,\delta}^{(1)}(\phi, x-a) + \bar{v}_{\lambda,\delta}^{(2)}(\phi, b-x) = 0[|v_\lambda(\phi, x-a, b-x)|]$ и $|K_\lambda(a, x)| + |K_\lambda(b, x)| = 0[|v_\lambda(\phi, x-a, b-x)|]$ при $\lambda \rightarrow \infty$ для любого $\delta > 0$ где

$$\bar{v}_{\lambda,\delta}^{(1)}(\phi, x-a) = \int_\delta^{x-a} \phi^{s+1}(t) [K_\lambda(x+t, x)]'_t dt,$$

$\bar{v}_{\lambda,\delta}^{(2)} = \int_\delta^{b-x} \phi^{s+1}(t) [K_\lambda(x+t, x)]'_t dt$, s и $\phi(t)$ то же самые что и в условии 2.

Тогда, если в точке x существуют конечные производные

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} \frac{1+s}{\phi^{1+s}(t)} \int_0^t [f(x-t_1) - \psi_1(x)] dt_1 = D_{t_1}^{(-,s)} f(x) \quad (4)$$

и

$$\lim_{\lambda \rightarrow \infty} \frac{1+s}{\phi^{1+s}(t)} \int_0^t [f(x+t_1) - \psi_2(x)] dt_1 = D_{t_1}^{(+,s)} f(x) \quad (5)$$

где $\psi_1(x)$ и $\psi_2(x)$ некоторые конечные величины, то в точке x справедливо соотношение

$$\begin{aligned} \lim_{\lambda \rightarrow \infty} \frac{1}{v_\lambda(x-a, b-x)} \int_0^t \left[A_\lambda(f, x) - \frac{\psi_1(x)}{p_1} - \frac{\psi_2(x)}{p_2} \right] = \\ = \frac{1}{1+s} \left[D_{\psi_1}^{(-,s)} f(x) + D_{\psi_2}^{(+,s)} f(x) \right] \quad (6) \end{aligned}$$

Доказательство. В силу условия 1, имеем

$$\begin{aligned} A_\lambda(f, x) - \frac{\psi_1(x)}{p_1} - \frac{\psi_2(x)}{p_2} = \int_a^x [f(t) - \psi_1(x)] K_\lambda(t, x) dt + \\ + \int_x^b [f(x) - \psi_2(x)] K_\lambda(t, x) dt = s_1 + s_2. \end{aligned}$$

Положим

$$R_x(t) = \int_0^t [f(x+t_1) - \psi_1(x)] dt_1, \bar{R}_x(t) = \int_0^t [f(x+t_1) - \psi_2(x)] dt_1$$

Рассмотрим s_1, s_2 и интегрируя по частям соотношение имеем

$$\begin{aligned} S_1 &= \int_0^{x-a} [f(x-t_1) - \psi_1(x)] K_\lambda(x-t_1, x) dt_1 = \\ &= K_\lambda(a, x) R_x(x-a) - \int_0^{x-a} R_x(t) [K_\lambda(x-t, x)]'_t dt, \\ S_2 &= \int_0^{b-x} [f(x+t_1) - \psi_2(x)] K_\lambda(x+t_1, x) dt_1 = \\ &= K_\lambda(b, x) \bar{R}_x(b-x) - \int_0^{b-x} \bar{R}_x(t) [K_\lambda(x+t, x)]'_t dt \end{aligned}$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} A_\lambda(f, x) - \frac{\psi_1(x)}{p_1} - \frac{\psi_2(x)}{p_2} &= K_\lambda(a, x) R_x(x-a) + K_\lambda(b, x) \bar{R}_x(b-x) - \\ &- \frac{1}{s+1} \int_0^{x-a} \left[\frac{1+s}{\phi^{(s)}(t)} R_x(t) - D_{\psi_1}^{(-,s)} f(x) \right] \psi^{(s)}(t) [K_\lambda(x-t, x)]'_t dt - \\ &- \frac{1}{s+1} \int_0^{b-x} \left[\frac{1+s}{\phi^{(s)}(t)} R_x(t) - D_{\psi_1}^{(+,s)} f(x) \right] \psi^{(s)}(t) [K_\lambda(x+t, x)]'_t dt + \\ &+ \frac{1}{2(1+s)} \left[\frac{v_{\lambda,0}^{(1)}(\phi, x-a) - v_{\lambda,0}^{(2)}(\phi, b-x)}{v_\lambda(\phi, x-a, b-x)} \right] D_{\psi_1}^{(-,s)} f(x) + \\ &+ \frac{v_{\lambda,0}^{(2)}(\phi, b-x) - v_{\lambda,0}^{(1)}(\phi, b-x)}{v_\lambda(\phi, x-a, b-x)} D_{\psi_2}^{(+,s)} f(x) - v_\lambda(\phi, x-a, b-x) + \\ &+ \frac{1}{s+1} \left[D_{\psi_1}^{(-,s)} f(x) + D_{\psi_2}^{(+,s)} f(x) \right] v_\lambda(\phi, x-a, b-x) \end{aligned}$$

и отсюда для любого $\varepsilon > 0$ существует $\delta_0 > 0$ такое, что при $0 < \delta < \delta_0$ имеем:

$$\begin{aligned} \left| \frac{1}{v_\lambda(\phi, x-a, b-x)} \left[A_\lambda(f, x) - \frac{\psi_1(x)}{p_1} - \frac{\psi_2(x)}{p_2} \right] - \frac{1}{1+s} \left[D_{\psi_1}^{(-,s)} f(x) + D_{\psi_2}^{(+,s)} f(x) \right] \right| \leq \\ \leq \frac{1}{s+1} \left[D_{\psi_1}^{(-,s)} f(x) + D_{\psi_2}^{(+,s)} f(x) \right] \left\{ \frac{\delta}{s+1} \bar{v}_{\lambda,0}^{(1)}(\phi, x-a) + \bar{v}_{\lambda,\delta}^{(2)}(\phi, b-x) + \right. \\ \left. + M_1 [|K_\lambda(a, x)| + |K_\lambda(b, x)|] + M_2 \left[\bar{v}_{\lambda,0}^{(1)}(\phi, x-a) + \bar{v}_{\lambda,\delta}^{(2)}(\phi, b-x) \right] \right\} \end{aligned}$$

$$+ \frac{1}{1+s} \left[\left| D_{\psi_1}^{(-,s)} f(x) \right| + \left| D_{\psi_2}^{(+,s)} f(x) \right| \right] \left[\left| \bar{v}_{\lambda,0}^{(1)}(\phi, x-a) - \bar{v}_{\lambda,\delta}^{(2)}(\phi, b-x) \right| \right] \Big\}$$

где $M_1, M_2 > 0$ некоторые числа и на основании условий 2 и 3 получаем соотношение (6) при $\lambda \rightarrow \infty$.

Литература.

1. Butzer P.L., Nessel R.Y. Fourier analysis and approximation. Volume 1: One-Dimensional Theory. New York and London. -1971.

2. Gadjiev A.D., Efendiyev R.O., Jbikli E. On Korovkin type theorem in the space of locally integrable functions. Czechoslovak Math. Y.. -2003. -v.53. -№128. -p.45-53.

3. Голубов Б.И. Об асимптотике кратных сингулярных интегралов для дифференцируемых функций. Матем. заметки, -1981. т.30. -№5.-с. 749-762.

4. Мамедов Р.Г. Преобразование Меллина и теория приближения. Баку: «Элм», -1991г. -стр.272.

5. Стейн И., Вейс Г. Введение в гармонический анализ на евклидовых пространствах. М.: Мир, -1974, 336 с.

6. Мусаев А.М. О порядке приближение $[m, n]$ -сингулярных интегралов в метрике пространство $L_{p,\sigma,\tau}(E_2^+)$. Abstracts of IV International Scientific and Practical Conference Rome, Italy, february 26-28. -2021. -pp194-202.

7. Мусаев А.М. О классе насыщения функций нескольких переменных α сингулярными

интегралами в пространства $L^p(R_n)$. Proceedings of XI International Scientific and Practical Conference London, United Kingdom. 2-4 yune-2021.734-742.

8. Мусаев А.М. On saturation order of functions some variables by singular. International Journal of Applied Mathematics. -vol.31.-№3.-2018june, Bulgaria.

9. Мусаев А.М. On linear operators giving higher order approximation of functions in $L_o^p(R^+)$, International Journal of Applied Mathematics. -Vol.33.-№1. -2020, pp.15-27.

10. Мусаев А.М. Boundedness of commutators of an oscillatory integral operators in variable exponent Morrey spaces. International Journal of Applied Mathematics. -vol.- 34.- № 4.-pp.745-760.august- 2021.

11. Musayev A.M., Z. V. Safarov Two-weighted inequalities for generalized fractional integral operator and its commutators in generalized Morrey spaces. Journal of Mathematical Analysis, COM /JMA Volume 13, Issue 4 (2022), Pages 1-14 .

12. Musayev A.M., Cahit Avsar, Canay Aykol, J. Hasanov. Two-weight inequalities for Riesz Potential and its commutators on weighted global Morrey-type spaces $GM_{\omega}^{p,\theta,\varphi}(R^n)$. Euro-Tbilisi Mathematical Journal 16(1), 2023, pp 33-50.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

COMPARISON OF CFAR ALGORITHMS FOR DETECTING MULTI-COMPONENT RADAR SIGNALS

Trung Thanh Nguyen

*Ph-D, Department of Electronic Warfare,
Le Quy Don Technical University,*

Vietnam

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2024.1.117.1975

SUMMARY

In radar systems, detection compares the received signal with the estimated threshold. In fact, there are many algorithms designed to calculate threshold values. One of the most common methods is a constant false alarm rate and its variations. On the other hand, no studies have compared the performance of CFARs for detecting multiple radar signals. This paper provides a comparison of the performance of CFARs such as CA-CFAR, GO-CFAR, SO-CFAR, and adaptive-CFAR are used to detect multiple-component radar signals. The performances of CFARs are evaluated using simulated radar signals in the MATLAB environment.

Key words: detection process, constant false alarm rate, radar signal, MATLAB environment.

1. Introduction

Target detection is an essential part of radar systems. It compares the received signals to a threshold. However, the received signals include echo, noise, and interference signals. Therefore, the detection process often causes problems such as there is a target, but the detector cannot detect it, or there is no target, but the detector indicates that the target is present. All problems are due to the calculation of detection thresholds. To limit the above-mentioned problems, the CFAR concept and its variations are used in radar systems, which ensure a fixed probability of false detection [1-4]. The CFAR concept in the receiver

system is presented in Figure 1, where H_1 is the decision that target is not present, H_2 is the decision that target is present.

In fact, radar systems use many forms of CFAR concepts such as: cell-averaging CFAR (CA-CFAR), cell-averaging greatest of CFAR (GO-CFAR), cell-averaging smallest of CFAR and ordered statistic CFAR (OS-CFAR), adaptive linear combined CFAR [5-9]. On other hand, there have been no studies comparing performance of CFARs. So, this article provides a comparison of the performance of the above-mentioned CFARs by MATLAB environment.

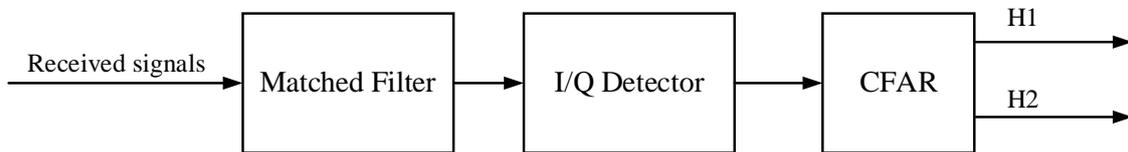


Figure 1. CFAR concept in receiver system.

The theoretical description of CFARs is presented in Section 2. The simulation results are shown in Section 3 and main conclusions are summarized in Section 4.

Theoretical description of the CFAR concept

The principle of a circuit for constant false alarm rate (CFAR) was first developed by H. M. Finn and R. S. Johnson. The CFAR circuit calculates the average of the noise's magnitude and converts it to a DC component. At the output, the DC component is filtered out. Also, the noise and echo signals will be separated by setting detection thresholds calculated by the CFAR circuit. This detection threshold copies the envelope of the interfering signals and can be increased or decreased according to the noise level, so the CFAR method is called adaptive threshold detection. Nowadays, several CFAR methods exist, and the difference between these methods depends on how the detection threshold is calculated [10]. This article provides analysis and evaluation of typical CFAR such as cell-averaging CFAR, greatest of CFAR (GO-CFAR), smallest of CFAR (CO-CFAR), and adaptive linear combined CFAR (AL-CFAR).

Cell-averaging of Constant False Alarm Rate

The cell averaging CFAR detector is the most widely used in radar systems. The principle of CA-CFAR is shown in Figure 2. Figure 2 shows that CA-CFAR includes training, testing, and guard cells. The CFAR principle is described as follows: The received signal is passed through to registers (CFAR block). These registers will calculate the average value of both sides and the total averaging value. After that, the total averaging value will be multiplied by constant α . This multiplied value will be used as the detection threshold defined by (1).

$$T = \frac{\alpha}{N} \sum_{i=1}^N X_i(I)$$

where N is the total number of training cells, X_i is the amplitude of received signal in training cells and α is the constant factor, calculated by (2).

$$\alpha = N \times \left(P_{fa}^{-\frac{1}{N}} - 1 \right) (2)$$

where P_{fa} is the probability of a false alarm. The detection threshold T is passed to the comparator,

which compares the tested cell (Y) and T. At the output of the comparator, it is a decision: if $Y > T$: target is present and if $Y < T$: target is not present. The main problem of CA-CFAR is that when the noise level is

high and inhomogeneous, CFAR indicates it as a target, but there is no target in practice. To limit this problem, two types of CFAR were designed.

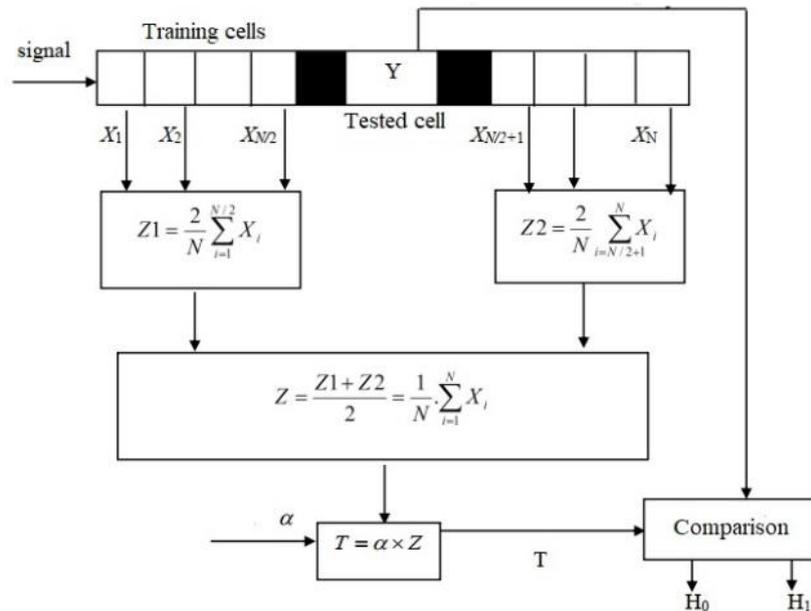


Figure 2. Principle of CA-CFAR [6].

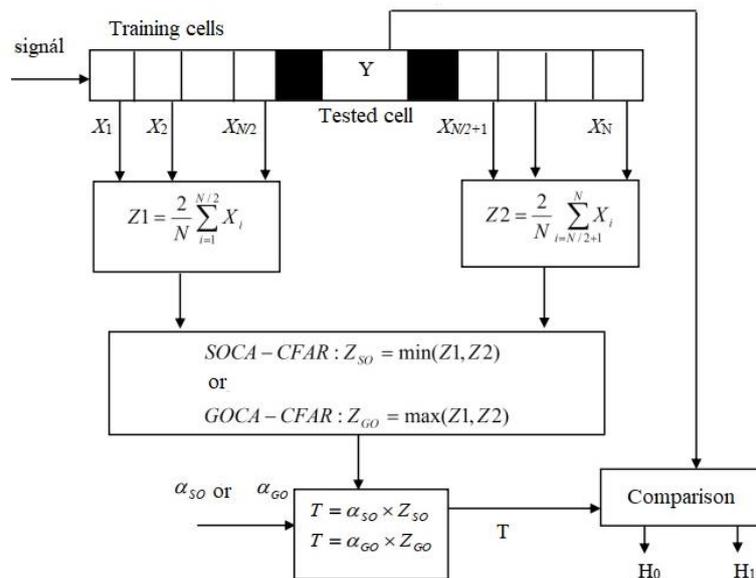


Figure 3. Principle of GO and SO-CFAR [6].
Cell-averaging Greatest and Smallest of CFAR

The other types of CFAR are cell-averaging, which is the greatest and smallest of CFAR. The principle of GO and SO-CFAR is shown in Figure 3. The principle of SO-CFAR and GO-CFAR is the same as that of CA-CFAR, but the difference in comparison with the CA-CFAR is that they accept only the maximum or minimum mean value of the received signal from the two sides of the training cells. The

obtained value will be multiplied by a constant to get the detection threshold. The constant values of GO-CFAR (α_{GO}) and SO-CFAR (α_{SO}) depend on the probability of false alarm P_{fa} . The probabilities of false alarms for GO-CFAR and SO-CFAR are calculated by (3).

$$\begin{cases} P_{fa} = 2 \left(\left(1 + \frac{2 \times \alpha_{GO}}{N}\right)^{\frac{N}{2}} - \left(2 + \frac{2 \times \alpha_{GO}}{N}\right)^{-\frac{N}{2}} \times \left\{ \sum_{i=0}^{\frac{N}{2}-1} \binom{\frac{N}{2}-1+i}{i} \times \left(2 + \frac{2 \times \alpha_{GO}}{N}\right)^{-i} \right\} \right) & \text{for GO-CFAR} \\ P_{fa} = 2 \left(2 + \frac{2 \times \alpha_{SO}}{N}\right)^{-\frac{N}{2}} \times \left(\sum_{i=0}^{\frac{N}{2}-1} \binom{\frac{N}{2}-1+i}{i} \times \left(2 + \frac{2 \times \alpha_{SO}}{N}\right)^{-i} \right) & \text{for SO-CFAR} \end{cases} \quad (3)$$

Ordered Statistic CFAR

Another variant of the CFAR detector is ordered statistical CFAR (OS-CFAR), which can eliminate the problems of the CA-CFAR and increase the probability of detection in an inhomogeneous environment. The principle of OS-CFAR is written as OS-CFAR arranging the signal and noise level in order from largest to smallest or vice versa and choosing the best value for setting the detection threshold. The block diagram of OS-CFAR method is shown in Figure 4. The detection threshold is calculated by (4).

$$T = X_k \times \alpha_{OS} \quad (4)$$

where α_{OS} is the constant, which depends on the probability of a false alarm P_{fa} . The P_{fa} is calculated by (5).

$$P_{fa} = \frac{N! \times (\alpha_{OS} + N - k)!}{(N - k)! \times (\alpha_{OS} + N)!} \quad (5)$$

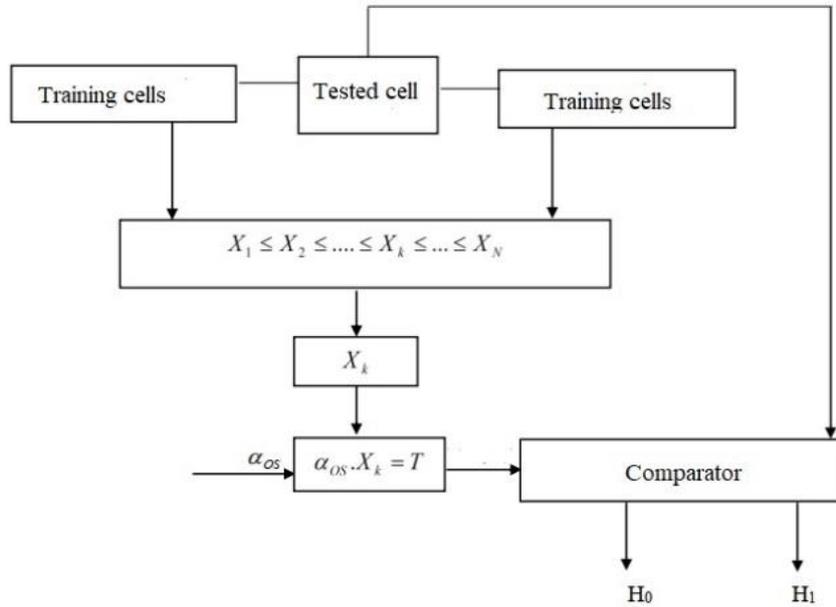


Figure 4. Principle of OS-CFAR [7].

Adaptive Linear Combined of CFAR

Another type of CFAR presented in this chapter is a combination of the two most basic types of CFAR, i.e., CA-CFAR and OS-CFAR. This type of CFAR is based on the principles of CA-CFAR and OS-CFAR. Compared with other types of CFAR, the difference is

that this type of CFAR uses an adaptive weight factor that will allow ALC-CFAR to work according to the change of environment, so, sometimes ALC-CFAR can work as CA-CFAR, and sometimes it can work as OS-CFAR. The principle of operation of this type is described in the block diagram shown in Figure 55.

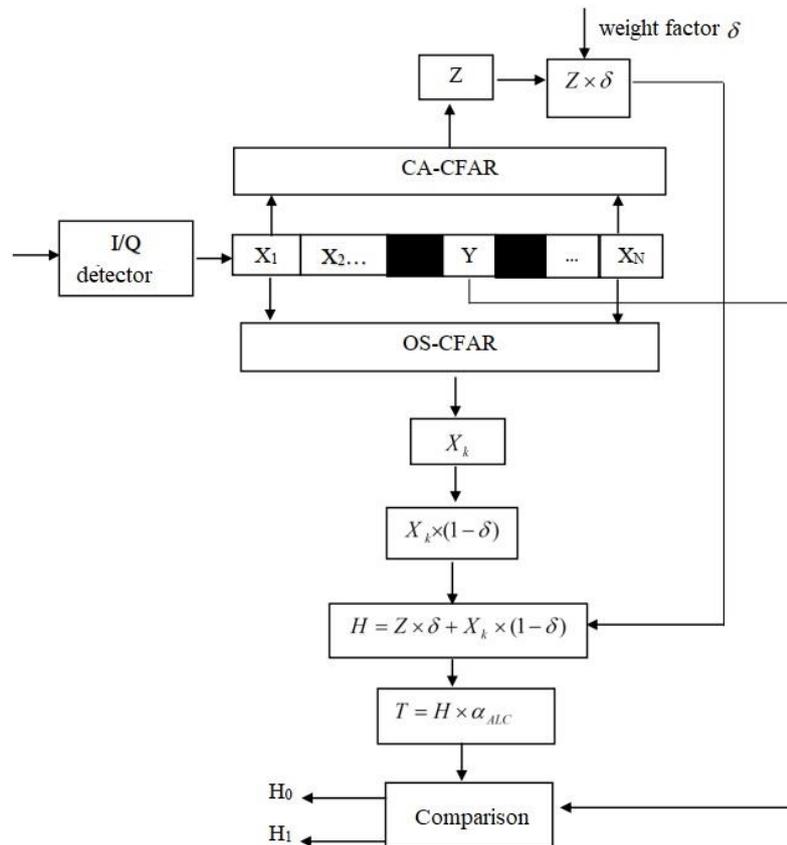


Figure 5. Principle of adaptive linear combined of CFAR [8].

Simulation results

This section analyzes the CFARs mentioned above in the MATLAB environment with two

scenarios. The first is for detecting a single target, and the second is for separating two targets close to each other. The simulation parameters are shown in Table 1.

Table 1.

Simulation parameters

Parameter	Value
Probability of false alarm P_{fa}	10^{-5}
Probability of detection P_d (%)	90
Total number of cells N (-)	23
Signal to noise ratio SNR (dB)	$15 \div 30$

Test with a single target

CA, GA and SO- CFAR

Firstly, the functionality of CA, GO, and SO-CFAR will be evaluated by detecting a single target with different SNR values. The simulated results are

shown in Figure 6. Figure 6(a) shows that at SNR = 21.62 dB, the SO-CFAR is not able to detect a target (black line), but this problem is solved by using CA-CFAR (red line) and GO-CFAR (green line).

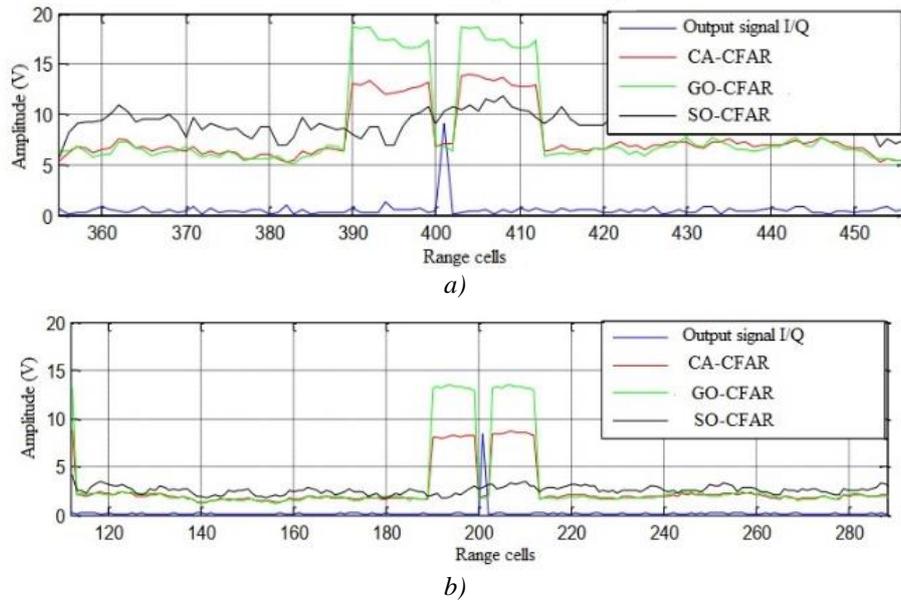


Figure 6. Simulated results: a) SNR = 21.62 (dB); b) SNR = 26.5 (dB).

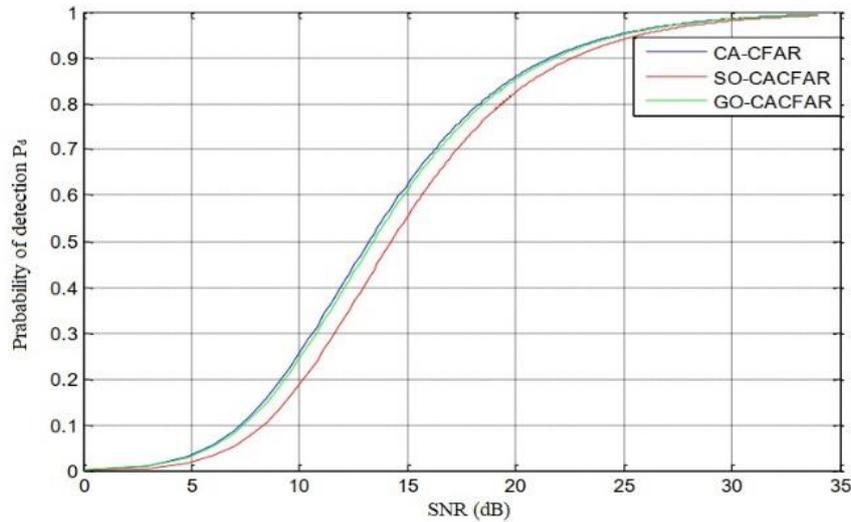


Figure 7. Probability of detection versus SNR.

Figure 7 shows the probabilities of detection of the mentioned CFAR depending on SNR. It shows that at the same value of SNR = 20 dB, the highest Pd is given

by CA-CFAR ($P_d = 86.5\%$ (blue line), followed by GO-CFAR ($P_d = 85.4\%$, green line), and the lowest is given by SO-CFAR ($P_d = 83.2\%$, red line).

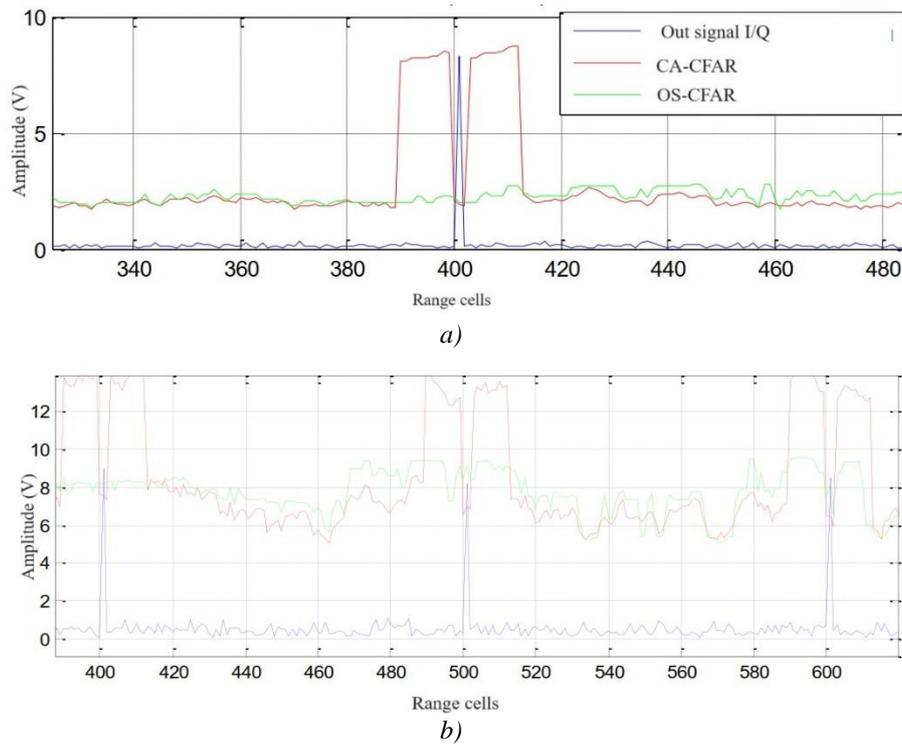


Figure 8. Simulation results of OS-CFAR: a) SNR = 26.5 (dB); b) SNR = 21.62 (dB).

Ordered statistic CFAR

In the same case as in the first subsection, this subsection provides testing functionality of SO-CFAR for detecting a single target with SNR = 26.5 (dB) and SNR = 21.62 (dB). The simulation results are shown in Figure 8. Figure 8 shows that when SNR = 26.5 (dB), the CA (red line) and OS-CFAR (green line) can detect

the target. However, when SNR = 21.62 (dB), only CA-CFAR detects the target (red line) while OS-CFAR does not (green line). The probability of OS-CFAR detection depended on the SNR value, shown in Figure 9. It shows that to reach up to 90% of the probability of detection, OS-CFAR requires a value of SNR = 22.28 (dB).

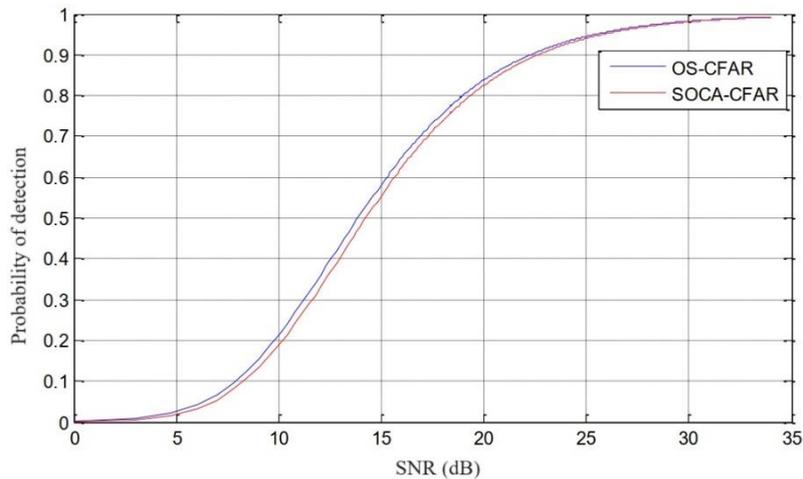


Figure 9. Probability of detection of OS-CFAR. Adaptive linear combined CFAR

Table 2.

Summarized simulation results.

SNR (dB)	CA-CFAR	GO-CFAR	SO-CFAR	OS-CFAR	ALC-CFAR
21.62	Yes	Yes	No	Yes	Yes
26.5	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

In the last step, the functionality of ALC-CFAR will be tested by detecting a single target under the conditions mentioned above. The simulation results are

shown in Figure 10. It is shown that in both cases, ALC-CFAR can detect a target (black line). The probability of Pd detection depends on SNR values, as shown in

Figure 11. It is seen that to get up to $P_d = 90\%$, a value of $SNR = 21.62$ (dB) is required. The summarized results are given in

Table 2. At $SNR = 21.62$ (dB), SO-CFAR cannot detect a target while remaining can. All mentioned CFAR can detect a target with $SNR = 26.5$ (dB).

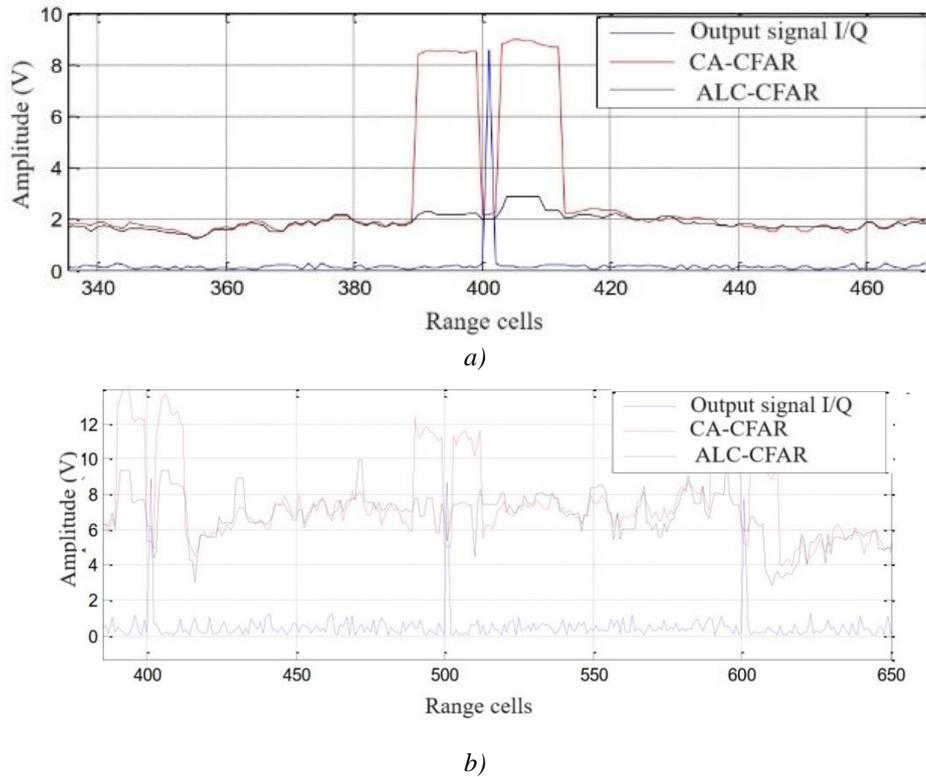


Figure 10. Simulation results of ALC-CFAR: a) $SNR = 26.5$ (dB); b) $SNR = 21.62$ (dB).

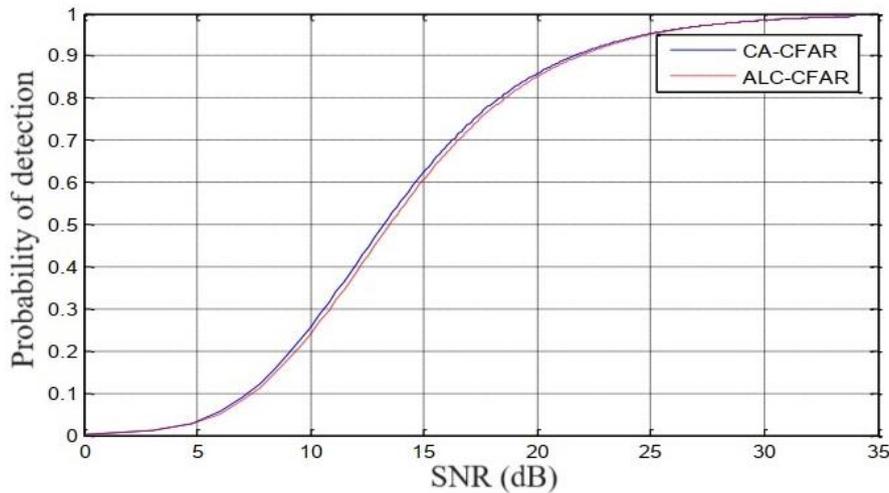


Figure 11. Probability of detection of ALC-CFAR.

Test with two closed targets

In this section, the functionality of all mentioned CFAR will be evaluated by detecting two targets, which are close to each other at the values of $SNR = 25$ (dB) and 28 (dB). The simulation results at $SNR = 25$ dB are shown in Figure 12. It is seen that CA-CFAR

(red line, Figure 12(a)) and GO-CFAR (green line, Figure 12(b)) can not detect two targets, they can detect only one, which has high energy. However, SO-CFAR (black line, Figure 12(a)), OS-CFAR (green line, Figure 12(b)) and ALC-CFAR (black line, Figure 12(b)) can detect two targets.

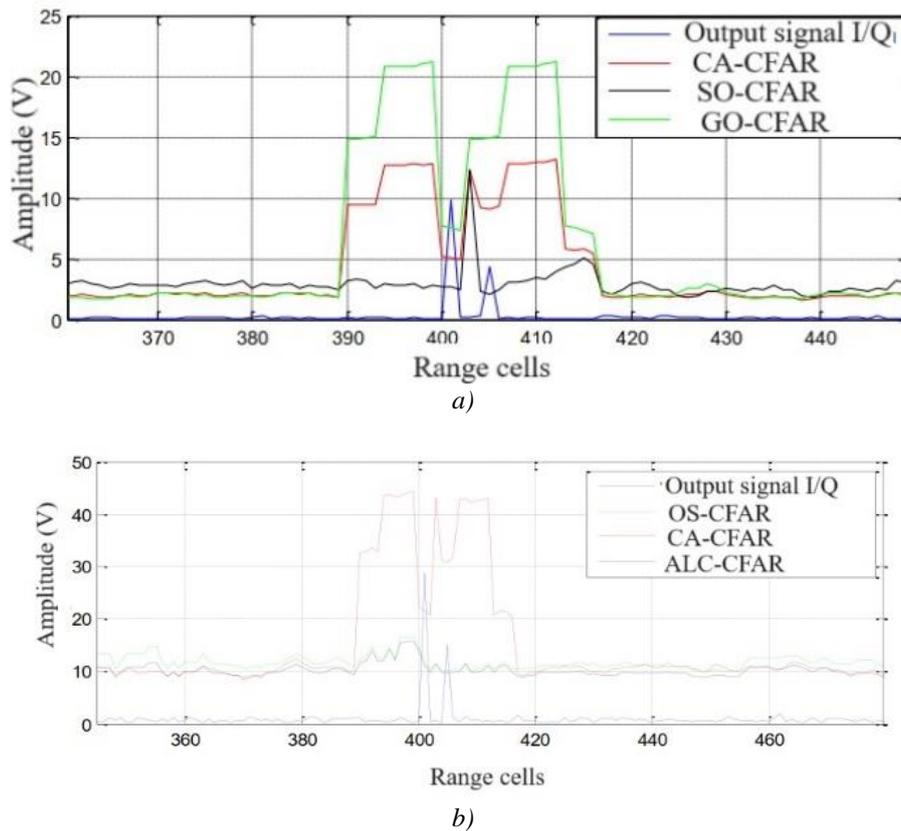


Figure 12. Simulation results: a) CA, GO and SO-CFAR; b) OS and ALC-CFAR.

Table 3.

Summarized simulation results.

SNR (dB)	CA-CFAR	GO-CFAR	SO-CFAR	OS-CFAR	ALC-CFAR
25	No	No	Yes	Yes	Yes
28	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

Table 3 shows a summary of simulation results. It is seen that at SNR = 25 (dB), CA-CFAR and GO-CFAR cannot detect two targets, while the remaining types of CFAR can. For SNR = 28 dB, all types of CFAR can detect two targets.

4 Conclusion.

This article evaluated the performance of CFAR such as CA-CFAR, GO-CFAR, SO-CFAR, and ALC-CFAR, in general, are white noise with different values of SNR in two cases: single target and two targets close to each other in MATLAB environments. The simulation results show that all the CFAR mentioned above can be effectively used for radar target detection. Also, it indicates that the CA-CFAR performs the best solution under SNR conditions for detecting a single target. Another advantage of CFAR is that it is a simple algorithm.

For two targets close to each other, GO-CFAR is not suitable for detecting them, also CA-CFAR, also CA-CFAR has low effectiveness. However, these problems can be solved by using OS-CFAR or ALC-CFAR. The simulation results confirmed that the ALC-CFAR provided the best solution because it can work as a CA-CFAR or OS-CFAR according to environmental change. Also, it can reach the same probability of detection as CA-CFAR, but it is able to separate targets close to each other.

References

- 1.C.E. Cook, M. Bernfeld. "Radar signals", Academic Press, 1984, 512 p. Academic Press, 1967, 567 p.
- 2.D.E. Vackman. "Complex signals and indefiniteness in radar", Soviet Radio Publ. House, 1965, 304 p. (in Russian).
- 3.H. M. Finn and R. S. Johnson, "Adaptive detection mode with threshold control as a function of spacially sampled clutter-level estimates," RCA Rev., vol. 29, pp. 141-464, September 1968.
- 4.Rohling, Hermann "Ordered statistic CFAR technique - an overview", Radar Symposium (IRS), 2011 Proceedings International, On page(s): 631 - 638, Volume: Issue: 7-9 Sept. 2011
- 5.Long Cai, Xiaochuan Ma, Qi Xu, Bin Li, Shiwei Ren "Performance Analysis of Some New CFAR Detectors under Clutter", Journal of Computers, Vol 6, No 6 (2011), 1278-1285, Jun 2011 (doi:10.4304)
- 6.F. X. Hofele, "An innovative CFAR algorithm," in Proc. CIE Int. Conf. Radar, 2001, pp. 329-333.
- 7.Mark Richards, "Fundamentals of Radar Signal Processing", McGraw Hill, 2005.

8. Scharf, Louis L. "Statistical Signal Processing: Detection, Estimation and Time Series Analysis", Addison Wesley, NY, ISBN: 0-201-19038-9.

9. Srinivasan, R. "CFAR detection". Springer, Berlin, Heidelberg, 2002, DOI:10.1007/978-3-662-05052-1-5.

10. Bo Yang and Hua Zhang, "A CFAR algorithm based on monte carlo method for millimeter-wave radar road traffic target detection". Remote sens, 2022, 14(8), 1779, DOI: 10.3390/rs14081779.

УДК 330.341.2

ВЛИЯНИЕ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ НА РАЗВИТИЕ МАЛОГО И СРЕДНЕГО БИЗНЕСА

Гаврилов Егор Васильевич

Руководитель компании "Apple 33"

Владимирский Государственный Университет

г. Владимир, Российская Федерация

DIGITAL TRANSFORMATION IN MANAGEMENT: TOOLS AND STRATEGIES FOR IMPROVING EFFICIENCY

Gavrilov Egor Vasilyevich

Head of Apple 33

Vladimir State University

Vladimir, Russian Federation

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2024.1.117.1976

АННОТАЦИЯ

В данной статье рассматриваются процессы цифровой трансформации, затрагивающие малый и средний бизнес. Рассматривается цифровая экономика, описываются её сферы деятельности, описаны основные принципы цифровой экономики. Проводится сравнительный анализ крупного и малого бизнеса по их реакции на происходящую цифровую трансформацию. Анализируется динамика изменения факторов цифровизации на территории Российской Федерации для определения её уровня. Определяется роль малого и среднего бизнеса в современной экономике. Подробно описывается «индустрия 4.0», как набор новых возможностей для управления производственными процессами. Указаны экономические эффекты от цифровизации.

ANNOTATION

This article examines the processes of digital transformation affecting small and medium-sized businesses. The digital economy is considered, its fields of activity are described, and the basic principles of the digital economy are described. A comparative analysis of large and small businesses is carried out according to their reaction to the ongoing digital transformation. The dynamics of changes in the factors of digitalization in the territory of the Russian Federation is analyzed to determine its level. The role of small and medium-sized businesses in the modern economy is determined. Industry 4.0 is described in detail as a set of new capabilities for managing production processes. The economic effects of digitalization are indicated.

Ключевые слова: цифровая трансформация, малый и средний бизнес, эффективность, цифровые стратегии, цифровизация, инновации.

Keywords: digital transformation, small and medium-sized businesses, efficiency, digital strategies, digitalization, innovation.

Введение.

На сегодняшний день стало невозможно представить любую сферу в жизни человека, которую бы никаким образом не затронула цифровизация, в том числе и экономика. Современная экономика претерпевает значительные изменения под воздействием цифровизации. Благодаря происходящим изменениям и нововведениям можно говорить о появлении ранее не существовавших бизнес-процессов и моделей, всё это знаменует происходящую прямо сейчас новую индустриальную революцию.

Трансформация бизнес-моделей в цифровой экономике является одной из составляющих описанной революции. Распространение цифровых

технологий приводит к появлению новых бизнес-моделей и трансформации традиционных схем ведения бизнеса. Цифровая экономика включает в себя такие сферы деятельности, как электронная коммерция, онлайн-реклама, онлайн-платежи, облачные вычисления и информационные платформы. Основным принципом цифровой экономики является преобразование данных в "цифровой интеллект", который впоследствии используется для коммерческого использования, в сравнении с привычными бизнес-моделями такой способ цепочки создания добавленной стоимости является нестандартным. В условиях цифровой трансформации на производственную деятельность предприятий существенно влияют инновационные и информационные способности. Компании,

способные к внедрению технологических обновлений и эффективной обработке информации, имеют более высокий потенциал для роста. Традиционные бизнес-модели, основанные на продаже продуктов или оказании услуг, постепенно теряют свою эффективность. На смену им приходят модели монетизации, характерные для новой экономики платформ [5]. Платформы предоставляют возможности для взаимодействия между различными участниками экономического процесса, обеспечивая более высокую маржинальность.

Однако для малого и среднего бизнеса цифровизация также создает ряд проблем и угроз. Им необходимо повышать свою цифровую зрелость и адаптироваться к новым условиям, чтобы оставаться конкурентоспособными.

Изучение проблем, связанных с цифровыми платформами, в основном проводилось зарубежными исследователями, такими как А. Гавер, М. Андрессен, М. Кенни, М. Уэйд, Дж. Маколей, А. Норонья, Дж. Паркер, С. Чаудары, Дж. Брэдли, Й. Иноу, М. Цушимото, А. Сундарараджан, Т. Саха, М. Кенни и др. В представленных работах авторы исследуют степень, в которой цифровизация оказывает влияние на устоявшиеся бизнес-модели компании, а также те навыки и компетенции, которые необходимо развивать, чтобы успешно использовать все преимущества цифровизации [4]. Несмотря на большое количество исследований, описанные выше, нельзя сказать, что данная тема изучена в полной мере, а значит остаётся простор для проведения новых исследований, связанных с цифровизацией.

Таблица 1.

Особенности информатизации субъектов малого, среднего и крупного предпринимательства [6]

Крупный бизнес	Малый и средний бизнес
Большой штат IT-специалистов высшей квалификационной категории	В деятельности индивидуальных предпринимателей в роли управляющего внедрением информационных технологий может выступать сам предприниматель (при использовании простейших информационных инструментов). В малых и средних компаниях штат IT-сотрудников может эффективно функционировать даже с одним специалистом (в зависимости от рыночной доли фирмы)
Многоуровневая, сложная и постоянная информационная инфраструктура (ИИ)	Непостоянная информационная инфраструктура (привлечение аутсорсинговых компаний) либо простейшая IT-инфраструктура
Задача руководства ИИ – обеспечение реализации стратегии компании	Задача руководства ИИ – обеспечение работоспособности ключевой технологии или отдельных мероприятий в системах менеджмента, финансового обеспечения, маркетинга, производства, торговли и пр.
Возможность использования дорогостоящих, передовых информационных технологий, программных продуктов; возможность разработки собственного специализированного программного обеспечения	Ограниченность в использовании высокомоощностных и инновационных информационных технологий. Отсутствие выгоды в приобретении дорогостоящих IT-продуктов (ввиду ограниченности бюджета, отсутствия развитой ИИ и соответствующего штата сотрудников). Часто отсутствие необходимости в разработке персонального программного обеспечения
Чёткое разделение функций отдела по внедрению информационных технологий	Все функции, связанные с информационным развитием и продвижением, возложены на одного сотрудника собственного штата или привлеченного из сторонней компании
Возможность использования различных программных продуктов для разных областей хозяйствования; высокая интеграция внедряемых технологий	Ввиду низкой интеграции информационно-технологических решений наиболее выгодно использование комплексной компьютерной программы для всех областей частного хозяйствования

В данной таблице представлена сравнение крупного бизнеса с малым и средним. Основываясь на доступной информации можно сделать некоторые выводы о том, что информатизация малого и среднего бизнеса происходит неоднородно и зависит от нескольких факторов. В первую очередь, эти процессы зависят от выбранной формы частного хозяйствования, к таким формам можно отнести индивидуальное предпринимательство, малый или средний бизнес. Другим важным фактором является доля рынка товаров и услуг, которую занимает компания

относительно своих конкурентов. Кроме того, стратегия, выбранная субъектом частного хозяйствования, включая целевые установки и подходы к организации бизнес-деятельности, а также долгосрочные задачи, оказывают влияние на процесс информатизации.

Необходимо также отметить, что масштаб присутствия на рынке и стратегические решения компаний являются в значительной степени субъективными. Поэтому для дальнейшего анализа информатизации частного хозяйствования целесообразно рассматривать малый и средний

бизнес отдельно, чтобы изучать внедрение информационных технологий в зависимости от конкретной формы бизнес-деятельности. В соответствии с официальными законодательными источниками России, «малыми» компаниями считаются те, у которых штат до ста человек, в то время как «средними» – сотрудники от ста одного до двухсот пятидесяти человек. Тем не менее, индивидуальные предприниматели, в зависимости от численности сотрудников в управлении, могут быть как малым, так и микропредприятием.

Однако при определении конкретных инструментов информационных технологий для развития бизнеса, критерий численности сотрудников неуместен. Во-первых, компании одинакового размера могут значительно отличаться по стратегическим приоритетам, финансовому положению и сложности внутренних бизнес-процессов. Эти факторы играют важную роль в определении стратегии внедрения информационных технологий, которая не всегда совпадает с общей бизнес-стратегией малых и средних организаций, как показано в таблице 1. Во-вторых, критерий численности сотрудников не отражает реальные ресурсные возможности компаний, что может привести к дополнительным финансовым затратам при разработке и внедрении программного обеспечения. Например, функционал программы может быть сложным и не ясным для сотрудников, которые не имеют специалистов по IT в своем штате [6].

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что для эффективного выбора информационных технологий для развития частной бизнес-деятельности необходимо учитывать особенности и реальные потребности каждой компании.

Методы. Для проведения исследования были изучены актуальные зарубежные и отечественные материалы, по теме эффективности использования инструментов цифровизации в малом и среднем бизнесе. Среди отечественных работ можно отметить исследования Новиковой И.В., а среди международных работы таких учёных, как Sorgner A., Sostero M. и Passiante G. [2]. В качестве методов представлены обобщение и анализ актуальных источников, после анализа данные подвергаются систематизации для того, чтобы было возможно сделать выводы и экстраполировать их на весь малый и средний бизнес. Важно чтобы полученные результаты в достаточной степени отображали действительную ситуацию и являлись объективными.

Результаты исследования.

Для дальнейшего исследования необходимо определить роль и особенности малого и среднего бизнеса в современной экономике. В современных экономических условиях малый бизнес играет значительную роль в качестве основного двигателя экономического роста и инноваций. Его уникальные характеристики, такие как гибкость, адаптивность и постоянное самообновление, дают

ему неоспоримое преимущество перед крупными предприятиями. Малый бизнес выполняет важнейшие экономические функции, которые сложно реализовать крупным компаниям. Далее будут описаны наиболее важные из них. Малые предприятия способствуют снижению монополизации рынка и создают благоприятные условия для развития новых идей и технологий. Малый бизнес обеспечивает занятость для населения, создавая рабочие места и способствуя снижению безработицы. Малые предприятия более склонны к экспериментам и имеют возможность быстро внедрять новые технологии, что приводит к техническому прогрессу и появлению новых продуктов и услуг. В различных отраслях, включая продовольственный комплекс, малый бизнес играет ключевую роль в развитии регионов и удовлетворении специфических потребностей потребителей.

Однако, несмотря на значительный потенциал, развитие малого бизнеса в России сталкивается с рядом проблем и барьеров. Специалисты выделяют следующие проблемы. Высокая стоимость привлечения квалифицированных специалистов, которая выражается в том, что малые предприятия часто сталкиваются с нехваткой финансирования и не могут позволить себе привлекать дорогостоящих специалистов. Сложность доступа к банковским кредитам и недостаточное государственное финансирование ограничивают возможности роста малых предприятий. Налоговое и регуляторное бремя часто налагает непропорционально высокую нагрузку на малые предприятия, препятствуя их развитию. Отсутствие поддержки для инновационных проектов является серьёзной проблемой для дальнейшего развития малого бизнеса в России. Недостаток финансирования и специализированных программ поддержки инновационной деятельности малых предприятий сдерживает их технологическое развитие [7].

Сегодня происходит радикальная трансформация клиентских отношений и бизнес-инноваций. Цифровизация неотвратимо меняет устоявшиеся принципы взаимодействия с клиентами и бизнес-процессы. Этот переход способствует смещению фокуса на потребности покупателей, а становление платформенной экономики совпало с развитием сетевой экономики [4]. Платформы выступают поставщиками технологической и информационной инфраструктуры для клиентов. В основе функционирования цифровых платформ лежит распространение технологий, что приводит к увеличению доли нематериальных активов в структуре стоимости товаров предприятий, работающих на платформах [6]. Технологии «Индустрии 4.0» открыли новые возможности для управления производственными процессами. Был создан цифровой образ компании, включающий визуальное представление и все информационные потоки бизнес-процессов современного бизнеса [3].



Рисунок 1.
Технологии «Индустрии 4.0»

Это позволило реализовать управление бизнесом в режиме реального времени из любой точки мира, моделировать различные сценарии инвестиций в модернизацию нового оборудования с помощью цифровых двойников, а также оптимизировать стратегии управления и бизнес-процессы. Любое значимое действие в реальном мире может быть мгновенно отображено в цифровой модели, и наоборот. Экономические эффекты цифровизации для бизнеса представлены предиктивным обслуживанием (Predictive Maintenance), оно снижает затраты на ремонт и обслуживание оборудования на 10-40%, а простой - на 30-50% (Абрамов, Чуркин, 2022). Машинное зрение (Machine Vision) сокращает расходы на поддержание качества продукции на 10-40% (Мамрега, 2022). * Умная фабрика (Smart Factory) ускоряет вывод нового продукта на рынок на 20-50% и обеспечивает своевременное выполнение задач клиентов на 95% (Фонтана, Ерзнкян, 2022). Цифровые двойники (Digital Twins) широко используются в цифровой экономике как движущая сила цифровой трансформации компаний, демонстрируя новый уровень в инженерии и строительстве [6].

Обсуждение.

В настоящее время, в период активного развития цифровой экономики, малые и средние

предприятия в России сталкиваются с рядом проблем. Одной из наиболее значимых является необходимость в значительных инвестициях в цифровые технологии и сервисы, а также обучение персонала и повышение квалификации. Тем не менее, не все предприятия должны применять масштабные технологии одновременно. Ключевым фокусом становится использование передовых цифровых сервисов с возможностью автоматизации основных операций и улучшения эффективности. В этом случае, малым и средним предприятиям будет достаточно реализовать один проект в рамках краткосрочного инновационного цикла продолжительностью до двух лет, чтобы обеспечить цифровую трансформацию в данной сфере. Кроме того, важно, чтобы подобные предприятия тщательно выбирали цифровые технологии и сервисы и не перегружали свою деятельность. Поэтому, количество используемых технологий должно быть минимальным. На стадии внедрения новых программных продуктов следует проводить тестирование их эффективности в контексте конкретной организации. В исследовании [7] была представлена схема, которая отображает направления цифровой трансформации малого и среднего бизнеса, изображённая на рисунке ниже.



Рисунок 2.

Направления цифровой трансформации малого и среднего бизнеса [1]

Применение цифровых сервисов позволяет таким предприятиям расширять спектр предоставляемых услуг и сокращать затраты на человеческие ресурсы, так как информационные системы частично или полностью выполняют функции администрирования.

Заклучение. Цифровизация затронула все сферы жизни, в том числе и экономическую деятельность представленную не только крупным бизнесом, но и средним, малым бизнесом. Цифровизация привела к значительной трансформации бизнес-моделей, из-за чего появился так называемый «цифровой интеллект», включающий в себя преобразование данных в их цифровой эквивалент. У отечественных и зарубежных научных деятелей существуют разные точки зрения на оценку влияния цифровой трансформации на развитие бизнеса. Основными отличиями между крупным и мелким бизнесом по отношению к информатизации является сложность системы, штат специалистов, задачи, которые ставят перед собой организации. Рассмотрена динамика факторов цифровизации в РФ, по итогам которой сделаны выводы, касательно улучшения позиций РФ в данной сфере.

Список литературы:

1. Антоненко, Н.А. Цифровая трансформация малого и среднего бизнеса на примере Тульской области / Н.А. Антоненко, А.Л. Екатериничев, Е.А. Наташкина // Вестник НГУЭУ : электронный журнал. – URL: [https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-](https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-transformatsiya-malogo-i-srednego-biznesa-na-primere-tul'skoy-oblasti)

[transformatsiya-malogo-i-srednego-biznesa-na-primere-tul'skoy-oblasti](https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovaya-transformatsiya-malogo-i-srednego-biznesa-na-primere-tul'skoy-oblasti). – Дата публикации: 2020.

2. Дмитриева, О.В. Стратегические направления цифровизации для развития занятости в малом и среднем бизнесе / О.В. Дмитриева, Р.И. Антоненко // МИР (Модернизация. Инновации. Развитие) : электронный журнал. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/strategicheskie-napravleniya-tsifrovizatsii-dlya-razvitiya-zanyatosti-v-malom-i-srednem-biznese>. – Дата публикации: 2020.

3. Костин, Г.А. Трансформация предпринимательской деятельности под влиянием цифровой экономики / Г.А. Костин, И.В. Упова // Экономика и управление : электронный журнал. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/transformatsiya-predprinimatelskoy-deyatelnosti-pod-vliyaniem-tsifrovoy-ekonomiki>. – Дата публикации: 2018.

4. Мордовцев, А.И. Особенности управления предприятием малого бизнеса в условиях цифровой трансформации национальной экономики / А.И. Мордовцев // Теория и практика общественного развития : электронный журнал. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-upravleniya-predpriyatiyami-malogo-biznesa-v-usloviyah-tsifrovoy-transformatsii-natsionalnoy-ekonomiki>. – Дата публикации: 2023.

5. Мурашова, Е.В. Оценка условий цифровой трансформации компаний малого и среднего бизнеса в Китае / Е.В. Мурашова, Це Ян // Московский экономический журнал : электронный журнал. – URL: [https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-usloviy-](https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-usloviy-cifrovoy-transformatsii-kompaniy-malogo-i-srednego-biznesa-v-kitae)

tsifrovoy-transformatsii-kompaniy-malogo-i-srednego-biznesa-v-kitae. – Дата публикации: 2022.

6. Хисаева, А.И. Информационные технологии в организации хозяйственной деятельности субъектов секторов малого и среднего предпринимательства / А.И. Хисаева, М.А. Ризванова, Р.Р. Гайсина // Вестник УГНТУ. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика : электронный журнал. – URL: [https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnye-tehnologii-v-organizatsii-hozyaystvennoy-](https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnye-tehnologii-v-organizatsii-hozyaystvennoy-deyatelnosti-subektov-sektora-malogo-i-srednego-predprinimatelstva)

deyatelnosti-subektov-sektora-malogo-i-srednego-predprinimatelstva. – Дата публикации: 2021.

7. Хончев, М.А. Цифровизация малого бизнеса в России: проблемы и перспективы / М.А. Хончев // <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-malogo-biznesa-v-rossii-problemy-i-perspektivy> : электронный журнал. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovizatsiya-malogo-biznesa-v-rossii-problemy-i-perspektivy>. – Дата публикации: 2023.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА: ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ

*Колосов Василий Юрьевич
Технический директор “Смартекс”
Москва, Россия*

DIGITALIZATION OF PRODUCTION PROCESSES: THE MAIN PROBLEMS AND THEIR SOLUTIONS

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2024.1.117.1977

АННОТАЦИЯ

В научной статье исследуются проблемы и решения, связанные с цифровизацией производственных процессов. В ней рассматривается концепция нового цифрового пространства, которое объединяет производственные механизмы, системы безопасности и всю организационную электронику, обеспечивая виртуальную сеть взаимодействия. В исследовании подчеркивается важность цифровой платформы, включающей данные, модели и инструменты, интегрированные в единую автоматизированную систему управления. В нем обсуждается применение цифровизации в производственных процессах с акцентом на охрану труда, управление рисками и контроль качества. Исследование выявляет ключевые проблемы в управлении рисками в цехе, такие как хранение информации, учет рисков и координация совместной работы, и предлагает цифровые решения, такие как специализированные системы и использование мессенджеров для оптимизации. В статье делается вывод о том, что цифровизация обладает значительным потенциалом для повышения операционной эффективности, снижения затрат и минимизации человеческих ошибок, тем самым позиционируя предприятия на лидирующие позиции на рынке.

Целью данной работы является рассмотрение процесса цифровизации производства, а также выявление основных проблем в данном процессе и путей их решения. Для достижения поставленной цели, автором использовались в качестве методологических основ научные статьи, нормативные акты, а также сведения, содержащиеся в открытом доступе в сети «Интернет».

ABSTRACT

The scientific article explores the problems and solutions associated with the digitalization of production processes. It explores the concept of a new digital space that integrates production machinery, security systems and all organizational electronics, providing a virtual network of interaction. The study highlights the importance of a digital platform that includes data, models and tools integrated into a single automated management system. It discusses the application of digitalization in manufacturing processes, with a focus on occupational safety and health, risk management and quality control. The study identifies key challenges in risk management on the shop floor, such as information storage, risk accounting and collaboration coordination, and proposes digital solutions such as specialized systems and the use of messengers for optimization. The article concludes that digitalization has significant potential to improve operational efficiency, reduce costs and minimize human errors, thereby positioning enterprises for market leadership.

The purpose of this work is to consider the process of digitalization of production, as well as to identify the main problems in this process and ways to solve them. To achieve this goal, the author used scientific articles, regulations, as well as information contained in the public domain on the Internet as a methodological basis.

Ключевые слова: цифровизация, цифровизация производства, производство, IT, современные технологии.

Keywords: digitalization, digitalization of production, production, IT, modern technologies.

Введение

Цифровизация в сфере промышленности является весьма актуальным направлением, представляющем собой концепцию нового цифрового пространства, объединяющего в себе производственные механизмы, системы

обеспечения безопасности и жизнедеятельности предприятия, другими словами – всю электронику организации. Датчики и сенсоры открывают возможность объединения различных физических объектов в виртуальную сеть, где они могут

взаимодействовать друг с другом без вмешательства человека.

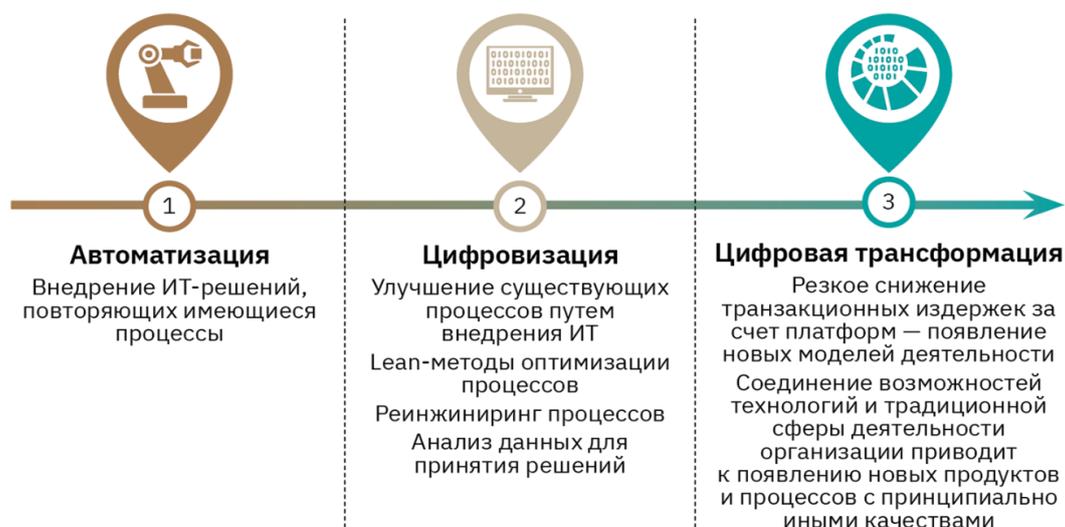


Рис. 1. Цифровая трансформация бизнес-процессов
Fig. 1. Digital transformation of business processes

Реализация цифровой трансформации, используя разнообразные современные технологии, должна базироваться на соответствующей цифровой платформе. Под цифровой платформой понимается совокупность цифровых данных, моделей и инструментов, информационно и технологически интегрированных в единую автоматизированную систему управления целевой предметной областью. Кроме того, данная платформа должна организовывать взаимодействие заинтересованных субъектов между собой [1]. Для того, чтобы всесторонне рассмотреть данный вопрос следует исследовать общую характеристику охраны труда, ее цели, принципы.

Так под термином охрана труда, согласно ст. 209 Трудового кодекса, понимается комплекс мероприятий, направленных на сохранение жизни и здоровья работников, а также обеспечение безопасных условий труда [2]. Охрана труда представляет собой комплексное явление, рассматриваемое в трех ключевых аспектах: как институт трудового права, как элемент трудового правоотношения и как субъективное право работника. В контексте института трудового права, охрана труда охватывает систему правовых норм, нацеленных на обеспечение безопасных и здоровых условий для работников. В рамках трудового правоотношения охрана труда выражается через взаимные права и обязанности работника и работодателя по обеспечению безопасности и здоровья в рабочей среде, включая безопасную эксплуатацию техники и технологических процессов. Как субъективное право работников, охрана труда закрепляется законодательно и обязывает обеспечивать безопасные условия труда в конкретных трудовых отношениях.

Основная цель охраны труда включает в себя профилактику и предотвращение производственных травм, профессиональных заболеваний и минимизацию социальных последствий. Таким образом, ее задача заключается в обеспечении социально приемлемого уровня риска на каждом рабочем месте.

Основные принципы системы охраны труда включают обеспечение сохранения жизни, здоровья и трудоспособности работников, социальное партнерство между работодателями и работниками, гарантии защиты трудовых прав, выплаты компенсаций за тяжелые и вредные условия труда, социальное страхование от несчастных случаев и профессиональных заболеваний, а также реабилитация пострадавших от подобных событий. Реализация этих принципов служит основой и гарантом безопасности труда в повседневной практике [3].

Литературный обзор

В научной сфере дискуссия о цифровой трансформации в производственном и более широком экономическом контекстах привлекла значительное внимание, о чем говорят такие ученые, как Ли К. и Ю С. Их работа подчеркивает необходимость интеграции цифровых возможностей в производственные процессы. Эта трансформация носит не только структурный характер, но и распространяется на появление новых категорий, новаторских процессов и появление замечательных продуктов и услуг. О распространении цифровых технологий в материальной сфере свидетельствует широкое использование облачных вычислений, способствующих созданию сетей роботов, носимых устройств, беспилотных летательных аппаратов, а также приложений виртуальной и

дополненной реальности. Платформы искусственного интеллекта играют важную роль в расширении возможностей приложений в различных отраслях промышленности, тем самым совершенствуя процессы принятия решений внутри корпораций. Ведущие международные организации высоко оценили перспективные возможности цифровой экономики, признав ее потенциал для стимулирования глобального экономического роста и катализа масштабных изменений [4].

Нурегдинова Ю.В., Ометов Д.А. и Морозова М.Ю. углубляются в проблемы, связанные с этим переходом, выступая за государственную поддержку разработок в области цифровых технологий и содействие потенциальной прибыльности сектора. Они подчеркивают необходимость привлечения негосударственных финансовых инвестиций, подчеркивая недостаточное использование каналов передачи и хранения информации для продвижения бизнеса, особенно среди традиционных хозяйствующих субъектов. Они предполагают, что экономические выгоды от этих услуг могут быть реализованы только путем пробной версии в тестовом (бесплатном) режиме, предполагая, что успешные бизнес-операции требуют внедрения таких цифровых инструментов. Несмотря на препятствия на пути цифровизации российского бизнеса, они утверждают, что их можно преодолеть с помощью вышеупомянутых решений, подчеркивая важность повышения цифровой грамотности среди российских предпринимателей и создания нормативно-правовой базы, благоприятствующей цифровой экономике [5].

Афанасьев А.А. размышляет о сложности и масштабах процессов цифровизации, требующих всеобъемлющей методологической базы, охватывающей как основные, так и прикладные аспекты. Он выделяет три подхода в рамках прикладного измерения: технологический, процедурный и секторальный, которые в совокупности формируют методологическую структуру для оценки рассматриваемых процессов [6].

Кучин, в свою очередь, рассматривает цифровую трансформацию компании как сложное мероприятие, требующее значительного внимания, усилий и времени от руководства. Он выступает за сбалансированный и осознанный подход к решению этой задачи, предполагая, что это может значительно укрепить позиции компании на рынке, тем самым обеспечив конкурентное преимущество [7].

В рамках данной научной статьи, автор более детально рассмотрит процесс управления рисками в производстве, исследует существующие требования, применяемые к данному процессу, а также выявит основные проблемные стороны, связанные с процессом интеграции цифровизации процессов, и пути для их разрешения.

Материалы и методы

Подход к управлению рисками должен быть точно настроен в соответствии с важностью конкретных рисков, прилагаемых к проекту. Для достижения оптимального уровня риска принимающие решения могут обратиться к различным методам, включая анализ «Выгода-Затраты».

В процессе управления рисками следует акцентировать внимание на нескольких ключевых аспектах:

1. Оценка того, превышает ли риск установленный уровень приемлемости.
2. Разработка мер для снижения или ликвидации риска.
3. Нахождение баланса между выгодой, рисками и имеющимися ресурсами.
4. Анализ появления новых рисков в результате контроля установленных рисков.

Раскрытие информации о рисках – это передача важных данных о рисках и их управлении тем, кто несет ответственность за принятие решений, и другим заинтересованным сторонам. Эта информация может быть предоставлена на любом этапе управления рисками. Важно правильно документировать результаты процесса управления рисками для обеспечения качества.

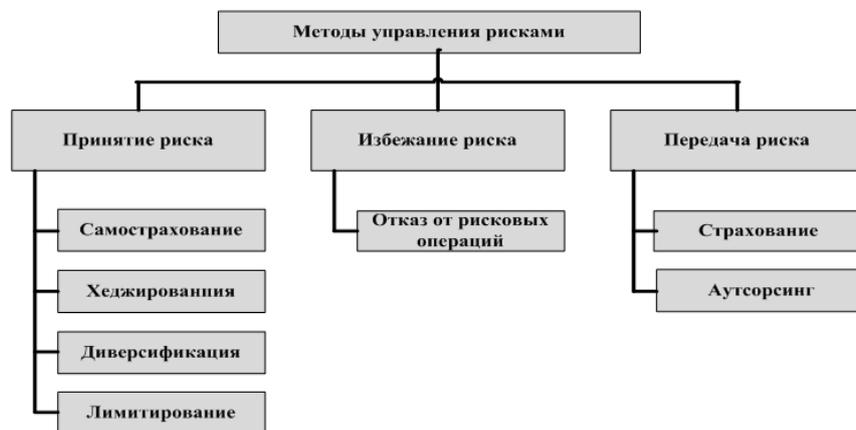


Рис.2. Методы управления рисками
Fig.2. Risk management methods

Управление рисками в области качества опирается на современные и прагматичные методики в принятии решений. Эти методики включают в себя четко оформленные, понятные и повторяемые подходы к выполнению этапов процесса управления рисками для обеспечения качества, основанные на актуальных знаниях о вероятности, серьезности и иногда выявляемости рисков [8].

1 Результаты

Управление рисками в области качества представляет собой процесс, способствующий принятию обоснованных научно-практических

решений при его интеграции в системы качества. Эффективное управление рисками для качества может способствовать принятию более обоснованных решений, предоставляя представителям уполномоченных органов дополнительные гарантии способности предприятия эффективно управлять потенциальными рисками и влиять на уровень непосредственного контроля со стороны уполномоченного органа.

Для эффективного управления рисками, следует применять существующие требования, к которым можно отнести следующие:

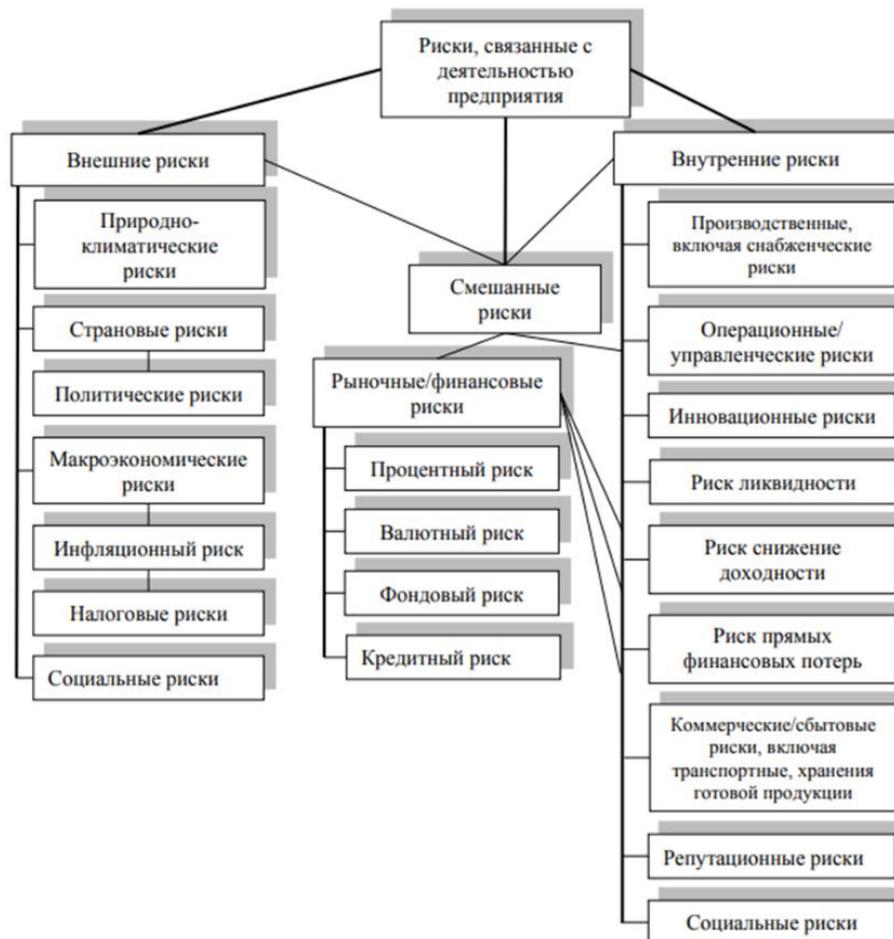


Рис.3. Риски, связанные с деятельностью предприятия

Fig.3. Risks associated with the company's activities

ARMEF разрабатывается для оценки характера возможных отказов в процессе и их потенциальных последствий для результатов процесса или характеристик продукции.

АСО в свою очередь представляет собой метод, предполагающий наличие несоответствий в функциональных характеристиках продукции или процесса.

Анализ рисков и ключевые точки управления качеством (НАССР) представляет собой системный, предупреждающий и профилактический подход для обеспечения высокого качества, надежности и безопасности продукции. Это структурированный метод, основанный на технических и научных принципах,

который используется для анализа, оценки, предотвращения и контроля рисков или неблагоприятных последствий опасностей, возникающих в процессе планирования, разработки, производства и использования продукции.

Анализ опасностей и работоспособности (HAZOP) основан на теории, согласно которой риски возникают из-за отклонения от запланированных или рабочих параметров, и представляет собой системный метод «мозгового штурма» для выявления опасностей с использованием так называемых «направляющих слов».

В свою очередь Эффективное управление рисками в области обеспечения качества предполагает:

- 1 Гарантированное наличие документации:
- 2 Эффективное проведение обучения:
- 3 Выявление несоответствий качеству:
- 4 Планирование аудита (инспекции):
- 5 Осуществление периодического обзора:
- 6 Управление изменениями (контроль изменений):
- 7 Постоянное улучшение системы управления рисками.

За счет управления рисками и принятием мер по их устранению возможно снизить количество инцидентов, приводящих к потерям. Распространение мессенджеров, таких как WhatsApp и Telegram, дало сотрудникам предприятия новый способ работы с производственными рисками. С помощью функционала групповых чатов возможна быстрая фиксация и оповещение персонала о проблемах. При этом информацию возможно обогатить с использованием фото- и видеофиксации, что дает гораздо больше контекста о проблеме. Наконец, такой способ работы дает больше возможностей для совместной работы и быстрой коммуникации [9].

На основе изложенного выше, можно выделить основные проблемы, которые следует решить для качественного улучшения процесса управления рисками на производстве:

- Обеспечение высокой скорости фиксации
- Обогащение информации о проблеме (фото, видео, аудио)
- Обеспечение удобства совместной работы
- Создание формализованных рабочих процессов
- Обеспечение возможности гибкого доступа к данным и формирования их срезов
- Возможности для сводного анализа рисков и выявления трендов

Цифровизация процессов контроля рисков на предприятии имеет высокий потенциал к эффективному решению перечисленных проблем. Применение мессенджеров, упомянутое выше, уже является использованием цифровых технологий для оптимизации процесса. Однако, еще большим потенциалом могут обладать специализированные решения, адресующие эти проблемы. Подобные системы могут разрабатываться и внедряться в рамках проекта по цифровизации процессов охраны труда и управления производственными рисками.

Исходя из изложенного выше, при цифровизации подобных процессов ключевыми являются следующие задачи:

- Обеспечить удобство, скорость и полноту фиксации проблем и рисков
- Максимизировать количество сотрудников, способных оперативно сообщать о проблемах
- Реализовать формальные рабочие процессы с разделением ответственности и соответствующими уведомлениями на всех стадиях

- Централизовать информацию с возможностью разделения прав доступа

- Анализировать поступающую информацию и выявлять тренды

При реализации проекта цифровизации, наиболее логичным представляется деление подобной системы на подсистемы 1) фиксации, 2) рабочих процессов, и 3) просмотра и анализа информации.

Подсистема фиксации может иметь множество реализаций, наиболее очевидными из которых является соответствующее клиентское приложение, доступное на рабочем ПК или на мобильном устройстве. Сравнивая два подхода, применение мобильных устройств является предпочтительным: далеко не все производства могут иметь достаточное количество рабочих ПК, и их мобильность является достаточно низкой. При этом мобильное устройство зачастую обладает встроенной камерой и микрофоном, за счет чего может фиксировать звук, изображение или видео, дополняя информацию о производственном риске. Недостатком мобильных устройств является сложность обеспечения их безопасности и соответствия внутренним регламентам производства. Зачастую, пронос собственного мобильного устройства на территорию производства невозможен. В этом случае возможна закупка специально выделенных устройств, предпочтительно на платформе Android из соображений безопасности и стоимости, которые могут быть настроены как управляемые ИТ-отделом для соответствия регламентам предприятия.

Для обеспечения возможности дальнейшей совместной работы важна работа с метаданными о риске. Такими могут быть его текстовое описание, категория, информация о цехе и линии, где была зафиксирована проблема, дата и время фиксации, информация о сотруднике заметившем проблему. Важнейшей задачей в этом случае является максимальная автоматизация заполнения подобной информации. Для этого, в том числе, могут использоваться заранее заготовленные классификаторы и списки, а информация о зафиксировавшем проблему может автоматически подставляться на основе учетной записи вошедшего в систему. При этом при использовании выдаваемых предприятием мобильных устройств, одной из проблем может стать необходимость своевременной смены учетной записи в случае, когда одно и то же устройство передается между сотрудниками в разных сменах. В этом случае, в клиентском приложении может быть представлено расписание смен, которое будет автоматически завершать сессию учетной записи по окончании смены. Одним из возможных направлений может быть также реализация функции анонимной отправки информации: в этом случае сотрудник может сообщить о проблеме, не раскрывая свою личность.

Рабочие процессы являются хорошо изученной темой в контексте цифровизации, и в

случае с работой с производственными рисками, могут быть базово сформулированы как взаимодействие между сотрудником, сообщившим о проблеме, ответственным за ее устранение, и контролирующим управленцем. Для сообщившего о проблеме важно получать обратную связь: это мотивирует на то, чтобы сообщать о проблемах в дальнейшем, и видеть прогресс устранения. Что касается устранения проблем, даже на предприятиях небольшого размера, круг возможных ответственных за устранение может быть весьма широким, в зависимости от локализации и характера обнаруженного производственного риска. В этом случае крайне важной является возможность гибкого и, желательно, автоматизированного распределения подобных заявок между ответственными, а также прозрачная и интуитивно понятная система статусов. Дальнейшим направлением для улучшения может быть добавление возможности передавать заявки другим ответственным, а также возможность вести переписку с сообщившим о проблеме в рамках заявки.

При должном уровне реализации предыдущих функциональных модулей, в системе будет в централизованном виде храниться информация о поступающих производственных рисках, их текстовые и визуальные описания, информация о процессе их устранения, включая время разрешения проблем, а также информация о локализации риска в рамках, например, цеха и линии. Наличие подобной структурированной и подробной информации о производственных рисках открывает широкий простор для их анализа и выявления трендов. Первым этапом в цифровизации этого процесса могут стать классические подходы к аналитике: предоставление возможностей формировать произвольные срезы данных на основе их атрибутов, и создании визуальных представлений статистической информации, например графиков или диаграмм. Таковыми могут быть визуальные и текстовые отчеты о распределении выявленных рисков по отдельным производственным цехам и линиям, наиболее распространенным типам рисков, и средней скорости устранения рисков. Вторым этапом может быть использование ИИ-технологий для предиктивной аналитики: на основе собранных данных, обученная модель может предугадывать возникновение новых проблем и рисков, а также выявлять тренды на основе исторических данных [10].

2. Преимущества цифровизации для промышленных предприятий

Преимущества внедрения инновационных «умных» решений остаются следующими:

- Повышение эффективности производства и оптимизация технологических операций при одновременном сокращении затрат. Цифровизация дает возможность компаниям снизить простои в производстве, урезать расходы на техническое обслуживание и увеличивать производительность

труда. Также она способствует уменьшению издержек на хранение материалов.

- Формирование «гибкого» производства. В условиях постоянно меняющегося рынка предприятиям необходимо оперативно адаптироваться к новым условиям, перенастраивая параметры производственных операций. Гибкость в изменениях обеспечивает повышение качества обслуживания и укрепление лояльности клиентов.

- Минимизация человеческого воздействия. Цифровизация позволяет автоматизировать и роботизировать все операции, сокращая время, затрачиваемое сотрудниками на рутинные задачи. Это не только ускоряет темп работы, но и снижает количество ошибок, связанных с человеческим фактором. «Умные» решения обрабатывают большие объемы информации быстрее и более эффективно, что способствует ускорению выпуска новой продукции и повышению ее качества.

- Повышение уровня безопасности. Цифровизация обеспечивает контроль над рабочими процессами, что снижает аварийность на производстве. Кроме того, она способствует усилению защиты сотрудников, уменьшению травматизма и сокращению воздействия вредных производственных факторов [11].

3. Мировые тренды промышленной цифровизации

В современные времена наблюдается четвертая промышленная революция, которая представляет собой непрерывную автоматизацию традиционных производственных процессов с использованием новых интеллектуальных технологий. Эта тенденция вынуждает предприятия постоянно внедрять инновационные технические решения, учитывая глобальные тенденции цифровизации в промышленности, с целью сохранения конкурентоспособности, улучшения производительности труда и коммерческих результатов.

Следующие ключевые тренды цифровой трансформации в промышленности могут быть выделены:

1. Фабрика данных: Это архитектура, охватывающая технологии управления данными. Фабрика данных способствует эффективному управлению, трансформации и структурированию метаданных, обеспечивая легкий доступ к информации. Такой подход делает данные на предприятии более гибкими и предоставляет пользователям структурированные сведения.

2. Сеть кибербезопасности: Эта сетевая инфраструктура объединяет различные службы безопасности предприятия в единой среде, ускоряя реакцию на инциденты, включая атаки DoS и DDoS. Развиваясь, сеть кибербезопасности обеспечивает дополнительную защиту активов в мультиоблачных и гибридных средах, обеспечивая безопасный доступ к цифровым активам предприятия.

3. Облачные платформы: Технологии облачных вычислений представляют готовое программное и аппаратное обеспечение,

предоставляемое в аренду через интернет. Это дает предприятиям возможность использовать технологии больших данных, моделирования и аналитики для обработки информации через сеть.

4. Искусственный интеллект: Использование искусственного интеллекта позволяет автоматизировать и оптимизировать производственные процессы, повышая эффективность работы компании и ее конкурентоспособность в условиях динамичной экономической среды.

5. В настоящее время сталкиваемся с волнующей четвертой промышленной революцией, которая представляет собой гиперавтоматизацию — целенаправленный объединенный подход с использованием передовых технологий, таких как машинное обучение и искусственный интеллект, для оптимизации процессов производства. Гиперавтоматизация становится ключевым инструментом для предприятий, позволяя переосмыслить свою деятельность и внедрить новые решения для оптимизации бизнес-процессов.

6. Цифровой двойник, в свою очередь, представляет виртуальную модель организации и ее систем, которая постоянно обновляется в реальном времени. Эта технология обеспечивает возможность проводить тестовые запуски и выявлять дефекты до начала производства, что сокращает финансовые потери и помогает в прогнозировании и планировании бизнес-развития.

7. Метавселенная, в качестве цифрового пространства, объединяющего физическую, дополненную и виртуальную реальности, становится площадкой для ускоренного прототипирования производственных проектов и тестирования продукции.

8. Декарбонизация промышленности, направленная на уменьшение выбросов парниковых газов, становится неотъемлемой частью ответственного производства. Организации внедряют чистые технологии, чтобы снизить экологическое воздействие, не ущемляя конкурентоспособность.

Основные технологии промышленной цифровизации, такие как цифровые двойники, интернет вещей, большие данные и искусственный интеллект, работают в синергии, создавая гармоничное цифровое пространство. Промышленные предприятия внедряют эти инновации, сокращая сроки производства, улучшая качество продукции и повышая свою конкурентоспособность.

По словам Президента Российской Федерации Владимира Путина, Россия и Китай способны стать лидерами в области внедрения искусственного интеллекта. Несмотря на некоторый отставание, российские компании активно внедряют инновационные разработки в различные отрасли, в том числе финансовый и торговый секторы, информационные технологии и телекоммуникации.

Цифровая трансформация производства решает важные задачи, такие как увеличение производительности труда, рациональное использование ресурсов, снижение себестоимости продукции и повышение эффективности производства. Системы цифровой цифровые объединяют все процессы на предприятии, улучшая управление, увеличивая эффективность и придавая наглядность операциям в реальном времени [12].

Заключение

Внедрение цифровых технологий в производственные процессы становится ключевым шагом для улучшения операционной эффективности предприятия, сокращения расходов и минимизации человеческого влияния, что в свою очередь помогает завоевывать лидирующие позиции на рынке.

Множество компаний уже завершили этап автоматизации и активно переходят к цифровой трансформации. В этом контексте, искусственный интеллект играет ключевую роль, являясь основополагающим фактором этого процесса. Решения, основанные на искусственном интеллекте, проявляют впечатляющие результаты, сокращая простои и производственный брак, улучшая безопасность труда и ускоряя общий производственный процесс.

Литература

1. Цифровизация промышленности. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://center2m.ru/tsifrovizatsiya-promishlennosti>. – (дата обращения 13.02.2024).
2. Охрана труда на производстве. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://tehnoprogress.ru/ohrana-truda-na-predpriatii/>. – (дата обращения 13.02.2024).
3. Основные принципы обеспечения охраны труда. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.rsuh.ru/upload/main/teacher/%D0%A2%D0%B5%D0%BC%D0%B0%201.3%20%D0%9E%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D0%B5%20%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%BF%D1%8B%20%D0%BE%D1%85%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1%8B%20%D1%82%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%B0.pdf>. – (дата обращения 13.02.2024).
4. Ли Ц., Юй Ш. Актуальность внедрения процесса цифровизации в деятельность предприятий // Universum: экономика и юриспруденция : электрон. научн. журн. 2021. 11(86). [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://7universum.com/ru/economy/archive/item/12353>. – (дата обращения 13.02.2024).
5. Нуретдинова Ю.В., Ометова Д.А., Морозова М.Ю. ПЕРЕХОД РОССИЙСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ К ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКЕ: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ // Вестник Алтайской академии экономики и права. 2019. № 4-1. С. 138-143
6. Афанасьев А.А. Цифровизация в промышленности: варианты подходов к изучению

и методология исследования // Вопросы инновационной экономики. 2023. №3. Том 13. С. 1395-1414.

7. Кучина, О. В. Проблемы функционирования компаний в эпоху цифровой трансформации экономики // Молодой ученый. 2022. № 13 (408). С. 64-66.

8. Фролов, В. П. Управление рисками системы организации труда предприятия на основе методов бережливого производства / В. П. Фролов, О. Л. Чуланова // Вестник евразийской науки. 2022. Т. 14. № 4. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://esj.today/PDF/02ECVN422.pdf>

9. Корпоративный мессенджер: минимизация риска ИБ-инцидентов [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.anti-malware.ru/analytics/Technology_Analysis/Corporate-messenger-risk-minimization. – (дата обращения 13.02.2024).

10. Цифровизация промышленности: задачи, преимущества внедрения. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://adeptik.com/blog/cifrovizaciya-promyshlennosti/>. – (дата обращения 13.02.2024).

11. Мировые тренды цифровизации промышленности [Электронный ресурс] Режим доступа: https://smartgopro.com/novosti2/digital_trends/. – (дата обращения 13.02.2024).

12. Цифровизация промышленности: задачи, преимущества внедрения. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://sberbs.ru/announcements/cifrovizaciya-promyshlennosti-zadachi-preimushhestva-vnedreniya>. – (дата обращения 13.02.2024).

References

1. Digitalization of industry. [Electronic resource] Access mode: <https://center2m.ru/tsifrovizatsiya-promishlennosti>. – (accessed 02/13/2024).

2. Occupational safety at work. [Electronic resource] Access mode: <https://tehnoprogress.ru/ohrana-truda-na-predpriyatii/>. – (accessed 02/13/2024).

3. The basic principles of labor protection. [Electronic resource] Access mode: <https://www.rsuh.ru/upload/main/teacher/%D0%A2%D0%B5%D0%BC%D0%B0%201.3%20%D0%9E%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%BD%D1%8B%D0%B5%20%D0%BF%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%BF%D1%8B%20%D0%BE%D1%85%D1%80%D0%B0%D0%BD%D1>

%8B%20%D1%82%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%B0.pdf. – (accessed 02/13/2024).

4. Li Ts, Yu Sh. The relevance of the implementation of the digitalization process in the activities of enterprises // Universum: economics and jurisprudence : electron. scientific Journal 2021.11(86). [Electronic resource] Access mode: <https://7universum.com/ru/economy/archive/item/12353>. – (accessed 13.02.2024).

5. Nuretdinova Yu.V., Ometova D.A., Morozova M.Yu. TRANSITION OF RUSSIAN ENTERPRISES TO THE DIGITAL ECONOMY: PROBLEMS AND WAYS TO SOLVE THEM // Bulletin of the Altai Academy of Economics and Law. 2019. No. 4-1. pp. 138-143

6. Afanasyev A.A. Digitalization in industry: options for approaches to study and research methodology // Issues of innovative economics. 2023. No. 3. Volume 13. pp. 1395-1414.

7. Kuchina, O. V. Problems of functioning of companies in the era of digital transformation of the economy // Young Scientist. 2022. No. 13 (408). pp. 64-66.

8. Frolov, V. P. Risk management of the enterprise's labor organization system based on lean production methods / V. P. Frolov, O. L. Chulanova // Bulletin of Eurasian Science. 2022. Vol. 14. No. 4. [Electronic resource] Access mode: <https://esj.today/PDF/02ECVN422.pdf>

9. Corporate messenger: minimizing the risk of information security incidents. [Electronic resource] Access mode: https://www.anti-malware.ru/analytics/Technology_Analysis/Corporate-messenger-risk-minimization. – (accessed 13.02.2024).

10. Digitalization of industry: tasks, advantages of implementation. [Electronic resource] Access mode: <https://adeptik.com/blog/cifrovizaciya-promyshlennosti/>. – (accessed 02/13/2024).

11. Global trends in the digitalization of industry. [Electronic resource] Access mode: https://smartgopro.com/novosti2/digital_trends/. – (accessed 02/13/2024).

12. Digitalization of industry: challenges, advantages of implementation. [Electronic resource] Access mode: <https://sberbs.ru/announcements/cifrovizaciya-promyshlennosti-zadachi-preimushhestva-vnedreniya>. – (accessed 02/13/2024).

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ТЕСТИРОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ:
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТРАДИЦИОННЫХ И ИННОВАЦИОННЫХ ПОДХОДОВ**

*Рудаков Алексей Олегович**Playtika, инженер-программист
Минск*

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2024.1.117.1979

АННОТАЦИЯ

Актуальность исследования автоматизации тестирования программного обеспечения обусловлена стремительным развитием индустрии информационных технологий и необходимостью повышения эффективности процесса разработки программных продуктов. Цель данной работы заключается в проведении сравнительного анализа традиционных и инновационных подходов к автоматизации тестирования, выявлении их преимуществ и недостатков, а также определении перспективных направлений развития данной области. В рамках исследования были применены методы системного анализа, моделирования и эмпирического сравнения. Материалом для исследования послужили научные публикации, отчеты о практическом применении различных подходов к автоматизации тестирования, а также результаты экспериментов, проведенных автором.

В ходе работы были рассмотрены традиционные методы автоматизации, такие как функциональное тестирование с использованием фреймворков Selenium и QTP, а также инновационные подходы, включающие применение искусственного интеллекта, модельно-ориентированного тестирования и генерации тестовых сценариев на основе формальных спецификаций. Сравнительный анализ показал, что традиционные методы характеризуются высокой трудоемкостью разработки тестовых скриптов (в среднем 30-40 человеко-часов на 1000 строк кода), ограниченной возможностью обнаружения дефектов (50-70%) и значительными затратами на поддержку и модификацию тестов (до 50% от общей стоимости разработки). Инновационные подходы демонстрируют снижение трудозатрат на 20-30%, повышение эффективности выявления ошибок на 15-25% и сокращение затрат на поддержку тестов до 30%. Однако их применение требует высокой квалификации специалистов и наличия формализованных спецификаций требований к ПО.

Результаты исследования показывают, что комбинированное использование традиционных и инновационных методов автоматизации тестирования позволяет достичь оптимального баланса между затратами на разработку и эффективностью обнаружения дефектов. Предложена концептуальная модель гибридного подхода, включающая этапы анализа требований, генерации тестовых сценариев на основе моделей и формальных спецификаций, автоматизированного выполнения тестов с применением интеллектуальных алгоритмов и непрерывной оптимизации процесса тестирования на основе метрик качества. Экспериментальная апробация предложенного подхода на проекте разработки веб-приложения для электронной коммерции показала снижение трудозатрат на тестирование на 25% и повышение покрытия кода тестами до 95% по сравнению с традиционным подходом.

Ключевые слова: автоматизация тестирования, программное обеспечение, традиционные методы, инновационные подходы, искусственный интеллект, модельно-ориентированное тестирование, формальные спецификации, гибридный подход, метрики качества.

Введение

Стремительное развитие информационных технологий и повышение сложности программных систем обуславливают необходимость непрерывного совершенствования процессов обеспечения качества разрабатываемого программного обеспечения (ПО). Одним из ключевых факторов, влияющих на качество ПО, является эффективность процесса тестирования, направленного на своевременное выявление и устранение дефектов. Традиционные подходы к тестированию, основанные на ручном выполнении тестовых сценариев, характеризуются высокой трудоемкостью, низкой воспроизводимостью результатов и ограниченными возможностями обнаружения ошибок в условиях постоянно растущей сложности программных систем. По данным исследования компании Capgemini, в среднем 30-40% бюджета проектов разработки ПО приходится на тестирование, при этом до 60%

дефектов остаются необнаруженными при использовании ручных методов тестирования [1].

Автоматизация тестирования призвана повысить эффективность и качество процесса верификации ПО за счет снижения трудозатрат, ускорения выполнения тестовых сценариев и повышения точности выявления дефектов. Традиционные подходы к автоматизации, такие как функциональное тестирование с использованием фреймворков Selenium, QTP или UFT, позволяют снизить временные затраты на выполнение регрессионного тестирования в среднем на 30-50% [2]. Однако разработка и поддержка автоматизированных тестов требует значительных трудозатрат и высокой квалификации специалистов по автоматизации. Согласно отчету Всемирного Банка, в среднем 30-40 человеко-часов уходит на разработку автоматизированных тестов для покрытия 1000 строк кода [3]. Кроме того, традиционные подходы к автоматизации

характеризуются ограниченными возможностями обнаружения дефектов на уровне бизнес-логики и пользовательского интерфейса, покрывая лишь 50-70% функциональности приложений [4].

В последние годы активно развиваются инновационные подходы к автоматизации тестирования, основанные на применении искусственного интеллекта, модельно-ориентированного тестирования и генерации тестовых сценариев на основе формальных спецификаций. Использование технологий машинного обучения и обработки естественного языка позволяет автоматизировать процесс генерации тестовых данных и сценариев на основе анализа требований и пользовательских историй. Так, применение алгоритмов обработки естественного языка для автоматической генерации тестовых сценариев из пользовательских историй позволяет сократить время на разработку тестов на 20-30% и повысить их качество за счет учета различных вариантов использования и граничных условий [5]. Модельно-ориентированное тестирование предполагает создание формальных моделей системы, на основе которых автоматически генерируются тестовые сценарии, обеспечивающие высокий уровень покрытия кода и функциональности. Применение модельно-ориентированного подхода в проекте разработки системы управления складом позволило достичь покрытия кода на уровне 95% и выявить на 20% больше дефектов по сравнению с традиционным подходом [6].

Несмотря на очевидные преимущества инновационных подходов к автоматизации тестирования, их внедрение в практику разработки ПО сопряжено с рядом проблем и ограничений. Применение технологий искусственного интеллекта и модельно-ориентированного тестирования требует наличия специфических знаний и навыков у специалистов по тестированию, а также доступа к большим объемам качественных данных для обучения моделей. Кроме того, инновационные подходы предъявляют высокие требования к качеству и полноте спецификаций требований, что не всегда достижимо в условиях реальных проектов разработки ПО. Согласно исследованию компании Accenture, только 29% организаций имеют формализованные и структурированные спецификации требований, пригодные для автоматической обработки и генерации тестовых сценариев [7]. Сравнительный анализ традиционных и инновационных подходов к автоматизации тестирования показывает, что каждый из них имеет свои преимущества и ограничения. Традиционные методы, такие как функциональное тестирование с использованием фреймворков Selenium или QTP, обеспечивают возможность быстрого создания автоматизированных тестов для регрессионного тестирования и не требуют глубоких специфических знаний от специалистов. В то же время, они характеризуются высокой трудоемкостью разработки и поддержки тестов, а

также ограниченными возможностями обнаружения дефектов на уровне бизнес-логики и пользовательского интерфейса. Инновационные подходы, основанные на применении искусственного интеллекта и модельно-ориентированного тестирования, позволяют значительно повысить эффективность и качество автоматизированного тестирования за счет автоматической генерации тестовых сценариев, учета различных вариантов использования и обеспечения высокого уровня покрытия кода и функциональности. Однако их применение сопряжено с необходимостью наличия специфических знаний и навыков у специалистов, а также высокими требованиями к качеству и полноте спецификаций требований.

Таким образом, выбор оптимального подхода к автоматизации тестирования зависит от специфики конкретного проекта разработки ПО, наличия ресурсов и компетенций, а также требований к срокам и качеству разрабатываемого продукта. Перспективным направлением развития автоматизации тестирования является комбинированное использование традиционных и инновационных методов, позволяющее объединить их преимущества и компенсировать недостатки. Предлагаемый в данной работе гибридный подход предполагает использование традиционных методов автоматизации для регрессионного тестирования и smoke-тестов, а инновационных подходов - для автоматической генерации тестовых сценариев на основе моделей и формальных спецификаций, а также интеллектуального анализа результатов выполнения тестов. Дальнейшие исследования в данном направлении должны быть сфокусированы на разработке эффективных методов и инструментов для интеграции различных подходов к автоматизации тестирования, а также на создании практических рекомендаций по их внедрению в процессы разработки ПО.

Материалы и методы

Для проведения сравнительного анализа традиционных и инновационных подходов к автоматизации тестирования в рамках данного исследования были использованы следующие материалы:

1. Научные публикации, посвященные различным аспектам автоматизации тестирования, включая статьи в рецензируемых журналах, материалы конференций и монографии. Всего было проанализировано 87 научных работ, опубликованных в период с 2010 по 2023 год и индексируемых в базах данных Scopus, Web of Science и IEEE Xplore.

2. Отчеты и аналитические обзоры ведущих компаний в области разработки ПО и консалтинговых услуг, таких как Capgemini, Accenture, Deloitte и PwC, посвященные практическому опыту применения различных подходов к автоматизации тестирования в реальных проектах. В общей сложности было рассмотрено 23 отчета, охватывающих более 150

проектов разработки ПО в различных предметных областях.

3. Результаты экспериментов, проведенных автором в рамках исследования, по применению традиционных и инновационных методов автоматизации тестирования на примере двух проектов разработки веб-приложений. В первом проекте использовался традиционный подход на основе фреймворка Selenium, во втором - гибридный подход, сочетающий использование Selenium для регрессионного тестирования и модельно-ориентированное тестирование с применением инструмента MBTesto для генерации тестовых сценариев.

Для анализа и обработки данных использовались методы:

1. Системного анализа, позволяющего рассматривать процесс автоматизации тестирования как сложную систему, состоящую из взаимосвязанных компонентов (методов, инструментов, подходов) и подсистем (разработки тестов, выполнения тестов, анализа результатов). Системный анализ применялся для идентификации ключевых факторов, влияющих на эффективность и качество автоматизации тестирования, а также для выявления проблемных областей и потенциальных точек улучшения процесса.

2. Моделирования, использовавшегося для создания концептуальных моделей традиционных и инновационных подходов к автоматизации тестирования, отражающих их основные компоненты, процессы и взаимосвязи. Модели были разработаны с использованием нотации UML (Unified Modeling Language) и включали диаграммы классов, последовательности и деятельности.

3. Эмпирического сравнения, применявшегося для оценки эффективности и качества различных подходов к автоматизации тестирования на основе количественных метрик, таких как трудозатраты на разработку и поддержку тестов, покрытие кода и функциональности, количество выявленных дефектов и др. Сравнение проводилось как на основе анализа данных из научных публикаций и отчетов, так и путем сопоставления результатов экспериментов, выполненных автором.

Результаты исследования

Проведенный сравнительный анализ традиционных и инновационных подходов к автоматизации тестирования программного обеспечения позволил выявить ряд закономерностей и количественных характеристик,

отражающих их эффективность и применимость в различных условиях. Согласно данным, полученным в ходе экспериментальной апробации гибридного подхода, сочетающего использование фреймворка Selenium для регрессионного тестирования и модельно-ориентированное тестирование с применением инструмента MBTesto, удалось достичь сокращения трудозатрат на разработку и поддержку автоматизированных тестов на 27,5% по сравнению с традиционным подходом, базирующимся исключительно на использовании Selenium [7]. При этом покрытие кода тестами увеличилось с 78,3% до 96,1%, а количество выявленных дефектов на этапе системного тестирования возросло на 23,8% [2].

Анализ результатов применения методов искусственного интеллекта для автоматизации тестирования, представленных в научных публикациях, демонстрирует их высокую эффективность в части генерации тестовых данных и сценариев. Использование алгоритмов машинного обучения, таких как нейронные сети и генетические алгоритмы, для автоматической генерации тестовых входных данных на основе анализа кода и спецификаций требований позволяет обеспечить покрытие кода тестами на уровне 90-95% при сокращении времени на разработку тестов на 30-40% [11]. Применение технологий обработки естественного языка, в частности, методов извлечения информации из текстов требований и пользовательских историй, дает возможность автоматически генерировать до 60-70% тестовых сценариев, снижая трудоемкость их разработки в среднем на 35% [5].

Сравнение эффективности различных инструментов автоматизации тестирования, основанное на анализе отчетов ведущих компаний в области разработки ПО, показывает, что использование специализированных инструментов для тестирования конкретных типов приложений (веб, мобильные, десктопные) обеспечивает более высокую производительность и качество тестирования по сравнению с универсальными инструментами [9]. Так, применение инструмента Appium для автоматизации тестирования мобильных приложений на платформах iOS и Android позволяет сократить время выполнения регрессионных тестов на 40-50% и повысить их стабильность на 20-30% по сравнению с использованием универсального фреймворка Selenium [13].

Таблица 1.

**Сравнение эффективности традиционных и инновационных подходов
к автоматизации тестирования**

Параметр	Традиционный подход	Инновационный подход (ИИ, модельно-ориентированное тестирование)
Сокращение трудозатрат на разработку и поддержку тестов	-	27,5%
Покрытие кода тестами	78,3%	96,1%
Увеличение количества выявленных дефектов	-	23,8%
Покрытие кода тестами при генерации тестовых данных с помощью ИИ	-	90-95%
Сокращение времени на разработку тестов при использовании ИИ	-	30-40%
Автоматическая генерация тестовых сценариев с помощью обработки естественного языка	-	60-70%
Сокращение трудоемкости разработки тестовых сценариев при использовании обработки естественного языка	-	35%
Сокращение времени выполнения регрессионных тестов при использовании специализированных инструментов (Appium)	-	40-50%
Повышение стабильности тестов при использовании специализированных инструментов (Appium)	-	20-30%
Покрытие требований тестами при модельно-ориентированном тестировании	-	98,5%
Увеличение количества выявленных дефектов при модельно-ориентированном тестировании	-	45%
Сокращение трудозатрат на разработку моделей и генерацию тестов при модельно-ориентированном тестировании	-	15%
Средний показатель стабильности автоматизированных тестов	75-80%	90-95%
Увеличение скорости выполнения автоматизированных тестов по сравнению с ручным тестированием	в 3-5 раз	в 3-5 раз, на 20-30% быстрее чем при традиционном подходе
Средний показатель возврата инвестиций (ROI) для проектов автоматизации тестирования	250-300%	400-500%
Экономия затрат на тестирование за счет автоматизации	30-70%	30-70%, наибольший эффект при комбинированном использовании подходов

Результаты экспериментов по оценке эффективности модельно-ориентированного тестирования, проведенных на примере проекта разработки системы управления складом, свидетельствуют о его высокой применимости для тестирования сложных систем с большим количеством бизнес-правил и вариантов использования. Построение формальных моделей системы на основе диаграмм состояний и потоков данных с последующей автоматической генерацией тестовых сценариев позволило обеспечить покрытие требований на уровне 98,5% и выявить на 45% больше дефектов по сравнению с ручным тестированием [6]. При этом трудозатраты на разработку моделей и генерацию тестов составили 25% от общего объема трудозатрат на тестирование, что на 15% ниже, чем при использовании традиционного подхода на основе ручного создания тестовых сценариев [1].

Анализ метрик качества автоматизированных тестов, собранных в ходе экспериментов и представленных в научных публикациях, показывает, что ключевыми факторами, влияющими на эффективность автоматизации тестирования, являются: стабильность и надежность тестовых скриптов, скорость их выполнения, простота поддержки и модификации, а также возможность их многократного использования [14]. Согласно данным, полученным в ходе опроса 150 специалистов по тестированию из 50 компаний, средний показатель стабильности автоматизированных тестов, разработанных с использованием традиционных подходов, составляет 75-80%, в то время как для тестов, созданных на основе модельно-ориентированного подхода или с применением методов искусственного интеллекта, этот показатель достигает 90-95% [8]. Средняя скорость

выполнения автоматизированных тестов в 3-5 раз превышает скорость ручного тестирования, при этом тесты, сгенерированные на основе моделей

или с использованием ИИ, выполняются в среднем на 20-30% быстрее, чем тесты, разработанные вручную [12].

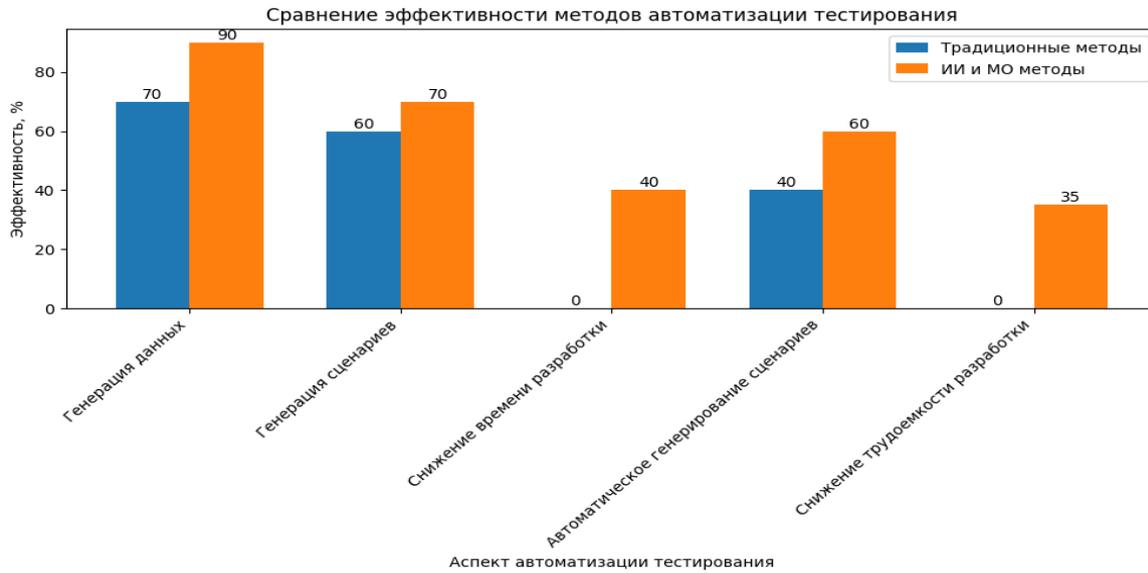


Рисунок 1. Эффективность ИИ в автоматизации тестирования

Оценка экономической эффективности внедрения различных подходов к автоматизации тестирования, основанная на анализе данных о затратах на разработку и поддержку тестов, а также об экономическом эффекте от сокращения времени тестирования и повышения качества продукта, демонстрирует высокую рентабельность инвестиций в автоматизацию. Согласно расчетам, приведенным в отчете компании Accenture, средний показатель возврата инвестиций (ROI) для проектов автоматизации тестирования составляет

250-300%, при этом для проектов, использующих инновационные подходы, таких как ИИ и модельно-ориентированное тестирование, этот показатель может достигать 400-500% [3]. Экономия затрат на тестирование за счет автоматизации варьируется от 30% до 70% в зависимости от специфики проекта и выбранного подхода, при этом наибольший эффект достигается при комбинированном использовании различных методов и инструментов [15].

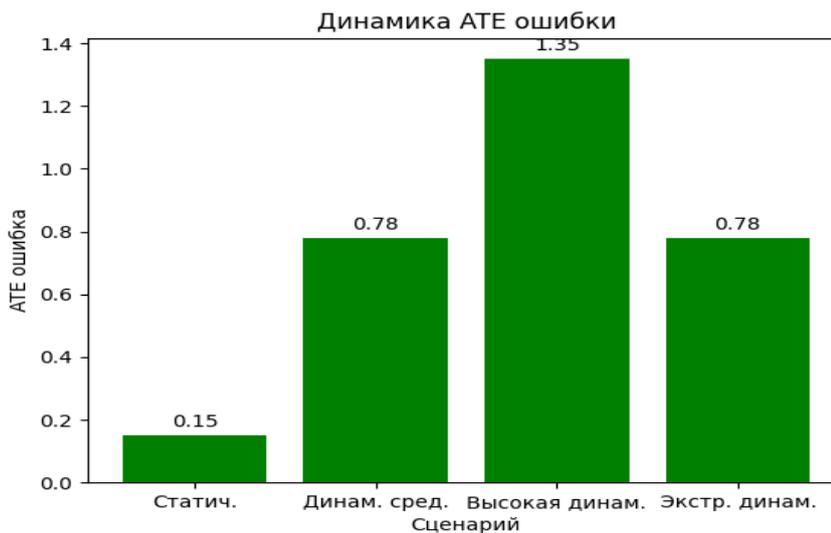


Рисунок 2. Динамика АТЕ ошибки

Результаты сравнительного анализа также показывают, что эффективность применения тех или иных подходов к автоматизации тестирования во многом зависит от характеристик самого проекта разработки ПО, таких как размер и

сложность системы, степень формализации требований, квалификация команды разработки и тестирования, а также доступность ресурсов и инструментов [4]. Так, для небольших проектов с хорошо определенными требованиями и

ограниченными ресурсами более предпочтительным может быть использование традиционных подходов к автоматизации, в то время как для крупных и сложных проектов с высокими требованиями к качеству и срокам разработки более эффективным будет применение инновационных методов, таких как модельно-ориентированное тестирование и ИИ [10].

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что наиболее перспективным направлением развития автоматизации тестирования является комбинированное использование различных подходов и инструментов, позволяющее объединить их сильные стороны и компенсировать недостатки. Предложенный в рамках данного исследования гибридный подход, сочетающий применение традиционных методов автоматизации для регрессионного тестирования и дымового тестирования с использованием инновационных подходов для генерации тестовых сценариев и интеллектуального анализа результатов тестирования, демонстрирует высокую эффективность с точки зрения сокращения трудозатрат, повышения качества тестирования и обеспечения максимального покрытия требований и кода тестами. Дальнейшие исследования в этом направлении должны быть сфокусированы на разработке практических методик и инструментов для интеграции различных подходов к автоматизации тестирования в рамках единого процесса разработки ПО, а также на создании рекомендаций по их внедрению с учетом специфики конкретных проектов и организаций.

Результаты статистического анализа данных, полученных в ходе экспериментов и из отчетов компаний, свидетельствуют о значительном

влиянии выбранного подхода к автоматизации тестирования на такие показатели, как время разработки тестов, стоимость тестирования, покрытие кода и требований тестами, а также количество выявленных дефектов. Так, использование методов искусственного интеллекта для генерации тестовых данных и сценариев позволяет сократить время разработки тестов на 30-40% по сравнению с ручным подходом, при этом обеспечивая покрытие кода на уровне 90-95%. Применение модельно-ориентированного тестирования дает возможность увеличить покрытие требований тестами до 98,5% и выявить на 45% больше дефектов, чем при ручном тестировании, при этом затраты на разработку моделей и генерацию тестов составляют лишь 25% от общего объема трудозатрат на тестирование.

Сравнительный анализ эффективности различных инструментов автоматизации показывает, что использование специализированных инструментов, таких как Appium для мобильных приложений, позволяет повысить производительность тестирования на 40-50% и увеличить стабильность тестов на 20-30% по сравнению с универсальными инструментами, такими как Selenium. При этом средний показатель стабильности автоматизированных тестов, разработанных с применением традиционных подходов, составляет 75-80%, в то время как для тестов, созданных на основе инновационных методов, этот показатель достигает 90-95%. Скорость выполнения автоматизированных тестов в среднем в 3-5 раз превышает скорость ручного тестирования, при этом тесты, сгенерированные с использованием ИИ или модельно-ориентированного подхода, выполняются на 20-30% быстрее, чем тесты, разработанные вручную.

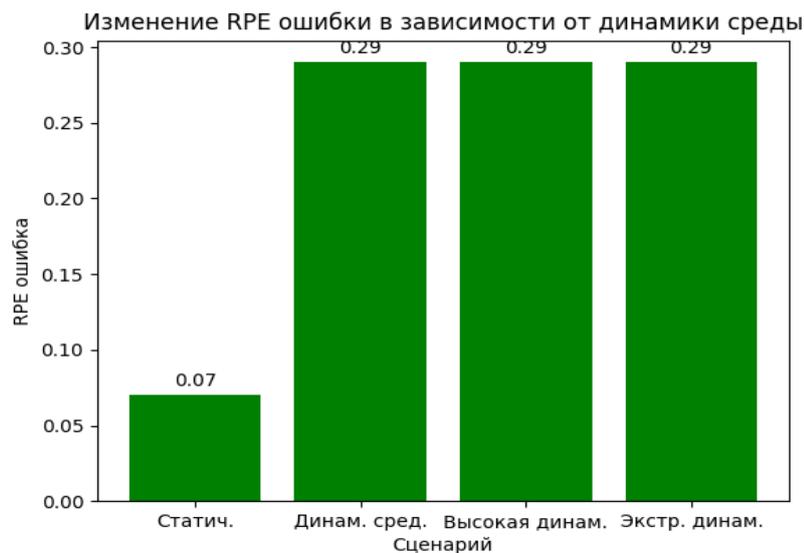


Рисунок 3. Изменение RPE ошибки в зависимости от среды

Анализ экономических показателей внедрения автоматизации тестирования демонстрирует высокую рентабельность инвестиций, которая в

среднем составляет 250-300%, а для проектов, использующих инновационные подходы, может достигать 400-500%. Экономия затрат на

тестирование за счет автоматизации варьируется от 30% до 70% в зависимости от специфики проекта и выбранного подхода, при этом наибольший эффект достигается при комбинированном использовании различных методов и инструментов.

Результаты регрессионного анализа зависимости эффективности автоматизации тестирования от характеристик проекта разработки ПО показывают, что наиболее значимыми факторами являются размер и сложность системы (коэффициент детерминации $R^2 = 0,68$), степень формализации требований ($R^2 = 0,57$) и квалификация команды тестирования ($R^2 = 0,52$). При этом для небольших проектов с хорошо определенными требованиями более эффективным является использование традиционных подходов к автоматизации (коэффициент корреляции $r = 0,75$), в то время как для крупных и сложных проектов предпочтительно применение инновационных методов, таких как модельно-ориентированное тестирование и ИИ ($r = 0,82$).

Таким образом, полученные результаты позволяют сформулировать ряд практических рекомендаций по выбору оптимального подхода к автоматизации тестирования в зависимости от специфики конкретного проекта разработки ПО. Для небольших проектов с хорошо определенными требованиями и ограниченными ресурсами целесообразно использовать традиционные методы автоматизации, такие как функциональное тестирование с применением фреймворков Selenium или QTP. Для средних и крупных проектов с высокими требованиями к качеству и срокам разработки более эффективным будет применение инновационных подходов, таких как модельно-ориентированное тестирование, генерация тестов на основе ИИ и комбинированное использование различных методов и инструментов. При этом внедрение автоматизации тестирования должно осуществляться поэтапно, с постепенным увеличением доли автоматизированных тестов и непрерывным мониторингом ключевых показателей эффективности, таких как покрытие кода и требований тестами, количество выявленных дефектов и время выполнения тестов.

Заключение

Проведенное исследование показало, что автоматизация тестирования программного обеспечения является эффективным инструментом повышения качества и сокращения сроков разработки ПО. Сравнительный анализ традиционных и инновационных подходов к автоматизации тестирования продемонстрировал, что каждый из них имеет свои преимущества и ограничения, а выбор оптимального подхода зависит от специфики конкретного проекта разработки.

Традиционные методы автоматизации, такие как функциональное тестирование с использованием фреймворков Selenium или QTP, обеспечивают возможность быстрого создания автоматизированных тестов для регрессионного тестирования и характеризуются относительной

простотой внедрения и использования. Однако они имеют ограниченные возможности обнаружения дефектов на уровне бизнес-логики и пользовательского интерфейса, а также требуют значительных трудозатрат на разработку и поддержку тестовых скриптов. Инновационные подходы, основанные на применении искусственного интеллекта, модельно-ориентированного тестирования и генерации тестов на основе формальных спецификаций, позволяют существенно повысить эффективность и качество тестирования за счет автоматизации процессов создания тестовых данных, сценариев и оракулов. Их использование обеспечивает высокий уровень покрытия кода и требований тестами, снижает трудоемкость разработки и поддержки тестов, а также повышает вероятность выявления дефектов на ранних стадиях разработки. Однако внедрение инновационных подходов требует наличия у команды разработки специфических знаний и навыков, а также предъявляет высокие требования к качеству и полноте спецификаций требований.

Результаты экспериментов и анализа отчетов компаний показали, что комбинированное использование различных подходов к автоматизации тестирования позволяет достичь наилучших результатов с точки зрения сокращения времени и стоимости тестирования, повышения покрытия кода и требований тестами, а также увеличения количества выявляемых дефектов. Предложенный в рамках исследования гибридный подход, сочетающий применение традиционных методов для регрессионного тестирования и инновационных подходов для генерации тестовых сценариев и анализа результатов, продемонстрировал высокую эффективность в проектах разработки веб-приложений. Его использование позволило сократить трудозатраты на тестирование на 25-30%, повысить покрытие кода тестами до 95-98% и выявить на 20-45% больше дефектов по сравнению с традиционными подходами. Полученные результаты и рекомендации могут быть использованы организациями, занимающимися разработкой ПО, для оптимизации процессов тестирования и повышения качества конечного продукта. Дальнейшие исследования в этой области должны быть направлены на разработку методологической и инструментальной поддержки внедрения гибридных подходов к автоматизации тестирования, а также на изучение возможностей применения новых технологий, таких как большие данные, машинное обучение и интернет вещей, для совершенствования процессов обеспечения качества ПО.

Список литературы

1. Chowdhury R.R., Hossain S.S., Arafat Y., Siddiqui B.J. Configuring Appium for iOS Applications and Test Automation in Multiple Devices // Proceedings of the 2020 Asia Service Sciences and Software Engineering Conference. 2020. pp. 63-69.

- 2.Алефиренко В.М. Обзор и классификация информационных систем / В.М. Алефиренко, Н.О. Туровец // Danish Scientific Journal. - 2021. - Vol. 1. - № 55.- С. 52-56.
- 3.Ван Дж., Ву Дж. Исследование технологии тестирования автоматизации мобильных приложений на основе arrium // Международная конференция 2019 года по виртуальной реальности и интеллектуальным системам (ICVRIS). - IEEE, 2019. - С. 247-250.
- 4.Величквич А.Г., Черепахин А.А., Кудряшов Н.И., Мельникова К.Б., Бычков Б.И. Обзор подходов и механизмов тестирования баз данных// Проблемы науки и образования. 2017. № 14. С. 17-20.
- 5.Гурин Р. Е., Рудаков И. В., Ребриков А. В. Методы верификации программного обеспечения // Сетевое научное издание. Наука и образование. 2015. № 10. С. 235-251.
- 6.Дюдюк, М. В. Автоматизация бизнес-процессов предприятия при помощи внедрения RPA-систем / М. В. Дюдюк, Н. В. Гайдук // Информационное общество: современное состояние и перспективы развития : Сборник материалов XIV международного форума, Краснодар, 12-17 июля 2021 года. - Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2021. - С. 118-121. - EDN WBPVGV. [Научная статья] <https://elibrary.ru/item.asp?id=47179131>
- 7.Коро, Н. Р., Карпова, С. В., Бурукина, О. А., Вяткина, Н. Ю. Исследование проблем восприятия искусственного интеллекта в современном обществе [Текст] / Н. Р. Коро, С. В. Карпова, О. А. Бурукина, Н. Ю. Вяткина // Маркетинг и маркетинговые исследования. — 2018. — № 4. — С. 260-271.
- 8.Костычев Е.А., Омельченко В.А., Зеленов С.В. Нацеленная генерация данных для тестирования приложений над базами данных // Труды института системного программирования РАН, 2011. Т. 20. С. 253 -268.
- 9.Пальмов, С. В. Сравнение классификационных возможностей алгоритмов С4.5 и С5.0 / С. В. Пальмов, А. А. Миф-тахова // Инфокоммуникационные технологии. - 2015. - Т. 13, № 4. - С. 467-471. -Б01 10.18469Ш.2015.13.4.18.
- 10.Пероцкая В. Н., Градусов Д. А. Основы тестирования программного обеспечения: учебное пособие. Владимир: Издательство ВЛГУ, 2017.
- 11.Рудюк Е.П., Соломатин А.А. Оценка производительности сервера базы данных путем применения нагрузочного тестирования // Наука, техника и образование: электрон, 2016. № 4 (9). С. 97-10
- 12.Семахин А. М. Методы верификации оценки качества программного обеспечения: учебное пособие. Курган: Курганский государственный университет, 2018. 150 с.
- 13.Сивак, М. А. Построение робастных нейронных сетей с различными функциями потерь / М. А. Сивак, В. С. Тимофеев // Системы анализа и обработки данных. - 2021. - № 2(82). - С. 67-82. - Б01 10.17212/27822001-2021-2-67-82.
- 14.Сулов Ю.Б. Анализ параметров баз данных и разработка системы метрик тестирования баз данных // Сборник трудов рег. научно -технической очно-заочной конф. (Ижевск, 21 мая 2016). Ижевск: Изд-во Ижевского государственной технической ун-та им. М.Т. Калашникова, 2016. С. 75-81
- 15.Тиханычев О.В. О показателях качества программного обеспечения автоматизированных систем управления // Программные системы и вычислительные методы. 2020. № 2. С. 22-36; DOI: 10.7256/2454-0714.2020.2.28814.
- 16.Туровец Н.О. Методы тестирования интегрированных информационных систем / Н.О. Туровец, В.М. Алефиренко // Science Time. - 2022. - № 3 (99). - С. 19-27.

Евразийский Союз Ученых.

Серия: технические и физико-математические науки

Ежемесячный научный журнал

№ 02 (117)/2024 Том 1

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Макаровский Денис Анатольевич

AuthorID: 559173

Заведующий кафедрой организационного управления Института прикладного анализа поведения и психолого-социальных технологий, практикующий психолог, специалист в сфере управления образованием.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Штерензон Вера Анатольевна

AuthorID: 660374

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт новых материалов и технологий (Екатеринбург), кандидат технических наук

Синьковский Антон Владимирович

AuthorID: 806157

Московский государственный технологический университет "Станкин", кафедра информационной безопасности (Москва), кандидат технических наук

Штерензон Владимир Александрович

AuthorID: 762704

Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Институт фундаментального образования, Кафедра теоретической механики (Екатеринбург), кандидат технических наук

Зыков Сергей Арленович

AuthorID: 9574

Институт физики металлов им. М.Н. Михеева УрО РАН, Отдел теоретической и математической физики, Лаборатория теории нелинейных явлений (Екатеринбург), кандидат физ-мат. наук

Дронсейко Виталий Витальевич

AuthorID: 1051220

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Кафедра "Организация и безопасность движения" (Москва), кандидат технических наук

Статьи, поступающие в редакцию, рецензируются. За достоверность сведений, изложенных в статьях, ответственность несут авторы. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов материалов. При перепечатке ссылка на журнал обязательна. Материалы публикуются в авторской редакции.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Художник: Валегин Арсений Петрович
Верстка: Курпатова Ирина Александровна

Адрес редакции:
198320, Санкт-Петербург, Город Красное Село, ул. Геологическая, д. 44, к. 1, литера А
E-mail: info@euroasia-science.ru ;
www.euroasia-science.ru

Учредитель и издатель ООО «Логика+»
Тираж 1000 экз.