

УЧРЕЖДЕНИЕ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
Дом учёных им. М. Горького РАН
ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ
СООБЩЕНИЯ ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I (Российская Федерация)
УНИВЕРСИТЕТ МОА «ДОКТОР АНТОНИО НУНЬЕС ХИМЕНЕС» (Куба)
НЕФТЯНОЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ (Иран)

приоритет
2030



*К 300-летию
Российской академии наук*

АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ, НА ТРАНСПОРТЕ И В ЛОГИСТИКЕ

**Труды
XXIV Международной научно-практической
конференции молодых ученых, студентов
и аспирантов**

Санкт-Петербург, 23–25 апреля 2024 г.

Санкт-Петербург
Медиапапир
2024

УДК 681.5
ББК 32.96
А64

Организационный комитет:

проф. Арефьев Игорь Борисович – председатель (Российская Федерация)
проф. Новичихин Алексей Викторович – сопредседатель (Российская Федерация)
проф. Pujadas Lourdes María García (Куба)
проф. Salahshoor Karim (Иран)
доц. Афанасьева Ольга Владимировна (Российская Федерация)
доц. Бадецкий Александр Петрович (Российская Федерация)
доц. Коровяковский Евгений Константинович (Российская Федерация)
ст. преп. Малышев Николай Валерьевич (Российская Федерация)

Программный комитет:

проф. Волкова Виолетта Николаевна – председатель (Российская Федерация)
проф. Montero O'farrill José Luis – сопредседатель (Куба)
проф. Илесалиев Дауренбек Ихтиярович (Узбекистан)
проф. Воронов Александр Александрович (Российская Федерация)
проф. Юдникова Елена Сергеевна (Российская Федерация)
доц. Коровяковская Юлия Владимировна (Российская Федерация)
доц. Фурсова Елена Алексеевна (Российская Федерация)

Анализ и прогнозирование систем управления в промышленности, на транспорте и в логистике: Труды XXIV Международной научно-практической конференции молодых ученых, студентов и аспирантов, Санкт-Петербург, 23-25 апреля 2024 г. / под ред. проф. И. Б. Арефьева. – СПб.: Медиапайр, 2024. – 434 с.

Сборник содержит статьи молодых ученых, студентов, аспирантов и преподавателей России, Кубы и Ирана, посвященные актуальным вопросам систем управления в промышленности и на транспорте.

Материалы сборника могут быть полезны для читателей, интересующихся вопросами организации, управления и эксплуатации промышленных и транспортных систем.

Под редакцией заслуженного работника Высшей школы Российской Федерации, д-ра техн. наук, проф. И. Б. Арефьева.

Содержание

Ahangari M.A., Heydari Asl M.M. THE IMPACT OF PROJECT MANAGEMENT BODY OF KNOWLEDGE AREAS ON CRITICAL SUCCESS FACTORS IN IRAN'S OIL AND GAS PROJECTS USING MULTIPLE REGRESSION ANALYSIS AND STRUCTURAL EQUATION MODELLING.....	8
Blanco Y.A., Pujadas L.M.G., Martinez E.C., Martinez E.C. COMPUTER SYSTEM FOR CONTRACT MANAGEMENT AT THE UNIVERSITY OF MOA «Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ».....	24
Caballero F.D. DIGITAL TRANSFORMATION IN HEALTH: WEB AP- PLICATION FOR ELECTRONIC MEDICAL RECORDS.....	32
Garcia P.L.M., Virgili L.L.D. INFORMATION SYSTEM FOR THE REGISTRATION OF FUNDS FOR MINOR PAYMENTS IN THE MECHANICAL NICKEL COMPANY (EMNI) «COMMANDER GUSTAVO MACHIN HOED DE BECHE».....	39
Hoseini S.M., Salahshoor K., Khalilzadehbonab S. A SYSTEMATIC APPROACH FOR IDENTIFICATION OF A SURROGATE MODEL FOR ECONOMIC PERFORMANCE PREDICTION OF OIL RESERVOIR.....	45
Romero R.Y., Montero O.L., Pardo G.E., Izquierdo L.M. METHODOLOGICAL GUIDE FOR PROFESSIONAL SELF- IMPROVEMENT.....	55
Sitkova D.A. APPLICATION OF ANALYSIS METHODS TO IDENTIFY THE SIGNIFICANCE OF THE FACTORS OF ACCIDENTS AT AUTOMATED GAS DISTRIBUTION STATIONS.....	64
Афанасьев П.М., Чичеринда А.А. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ПРОЦЕССОВ.....	70
Афанасьев М.П., Воронин Б.С., Харитонов Е.А. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ РЫБОЛОВНЫХ СУДОВ ЗАМЕНОЙ ГЛАВНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ НА ГИБРИДНУЮ.....	77
Афанасьев М.П., Каторгин Н.А. АНАЛИЗ ПРЕИМУЩЕСТВ ВНЕДРЕНИЯ ДИЗЕЛЬ- ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК В ПАССАЖИРСКИЙ РЕЧНОЙ ФЛОТ.....	82
Афанасьева О.В., Хатрусов А.С. ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	87

Баскакова А.С. СИСТЕМНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТРУКТУРНОГО ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ	93
Белик Л.Т., Гурко А.В. МОДЕЛИРОВАНИЕ МАЛЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ФОРМ ДЛЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ СРЕДЫ.....	98
Богданова Н.А. ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ВЫПУСКУ АВТОТРАНСПОРТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРО- ГНОЗНЫХ МОДЕЛЕЙ (НА ПРИМЕРЕ ПАО «НЕФАЗ»).....	108
Бойкова И.В., Ямпольский В.Л. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ ОТРАСЛИ.....	113
Бровченко И.В., Гурко А.В. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ШНЕКОВЫХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ КОМБАЙНОВ ДЛЯ ПЛАСТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГОЛЬНЫХ ШАХТ.....	122
Вишнякова М.А. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА.....	129
Волкова А.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТРУКТУРНОГО ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА.....	134
Готовцева А.С. ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ МЕТОДАМИ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА.....	139
Григорьева М.П. АНАЛИЗ РАБОТЫ ОТДЕЛА КАДРОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ТЭЦ КАК СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ.....	145
Гулиев Г.Ш., Юдникова Е.С. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ЭКСПОРТНО - ИМПОРТНЫХ ГРУЗОПЕРЕ- ВОЗОК В РФ И ПРОБЛЕМЫ ИХ ОРГАНИЗАЦИИ В ЛОГИСТИЧЕ- СКИХ КОМПАНИЯХ, ЗАНИМАЮЩИХСЯ ИМПОРТОМ И ЭКС- ПОРТОМ.....	152
Демидов А.А. СИСТЕМНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСАЛТИНГОВОГО ОТДЕЛА ИТ- КОМПАНИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON.....	158

Демченко Д.И., Крушинов Р.Д. МНОГОМЕРНЫЙ КОРРЕЛЯЦИОННО-РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОПЛИВА.....	167
Дьяченко В.Д., Ямпольский В.Л. ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОИЗОЛЯЦИИ ИЗО- КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЖИДКОГО ГЕЛИЯ МЕ- ТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	172
Елисеев В.А., Кобозева Н.Г. ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ЗАМОРАЖИВАНИЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ КА- ЧЕСТВА ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ.....	179
Железнов Э.Г., Цымай Ю.В. МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭТАПОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ.....	187
Каримулин К.А., Майоров Е.Е. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЗВЕЗДНЫХ ДАТЧИКОВ ОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ.....	193
Кислицын А.А., Коровяковский Е.К. ВЫБОР МЕЖДУНАРОДНОГО ТРАНСПОРТНОГО КОРИДОРА НА ОСНОВЕ ТРИАНГУЛЯЦИИ.....	199
Клыгин Т.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ МЕТОДОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ.	205
Кобозева Н.Г., Ермаков В.С., Константинова С.В. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР РАДИАЦИОННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В НЕПРЕРЫВНОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ ЦЕПИ.....	210
Колмакова Д.А. ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ.....	218
Колцун Н.В., Гурко А.В. ВНЕДРЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ГОРНОДОБЫ- ВАЮЩЕМ СЕКТОРЕ.....	223
Конорев И. Ю., Майоров Е.Е. МЕТОД КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ СВЕР- ТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ.....	230
Коровяковская Ю.В., Модин А.Н., Илесалиев Д.И. СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ НА ТЕР- РИТОРИИ РОССИИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ.....	236
Крец В.О., Гурко А.В. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ КОНТРОЛЬНО - ИЗ- МЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ.....	243
Курилов Г.О. ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТ- МОВ ДЕИДЕНТИФИКАЦИИ ДАННЫХ ИНТЕРНЕТ ВЕ- ЩЕЙ.....	249

Кучма О.В., Гурко А.В. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗНОСА ПРОМЫШ- ЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	255
Лимонов А. И., Афанасьева О.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОДЫ.....	261
Литовченко Л.Ю., Рязанов Р.Б., Бригаднов И.А. ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ НА ИЗДЕЛИЯХ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	268
Мальшев Н.В. ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ СРЕДНЕТОННАЖНЫХ МОДУЛЕЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ.....	276
Мальшев Н.В., Кирилова А.А. ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ СЕВЕРНОГО МОРСКО- ГО ПУТИ КАК АЛЬТЕРНАТИВЫ ТРАНССИБИРСКОЙ ЖЕЛЕЗНО- ДОРОЖНОЙ МАГИСТРАЛИ.....	282
Мэйлунь В., Воронов А.А. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОТЫ ПОГРАНПЕРЕХОДОВ КАК "УЗКИХ" МЕСТ МЕЖДУНАРОДНЫХ ТРАНСПОРТНО- ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	288
Простак А.А., Соколов А.Е., Бригаднов И.А. ОБЗОР МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНОЙ АНАЛИТ- КИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА БОЛЬШИХ ДАННЫХ В ГЕОЛОГОРАЗ- ВЕДКЕ.....	295
Рязанов Р.Б., Литовченко Л.Ю., Гурко А.В. ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ.....	305
Роголина А.Н., Станулис А.А., Кобозева Н.Г. ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ И ОХЛАЖДЕНИЯ: ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ.....	312
Руснак М.А. СИСТЕМНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНОГО ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ IT-КОМПАНИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ООО «ГАЗПРОНЕФТЬ – ЦИФРОВЫЕ РЕШЕНИЯ»).....	319
Соколов А.Е., Простак А.А., Кузьмин К.И. ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ И DATA MINING КАК СРЕДСТВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА.....	325
Степухин Я.С. АНАЛИЗ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ТЕПЛООБМЕННИКА В ПРОЦЕССЕ СЖИЖЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА.....	335

Туляков Т.Ф.	
РАЗВИТИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ: ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ РОБОТОТЕХНИКИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОГО ОСМОТРА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ.....	341
Федосеева С.Н., Майоров Е.Е.	
СТРУКТУРА ДОКУМЕНТА VISION ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ПРИМЕРЕ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ НАУЧНОГО ФОРУМА.....	348
Феськов А.С.	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЗАДАЧ.....	354
Хатрусов А.С.	
АНАЛИЗ ВНЕДРЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ РЕШЕНИИ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА.....	361
Холева Д.Н.	
АНАЛИЗ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ УСТРОЙСТВ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕРВИЧНОГО АЛЮМИНИЯ.....	367
Хэлинь В., Коровяковский Е.К.	
ПУТИ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ МАЛЫХ И СРЕДНИХ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	372
Чирцов В.В.	
ОЦЕНКА ЗНАЧИМОСТИ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ СТРУКТУРНОГО ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ, С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА.....	379
Шабалина Ю.А.	
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПАНИИ ООО «ПРОТЕХ ИНЖИНИРИНГ».....	384
Шведин К.И., Хомов А.В., Камшилин Н.И.	
ЦИФРОВАЯ ЛОГИСТИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ СРЕДНЕТОННАЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК.....	390
Шишкина А.В.	
АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ.....	399
Шишкина О.В., Гурко А.В.	
РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ.....	405
Аннотации и ключевые слова.....	410
Авторы статей.....	429

THE IMPACT OF PROJECT MANAGEMENT BODY OF KNOWLEDGE AREAS ON CRITICAL SUCCESS FACTORS IN IRAN'S OIL AND GAS PROJECTS USING MULTIPLE REGRESSION ANALYSIS AND STRUCTURAL EQUATION MODELLING

Abstract. This study aims to inform project managers and organizations on how Project Management Body of Knowledge (PMBOK) standards and knowledge areas affect oil and gas sector specific critical success factors (CSF). Demographic, PMBOK knowledge, and essential success factor data are collected using two pre-existing survey questionnaires (PIP and PMPQ). Both multiple regression analysis and Structural Equation Modelling (SEM) show a favourable association between variables. The regression showed that integration management was the best CSF knowledge domain, followed by resource and risk management. The updated SEM path coefficient was 0.583, a considerable effect. In SEM, scope management was the most effective knowledge area with 0.855, followed by communication management and risk management with 0.818 and 0.756.

Keywords: project management, critical success factors, PMBOK knowledge areas, multiple regression analysis, structural equation modelling

Introduction

Before 1960, project management was unstructured. No strategy, plan, or procedure guided most projects (Maryman, 2011). Various techniques to increase project performance span all project management components. In project-driven organisations, top management has battled to maximise profit to satisfy stakeholders (Bruce T. Barkley and James H. Saylor, 2001). Reading about project management knowledge areas and how they affect success would help project managers succeed and lessen stakeholder pressure. PMI is the authority. A comprehensive handbook for project managers, the Project Management Body of Knowledge was established by practitioners and specialists using best practices. This paradigm enables PMs use a generic project model. Structured project management includes integration, stakeholder, cost, schedule, quality, risk, procurement, communication, human resource, and scope management in five process categories and 10 project knowledge items (PMI, 2017). Most project management strategies aim for success. Project management success depends on time, cost, and quality. Project success across

industries is achieved when CSFs are continuously applied. Since the 1960s, success criteria have become context specific. Pinto and Slevin's 1988 success factors—project mission, top management support, project timeline, client consultation, personnel, technical duties, client acceptance, monitoring and feedback, communication, and troubleshooting—were most popular in this study. The study found that complex oil and gas projects demand significant investment. Successful complex projects require integrated project management (Richard Green and William Keogh, 2004). Most such firms utilize project management methods to increase project success rates because project failures cost hundreds of billions of dollars annually. Project failure is high due to poor project management. Project management improves project success, according to multiple studies.

If the use of its related processes significantly increases project success, a PMBOK knowledge area is considered effective. Limited time is the biggest challenge project managers face in completing the PMBOK methodology, so they focus on familiar or easier areas. Given that, project managers may overlook success factors. The field a project manager must focus on to succeed has been extensively covered. Little has been said about how knowledge areas affect project success and success factors. The idea that a project manager can manage everything at once seems unrealistic. This research seeks to determine how PMBOK knowledge areas affect critical success factors in Iranian oil and gas projects. It may improve project managers' time and resource allocation decisions across knowledge areas. Assessing project managers' knowledge perception and use is the first step to improving project success. Understanding PMBOK concepts and process functions is not enough for project managers. It's not enough to think knowledge areas help projects succeed. The most important thing is which knowledge areas boost project success.

There are practical and theoretical reasons to study how PMBOK knowledge areas affect oil and gas project success factors. Tailoring success factors to the project context could help companies improve future project success rates. Knowledge areas should help fill a gap in project management literature by revealing prioritized success factors.

Literature Review

Project management. Project managers apply methods, knowledge, skills, tools, and techniques to project operations to achieve project criteria and generate a unique product, service, or outcome, according to PMI. By the 1950s, organizations replaced project management. In the 1950s, project management began with time

management (Stretton, 2007). In the 1960s, project cost management and resource scheduling were introduced. Later, it was found that deploying project management methodologies in oil and gas projects is increasing, which improves project performance, but some authors have found that the complexity of such projects, including multiple stakeholders, multidisciplinary staff, long lead times, uncertainties, and multiple contractor relationships, affects their use (Brett Schroeder and Jan Jack).

Project success. Project success has been ambiguous, including on-schedule delivery, within-budget completion, meeting pre-established specifications, and meeting stakeholder expectations (Morris and Hough, 1987). Project success is multifaceted and multidimensional, requiring different measurement factors. Project success is defined differently in the literature, but researchers agree that a comprehensive measure includes objective and subjective measures, stakeholder perspectives, technical, financial, social, and organisational measures (C. Lim and M. Zain Mohamed, 1999). A project can succeed even if none of its restrictions fulfilled expectations.

Key Success Elements. These factors apply to any industry and have a limited number of areas where good results guarantee competitive performance. They are project management system inputs that boost project success. These factors have long been used to measure project success in various industries. Researchers have sought these factors since the 1960s.

Researchers seem to disagree on whether a single success factors list covers all project conditions. The lack of generalizable critical success factors is due to project context, environmental and cultural differences, and operation uniqueness. Some studies only consider technical factors like planning, design, and technology application (Yong C. and Nur Emma Mustaffa, 2011), while others include technical, human, and environmental factors of project success. Many researchers believe Slevin and Pinto's (1986, 1987) critical success factors list is the most cited and comprehensive in project management literature. The current study uses it.

Methodology

Since project managers cannot devote equal time and effort to each knowledge area before, during, and after the project regarding limits and constraints, they should know when and where to focus. This study examines how PMBOK knowledge areas affect oil and gas project success factors. This study uses PMBOK 6th edition (2017) knowledge areas as independent variables. In this study, Pinto and Slevin's (1988)

success factors are dependent variables. As mentioned, critical success factors vary by study and industry context. Pinto and Slevin's 1988 PIP success factors are the most widely used and are dependent variables in this study.

Designing research. This non-experimental causal-comparative study used non-probability sampling to select the population of interest. This method uses researcher judgment rather than random selection to select the sample. In this study, the researcher selects the sampling group using purposive sampling. The population includes all Iranian oil and gas project managers, senior managers, and supervisors. The study used two surveys from separate studies. Slevin and Pinto (1986, 1987) operationalized critical success factors, dependent variables. Zwikael and Globerson (2006)'s survey measured PMBOK knowledge areas as independent variables. Participants were asked how much they used 10 knowledge areas in their last project. They also selected a degree of acceptance based on Slevin and Pinto's survey's 10 critical success factors. One section collected data on 10 PMBOK knowledge areas with 10 items, and the other on 10 critical success factors with 50 items (five questions per CSF). Demographic data included three closed-ended questions about the respondent's role, education, and experience and four open-ended questions. The impact of PMBOK knowledge areas on critical success factors in Iran was examined using multiple regression and structural equation modelling. Due to the multiple independent variables, multiple regression analysis was used to examine the effect of PMBOK knowledge areas on each critical success factor. Causal modelling using Structural Equation Modelling (SEM) uses many mathematical models or statistical methods. Multivariate regression analysis using SEM is appropriate for this study because it examines the causal relationship between multiple independent and dependent variables. All knowledge areas are one independent variable and all critical success factors are one dependent variable.

Sample and population of the study. This study included project managers, senior managers, and supervisors of Iranian public and private petroleum companies. Online surveys were available for those whose company was in different cities. Managers needed direct project interaction to make accurate project assessments. Participants were contacted via LinkedIn and email. Participants received an invitation and survey link. Since this study targets a specific group in a larger population (oil and gas organizations), a non-probability sampling method was used to focus on project managers. The study used purposive non-probability sampling and required respondents to have worked on Iranian oil and gas projects. People were

invited to take the survey via email and LinkedIn. The sample frame includes project managers, senior managers, and project experts from related organizations who have managed a project.

To determine the appropriate sample size for the survey, *a priori* power analysis (G*Power software 3.0.10) was conducted for the *F*-test family along with a multiple regression statistical test ($\beta = 0.9$, $\alpha = 0.05$, $f^2 = 0.35$) for 10 predictor variables and resulted in a minimum sample size of 69. Effect size is the minimum effect the study seeks to detect and can be adjusted by the researcher in terms of small, medium, or large effect sizes. In this study, a large effect size was chosen based on the relevant studies in the literature. An error probability was determined 0.05 (95% significance level) and B error probability was determined 0.1 according to the literature.

Table 1: Detail of the Power Analysis

<i>Power Analysis</i>	
<i>F Test</i>	Linear multiple regression: Fixed model, R ² deviation from zero
<i>Analysis Input</i>	A priori: Compute the required sample size Effect size $f^2 = 0.35$ <i>A err prob.</i> = 0.05 Power ($1 - \beta$ <i>err prob.</i>) = 0.90 Number of predictors = 10
<i>Output</i>	69

Survey links were sent to 100 participants who were selected from project managers, senior managers, and project experts (supervisors), however, 84 responses were received, 12 responses were eliminated because of being incomplete. In the end, 72 acceptable surveys were used as the raw data of this study.

Data analysis. Extracted data from surveys were analysed using IBM SPSS (version 22) software for multiple regression analysis and SmartPLS (version 3.2.8) for structural equation modelling. Since there is more than one independent and dependent variable, simple linear regression was not used instead, the study used a multivariable regression analysis to evaluate the effect of independent variables on dependent variables in one run. In the next step, the responses were substituted by the LIKERT scale. Each response was worth one point to five points regarding the response of the participants.

- **Multiple Regression Analysis Using IBM SPSS.** The linear coefficients (beta) in each run of analysis were utilized to assess the effect of

knowledge areas on each CSF. The calculation was repeated for all critical success factors. Then, the knowledge areas were ranked regarding their impact on CSFs (the values of the linear coefficients). A p-value < 0.05 was considered significant and used to reject the results of the study.

As a first step, multiple regression assumptions on the independence of observation, the linear relationship between dependent and independent variables, multi-collinearity, outliers, and normal residual distribution were reviewed in the output. We used data transformation to eliminate outliers. Tolerance and Variance Inflation Factor (VIF) was used to diagnose multicollinearity in the analysis. The tolerance value must be more than 0.1 and VIF must be less than 10 to ensure that there is no multicollinearity in the variables.

As it can be observed below, in each run of the analysis knowledge areas were considered as independent variables and each critical success factor was considered as a dependent variable. This process was repeated 10 times so that the effect of knowledge areas was evaluated on each success factor.

The proposed regression equation for this research is as follows:

$$\text{Each critical success factor} = b_0 + b_1 (\text{Integration Management}) + b_2 (\text{Scope Management}) + b_3 (\text{Time Management}) + b_4 (\text{Cost Management}) + b_5 (\text{Quality Management}) + b_6 (\text{Resource Management}) + b_7 (\text{Communication Management}) + b_8 (\text{Risk Management}) + b_9 (\text{Procurement Management}) + b_{10} (\text{Stakeholder Management}) + e$$

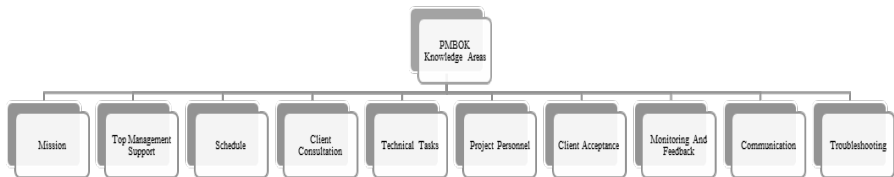


Fig. 1. The conceptual framework used in multiple regression analysis.

- Structural Equation Modelling.** To evaluate the relationship between the two variables constructs with more than one indicator, a multivariate regression analysis using SEM was used. In this method, there were only two latent variables namely Knowledge areas and critical success factors. The ten knowledge areas were considered manifest variables (indicators) of the independent variable and the ten critical success factors were considered manifest variables (indicators) of the dependent variable. The weight of each variable indicates the importance of the

variable to the model. A bootstrapping procedure with 500 iterations was used to investigate the significance of the weights of the variables. R^2 is the primary measure of evaluating the explanatory power of the model.

In the end, the PLS algorithm will calculate variable relationships. This model also estimated R square, SRMR, NFI, VIF, Cronbach's Alpha, Composite Reliability, and indicator weights. Ranking knowledge areas (indicators) by model weights is possible. SEM and multiple regression rankings are compared to determine the most important knowledge areas.

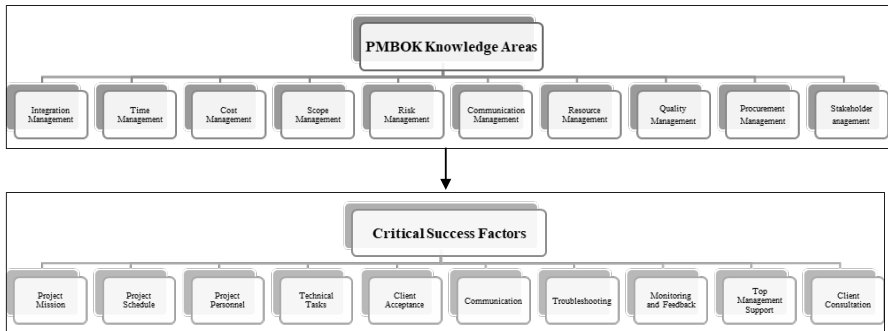


Fig. 2. The Structural Equation Modelling of the Research

Reliability and Validity. The study used two pre-existing surveys which their reliability was approved. According to Google Scholar, the second survey (PIP) designed by Slevin and Pinto has been cited by almost 50 studies and has almost 900 reads. The alpha value ranged from 0.7 (For troubleshooting) to 0.86 (Top management support) (mean of 10 success factors = 0.78). Higher values than 0.7 are often considered appropriate and acceptable. The reliability of the first survey (PMPQ) designed by Zwikael and Globerson (2006) was also calculated using Cronbach alpha. The result ($\alpha = 0.93$) was higher than the minimum value required so both surveys were considered reliable. With respect to the fact that both surveys were utilized without any significant change, there was not any reliability measurement for this study, and the survey was considered reliable. It also must be mentioned that the reliability and validity of the model are examined via smartPLS afterward and the results are provided in chapter four.

Both questionnaires are established instruments with pre-existing validity which have been established in numerous previous studies. The second survey (PIP)

has been tested as a diagnostic instrument with practicing managers and exhibits strong psychometric properties as well. Based on a sample of 85 participants, the 10 factors provided internal consistency scores ranging from 0.83 to 0.26 with an average of 0.59 (Pinto and Slevin, 1989). This instrument was tested to be valid and reliable by several researchers (Finch, 2003), (Hyvari, 2006), (Chan Wai Kuen, Suhaiza Zailani, and Yudi Fernando). According to the review conducted by the University of Nebraska, the survey showed robust and reliable scores. The validity of the knowledge areas survey was evaluated by comparing the questionnaire indicator with the project's success which was significantly correlated (Ofer Zwikael and Shlomo Globerson, 2006). It must be said that one of the strengths of this study is that we use two distinct instruments to measure the variables. That's why the validity of the research will be increased (L.T., 2014), (Roberta Heale and Alison Twycross, 2015).

Data Analysis and Empirical Result

Descriptive statistics. The first ranking of PMBOK knowledge areas based on descriptive statistics and the level of utilization is as follows:

Table 2. Utilization Level of PMBOK Knowledge Areas based on the surveys.

<i>PMBOK Knowledge Area</i>	<i>Mean (based on a survey)</i>	<i>Ranking (utilization level)</i>
<i>Project Time Management</i>	3.51	1
<i>Project Scope Management</i>	3.33	2
<i>Project Resource Management</i>	3.33	2
<i>Project Communication Management</i>	3.23	3
<i>Project Cost Management</i>	3.2	4
<i>Project Quality Management</i>	3.2	4
<i>Project Procurement Management</i>	3.18	5
<i>Project Integration Management</i>	3.15	6
<i>Project Stakeholder Management</i>	2.48	7
<i>Project Risk Management</i>	2.23	8

On the other hand, participants mostly agree on the mission as one of the critical success factors with a score of 3.84. Communication has the lowest score in critical success factors which shows that participants think of communication less than a critical success factor in projects. Other critical success factors approximately have got the same score as can be seen from the following table.

Table 3. Score of CSFs based on the surveys.

<i>Critical Success Factor</i>	<i>Score</i>	<i>Critical Success Factor</i>	<i>Score</i>
<i>Mission</i>	3.84	<i>Client Acceptance</i>	3.56
<i>Top Management Support</i>	3.29	<i>Monitoring and Feedback</i>	3.47
<i>Schedule</i>	3.17	<i>Communication</i>	2.87
<i>Client Consultation</i>	3.72	<i>Troubleshooting</i>	3.32
<i>Personnel</i>	3.2		
<i>Technical Tasks</i>	3.47		

Multiple Regression analysis. Beta values were presented to examine the magnitude of the effect of each knowledge area on each critical success factor. P-value has also been provided to evaluate the significance of the relationship between the variables. Regarding the tolerance and VIF amounts, it can be inferred that there is no multi-collinearity between the variables. Regarding the Beta coefficients derived from multiple regression analysis, scores from 10 (the number of entire PMBOK knowledge areas) to 1 were allocated to each knowledge area. Based on these allocated scores PMBOK knowledge areas are ranked. By summing up the scores of each knowledge area in 10 multiple regression analysis.

Structural Equation Modelling (SEM). To determine the statistical significance of variable weights and path coefficients, 500 rounds of bootstrapping are used. A route coefficient analysis determines the causal relationship between both variables. This method is often used to assess variable relationships. SEM data show varying relationships' magnitudes. Path values below 0.1 suggest a modest effect, 0.3 a medium effect, and 0.5 or larger a substantial influence.

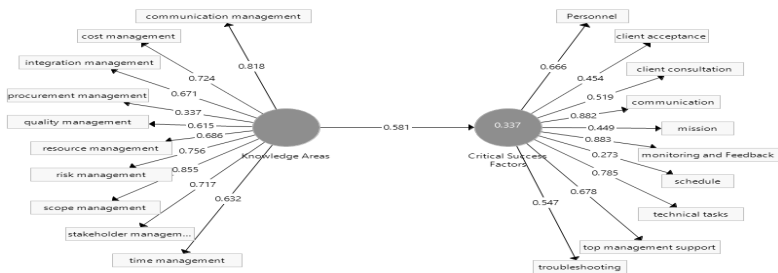


Fig. 3. The Relationship Values of SEM Model

Knowledge areas affect crucial success variables by 0.581, a strong influence. According to structural equation modelling, the complete knowledge domains as an

independent variable affect the important success factors as the dependent variable by 0.581. This strong effect reveals that knowledge areas greatly affect crucial success elements.

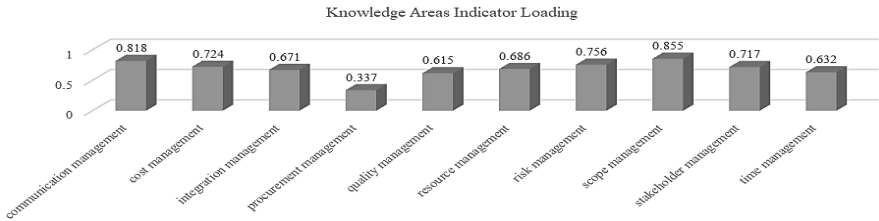


Fig. 4. The Loading Amount of Knowledge Areas

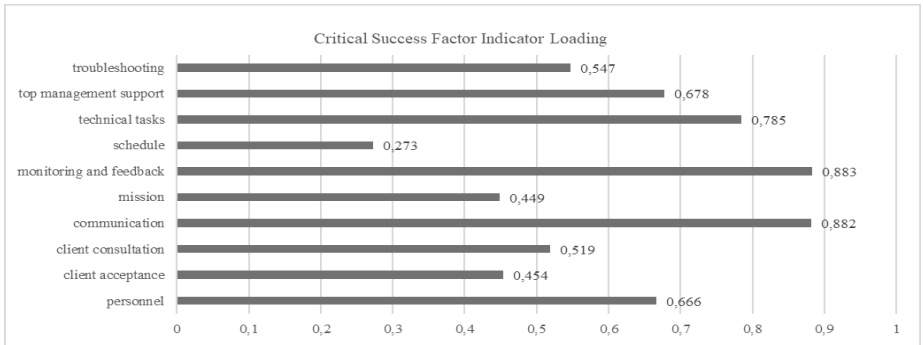


Fig.5. The Loading Amount of CSFs

The model is significant and explains 33.7% ($R^2 = 0.337$) of variation. PMBOK knowledge domains can be ranked using SEM model weights.

Table 4. Ranking of PMBOK Knowledge Areas based on SEM.

<i>PMBOK Knowledge Area</i>	<i>Weights</i>	<i>Ranking</i>
<i>Scope Management</i>	0.855	1
<i>Communication Management</i>	0.818	2
<i>Risk Management</i>	0.756	3
<i>Cost Management</i>	0.724	4
<i>Stakeholder Management</i>	0.717	5
<i>Resource Management</i>	0.686	6
<i>Integration Management</i>	0.671	7
<i>Time Management</i>	0.632	8
<i>Quality Management</i>	0.615	9
<i>Procurement Management</i>	0.337	10

Composite Reliability. Both CR values of the constructs are more than the recommended value and therefore considered acceptable.

The composite reliability (CR) of the values is as follows:

Table 5. Composite Reliability of the Variables

Variables	Composite Reliability
Project Knowledge Areas	0.900
Critical Success Factors	0.865

Validity. The validity of the model was measured via Cronbach's alpha for each variable. The literature recommended that the appropriate value for Cronbach's alpha should be more than 0.7. As can be seen, both variables are more than the recommended value and therefore considered acceptable.

Table 6. The Cronbach's alpha of the variables

Variables	Cronbach's alpha
Project Knowledge Areas	0.875
Critical Success Factors	0.857

Model Significance. A two-tailed t-statistical analysis with 500 iterations at 0.05 showed that the model is significant with $t = 2.723$ and $p\text{-value} = 0.004$. Procurement management from knowledge domains ($t = 1.716$) and customer approval and monitoring & feedback from critical success elements ($t = 1.831$ and 0.995) are negligible indications.

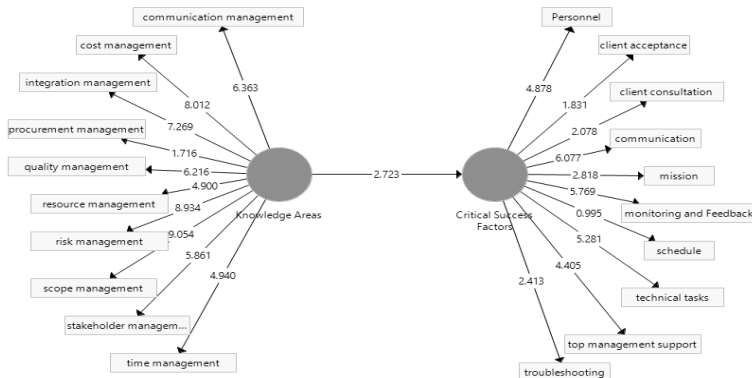


Fig. 6. t-statistics values of the model

Model Fit. The square root of the difference between the sample covariance matrix residuals and the predicted covariance model is the Standard Root Mean Square Residual (SRMR). The average magnitude of the disparities between actual and expected correlations can be used as a fit criterion. It ranges from 0 to 1, with values less than 0.05 being good matches and 0.08 to 0.1 acceptable. Thus, lower SRMR means better model fit.

Table 7. SRMR value of the Model

<i>Criteria Measure</i>	<i>Value</i>
SRMR	0.174

SEM Model Modification. Since the SRMR value is too high, indications with weights less than 0.5 will be removed to improve model fit. Mission, schedule, procurement management, and client acceptance have loading values below 0.5. There are some changes in measurement criteria as follows:

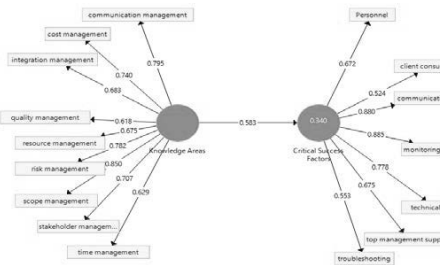


Fig. 7. SEM Model after Modification

Table 8. Changes in Criteria after Modification

<i>Criteria measure</i>	<i>value</i>
<i>Path coefficient</i>	0.581 → 0.583
<i>R square</i>	0.337 → 0.340
<i>SRMR</i>	0.174 → 0.098

Increasing the route coefficient to 0.583 maintains a big effect. R square is increased to 0.34 and SRMR is dropped to an acceptable range, fitting the model. Tables 10 and 11 show reliability and validity changes.

Table 9. Changes in CR values after Modification

<i>Variables</i>	<i>Composite Reliability</i>
Project Knowledge Areas	0.900 → 0.907
Critical Success Factors	0.865 → 0.880

Table 10. Changes in Cronbach's alpha after modification

<i>Variables</i>	<i>Cronbach's alpha</i>
Project Knowledge Areas	0.875 → 0.886
Critical Success Factors	0.857 → 0.851

Conclusion. Multiple regression analysis showed that integration management has the largest impact on crucial success elements, hence focusing on this knowledge area during a project will boost success. Resource, risk, communication, scope, cost, procurement, stakeholder, time, and quality management are the next effective knowledge domains.

SEM analysis was utilized to examine variable construct relationships in the second phase. The effect of PMBOK knowledge areas on crucial success criteria was studied using SEM. The influence of knowledge areas on important success variables was 0.581. This suggests knowledge domains considerably impact crucial success variables. PMBOK knowledge domains can be graded by loading weight. The most effective knowledge area is scope management, followed by communication, risk, cost, stakeholder, resource, integration, time, quality, and procurement management.

Both study models show that PMBOK knowledge domains positively affect crucial success factors and project success. The result will enable Iranian oil and gas project managers maximize knowledge usage. Comparing the survey results to the statistical outcome shows that:

Table 11. The Comparison of SEM and Multiple Regression Analysis

Ranking of Multiple Regression Analysis	Ranking of structural Equation Modelling
<i>Integration</i>	<i>Scope</i>
<i>Resource</i>	<i>Communication</i>
<i>Risk</i>	<i>Risk</i>
<i>Communication</i>	<i>Cost</i>
<i>Scope</i>	<i>Stakeholder</i>
<i>Cost</i>	<i>Resource</i>
<i>Procurement</i>	<i>Integration</i>
<i>Stakeholder</i>	<i>Time</i>
<i>Time</i>	<i>Quality</i>
<i>Quality</i>	<i>Procurement</i>

Risk management and communication management are in the first four knowledge areas in both methods. Also, time, quality, and procurement management are in the least effective knowledge areas in both methods.

Recommendation. Regarding the mentioned limitation of this study, further fields of study are recommended. Because of the limited number of research on the topic of the current study, it would be worth evaluating other factors that may affect critical success factors. On the other hand, the effect of PMBOK knowledge areas directly on project success may be a future research possibility.

According to the findings of the study, integration management has the greatest effect on critical success factors in oil and gas projects. Integration management is defined as a process required to ensure that the various elements of the projects are properly coordinated (an equilibrium in all project areas). It contains making trade-offs among objectives and alternatives to meet or exceed stakeholder needs and expectations. It means that you cannot have everything if you want to get a project completed on time and within budget. It also conducts the project to achieve success. It is the only knowledge area that contains six processes throughout the project life cycle, including:

- Create a project charter with roles, goals, deliverables, and stakeholders.
- Create a project management strategy to avoid scope creep and assure adequate planning of scope, time, and cost.
- Manage project activities and operations to ensure seamless execution and deliverables.
- Monitor and control project activities by identifying deviations from the plan and taking remedial action.
- Implement integrated change control (different solutions).
- Project or phase closure (client approval)

The major problem in large-scale projects such as oil and gas projects, is the lack of equilibrium in different project areas which finally leads to project failure or low success rate. By implementation of integration management processes throughout the project life cycle, critical success factors can be affected, and the success rate will be increased.

Based on the second analysis of this research, scope management influences critical success factors the most. The project scope management is the process to ensure that a project incorporates all the relevant work to achieve the project's objectives. Its primary target is to control what is and is not involved in the project. It contains the allocation of the right amount of work necessary to complete a project-by-project managers. There are three processes in scope management namely:

- Plan scope management (description of the project scope)
- Collect requirements (documentation of stakeholder needs to meet them). Requirements can be categorized into functional or non-functional, stakeholder, business, and project requirements.

- Define scope (detail description of the project objectives and deliverables)
- Create a work breakdown structure (WBS)
- Validate scope (reviewing deliverables with the clients)
- Control scope.

Clear communication is required in effective scope management, to ensure that stakeholders and team members understand the scope while agreeing on how the project objectives will be met. This area of project management helps avoid future possible challenges. It is worth the investment because proper scope management will help project managers deliver the project with minimum overruns which was the main objective of the projects. Considering large projects with complex demands, scope management helps project managers stay focused on the work and stay on track. By proper implementation of scope management, other knowledge areas such as time, cost, and stakeholder management will be guaranteed which finally results in a higher rate of project success.

Bibliography

1. Baccarini, D. (1999). The logical framework method for defining project success. *Project Management Journal*.
2. Brett Schroeder and Jan Jackson. (2007). Why traditional risk management fails in the oil and gas sector: Empirical front-line evidence and effective solutions. *AACE International*.
3. Bruce T. Barkley and James H. Saylor. (2001). Customer-Driven Project Management: Building Quality into Project Processes. *Engineering*.
4. Bruno, A.V., and Leidecker, J. K. (1987). Critical Success Factors for Online Distance Learning in Higher Education.
5. C. Lim and M. Zain Mohamed. (1999). Criteria of project success: An exploratory re-examination. *International Journal of Project Management*.
6. Chan Wai Kuen, Suhaiza Zailani, and Yudi Fernando. (n.d.). Critical factors influencing project success amongst manufacturing companies in Malaysia. *African Journal of Business Management*.
7. Charlie C. Chen, Chuck C. Law, and Samuel C. Yang. (2009). Managing ERP implementation failure: A project management perspective. *IEEE Transactions on Engineering Management*.
8. Diana White and Joyce Fortune. (2009). The project-specific System Model. *International Journal of Managing Projects in Business*.
9. Finch, B. K. (2003). Socioeconomic Gradients and Low Birth-Weight: Empirical and Policy Considerations.

10. Hyvari, I. (2006). The success of Projects in Different Organizational Conditions. *Project Management Journal*.
11. JF, R. (1979). Chief executives define their data needs JF.
12. L.T. (2014). The Strengths and Weaknesses of Research Methodology: Comparison and Complimentary between Qualitative and Quantitative Approaches. *Journal of Humanities and Social Science*.
13. Maryman, V. (2011). The relationship between PMI PMBOK guide's nine project knowledge areas and project success: an investigation of manufacturing information technology projects.
14. Morris and Hough. (1987). The anatomy of major projects: A study of the reality of project management. *International Nuclear Information System*.
15. Ofer Zwikael and Shlomo Globerson. (2006). From Critical Success Factors to Critical Success Processes. *International Journal of Production Research*.
16. Pinto and Slevin. (1989). Critical Success Factors in R&D Projects.
17. PMI. (2017). *Project Management Body of Knowledge*.
18. Rad, P. F. (2003). Project success attributes.
19. Ralf Muller and Rodney Turner. (2007). The influence of project managers on project success criteria and project success by type of project. *European Management Journal*.
20. Richard Green and William Keogh. (2004). Collaborative Relationships in the UK upstream Oil and Gas industry: CSF.
21. Roberta Heale and Alison Twycross. (2015). Validity and reliability in quantitative studies.
22. Seigelaub, J. M. (2004). How PRINCE 2 can complement PMBOK and your PMP.
23. Stretton, A. (2007). A short history of modern project management. *PM World Today*.
24. Wideman, M. (2002). *First Principles of Project Management*.
25. Yong C. and Nur Emma Mustaffa. (2011). Clients, consultants, and contractors perception of critical success factors for construction projects in Malaysia.

Рецензент: д.т.н., проф. И.Б. Арефьев

© Y. A. Blanco, L. M. G. Pujadas, E. C. Martínez, E. C. Martínez

University of Moa «Dr. Antonio Núñez Jiménez», Cuba

COMPUTER SYSTEM FOR CONTRACT MANAGEMENT AT THE UNIVERSITY OF MOA «Dr. ANTONIO NÚÑEZ JIMÉNEZ»

Abstract. The work presents the development of a computer system guided by the Agile Development Methodology Extreme Programming (XP) to favor the process management process of the contracts at the University of Moa with greater speed.

Keywords: computer system, hiring process, XP methodology, software architecture, information management

Introduction. Since the last century, the emergence of information and communications technologies (ICT) in people's lives has provided new forms of social communication, which has conditioned a new era starting in the 21st century, called the “information and communication society.” knowledge” that marked unusual challenges and opportunities through the development of information, knowledge and learning (Vidal Ledo, Carnota Lauzán, & Rodríguez Díaz, 2019).

At the University of Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez” the creation of computer systems that favor the management of the information of the productive and services processes has become necessary. One of the main services processes to be computerized is the management of contracts information.

The management of contract information in the legal department at Moa University is one of the key elements of the economic health of the entity. It is handled manually, accompanied by a Microsoft Excel file, which at times becomes tedious and cumbersome. Currently this entire process is carried out through telephone calls, email or by personally consulting the people involved, which causes deficiencies that directly affect the organization, such as the loss of data, there is no efficient mechanism for quickly searching for information, this makes it impossible to respond promptly to requests for information at different levels.

With the aim of perfecting the process and guaranteeing the security of the information, it was decided to create a system that allows for centralized and reliable control of contract information from the legal department of the University of Moa.

Development. Methods, materials and experimental conditions.

Empirical and theoretical methods of scientific research have been used to develop the work. Empirical ones include Observation, necessary to understand the behavior of the process to be computerized; the Interview, to determine the functional requirements of the computer system based on a set of questions asked to specialists in the business process, and the Review of documents to develop the theoretical foundations and consult scientific bibliographies related to the topic.

The fundamental theoretical methods used were: Historical-Logical to search for background information on the software and tools used, and Analysis and Synthesis was used to synthesize, classify and evaluate valuable information, achieving a better understanding of the system.

The Extreme Programming (XP) methodology was selected as a guide for the elaboration of the computer system, in its planning, design, implementation and testing phases.

Analysis and discussion of results.

Stage 1: Planning

Description of the problem: Currently, the control of hiring at the University of Moa is managed by 3 specialists in legal advice. The process begins when the specialists receive the documentation to analyze the elements of a possible contract (supplier data). Once reviewed, they are sent for a ruling by those involved in the economic area, to determine whether the contract is feasible or not, then it is returned to the department's specialists, they prepare a ruling attesting to the veracity of the contract and then it is presented. along with the contract to be evaluated within a Financial Contracting Committee of which they are part, for due approval according to the need of the entity. Once approved, a file is created where the contract, supplement, client file and opinion are filed. To keep track of the status of the contracts, the

Microsoft Excel tool is used. Within that document, contract number, contract type, start and expiration date are stored. Once the contract has expired and you wish to increase the term of the contract, a supplement is made to extend its validity. In the planning phase, the priorities of each user story are established, with the client determining this priority. In the same way, the programmers estimate the necessary effort of each of them. With these arguments, a schedule is determined together with the client and agreements are made on the content of the first delivery (Letelier & Penades, 2012). User Stories (UH) are brief and simple descriptions of the requirements of the system to be built told from the perspective of a user or client of the system (Cohn, 2009). The solution presented has 18 UH. Next, in Table 1, the Hu manages contract is shown; it describes the actions that the legal specialists can carry out with respect to the contracts. It has a high development risk due to the importance of this functionality for the user; its implementation was estimated in an approximate period of 4 days.

Table 1: User Story: Manage Contract

User story	
Number: 3 User: Legal Specialists	User: Legal Specialists
Story Name: Manage Contracts	
Business priority: High	Development risk: High
Estimated points: 4	Interaction assigned: 1
Responsible programmer: Abrahan Macuma Ramírez	
Description: The system must allow inserting, modifying, deleting, listing and searching contracts	
Observations: To insert a contract, the contract types must first be inserted.	

Another of the artifacts obtained in this phase is the determination of the personnel related to the system: the administrator, in charge of managing the users who will have access to the system with their due authorization and the legal specialists for the management of the data related to the contracts and prepare the opinions. The XP methodology establishes that the projects are divided into iterations with an approximate time of 1 to 4 weeks (Beck & Fowler, 2001).

At that time, a set of specific functionalities is carried out that corresponds to the set of user stories punctured by the client according to their priorities. In the iterations plan shown in Table 2 describes the iterations to be carried out, with their respective user stories and their planning to be implemented in days.

Table2: Iteration plan

Iteration	Priority	HU	Total Time
First	Hight	Authenticate User Manage user Manage contract Manage contract type Show contract statuses	16 days
Second	Hight	Manage supplement Manage opinion Manage client	16 days
Third	Media	Manage authorized signature Manage account by client Manage organization Manage position Manage bank Manage bank account	15 days
Fourth	Low	Export to .pdf Contracts Export .pdf Supplements Export to .pdf Client file Export to .pdf Opinions	8 days
Total			55 days

Stage 2: Design

The design phase focuses on providing a system that meets the client's immediate needs (Carrasco Gonzaga, Ocampo Pazos, Ulloa Meneses, & Azcona Esteban, 2019). Software architecture is part of this process, it refers to planning based on models, patterns and theoretical abstractions when creating software, allowing us to know how each of the pieces will fit together (Openwebinars, 2022).

As part of the architecture used, it was decided to separate the border from the border. Keeping them independently and gaining comfort when developing each component and flexibility if you want to change any technology. In the Backend, the application programming interface (API) has developed in the NODE execution envi-

ronment; using Express as Framework to handle the requests to the different routes, and the Node Package Manager (NPM). In addition, the MySQL database manager was used. In the Frontend the entire part of the client is done with the Angular Javascript Framework and the Primeng Component Library. Components are developed that are user interface portions (IU) where the CSS, the HTML template, the class and the test file communicate with each other. Modules are also developed where the components that the application will use are declared or imported and there are also the services that are responsible for controlling the information, from obtaining it, storing it, updating it and sharing it with the components through the Angular Dependency injector.

The CRC cards (Class – Responsibility – Collaboration) are one of the artifacts that are developed in this stage, they allow the classes and their responsibilities to be identified (Batista, 2019). The Table 3 shows an example of the CRC cards of the developed system.

Table 3. CRC Card Manage Contracts

Class name: contracts	
Responsibilities	Collaborator
insert_contract ()	Contractemplate
modify_contract() delete_contract() list_contract() search_contract()	
delete_contract()	
list_contract()	
search_contract()	

The system database was created, which has 17 tables.

Stage 3: Implementation

To achieve the objectives of iteration it is necessary to know what the tasks that make up each UH are. They are the ones that will mark the process to meet their respective objectives and, consequently, of the iteration in particular and the system in general. These tasks are described as engineering tasks. (Meléndez Valladarez, Eliza-

both Gaitan, & Pérez Reyes, 2016). Table 4 shows the task of the engineering corresponding to the Insert Contract requirement. A system interface is shown in Fig. 2.

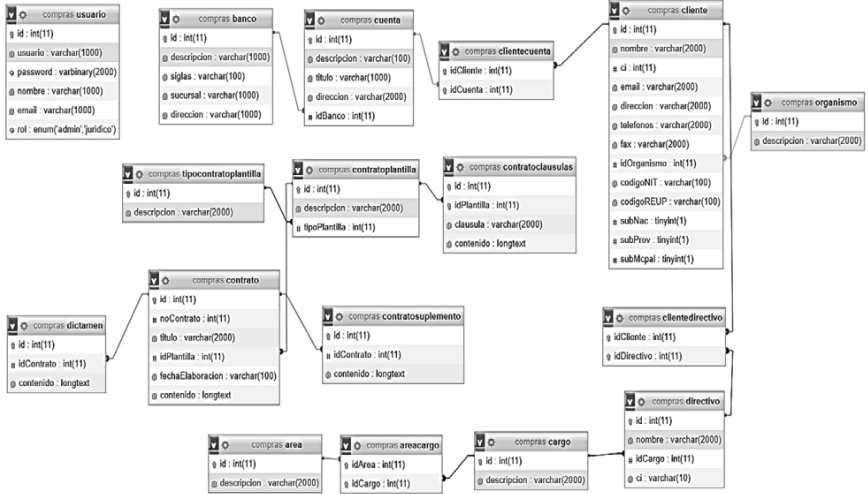


Fig. 1. Database design

Table 4. Engineering Task Insert Contract

Engineering Task	
Task Number: 1	Story Number: 2
Task Name: Insert Contract	
Task Type: Development	Estimated points:5
Start Date::04-4-2023	End Date:07-04-2023
Responsible: Abrahan Macuma Ramirez	
Description: Implement the insert Contract functionality	



Fig. 2. User Interface: Manage Contract

Stage 4: Testing

One of the pillars of the XP methodology is the use of the tests to verify the functioning of the codes that are being implemented. Acceptance tests are carried out to validate the different functionalities specified in user stories. Table 5 shows a sample one of the highest priority acceptance tests for the system.

Table 5 Acceptance Test 3. UH Manage contracts

Acceptance Test	
Code: UH 3-P1	User Story Name: Manage Contract
Name: Abraham Macuma Ramírez	
Description: The data of a contract is inserted, initially, then correctly to verify that the data is stored.	
Execution conditions: User must follow the steps and insert data or modify in the specified fields	
Entry/Execution Steps: The user must select “Insert contract” in the “Contracts” section on the main page, then provide the data in the displayed boxes, to modify he must select the contract shown in the list of contracts and in case of that you wish to delete, you must select the indicated box and apply the change.	
Expected Result: Since none of the mandatory data (marked with *) is entered in the form when the user presses the “next” button, then the system will not allow entry to the next tab of the form and the message will appear: “Please fill out the missing required fields (*).”	
Test evaluation: Satisfactory	

Conclusions. The use of theoretical and empirical methods made it possible to understand the behavior of the process to be computerized for the subsequent design of the application and its specifications. With the study and analysis of scientific documents, the tools and technologies to be used were selected taking into account their benefits and the characteristics of the company where the system is going to be implemented.

The application of the Agile XP Methodology allowed the project to be documented and facilitated the understanding of the functionalities to be implemented. A computer system was developed that manages the contract control process at the University of Moa, capable of providing a response in a short period of time for decision making.

Bibliography

1. Batista, J. (May 2019). linkedin. <https://es.linkedin.com/pulse/beneficios-del-uso-de-tarjetas-crc-jordy-mateo-batista>
2. Beck, K., & Fowler, M. (2001). Planning extreme programming. Addison-Wesley Professional.
3. Carrasco Gonzaga, M., Ocampo Pazos, W., Ulloa Meneses, L., & Azcona Esteban, J. (2019). HYBRID SOFTWARE DEVELOPMENT METHODOLOGY COMBINING XP AND SCRUM. <https://revista.uniandes.edu.ec/ojs/index.php/mikarimin/article/view/1233/814>
4. Cohn, M. (2009). User Stories Applied.
5. Letelier, P., & Penades, M. (2012). Agile methodologies for software development. https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=metedologia+xp&btnG=
6. Meléndez Valladarez, B., Elizabeth Gaitan, M., & Pérez Reyes, N. (2016). Agile Software Development Methodology Programming.
7. Openwebinars. (2022). Recovered in 2022, at <https://openwebinars.net/blog/arquitectura-de-software/>
8. Vidal Ledo, M. J., Carnota Lauzán, O., & Rodríguez Díaz, A. (2019). Higher Medical Education. Obtained from Higher Medical Education: <http://www.ems.sld.cu/index.php/ems/article/view/1745>

Рецензент: д.т.н., проф. И.Б. Арефьев

DIGITAL TRANSFORMATION IN HEALTH: WEB APPLICATION FOR ELECTRONIC MEDICAL RECORDS

Abstract. This work proposes to use Agile XP methodology in combination with free software tools to develop an innovative IT solution focused on healthcare in the municipality of Moa, Cuba.

Keywords: digital transformation in health; electronic medical record; Bootstrap framework; Java; XP methodology.

Introduction. Information and Communications Technologies (ICTs) have deeply impacted contemporary society, transforming the way we work, learn and communicate. Its incorporation in various sectors has become essential to acquire knowledge, develop efficient tools for information processing, and guarantee quality and satisfaction in services. eHealth, driven by ICT, seeks to improve the quality of medical care and promote health through the innovative use of technology. (Tenelema et al., 2018). In this context, the implementation of the Electronic Health Record (EHR) stands out as a key piece in the advancement and quality of medical care, allowing more effective management and improved access to clinical information (Morejón Palacio y González Rodríguez, 2022).

Cuba has been at the forefront of the computerization of society, with the transformation of medical services as a strategic priority (Fernández, 2019). In the current Cuban context, the municipality is viewed as a fundamental space for development, hence a national Local Development program has been established, closely following priorities established by the Government. In this sense, the Government of the Moa municipality has identified Digital Transformation among the key lines for the development of the territory.

A preliminary study of the HC management process in the municipal environment revealed deficiencies in the management of the information generated there. Through the exchange with medical personnel from the Family Medical Clinics (CMF) through interviews and a survey applied, it was possible to know that currently in the municipality of Moa, the management of the HC is carried out manually, all the data is collected and written directly on paper, therefore medical personnel face daily limitations of this type of physical support such as: the HC as it currently exists collects important documents that are sensitive to climatic conditions and with a high rate of deterioration because it is used paper as a support for persistence; accessibility: they can only be used by one person at a time; difficult organization: the basic organization of the HC in the CMF responds to the address of the patient's home, in this way it becomes very difficult for doctors to find relevant information in cases in which about health problems, applied treatments or medications, when These data are essential for the provision of medical services; lack of security: there is no record of who read, modified or made a copy of the documents; legibility: the handwriting presented by doctors has been the source of many problems, as it influences the quality of medical care by making different interpretations of their notes; low research potential: it is almost impossible to search through so many documents and extract the information necessary to carry out research on a population or for statistical analyzes of mortality, morbidity, epidemiological variables, use of materials, trends in certain populations, incidence of new diseases, etc. The aforementioned problems directly affect the organization and control of the HC in the areas of primary health care, that is, the CMF, since the processing and flow of the information handled is not carried out in an orderly, reliable and fast manner. thus limiting the enormous possibilities of obtaining new knowledge. The need to investigate was then imposed: How to promote the information management process of the patients' Medical Records in the Family Medical Clinics of the Moa municipality? When analyzing different IT solutions linked to EHR management available both internationally and in our country, it was

concluded that they did not fully or partially respond to the requirements posed by the client; It was then necessary to develop a web application to promote the management of patients' Clinical Records in the CMF, adapted to the needs and particularities of the municipality of Moa.

Methods. For the development of the research, scientific research methods collected in two large groups were used. Empirical methods that covered interview, observation, modeling, documentary analysis as well as induction-deduction: during the process of gathering requirements for software development. On the other hand, theoretical methods were applied and within them the analytical-synthetic methods and historical-logical method.

Development methodologies and tools. To develop any computer product it is necessary to use more than one technology or tools. That is why to carry out this research, current trends and technologies were studied, finally being chosen for the advantages offered by the tools that will be described below. XP was selected as a work methodology for the development of a computer system, since it is an agile methodology focused on enhancing interpersonal relationships as a key to success in software development, promoting teamwork, caring about the learning of developers, and promoting a good work environment (Maida y Pacienza, 2015).

Java: is a general-purpose object-oriented programming language. It is distinguished by being platform-independent software. Its main characteristics according to (Robledano, 2019) are: simple, multi-threaded, object-oriented, secure, cross-platform and high performance.

JavaScript: is a programming language that developers use to make interactive web pages. From updating social media feeds to displaying animations and interactive maps, JavaScript functions can improve a website's user experience (Gascón,2017).

HTML: is a markup language for creating web documents. It is based on the use of tags to define the format of the text, the different elements that make up the

page, their properties and layout, such as images, tables, text, videos and all kinds of elements (Gauchat, 2012).

Bootstrap Framework – is a cross-platform library or open source toolkit for site design and web applications. Contains design templates with typography, forms, buttons, boxes, navigation menus, and other HTML and CSS-based design elements. Among its main features are: it is easy and intuitive; compatible with all browsers and has a large community of developers behind the project (Vargas, 2022).

MySQL: is a database management system (DBMS) that according to (Oracle, 2019), is the most reliable and widely used open source database platform today. Highlights of this tool include: MySQL document store, transactional data dictionary, SQL functions, default to utf8mb4, common table expressions, window functions, and more.

Results and Discussion. The planning and design phases constitute the entrance to the application of the XP methodology. As part of its implementation in this project, the personnel related to the application was identified, with a total of 5 actors; the functional requirements included in the reserve list with a total of 71 functional requirements and the non-functional requirements represented by system characteristics, in this case 6 were identified; which will be automated through the use of user stories; the estimation of the effort in carrying them out and the establishment of the system iteration plan and its duration, the project delivery plan, the creation of the Classes-Responsibilities-Collaboration cards and the data model. The total number of cards made in the project was 13.

Data model. A data model is a “collection of conceptual tools for describing data, its relationships, semantics, and consistency constraints” (Silberschatz et al., 2006). There are two main models: relational and object-oriented.

We adopt the relational database model for modeling the system database (fig. 1).

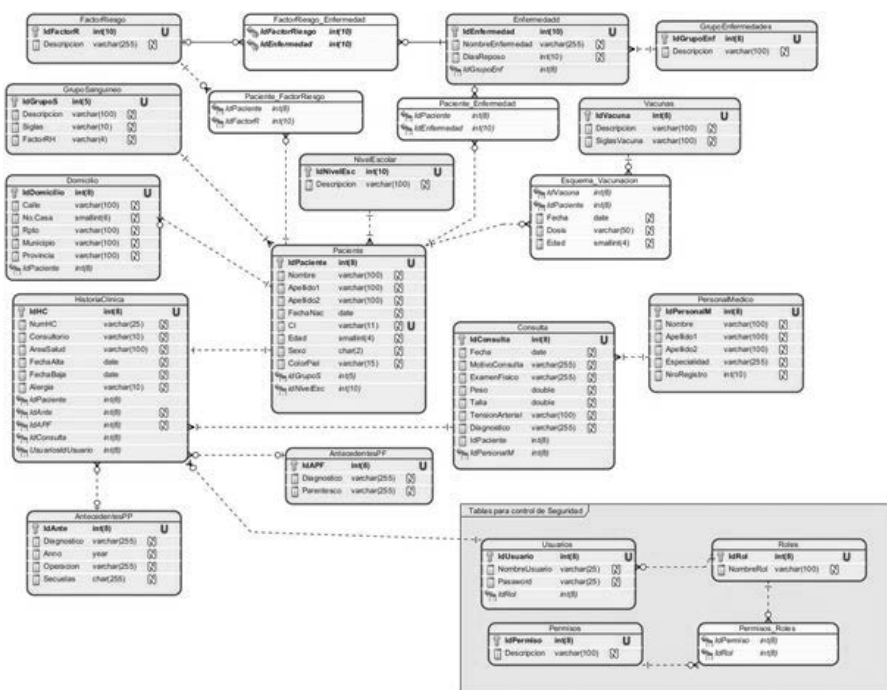


Fig. 1. Model of data of the system

Coding and Testing. After the Planning and Design phases were completed, Coding and Testing began in accordance with what is determined by the XP methodology.

The Model-View-Controller (MVC) was chosen as an architectural pattern in the construction of the web application because its characteristics of separating business logic and presentation provide benefits to the project in terms of decoupled organization, as well as faster and more efficient maintenance. simple of the applications. In the fig. 2 shows an one belonging to the interfaces of the developed system, the form to add vaccines.

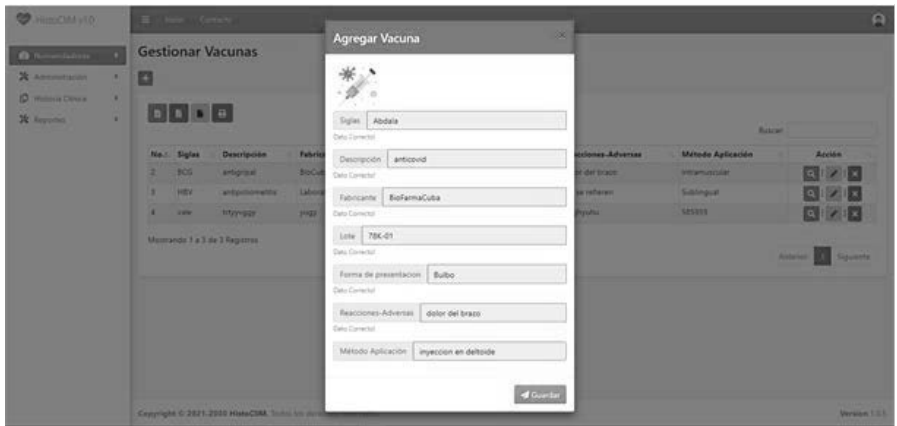


Fig. 2. Form to add vaccine

Tests. Acceptance tests in XP can be associated with the black box tests that are applied in the RUP methodology, only they are created from the HU and not from a list of requirements. To carry out the acceptance tests, the client used the template developed by the author of this work. It should be noted that all the acceptance tests carried out by the client were satisfactorily evaluated, since the expected results were obtained.

Conclusions. The study of the management of Medical Records in the CMF of Moa, Holguín, Cuba, revealed a manual process with deficiencies that hinder efficiency in the use of information. The development of a new system using the XP methodology involved the creation of models in different phases of software development. The general objective was achieved, creating a methodological framework and a web application for information management in the CMF of Moa. The tests carried out guaranteed the quality of the application, with satisfactory results. This work represents a significant advance in the management of Clinical Records, highlighting the importance of the methodological approach and successful implementation in a real health environment.

Bibliography

1. Fernández, Y. (2019) Hoja de consulta de Medicina Interna para el Sistema de Información Hospitalaria XAVIA HIS. Trabajo de diploma para optar por el título de Ingeniero en Ciencias Informáticas. Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana, Cuba
2. Gauchat, J. D. (2012). El gran libro de HTML5, CSS3 y Javascript. Primera edición. ISBN eBook: 978-84-267-1782-5. España. 354 pp.
3. Gascón, U. (2017). JavaScript, ¡Inspírate! [En línea]. [Consultado el: 12-1-2020]. Disponible en: https://www.academia.cu/39256807/JavaScript_Insp%C3%ADrate.
4. Maida, E. G., & Pacienza, J. (2015). Metodologías de Desarrollo de Software. Tesis Final de Licenciatura en Sistemas y Computación. Pontificia Universidad Católica Argentina Santa María de Los Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.
5. Moreno, C. F., Bolívar, M. E. G., & García, Á. J. (2016). Ca 4-108: El potencial de las TICs en la promoción de la salud 2.0. Enfermería docente, 1(106), 230-231.
6. Oracle Corporation. (2019). MySQL 8.0 Overview. <https://www.mysql.com/why-mysql/presentations/mysql-80-overview/>
7. Tenelema, D. A., Álvarez, M. S., & Pena, M. G. (2018). El rol de las tics en la reducción de la brecha para el acceso a la salud. ReHuSo: Revista de Ciencias Humanísticas y Sociales. e-ISSN 2550-6587. URL: www.revistas.utm.edu.ec/index.php. Rehuso, 3(2), 57-66.
8. Silberschatz, A., Korth, H. F., & Sudarshan, S. (2006). Fundamentos de bases de datos (5ª ed.). Madrid: McGraw-Hill. Pag. 1-18.
9. Vargas, E. (2022). Taller de Bootstrap. JVW-22_BT: Conociendo Bootstrap. Apunte electrónico. Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación. 40 pp.

Рецензент: д.т.н., проф. Арефьев И.Б.

**INFORMATION SYSTEM FOR THE REGISTRATION OF FUNDS FOR
MINOR PAYMENTS IN THE MECHANICAL NICKEL COMPANY (EMNI)
«COMMANDER GUSTAVO MACHIN HOED DE BECHE»**

Abstract. For the development of this research, the “Waterfall” software analysis and design methodology was used, the unified modeling language (UML) to present the system, as well as Microsoft Excel for its implementation.

Keywords: Information systems, Information collection techniques, Life cycle of Information Systems, Software Analysis and Design, Minor business payments.

Introduction. According to Dominguez (2012), an information system is made up of a wide variety of elements that interrelate with each other in order to support the activities of a company or business. In this research, this concept is applied in the Mechanical Nickel Company of the city of Moa, Holguin province of the Republic of Cuba “Commander Gustavo Machin Hoed de Beche” in order to obtain an accounting information subsystem intended for the registration and control of funds for payments minors. It was periodically carried out manually and caused the process to be slow, cumbersome and with inaccuracies.

The authors of this article agree with Pojuan, G., Leon, M., & Marti-Lahera, Y. (without date). when he states that a large number of variables and fields of interest come together in companies' information systems. Their importance lies in the fact that they constitute the backbone of the company, facilitating the entire decision-making system. Therefore, companies demand the presence of information systems that cover all their operations and deliver accurate information in a timely manner.

The solution described in this work fits into the field of Systems Theory. In it, an information system is defined as a system, automated or manual, that encompasses people, machines, and/or organized methods of data collection, processing, transmis-

sion and dissemination of data that represents information for the user (Blanco Encinosa, Lazaro Jesus, 2008). A particular contribution is offered by Fundora, M. L. (2020) when he states that the automation linked to the accounting process means that the organization is faced with a great possibility of progress in all senses, especially in the control, timeliness and veracity of the information. Therefore, the new proposal is conceived using Microsoft Excel. Application software constitutes isolated programs that solve a specific business need (Pressman, R. S. 2010). Among the types of application software most used in companies, we find ERP (Enterprise Resources Planning or Enterprise Resource Planning Systems), which integrates and allow the management of most business processes, such as production, inventory, invoices, accounting, costs and human resources, in modular way (Napoles, I. (without date.).

The best known in Cuba are: VERSAT-Sarasola, RODAS XXI, SISCONT5, CONDOR, the Exact Globe, ASSETS NS and the SAP, they constitute accounting systems that, although not completely ERP, favor the accounting of the transactions that take place in the companies in our country. The most used in the nickel industries in Moa, is the updated version SISTCONT 5 that allows to know more precisely the status of the accounting and finances of a company because they represent an entire universe that is beyond a list of numbers, income and expenses (Garcia, 2012).

The design of the module presented will be part of a Business Information System (ERP). It is characterized by being a computer tool that automates core corporate activities, such as: manufacturing, human resources, finance and supply chain management, incorporating best practices to facilitate rapid decision making, cost reduction and the greatest managerial control, as proposed by Camacho, H., & Fernandez, R. R. (2017).

Scientific problem to investigate. How to promote the registration and control of Funds for minor payments in the Mechanical Nickel Company (EMNI)?

Research Methods. For the selection and application of the research methods, the books published by Legra Lobaina, Aristides in 2018 and Hernandez Sampieri,

Roberto were used as a guide Fernandez Collado, Carlos; Baptista Lucio, Pilar in 1991.

Interviews: Interviews were conducted with all specialists who are related to the registration of Fund documents for minor payments in the entity.

Questionnaires: Questionnaires were conducted to the specialist B in Economic Management, to the technician B in Economic Management, to the accountants to find out the difficulties they faced daily to register the Funds documents for minor payments on a monthly basis.

Observation: The observation was carried out in the Economic Department to investigate the way in which the Fund documents for minor payments are recorded.

Document Studies: Accounting documents such as work orders and accounting closings were studied for a period of one year.

Results (Development). In the publication *Information Systems. Information and information systems planning*, (without date). Computer information systems are considered to be a subclass or subset of information systems in general, the business is described below and the system analysis is represented.

Business Description. The fund comes from the money in cash in the company's coffers; it is money that is used for expenses that cannot exceed a certain amount.

To register the fund documents for minor payments in the company, a process is followed that allows the expenses incurred to be controlled. To do this, a fund request form for minor payments is created, which must include basic information such as the name of the applicant, the date, the reason for the expense, the amount requested, among other information. Once the request is received, it must be authorized by a designated person in the company (this may be the company director, the economic director or another designated person). Once authorized, the requested amount is assigned to make minor payments, such as money for transportation, purchase of office supplies, payments to small suppliers.

Each time a minor payment is made from the allocated fund, the corresponding information must be recorded in the record book. This information includes the date, the beneficiary, the concept of the expense and the amount disbursed.

At the end of a given period, a fund reconciliation is performed to verify that the recorded expenses match the initial amount assigned and with proof of payments made.

After having carried out all the operations at the end of the month, it is printed, analyzed with the Economic Management Specialist B, the accountant and the Economic Management Technician A and filed.

Current System Analysis. Using the Unified Modeling Language (UML) Activity Diagram as a tool, Fig. 1 represents the operation of the current System (Booch, Grady, Rumbaugh, James. Jacobson, Ivar, 1999).

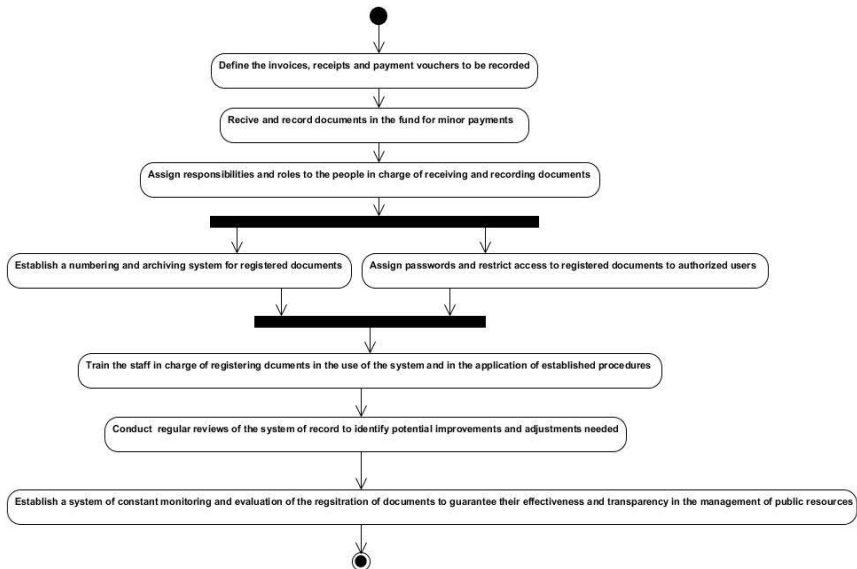


Fig. 1. Current System Operation

Fig. 2 shows the design of one of the forms of the current system, in which appear the elements associated with the surprise cash count.

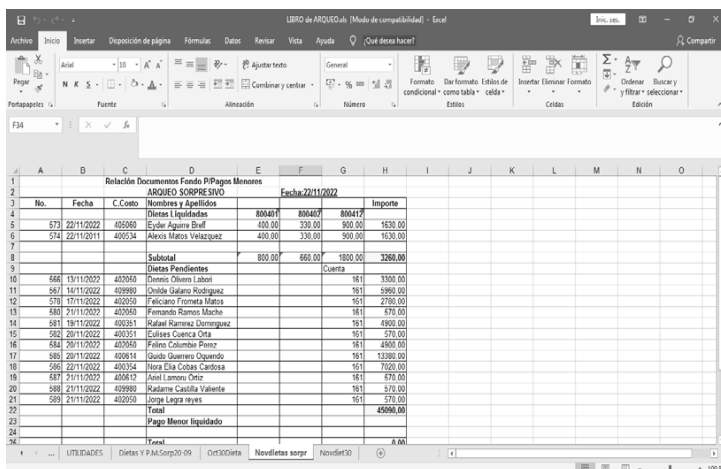


Fig. 2. Design of the Form for surprise cash counting

Table 1 below describes the events that reflect the interaction between the user and the system.

Table 1 Table of events for forms

What does the actor do?	What does the system do?
1. Open the created program.	Displays the Microsoft Excel window requiring the password.
2. Enter the password.	Shows the index of the information system created for the registration of documents for Funds for minor payments.
3. Press the Relationship Documents Funds hyperlink for minor payments.	Shows the spreadsheet where the end of month balance is found.
4. The liquidated and pending allowances for the month, and the smallest liquidated payment, are recorded.	Performs the automatic calculation by summarizing the total fund for minors for the month in a spreadsheet.
5. Press the save action.	Saves the captured information.
6. Execute the close option.	Close the program.

Conclusions. This work describes the implementation of an information system that allows processing data for the registration of documents related to the control of the Fund for minor payments and the systematic evaluation of information for decision making.

The use of Microsoft Excel for its design made it possible to speed up and make the process more precise; however, it is not included as another module in SISTCONT 5, which is classified as an ERP. Other tools and technologies are required to achieve this.

Bibliography

1. Blanco Encinosa, Lazaro Jesus. Information systems for the economist and accountant. Cuba: Editorial Felix Varela, 2008.
2. Booch, Grady. Rumbaugh, James. Jacobson, Ivar. The Unified Modeling Language User Guide. Rational Software Corporation. Addison-Wesley, 1999.
3. Camacho, H., & Fernandez, R. R. (2017). Business information system. Historical evolution and current events. University and Science, 3-4.
4. Dominguez Coutiño, Luis Antonio. Analysis of information systems. Third Milenio Network Editorial, State of Mexico. First Edition, 2012.
5. Fundora, M. L. (2020) Diploma work as an option for the Bachelor's degree in Accounting and Finance "Procedure for the Evaluation of the Accounting-Financial Information System at the UEB CUBACATERING VARADERO". Matanzas. University of Matanzas, Faculty of Business Sciences, Department of Accounting and Finance, 2020. 55 pages.
6. Garcia Arce, Anisley. Information System Coursework for Accountants "Design of an information system for Workforce Control", 2011-2012.
7. Hernandez Sampieri, Roberto. Fernandez Collado, Carlos. Baptista Lucio, Pilar Research Methodology. MCGRAW-HILL Publishing House, 1991.
8. Napoles, I. (without date). Computer applications, key pieces of computerization.
9. Information system. Information and planning of information systems. Available at: <http://code.pediapress.com/>.
10. Pojuan, G., Leon, M., & Marti-Lahera, Y. (without date) Information Systems: Principles and Applications. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/267941079>.
11. Legra Lobaina, Aristides A. Theoretical and practical elements of scientific-technological research. First Edition - July 2018
12. Pressman, R. S. (2010). Software engineering, a practical approach. Mexico: McGraw-Hill.

Рецензент: д.т.н., проф. И.Б. Арефьев

A SYSTEMATIC APPROACH FOR IDENTIFICATION OF A SURROGATE MODEL FOR ECONOMIC PERFORMANCE PREDICTION OF OIL RESERVOIR

Abstract. Injection wells often flood reservoirs with water to increase oil recovery. Controlling oil production during water flooding requires determining the best water injection rate. Even with strong processors, numerically simulating a reservoir with thousands of grid blocks takes time. However, inadequate model parameter information makes oil reservoir model-based economic optimization unpredictable. Standard identification assumes noise can manage model uncertainty. Using models estimated from the conventional identification procedure in robust control methods and applying them is difficult. This research employs frequency-based modeling to find a water flooding surrogate model for robust control. The surrogate model was used to model reservoir dynamics in the reservoir simulator after checking the excitation signal. We then made reservoir injection and production an economic production function. After system identification, the injection rate and economic production function are optimal. This approach is applied to the EGG reservoir model, a well-known international multi-input, multi-output oil reservoir, and yields efficient results for multiple reservoir permeability realizations.

Keywords: Systematic Approach, Oil Reservoir, Economic Performance, Surrogate Model

Introduction

System identification. Systems identification generates mathematical models of dynamic systems using measurements. For various reasons, dynamic systems can be mathematically described. Typical uses include simulation, prediction, fault detection, and control system design. A priori system knowledge can divide identity in several ways. Black-box modeling uses measurable data without system physics understanding to identify. In contrast, white-box modeling is pure physical system modeling. Grey-box modeling improves empirical modeling with system knowledge. In this work, we discuss black box modeling. Because generalizing gray-box models for nonlinear systems (reservoirs) is difficult. Accepting all prior information is impossi-

ble. A continuous-time system description is difficult to utilize, even with system understanding. System behavior information usually helps identify. It can reveal system order, slow or fast dynamics, sample frequency, stability, operating range, time delay, and nonlinearity.

Although all systems are nonlinear, most system identification literature concentrates on linear systems. Why? Many reasons. Some important ones are:

- Many systems can be described well by a linear model, and when it is not reasonable to use a single linear model for the entire range of operation, it is sometimes possible to identify different linear models for different regimes of the operating range.
- From a computational perspective, it is less complicated to perform.
- The analysis is less complicated from a statistical perspective.
- It is much simpler to design a controller from a system described by a linear model. Naturally, the last item on the list is of particular interest in this paper.

System identification procedure. When attempting to identify a model of dynamic system it is frequent practice to follow the below procedure:

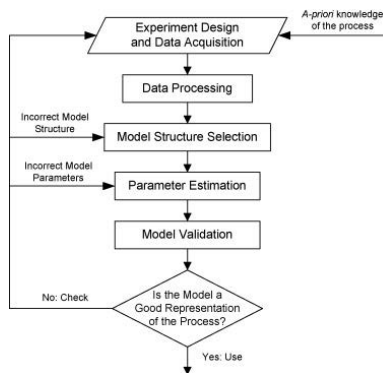


Fig. 1. The basic system identification procedure.

Mathematical models always approximate the real system, except for theoretical studies on exact modeling. In practice, system complexity, limited prior knowledge, and incomplete observed data prevent an exact mathematical description. Even with full system knowledge and sufficient data, an exact description is rarely desirable because the model would be too complex for an application. Therefore, sys-

tem identification is approximate modeling for a specific application based on observed data and prior system knowledge.

Experiment design: The experiment collects data on how the system behaves across its operating range. Try different inputs and see how they affect outputs.



Fig. 2. An input is applied to the system, and it is observed how the output is affected.

If the system to be identified is unstable or lightly damped, closed loop experiments may be needed. Sample frequency, input signal design, and data preprocessing are key experiment design issues. Data preprocessing removes noise, disturbances, and other unwanted effects.

Choice of model structure: Model structures contain candidate models. Overall, model structure selection is a two-part problem:

- Select a family of model structures considered appropriate for describing the system, e.g., linear model structure, wavelet, and Hammerstein models.
- Select a subset of the chosen family of model structures. In the family of linear structures this can for instance be an ARX (2, 3, 1) model structure where (2, 3, 1) signifies a time delay of one sampling period and that the present output depends on two past outputs and three past inputs.

Model Estimation. To estimate the model, Select one candidate model from the list. The best-performing model is usually chosen depending on criteria. It can be formulated in numerous ways, but it should relate to model use. For one-step ahead forecasts, most individuals chose the model with the minimum predicted squared error between observed outputs and predictions. Estimation is statistical model selection from a model structure.

Estimated models must be validated to fulfill requirements. Model indentation affects validation.

Paths from the validation block to previous stages imply iterative execution. You must determine numerous models, attempt different model architectures, and potentially repeat the experiment.

Surrogate Model. When a desired outcome cannot be directly measured, a surrogate model is used in engineering. Optimization, design space exploration, parame-

ter sweeping, and what-if analysis require accurate, physics-based simulation codes that are not always available or affordable. A single simulation on modern hardware can take hours, depending on the complexity. An inexpensive system approximation is needed to make such tasks possible.

We should present a black-box simulator to generate a global surrogate model that accurately and efficiently captures the system's complex behavior across the design space. This model can be used for optimization, sensitivity analysis, or simulation by an engineer. This study proposes a surrogate modeling technique for efficient optimization and design space exploration that reduces computationally expensive simulations. Figure (3) shows surrogate modeling.

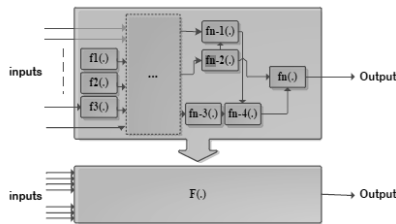


Fig. 3. Surrogate modeling concept.

IMPLEMENTATION AND APPLICATION EXAMPLE

Case Study. The ‘Egg Model’ is a synthetic reservoir model devised by Maarten Sandflies and Gijss van Essen for their PhD thesis (Sandflies, Bosgra, Jansen, Van den Hof, & Kraaijevanger, 2007 In the first stochastic model (J.-D. Jansen, Bosgra, & Van den Hof, 2008; Van den Hof, Jansen, Van Essen, & Bosgra, 2009), 100 discrete permeability fields are represented using $60 \times 60 \times 7 = 25200$ grid cells, of which 18553 are active Eggs model two-phase oil-water streams. Primary production is minimal in the model without an aquifer or gas cap; thus, water flooding produces eight injections and four production wells (Fig. 4).

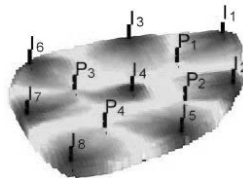


Fig. 4. Oil reservoir containing 8 injection and 4 production wells and under water flooding process.

Unfortunately, publication parameters are not the same. Production times, fluid parameters, grid cell sizes, and well operational limitations vary. Thus, J. Jansen et al. (2014) propose a "standard version" of the Egg Model as a test case for future publications. Table 1 provides standard model factors.

Table 1. Reservoir and fluid properties

Symbol	Variable	Value	SI unit	Symbol	Variable	Value	SI unit
h	Grid-block height	4	m	k_{rw}^0	End-point relative permeability, water	0.75	-
$\Delta x, \Delta y$	Grid-block length/width	8	m	n_o	Corey exponent, oil	4	-
Φ	Porosity	0.2	-	n_w	Corey exponent, water	3	-
C_o	Oil compressibility	1.0×10^{-10}	Pa^{-1}	S_{or}	Residual-oil saturation	0.1	-
C_r	Rock compressibility	0	Pa^{-1}	S_{wc}	Connate-water saturation	0.2	-
C_w	Water compressibility	1.0×10^{-10}	Pa^{-1}	P_c	Capillary pressure	0.0	-
μ_o	Oil dynamic viscosity	5.0×10^{-3}	Pa s	P_R	Initial reservoir pressure (top layer)	40×10^6	Pa
μ_w	Water dynamic viscosity	1.0×10^{-3}	Pa s	$S_{w,0}$	Initial water saturation	0.1	-
k_{ro}^0	End-point relative permeability, oil	0.8	-	P_{bh}	Production well bottom-hole pressures	39.5×10^6	Pa
k_{rw}^0	End-point relative permeability, water	0.75	-				

The egg model might have been executed utilizing diverse commercial and non-commercial simulators. In this thesis, we will use the MATLAB reservoir simulation toolbox for the implantation of an egg model. MRST will be open-source MATLAB-built software intended to fast prototyping and representation of new simulation techniques and modeling ideas in reservoir engineering (Lie, 2014).

Result and Discussion. A two-level technique has been presented for economic optimization and management of oil reservoir water flooding. At two different layers of this structure, physics-based reservoir model and resilient controller with linear model life-cycle optimization are conducted. Lower-level linear models are recognized via data-based system identification. This section builds surrogate reservoir models step-by-step utilizing system identification.

Experiment Design. As mentioned, the system identification technique begins with an experiment to collect data on the system's operation. If a representative model is needed for system identification, input-output data should include process dynamics. System identification requires selecting an input signal that excites the system to

gather data. The reservoir model is typical MIMO. A basic MIMO system identification strategy was used to identify input-output connections. Always, one input is an excitation signal and the other a constant. Excitation signals include step, impulse, pseudo-random binary, sinusoidal, and others. This paper selects a PRBS that generates a persistently exciting signal over a wide frequency range through trial and error. Thus, PRBS is generated using MATLAB routine input.

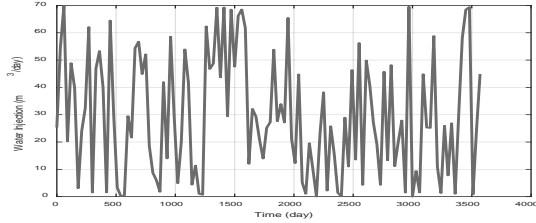


Fig. 8. Water injection profile

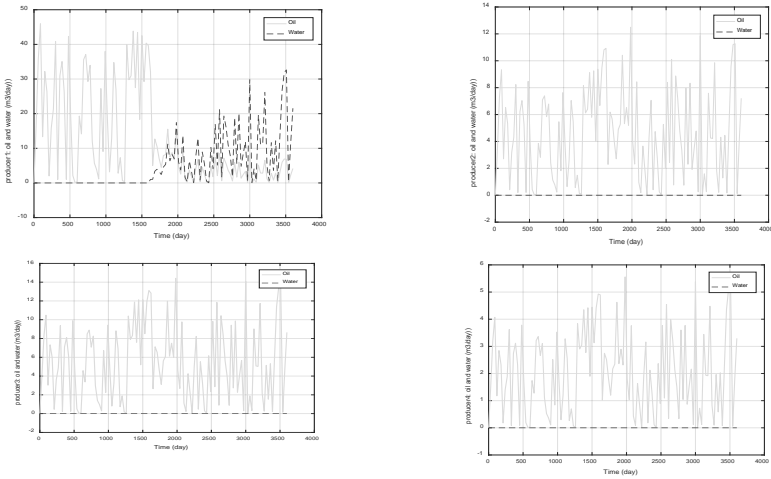


Fig. 5. Oil and water production profiles

This excitation signal overlays the optimal input signal to maintain economic performance. The model-based optimization in the following sections yields the optimal input. This input excitation for each injection well was considered in Figure 4.3 and applied to the MRST Egg model oil reservoir. Oil and water will be sampled during the oil reservoir simulation for later use. Figure 4.4 shows oil and water produc-

tion profiles.

Data Preparation. As illustrated, to construct a surrogate model, the desired output values corresponding to the applied input signals must be evaluated. In this thesis, the net present value as the desired output is considered. Net present value will be the distinction between the available value of cash income and the available value of cash outcome over a cycle of time. NPV is utilized in capital rationing to analyze the profitability of a projected investment. In the petroleum industry, produced oil and production costs will be integrated into this function to show the economic performance of the production process. In water flooding, production costs include water injection and produced water treatment costs. The NPV function is as follows:

$$J_k = \frac{-\sum_{i=1}^{N_{inj}} r_{wi}(q_{wi,i})k + \sum_{j=1}^{N_{prod}} [-r_{wp}(q_{wp,j})k + r_{op}(q_{op,j})k]}{(1+b)^{\frac{t_k}{dt}}} \quad (1)$$

Where $q_{wi,i}$ is the injected water, r_{wi} is the injected water Cost, $q_{wp,j}$ is the produced water, r_{wp} is the water treatment cost, $q_{op,j}$ is the produced oil, and r_{op} is the oil price.

The parameters such as b , dt , t_k , N_{inj} and N_{prod} is the discount rates, sample time, time instants and number of injection and production wells, respectively. To calculate surrogate output data, injection and production data are inserted to equation 1. Block diagram in Fig.7 illustrates this concept. Parameters value of NPV formula are introduced in table 2.

Table 2. NPV formula coefficient

Symbol	Definition	Value	Unit
b	Discount rate	0	-
r_{wi}	Water injection cost	5	$\frac{\$}{m^3}$
r_{op}	Oil selling price	80	$\frac{\$}{m^3}$
r_{wp}	Water treatment cost	10	$\frac{\$}{m^3}$

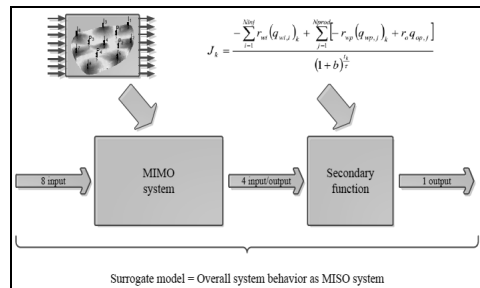


Fig. 6. Surrogate model concept

According to give the presentation the inputs and output variables could be:

$$u = [q_{winj1} q_{winj2} q_{winj3} q_{winj4} q_{winj5} q_{winj6} q_{winj7} q_{winj8}] \quad y = J$$

Model Estimation. Once the input and output variables are decided, the following step is to find the suitable model structure which can describe the reservoir dynamics best. The model structures used here are the transfer function linear models. First model order must be determined. During trial and error, the best model order for each input and output function has been specified. The general structure of a typical surrogate model has been identified, shown in fig. 8.

Now we identify the connection between each input and output; each time, one input is set to an excitation signal and the other is set to a constant. Table 3 represents a MISO model, which contains eight input-to-output connections. Note that all the models are identified using the MATLAB Simulink identification toolbox system.

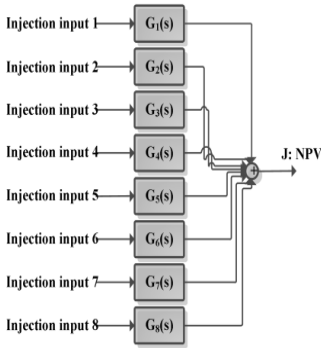


Fig. 7. MISO surrogate model structure

Table 3 - MISO surrogate model

	<i>Model</i>	<i>Fit Percent</i>
1	$G_1(s) = \frac{89.14}{s + 0.0002045}$	97.08%
2	$G_2(s) = \frac{88.36}{s + 0.0004144}$	96.01%
3	$G_3(s) = \frac{83.37}{s + 0.0001411}$	98.06%
4	$G_4(s) = \frac{85.54}{s + 0.00013}$	96.32%
5	$G_5(s) = \frac{92.31}{s + 0.0002211}$	95.11%
6	$G_6(s) = \frac{83.76}{s + 0.0001017}$	98.13%
7	$G_7(s) = \frac{84.28}{s + 0.0001027}$	97.79%
8	$G_8(s) = \frac{89.1}{s + 0.0001637}$	95.8%

Model Validation. After models are identified based on training data, they will be validated against a corresponding validation data set to evaluate their reliability and predictability for conditions that are not the same as their training. Model evaluation

Techniques are divided into two categories:

1. Simulation
2. Statistical analysis

This study will use both methods. Simulation compares actual output to simulated model output. This method relies on a graph, which can indicate model reliability.

One important statistical analysis method is correlation tests. Ideally, dynamic model residuals or prediction errors should not depend on inputs or previous residuals. Correlations between residuals and past inputs are a natural way to check dependencies. Given N input and residual data points. Equation (2) gives the input-residual cross-correlation function:

$$R_{u\varepsilon}(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N u(t)\varepsilon(t - \tau) \quad \tau = 1, 2, \dots \quad (2)$$

Thus, small cross-correlations indicate that the residuals and model output $y(t)$ contain no additional information from earlier inputs. The auto-correlation function can also be used to examine residual correlations. Equation (3) gives the autocorrelation function:

$$R_{\varepsilon}(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \varepsilon(t)\varepsilon(t - \tau) \quad \tau = 1, 2, \dots \quad (3)$$

As before, the auto-correlation function could determine if the residuals are white and therefore do not contain any useful information to improve model predictions. The methods' evaluations of the identified model are shown in figures 9 and 10.

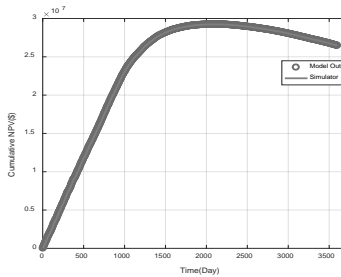


Fig. 8. Identified model output versus simulation.

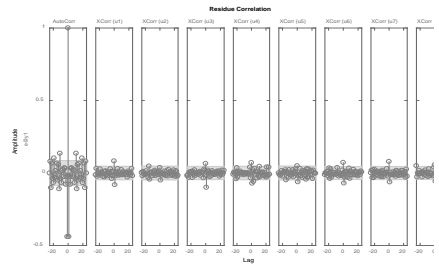


Fig. 9. Auto and cross-correlation functions related to identified model.

Conclusion. A system identification model based on frequency response was proposed for the modeling of water flooding processes in oil reservoirs. The proposed method initially produces the data required in the recognition phase through the ap-

appropriate design of the stimulation signal and consideration of the injected data, along with the intended economic function. In the next phase, the proper structure and grade of the model are selected based on simplicity and fitness. The model is then estimated using system identification toolboxes. The proposed model is further estimated using simulation and analysis. The finalized model is then applied to the modern control strategy.

The specific highlights concluded from this study are as follows:

I. A modeling approach based on framework theory is proposed for the waterflooding process in oil reservoirs.

II. The purpose of reservoir management can be pursued even when there is ambiguity, using the generated model.

III. An established methodology has been evaluated in the MRST setting using the EGG reservoir model.

Bibliography

1. Jansen, J.-D., Bosgra, O. H., & Van den Hof, P. M. (2008). Model-based control of multiphase flow in subsurface oil reservoirs. *Journal of Process Control*, 18(9), 846-855.

2. Jansen, J., Fonseca, R., Kahrobaei, S., Siraj, M., Van Essen, G., & Van den Hof, P. (2014). The egg model—a geological ensemble for reservoir simulation. *Geoscience Data Journal*, 1(2), 192-195.

3. Lie, K.-A. (2014). An introduction to reservoir simulation using MATLAB: User guide for the Matlab Reservoir Simulation Toolbox (MRST). *SINTEF ICT, May*.

4. Van den Hof, P. M., Jansen, J.-D., Van Essen, G., & Bosgra, O. H. (2009). Model-based control and optimization of large scale physical systems—Challenges in reservoir engineering. Paper presented at the Control and Decision Conference, 2009. CCDC'09. Chinese.

5. Zandvliet, M., Bosgra, O., Jansen, J., Van den Hof, P., & Kraaijevanger, J. (2007). Bang-bang control and singular arcs in reservoir flooding. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 58(1), 186-200.

Рецензент: д.т.н., проф. И.Б. Арефьев

© R.Y. Romero¹, O.L. Montero¹, G.E. Pardo², L.M. Izquierdo²

¹University of Moa «Dr. Antonio Núñez Jiménez», Cuba

²University of Oriente, Cuba

METHODOLOGICAL GUIDE FOR PROFESSIONAL SELF-IMPROVEMENT

Abstract. During the present research it was possible to establish the theoretical references of the object and its field; which allowed the design of a methodology guide for the professional self-improvement of the teacher mediated by the ICT in Virtual Teaching and Learning environment.

Keywords: EVEA: Virtual Teaching and Learning environment, Self-improvement.

Introduction. Currently, largely due to the development of Information and Communication Technologies (ICT) in the field of education, there is a great diversity of resources and learning assessment tools that teachers at all educational levels can use (Douglas, 2017; Fauzia, 2016; Lee, 2015; Losilla, 2017). This aspect opens not only possibilities, but also generates new challenges for educational institutions and, in particular, for teachers, who are in charge of planning, designing, developing assessment and making value judgments about student learning.

In observations made during the teaching-learning process at the University of Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez", difficulties are perceived in the evaluation activities carried out to students in the Virtual Teaching Learning Environment Moodle. The implications of the pandemic in Cuba caused a greater use of the Moodle Virtual Learning Environment to give continuity to the training process in universities; particularly in the University of Moa. The preparation of teachers in the EVEA Moodle does not contribute to a correct performance in it, so that they are able to face the demands of these times, in which the continuous updating of professional and technological knowledge is an indispensable premise for their good performance and therefore, for society.

Some of the activities carried out in the Moodle Virtual Teaching and Learning Environment in the closing of the 2019-2020 school year which was the first moment of extended use, had errors, leading to multiple consequences for students and teachers, especially with regard to the quality and effectiveness of the exams.

From this, some inadequacies have been observed:

1. Teachers are unaware of all the tools provided by Moodle to carry out evaluations.

2. They do not take advantage of all the possibilities that the platform can provide, especially in the realization of consultations, clarification of doubts, tutorials, debates on topics of interest of the subject, among other essential elements to promote an active and participatory dynamic in the training of the professional of this career.

3. Traditional methods of teaching and learning prevail in the evaluation, resulting almost null the use of the EVEA to evaluate the students.

In the evaluation carried out, several difficulties were detected in this sense, and the analysis could derive, among others, as possible causes: All this due to:

- There is a certain resistance on the part of teachers to the use of new technologies in the evaluation of the teaching-learning process.
- Limited knowledge on the part of teachers of the possibilities that EVEA can offer them for their personal or professional development.
- Insufficient digital and didactic skills on the part of teachers to use and elaborate the different assessment activities in the Moodle Virtual Teaching and Learning Environment.

The above reflections allowed us to determine the following scientific problem:

How to favor the performance of teachers in the evaluation of student learning in the Moodle Virtual Teaching and Learning Environment of the University of Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez"?

Based on the above, this research proposes as a general objective: To elaborate a methodological guide to favor the professional self-improvement of teachers of the

University of Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez" for the evaluation of students' learning in the Moodle Virtual Teaching and Learning Environment.

Development. Evaluation Process in a Virtual Teaching and Learning Environment. Many teachers still consider that content is the aspect they attach most significance to the realization of quality virtual learning environments (Boumadan, 2020). On the other hand, if the e-activities designed by the teacher are of the collaborative type, this has a beneficial impact on increasing motivation in the student and decreasing the level of frustration (Gómez-Rey, 2018).

Although assessment in virtual environments requires new approaches (Naidu, 2003) and paradigms (Tirado, 2016), it is considered that the basic assumptions should be preserved, among which the following stand out: (1) it should be thought of as a support for learning; (2) it should be a means to identify successes, difficulties and project improvement actions; and (3) it should be continuous, flexible, holistic and comprehensive. In addition, it is called to be diverse in its instruments; also to guide and enable the development of specific and cross-cutting skills and competencies and, perhaps most importantly, to favor the construction of subjects with a high sense of autonomy and self-regulation.

Finally, the evaluation carried out through e-activities, due to its diversity, allows evaluating competencies related to the teaching activity. In this sense, the study and analysis of them is relevant because the level that teachers usually possess in digital competence is low (Dzikite, 2017). Therefore, it is essential to establish specific lines of training action adapted to the professional context in which teachers carry out their work. Reducing this training deficiency will allow a correct use of technology in teaching-learning scenarios, where the selection, creation and modification of e-activities is a fundamental competence (Guillén-Gámez, 2020).

Proposed Solution. Methodological Guide to favor the performance of teachers in the elaboration of evaluations in EVEA Moodle.

The evaluation of learning processes is often identified with the so-called formative evaluation, which purpose is linked to the improvement of teaching and learning.

The evaluation of learning processes requires that what is to be evaluated and how it is to be evaluated be clearly established.

Regarding the first question, it can be said that during the process the development of the different capacities proposed in the objectives is evaluated. For example:

- Understanding of the concepts based on the practice.
- Mastery of procedures.
- The ability to solve problems.
- The ability to reflect on one's own practice and the criteria that guide it.
- Oral and written communication skills.

Once the question of what to evaluate has been defined, it is necessary to ask oneself about the type of situation and the techniques considered most appropriate for inquiring about what has been selected. For example, procedures can be observed directly in the context of the learning situation. The same applies to the quality of a product, the ability to communicate effectively and participation in group work.

In order to know the criteria and foundations with which the student acts, it is necessary not only to observe his or her performance in different situations, but also to ask questions linked to reflective practice. Or, among other alternatives, to pose problems in order to analyze the proposed solution.

The selection of a particular type of instrument is part of the decision-making process carried out by the teacher during the planning and development of the evaluation. This process includes:

- The technique and instrument used; the task proposed to the student (the cognitive demand it implies, its degree of complexity, its relation to real life and professional practice);
- The conditions for its resolution (individual/group, in the classroom/outside the classroom, immediate delivery/deferred delivery);
- The degree of explicitness of the rules and evaluation criteria.

Evaluation in Moodle. Moodle makes available a set of tools that will help the teacher in the monitoring and evaluation of the students.

The teacher will use these tools at different moments of the formative action:

During the course design:

- In the configuration of the course
- In the design of the activities. In configuring the evaluation of the activity (measurement scale used, conditional activity).
- In the implementation of evaluation activities in the course, such as questionnaires, workshops, etc.

During the implementation of the course:

- In the evaluation of the activities.
- In the follow-up of the students and evaluation of their participation.
- Students will be able to access their marks and the comments made by the teaching staff.

Description. In an online course it is not enough to describe the activity to be carried out, but the activities must also have information that can be used by the student as a guide to help and orientate him/her in the development of the activity.

Some of the issues to keep in mind in this guide are:

- State the objective of the activity and the expected results of the activity.
- Explain the context in which the activity will take place.
- Describe the modality of participation (individual, group, collaborative) and how it will be managed.
- Clearly specify the process to be followed to carry out the activity.
- Indicate the different resources that students can use in the development of the activity.
- Inform about the time limits in which the activity must be carried out.
- Specify how to send the activity to the teacher and the format in which it should be presented.
- To propose the system of evaluation of the activity and the criteria that will be taken into account both at the level of knowledge and skills and attitudes that are considered desirable.

The selection of activities is one of the most important tasks for the instructional designer, reflecting on their function in the learning process and the criteria to be considered:

- What activities are most meaningful to the learner?
- What are the most usual or important activities in the scientific and thematic field of the course?
- Through which activities can we develop different types of capabilities in the students?
- What activities are best suited to the characteristics of the students?
- Which activities are the most motivating for the student?

Taking into account what each activity is used for in the EVEA and its function within formative learning, the following is proposed:

The following table 1 presents synthetically the aspects to be considered to develop the what, how to evaluate and with what to evaluate.

Table 1. The what, how to evaluate and with what to evaluate

What do we evaluate during the process?	How do we evaluate?	What instrument or activity can be used to assess?
Understanding of the concepts based on the practice.	Presentation of situations. Questions and examples	Homework, glossary, wiki, questionnaires.
Mastery of procedures	Observation (lists and scales).	Homework
Ability to reflect on one's own practice and the criteria that guide it.	Reflective dialogue	Forum, lesson
Resolution of incidents or problems	Observation. Reflective dialogue	Homework
Different types of skills	Observation (Lists and scales)	Depending on how the activity is configured.
Ability to communicate effectively in oral or written form.	Observation. Resolution of situations and registrations	Forum, homework, chat
Participation in group work	Portfolio	Portfolio

First steps. You should generate the didactic evaluation matrix for your subject, based on the following aspects:

- General objectives (The general objectives constitute the didactic goals of the subject content).

- Matrix nuclei for the generation of questions (The matrix nucleus is the key question (mother of many other secondary and tertiary questions) that foresee the evaluation of the objective, and that guarantee the support of the bank of questions of the subject.

- Type of question (depending on the design you want for the exam)

- Questions (These will be those designed from the previous Matrix nucleus.

You can create sub-questions from a parent question.

Why to develop the Question Bank?

The correctly elaborated Question Bank allows the teacher to optimise time when designing an exam, and also guarantees that with the option of adding random questions, different combinations are generated for each student. The more questions added, the more possible combinations the EVEA algorithm generates.

How to insert the Question Bank?

To insert a Question Bank, first of all, the objectives to be assessed by Topic have to be defined. They must be grouped by Categories.

Once the objectives have been defined, they must be translated into categories of questions. Even sub-categories.

In order to carry out an evaluation, it is first necessary to define the ideal resource for the evaluation. The following elements need to be clear:

1. What content/objective/skill are we going to evaluate, and which category does it fall under in the question bank?

2. Does the bibliography given to the student include the content to be assessed in the theoretical questions?

3. What type of questions will we design to assess each content?

4. How much time are we going to give them to solve the exam? It should be enough time to allow you to answer all the questions. As they are added randomly, this factor should be well thought out.

5. How are we going to code the exam key? On this element it is necessary to point out that you give a value to each question you add to the exam and EVEA calculates the maximum grade you set based on the weight each question has.

6. The feedback we will give you. This is important to determine as in some exams it is not advisable to give you the correct answers once the exam is over as they may socialize the answers.

7. Which questions should be random and which can be obligatory answered?

Exemplification of the selected activities. The activity has been developed using the Moodle platform version 3.11, which is generally accessible to teachers at the University of Moa. Therefore, the teacher previously has a course that is either already activated or is newly created as a support for a specific subject.

Once inside the course, the editing of the course will be activated, in the blue rectangle located in the upper right part of the window, which will go to the "deactivate editing" status. The next step is to click on "Add an activity or resource", in that section or topic of the course in which you want to place the evaluation activity. In the example given, it has been placed at the beginning of the course because the task that the students were asked to do was to assess a final activity of the subject, but if the activity is designed in relation to a certain topic it can be configured in the block of the topic, i.e. the position of the activity will depend on the type of assessment that I am going to take into account and the form of assessment. When you click on "Add an activity or resource" a window appears, which may vary depending on the version, to select the type of activity or resource you want to include. Select the desired activity and click on "Add". Then the activity is configured and finally the sending phase is configured.

Conclusions:

- Assessment in virtual environments is a systemic process that forces the teacher to review the pedagogical model that underpins his or her training activity.
- The Methodological Guide for e-Assessment is a resource and an aid for university teachers in the planning or focus of the assessment process in a subject, matter or part of it.
- It is a tool that technically and methodologically supports the self-improvement of teachers in the evaluation in EVEA Moodle, and therefore aims to

help teachers to resolve doubts and take into account aspects that will arise with the implementation of the same.

- It constitutes an instrument of great value for the standardization of teachers' work in relation to the design, execution and control of a system of integrative teaching tasks.

Bibliography

1. Boumadan, M., Soto-Varela, R., Ortiz-Padilla, M., y Poyatos-Dorado, C. (2020). What Factors Determine the Value of an Online Teacher Education Experience from a Teacher's Perspective? *Sustainability*, 12, 8064. (2020). What Factors Determine the Value of an Online Teacher Education Experience from a Teacher's Perspective? *Sustainability*, 12, 8064.

2. Douglas, K. A., Diefes, H. A., Bermel, P., Madhavan, K., Hic-ks, N. M. y Williams, T. V. . (2017). Nsf Prime project. Contextualized evaluation of advanced Stem MOOCs. *ASEE Annual Conference & Exposition*.

3. Dzikiite, C., Nsubuga, Y., y Nkonki, V. . (2017). Lecturers' Competencies in Information and Communication Technology (ICT) for Effective Implementation of ICT-Integrated Teaching and Learning in Textiles and Clothing Degree Programmes. *International Journal of Educational Sciences*, 17(1-3), 61-68.

4. Fauzia, N., Rohendi, D. y Riza, L. S. . (2016). Implementation of the Cellular Automata Algorithm for developing an educational game. *2nd International Conference on Science in Information Technology (ICSITech)*. 169-174.

5. Gómez-Rey, P., Barbera, E., y Fernández-Navarro, F. (2018). Students' perceptions about online teaching effectiveness: A bottom-up approach for identifying online instructors' roles. *Australasian Journal of Educational Technology*, 34(1), 116-130.

6. Guillén-Gámez, D., Ruiz-Palmero, J., Sánchez-Rivas, E., y Colomo-Magaña, E. (2020). ICT resources for research: an ANOVA analysis on the digital research skills of higher education teachers comparing the areas of knowledge within each gender. . *Education and Information Technologies*, 25, 4575-4589.

7. Lee, M. M. y. R., T. H. (2015). MOOCs and open education: The unique symposium that led to this special issue. *International Journal on E-Learning: Corpo-rate, Government, Healthcare, and Higher Education*, 14(3), 279-288.

8. Losilla, F. (2017). A web-based design and assessment tool for educational wireless networking projects. *Computer Applications in Engineering Education*, 25(6) 992-1000.

9. Naidu, S. (2003). Learning and teaching with technology. Principles and practices. Routledge.

10. Tirado, F., Backhoff, E. y Larrazolo, N. . (2016). La revolución digital y la evaluación. Un nuevo paradigma. . *Perfiles Educativos*, 38(152), 182-201.

Рецензент: д.т.н., проф. И.Б. Арефьев

APPLICATION OF ANALYSIS METHODS TO IDENTIFY THE SIGNIFICANCE OF THE FACTORS OF ACCIDENTS AT AUTOMATED GAS DISTRIBUTION STATIONS

Abstract. An analytical approach to problem solving can take into account the influence of factors. The article presents the results of calculation by the method of a priori ranking of factors to identify the significance of the factors of accidents at automated gas distribution stations (GDS) and the possibility of their prevention. The importance of the study is to determine the causes of accidents in order to study them and minimize losses at enterprises using automated GDS for gas transportation and distribution.

Keywords: gas, natural gas, blue fuel, factor ranking, analysis.

Introduction. Russia is currently the world's largest producer and exporter of natural gas. As natural gas is used in various applications, from large industrial facilities to private flats, the problem of optimal transport becomes an urgent issue. Gas distribution companies have to ensure cost-effective and safe gas distribution. This raises the question of minimising accidents at automated gas distribution stations (GDS), as there are high losses due to accidents.

In recent years, large gas distribution companies have been using automated GDSs for gas supply. In this article the most important factors of accidents occurrence will be identified.

The application of analysis methods is relevant and actively used in various fields of research. For example, in the development of a robotic complex for the manufacture of construction parts [1], in the exploration of logistical issues related to mineral complexes [2], in assessing the reliability of data transmission systems [3], in determining economic indicators [4], and in examining temperature fields within reservoirs of mineral water deposits [5], in the energy of coal mines [6], in the design of

control systems of production wells [7], for the optimisation of production processes [8], to evaluate how indicators influence the chemical composition of water [9].

Text of the article. In the development of new technological processes or during the investigation of accidents, it is essential to filter out trivial factors and pinpoint the significant ones that exert the most substantial influence. These significant factors then undergo more in-depth scrutiny for further analysis.

Enterprises spend large sums of money on the implementation of automated gas distribution stations. Reliable and uninterrupted operation of gas regulating equipment is achieved through the use of automated control system of gas regulating stations. Efficient control, reliability and technological equipment, reduction of operating costs - these are the main advantages of implementing the GDS automation system.

The potential damage resulting from an accident at a gas distribution station is difficult to fathom, underscoring the critical emphasis on adhering to industrial safety requirements and standards. It is imperative for the management of the operating organization to implement robust measures to proactively mitigate the risk of emergencies.

To identify the most significant causes of accidents at automated gas distribution stations we use a priori ranking of factors.

Let us consider the main causes of accidents and denote each by a number (X_n):

- Mechanical damage to underground (X_1) and aboveground (X_2) gas networks caused by third party companies operating at the location of the pipeline. Companies engage in activities without possessing the requisite license, experience, and qualified specialists. The consequence of such actions is a compromised gas pipeline, leading to subsequent explosions.

- Breach of construction norms for gas pipelines (X_3) is a critical issue. Bends in the gas pipeline pose a particular hazard, as they gradually generate a stress-strain state, ultimately resulting in the diminished strength of the pipe and the metal overall.

- Corrosion damage of external gas pipelines (X_4).

- Fractures of welded joints (X_5).

- Damage to gas pipelines due to natural phenomena (X6).
- Pressure increase after gas distribution points (X7).
- Equipment and pipe manufacturing faults (X8).

The assessment of each factor's contribution is determined by the assigned rank-place value provided by specialists during the ranking of all factors. These rank-place values reflect the perceived influence of each factor in the overall evaluation.

Four specialists took part in this survey. The results of the influence of the selected factors on the occurrence of accidents are presented in Table 1.

Table 1. Rank matrix

Researcher	Ranks by factors								T _j
	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	
1	1	24	6	4	8	4	7	2	24
2	4	0	2	1	7	4	8	6	24
3	1	6	6	2	7	4	8	5	0
4	2,5	T _j	5	1	8	4	6	7	6
Rank sum	8,5	13,5	19	8	30	16	29	20	
Deviation of the sum of ranks from the average sum of ranks	-9,5	-4,5	1	-10	12	-2	11	2	
Deviation squared	90,25	20,25	1	100	144	4	121	4	

Let's process the results and calculate the necessary parameters.

For each factor we will find the sum of ranks $\sum_{j=1}^m a_{ij}$, where m is the number of interviewed specialists; a_{ij} – the rank of the factor under the number i , assigned by the specialist under the number j .

Let us show the change in the rating of each factor in relation to the overall average:

$$\Delta_i = \sum_{j=1}^m a_{ij} - \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m a_{ij} \quad (1)$$

where Δ_i – deviation of the sum of ranks of the factor under the number i from the average sum of ranks; k is the number of factors; $\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m a_{ij}$ – average sum of ranks.

Let us evaluate the degree of consistency of the opinions of the surveyed specialists. This evaluation helps gauge the agreement or divergence in their perspectives. For this purpose, the concordance coefficient W is used. In this case, there are "related" ranks, and the concordance coefficient is calculated by the expression:

$$W = \frac{S}{\frac{1}{12}m^2(k^3 - k) - m \sum_j T_j} \quad (2)$$

Where:

$$S = \sum_{i=1}^k \Delta_i^2 \quad (3)$$

$$T_j = \frac{1}{12} \sum_u (t_u^3 - t_u) \quad (4)$$

where u is the number of groups formed by factors of the same rank in ranking number j ; t_u - number of identical ranks in the group under the number u of ranking number j .

In this study, $S = 484,5$; $W = 1,0625$.

It was found that at $k > 7$ the value of W obeys the χ^2 -distribution with the number of degrees of freedom $f = k - 1$.

To establish the significance of the concordance coefficient W , Pearson's criterion is applied:

$$\chi_c^2 = m(k - 1)W \quad (5)$$

In this paper $\chi_c^2 = 29,75$.

At 5% level of significance ($\alpha=0.05$) and number of degrees of freedom $f = k - 1 = 8 - 1 = 7$, the tabulated value of χ^2 - criterion is 14.07.

The hypothesis that there is agreement of opinions of the interviewed specialists is accepted if $\chi_c^2 \geq \chi_t^2$.

It can be seen that this condition is fulfilled.

Figure 1 illustrates the ranking chart for this example. The colored section of the diagram indicates the degree of influence of factors on the value being studied. The influence of a factor on the value being studied is assessed by the sum of its

ranks: the smaller the sum of ranks, the greater the influence on the value being studied.

This ranking diagram serves to identify the most influential factors and eliminate those with insignificant influence.

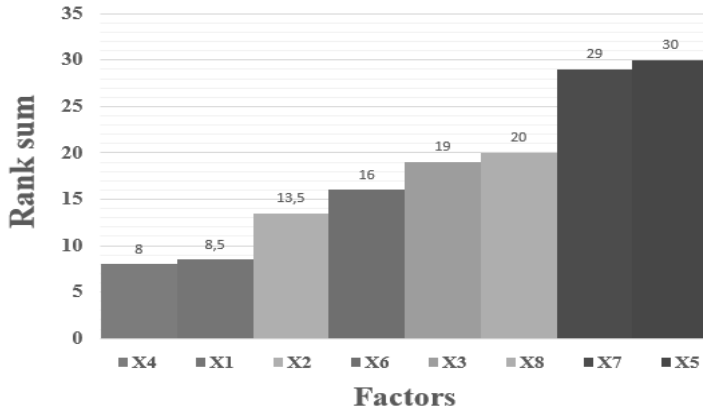


Fig.1 Rank diagram

It can be seen that, according to experts, the causes X4 (corrosion damage of external gas pipelines) and X1 (mechanical damage to underground gas networks caused by third-party companies) have the greatest influence on the occurrence of accidents at automated gas distribution stations, and the causes X7 (pressure increase after gas distribution points) and X5 (rupture of welded joints) have the least influence.

This result shows that human factor and regular diagnostics of gas networks have a great influence.

The financial constraints faced by certain organizations, preventing them from conducting regular inspections and implementing necessary reconstructions in their gas supply systems, constitute a significant challenge. This limitation is a primary factor contributing to the continued operation of gas pipelines, with some sections surpassing the maximum allowable regulatory lifespan.

The study showed the most relevant vector for solving problems related to accidents at automated GDSs.

Bibliography

1. Olga Afanaseva, Timur Tulyakov, Daniil Romashin and Anastasia Panova (2023). Development of a Robotic Complex for the Manufacture of Parts Used in Civil Engineering. *Engineering Research Transcripts*, 3, 51–58.
2. Mikhail Afanasyev, Dmitry Pervukhin, Dmitry Kotov, Hadi Davardoost, Anna Smolenchu. System Modeling in Solving Mineral Complex Logistic Problems with the Anylogic Software Environment. *Proceedings of XIII International Conference on Transport Infrastructure: Territory Development and Sustainability*, 26 October 2022 .- Irkutsk, Russian Federation, *Transportation Research Procedia*, 68 (2023).pp. 483–491.
3. Dagaev A., Pham V.D., Kirichek R., Afanaseva O., Yakovleva E. (2022). Method of Analyzing the Availability Factor in a Mesh Network. In: Vishnevskiy, V.M., Samouylov, K.E., Kozyrev, D.V. (eds) *Distributed Computer and Communication Networks. DCCN 2021. Communications in Computer and Information Science*, vol 1552. Springer, Cham.
4. Bochkov, A., Pervukhin, D., Grafov, A., Nikitina, V. Construction of Lorenz curves based on empirical distribution laws of economic indicators *Mathematics and Statistics*, 2020, 8(6), pp. 637–644.
5. Martirosyan Alexander Vitalievich , Ilyushin Y. . Modeling of the Natural Objects' Temperature Field Distribution Using a Supercomputer Informatics. 2022. №9. pp. 1-9.
6. Martirosyan Alexander V. , Ilyushin Y. V. The Development of the Toxic and Flammable Gases Concentration Monitoring System for Coalmines Energies. 2022. №15.
7. Pershin Ivan M. , Papush E. G., Kukharova T. V., Utkin V. A. Modeling of Distributed Control System for Network of Mineral Water Wells Water. 2023. №15. pp. 1-14.
8. Pershin I M , Kukharova T. V., Tsapleva V. V. Designing of distributed systems of hydrolithosphere processes parameters control for the efficient extraction of hydromineral raw materials *Journal of Physics: Conference Series (JPCS)*. 2021. №1728. pp. 1-6.
9. Ioskov Gerold Vladimirovich , Kolesnichenko S.. V. V., Yushkova E. A., Asadulagi M. M. Regression multifactor analysis of the influence of flow rate indicators on the change of chemical composition of mineral water of Kislovodskoye deposit *Modern Science and Innovations*. 2018. №2. pp. 56-60.

Рецензент: д.т.н., проф. В.Е. Трушников

©П. М. Афанасьев¹, А. А Чичеринда²

¹ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота
имени адмирала С.О. Макарова», Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы
Екатерины II», Российская Федерация

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ПРОЦЕССОВ

Аннотация. Разработка новых продуктов, услуг или технологий требует тщательного анализа и тестирования. Имитационное моделирование предоставляет возможность "протестировать" нововведения ещё на стадии проектирования, значительно сокращая время и ресурсы, необходимые для внедрения инноваций. В статье рассмотрены примеры применения методов имитационного моделирования для исследования сложных процессов.

Ключевые слова: имитационная модель, моделирование, программные инструменты.

Введение. Имитационное моделирование (ИМ) представляет собой инструмент анализа, позволяющий воссоздавать и изучать поведение сложных систем в условиях, когда прямые эксперименты слишком дороги, опасны или невозможны [1,2]. Оно позволяет анализировать сложные системы, учитывая множество переменных и их взаимодействия, что является проблематично для классических аналитических методов.

Имитационные модели могут служить эффективным обучающим инструментом, позволяя специалистам на практике изучать особенности управления сложными системами, анализировать последствия принимаемых решений в безопасной и контролируемой среде [3-5]. На рис.1 приведены основные направления применения методов ИМ.

Таким образом, применение методов имитационного моделирования для исследования сложных процессов является актуальным и перспективным

направлением, способным принести значительную практическую пользу в различных областях науки и практики.

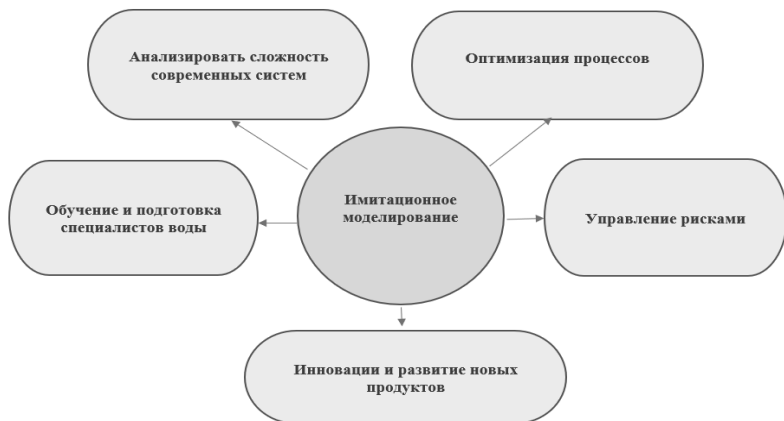


Рис. 1. Направления применения методов имитационного моделирования

Программные инструменты для имитационного моделирования.

В области имитационного моделирования существует множество программных инструментов, каждый из которых обладает уникальными особенностями и предназначен для решения специфических задач. Рассмотрим основные из них.

AnuLogic — один из ведущих инструментов для мультипарадигмального моделирования, поддерживающий системно-динамическое, дискретно-событийное и агент-ориентированное моделирование. На рис. 2. Приведён пример моделирования работы Петербургского нефтяного терминала с применением метода имитационного агентного моделирования.

Simul8 предлагает возможности для дискретно-событийного моделирования, позволяя пользователю легко создавать визуально насыщенные и интерактивные модели процессов. Особенно подходит для моделирования производственных процессов, работы систем здравоохранения и обслуживания клиентов.

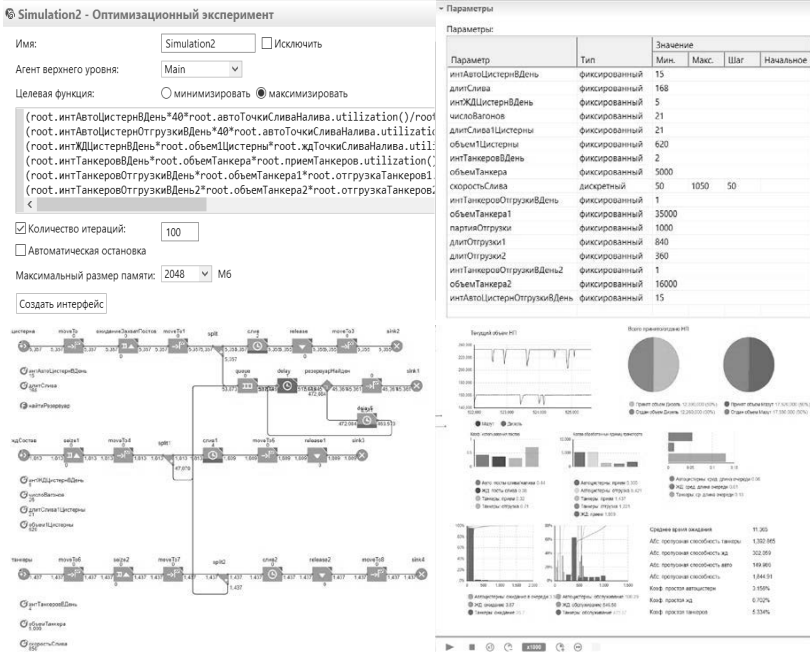


Рис. 2. Пример моделирования в среде AnyLogic

MATLAB Simulink предоставляет среду для моделирования, симуляции и анализа динамических систем, включая системы с непрерывными, дискретными и смешанными сигналами. Simulink – это графическая среда имитационного моделирования, позволяющая при помощи блок-диаграмм в виде направленных графов, строить динамические модели, включая дискретные, непрерывные и гибридные, нелинейные и разрывные системы. На рис. 3 приведён пример модели многоканальной СМО с ограниченной длинной очереди в Simulink.

Agena — это используемый инструмент для дискретно-событийного моделирования, идеально подходящий для анализа процессов в таких областях, как производство, логистика, здравоохранение и многие другие.

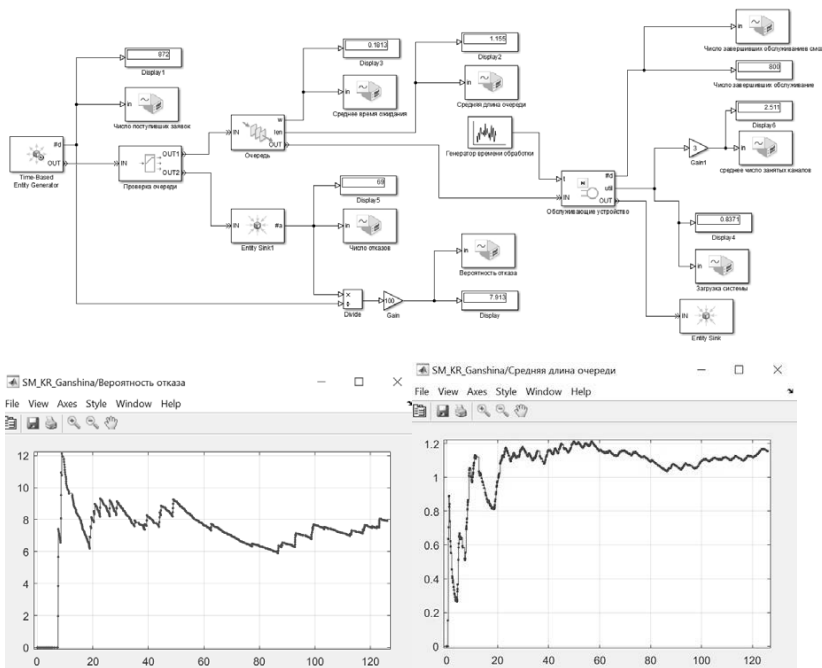


Рис.3. Модель СМО в Simulink.

Пакет GPSS (General Purpose Simulation System – система моделирования общего назначения) предназначен для имитационного моделирования дискретных систем и входит в число наиболее распространенных и используемых на практике средств автоматизации имитационного моделирования. Одна из последних версий пакета GPSS для персональных компьютеров, работающих под управлением операционной системы Windows, называется GPSS World.

Выбор программного инструмента для имитационного моделирования зависит от множества факторов, включая специфику задачи, требуемую степень детализации модели. Каждый из представленных инструментов имеет свои сильные и слабые стороны, поэтому выбор должен основываться на конкретных требованиях и целях исследования.

```

HR      STORAGE 3 ;Определение многоканального устройства
GENERATE (EXPONENTIAL(1,0,1/6)) ;Задание простейшего потока заявок с интенсивностью 6
SYS    TEST L Q#Och,4,OTKAZ ;Проверка длины очереди, при длине очереди 4 - отказ
QUEUE Och ;Увеличиванием счетчик длины очереди на 1
ENTER HR ;Занятие канала обслуживания
DEPART Och ;Уменьшение счетчика длины очереди на 1
TRANSFER 0.5,T1,T2 ;Выбор времени обслуживания
T1     ADVANCE 0.6 ;Обслуживание транзакта за время 0,6 часа
TRANSFER ,FIN ;Переход на выход из многоканального устройства
T2     ADVANCE 0.2 ;Обслуживание транзакта за время 0,2 часа
FIN    LEAVE HR ;Освобождение канала
OTKAZ  TERMINATE ;Обслуженный транзакт покидает систему
TERMINATE ;Необслуженный транзакт покидает систему
GENERATE 7 ;Моделирование рабочего дня
SAVEVALUE Potk,(100#N#OTKAZ/N#SYS);Расчет вероятности отказа в обслуживании
TERMINATE 1 ;Завершение моделирования рабочего дня

```

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT COUNT	RETRY
	1	GENERATE	48	0	0
SYS	2	TEST	48	0	0
	3	QUEUE	46	2	0
	4	ENTER	44	0	0
	5	DEPART	44	0	0
	6	TRANSFER	44	0	0
T1	7	ADVANCE	21	1	0
	8	TRANSFER	20	0	0
T2	9	ADVANCE	23	2	0
FIN	10	LEAVE	41	0	0
	11	TERMINATE	41	0	0
	12	TERMINATE	2	0	0
OTKAZ	13	GENERATE	1	0	0
	14	SAVEVALUE	1	0	0
	15	TERMINATE	1	0	0

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY (0)	AVE. CONT.	AVE. TIME	AVE. (-0)	RETRY
OCH	4	2	46	15	0.918	0.140	0.207	0

STORAGE	CAP.	REM.	MIN.	MAX.	ENTRIES	AVL.	AVE. C.	UTIL.	RETRY	DELAY
HR	3	0	0	3	44	1	2.416	0.805	0	2

SAVEVALUE	RETRY	VALUE
POTK	0	4.167

SEC	MIN	PRI	BDT	ASSEM	CURRENT	NEXT	PARAMETER	VALUE
46	0		7.063	46	9	10		
44	0		7.072	44	7	8		
50	0		7.117	50	0	1		
47	0		7.152	47	9	10		
51	0		14.000	51	0	13		

Рис. 4. Имитационная модель работы СМО в GPSS World

Методология исследования. При проведении исследования с использованием имитационной модели необходимо: во первых, провести обзор научных исследований, касающихся возможностей применения имитационного моделирования, его методов и инструментов. Цель этого этапа - получить глубокое понимание предмета исследования, а также собрать информацию о последних достижениях и тенденциях в области имитационного моделирования.

Затем выполняется оценка программных инструментов: сравнение различных программных продуктов для имитационного моделирования по ряду критериев, таких как функциональность, удобство использования, доступность,

поддержка сложных моделей и т.д. Целью данного шага - выбор наиболее подходящего инструмента для проведения практической части исследования.

После теоретического исследования начинается практическая часть. Она включает в себя: разработку имитационной модели; построение модели (определение целей моделирования, входных и выходных данных, ключевых параметров и переменных); разработку логики модели, включая процессы, события и взаимодействия между элементами модели; программирование модели; настройка параметров, реализация логики работы модели и интерфейса для взаимодействия с пользователем.

Затем происходит экспериментальное исследование и анализ результатов. Выполняются серии экспериментов с использованием разработанной модели для анализа сложного процесса. Дается оценка выходных данных модели, анализ результатов экспериментов, выявление закономерностей, зависимостей и потенциальных улучшений процесса.

В заключении формулируются выводы и предложения. На рис. 5 приведена общая схема исследования.

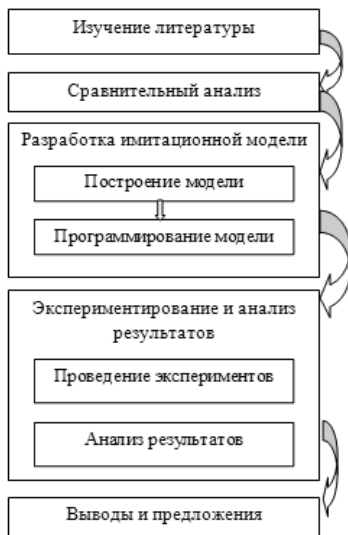


Рис. 5 Схема исследования

Выводы. Имитационное моделирование находит широкое применение в различных сферах деятельности благодаря своей способности точно воспроизводить и анализировать сложные процессы и системы.

Применение имитационного моделирования позволяет не только повысить эффективность и оптимизировать различные процессы, но и значительно снизить риски, связанные с принятием решений в условиях неопределенности.

Библиографический список

1. Olga Afanaseva, Oleg Bezyukov, Dmitry Pervukhin, Dmitry Tukeev. Experimental Study Results Processing Method for the Marine Diesel Engines Vibration Activity Caused by the Cylinder-Piston Group Operations. Inventions 2023, 8(3), 71; <https://doi.org/10.3390/inventions8030071>

2. Безюков О.К. Применение технологий численного моделирования динамики горения разливов жидких топлив при оценке безопасности / Безюков О.К., Афанасьев П.М. / В сборнике: Актуальные проблемы защиты и безопасности. Труды XXII Всероссийской научно-практической конференции РАРАН. 2019. С. 119-124.

3. Программа оценки надёжности системы с использованием показателей отказов и восстановления. Афанасьева О.В., Ведров Л.А., Дагаев А.В., Титов В.Е. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023617323, 07.04.2023. Заявка № 2023616602 от 07.04.2023.

4. Программа имитационного моделирования многоканальной системы массового обслуживания с варьируемым числом каналов. Титов В.Е., Навацкая В.А., Нейрус С.К., Афанасьева О.В. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023660137, 18.05.2023. Заявка № 2023619645 от 18.05.2023.

5. Расчёт механо- и теплонпряжённого состояния, эрозивно-коррозионного разрушения втулки цилиндра четырёхтактного судового дизеля. Безюков О.К., Афанасьев М.П., Маад М.М. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2016617723, 13.07.2016. Заявка № 2016615341 от 17.05.2016.

Рецензент: д.т.н., проф. И.Б. Арефьев

©М. П. Афанасьев, Б. С. Воронин, Е. А. Харитонов

ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота
имени адмирала С.О. Макарова», Российская Федерация

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ РЫБОЛОВНЫХ СУДОВ ЗАМЕНОЙ ГЛАВНОЙ СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ НА ГИБРИДНУЮ

Аннотация. В данной статье представлены результаты исследования подходов и решений, связанных с разработкой и применением гибридных двигательных установок на рыболовных судах. Рассмотрены преимущества замены традиционных двигательных установок более экологически чистыми решениями, такими как гибридные системы, состоящие из дизельных двигателей и электродвигателей-генераторов.

Ключевые слова: гибридные силовые установки, проектирование, разработка.

Введение. Главная силовая установка рыболовных судов является неотъемлемым элементом, определяющим их эффективность, безопасность, экономическую целесообразность и соответствие экологическим нормам [1,2].

Введение жестких национальных и международных экологических норм и стандартов заставляет компании и организации, занятые в морской индустрии, уделять все больше внимания своему воздействию на окружающую среду [3,4].

Исследование, результаты которого представлены в данной статье, направлено на оценку эффективности и технической возможности внедрения гибридных (дизель-электрических) двигательных установок на рыболовных судах.

Исследование перспектив применения гибридных (дизель-электрических) силовых установок для рыболовных судов. В мире проводится множество научно-исследовательских и инженерных работ по созданию и внедрению гибридных электростанций [3,5]. Некоторые компании

уже начали использовать гибридные системы на своих судах, продемонстрировав их эффективность и экономическую целесообразность, а именно снижение расхода топлива и выбросов вредных веществ, увеличение срока службы корабельной батареи и снижение эксплуатационных расходов за счет эффективного использования энергии [6]. На рис. 1-4 представлены примеры современных гибридных установок [7].

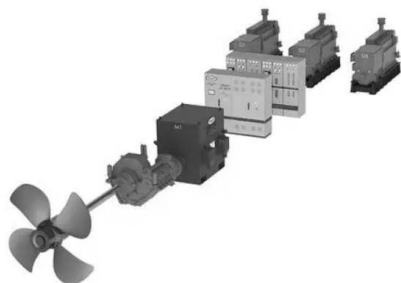


Рис. 1. Система силовой установки для судна Propulsion [7]



Рис.2 Система силовой установки для судна Hedropack [7]



Рис. 3. Гибридная дизель-электрическая система силовой установки 42 НРЕ ВНС [7]



Рис. 4. Гибридная дизель-электрическая система силовой установки HS [7]

Как правило, гибридная (дизель-электрическая) установка рыболовного судна включает в себя дизельный двигатель, который является основным источником энергии и используется для приведения судна в движение и

выработки электроэнергии; электрогенератор, вырабатывающий электроэнергию из механической энергии, вырабатываемой дизельным двигателем; электродвигатель, преобразующий электрическую энергию, вырабатываемую электрогенератором, в механическую энергию для привода гребного винта или других движителей судна; батареи для хранения избыточной электроэнергии, которая может использоваться в часы пик или в режимах электрической тяги; система управления энергопотреблением, которая контролирует распределение и потребление электроэнергии между различными компонентами системы, оптимизируя их работу для достижения максимальной эффективности и экономии топлива); трансмиссия, передающая механическую энергию от электродвигателя к приводным устройствам судна, таким как гребной винт; зарядное устройство, используемое для зарядки батарей дизельного двигателя или других источников энергии; система охлаждения и вентиляции, которая обеспечивает оптимальные условия работы для всех компонентов системы, предотвращая перегрев и гарантируя надежность и долговечность оборудования [7,8].

При проектировании гибридной энергетической установки для рыболовных судов необходимо учитывать особенности режимов их работы, которые могут меняться в зависимости от районов промысла, условий морской среды и видов промысловых операций (траловая буксировка, сетевой лов, длительные переходы между рыболовными районами и якорные стоянки) [7,9].

Этапы теоретического проектирования гибридной буровой установки для речных судов показаны в табл. 1.

Практическая реализация предполагает сборку опытного образца на испытательном стенде с подключенной системой контроля и диагностики для контроля работоспособности установки; серия лабораторных испытаний, измеряющих ключевые показатели, такие как расход топлива, выбросы загрязняющих веществ, срок службы аккумулятора и т. д.; анализ результатов тестирования для выявления возможностей улучшения и оптимизации системы;

и подготовка технической документации, включая инструкции по эксплуатации и техническому обслуживанию, схемы установки и списки компонентов.

Таблица 1. Основные этапы проектирования гибридной установки

№ этап	Название этапа	Краткая характеристика	Ожидаемый результат
1 этап	Формулирование требований и целей проекта	Определение спецификаций, необходимых для гибридной установки, включая мощность, эффективность, экологические стандарты и ожидаемые условия эксплуатации.	Установка конкретных целей проекта, например, сокращение потребления топлива на 20% или снижение выбросов CO ₂ на 30%.
2 этап	Предварительный анализ и выбор компонентов	Исследование и анализ доступных на рынке компонентов: дизельных двигателей, электромоторов, аккумуляторных батарей, систем управления и других элементов гибридной системы.	Предварительный отбор компонентов на основе их технических характеристик, стоимости и соответствия целям проекта.
3 этап	Разработка концептуальной схемы	Создание схематического представления гибридной установки, включая все основные компоненты и их взаимосвязь.	Определение типа гибридизации (параллельный, последовательный или комбинированный) и разработка принципиальной электрической схемы системы.
4 этап	Моделирование и компьютерное проектирование	Использование программного обеспечения для моделирования работы гибридной установки, что позволяет оценить её эффективность и выявить потенциальные проблемы на ранних этапах.	Компьютерное проектирование всех компонентов и систем, включая трехмерное моделирование и расчеты нагрузок.

Выводы. Таким образом, можно сказать, что гибридные (дизель-электрические) силовые установки представляют собой многообещающее решение для рыболовных судов, поскольку они обеспечивают значительное сокращение выбросов и экономию топлива, что помогает улучшить экологическую устойчивость морской отрасли за счет снижения загрязнения воздуха и сохранения природных ресурсов. Преимущества гибридных систем включают большую гибкость в управлении энергопотреблением, снижение шума и вибрации, а также снижение затрат на топливо в долгосрочной перспективе. Однако внедрение гибридных систем требует высоких

первоначальных инвестиций и дополнительных затрат на содержание и обслуживание сложных электромеханических систем. Необходимы дальнейшие исследования по внедрению гибридных (дизель-электрических) двигательных установок на рыболовных судах для оптимизации производственных процессов, снижения затрат и повышения доступности гибридных двигательных установок.

Библиографический список

1. Романовский В.В. Судовые гибридные электроэнергетические системы с распределенной шиной постоянного тока / В.В. Романовский, В.А. Малышев, А.С. Бежик // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. 2020. №3. С.591-605. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-591-605.

2. Experimental Study Results Processing Method for the Marine Diesel Engines Vibration Activity Caused by the Cylinder-Piston Group Operations / O. Afanaseva, O. Bezyukov, D. Pervukhin, D. Tukeev // Inventions. 2023. Vol. 8, No. 3. P. 71. DOI 10.3390/inventions8030071.

3. <https://drives.ru/proekty/sudostroenie/hybrid-ship-with-vacon-nxp/>

4. Afanaseva O.V., Bezyukov O.K., Pervukhin D.A. Perspective technical solutions for the cylinder-piston group vibrations reduction. // Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects: Proceedings of the 11th Russian-German Raw Materials Conference, November 7-8, 2018. Potsdam, Germany. 2019. P.293-300.

5. Григорьев А. В. Целесообразность применения СЭД на судах вспомогательного флота / А.В. Григорьев, В.И. Штрамбранд, Р.Р. Зайнуллин // Морской флот. 2014, 4. С. 38–40.

6. Григорьев А.В. Опыт модернизации и результаты испытаний единой электроэнергетической системы и системы электродвижения дизель-электрического ледокола «КАПИТАН КОСОЛАПОВ» / А.В. Григорьев, А.В. Вейнмейстер // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова, 2020,12(6), С. 1103 – 1117. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-6-1103-1117

7. <https://www.nauticexpo.ru/cat/al-ternativnye-dvigateli-silovye-ustanovki/gibridnye-sistemy-silovoj-ustanovki-sudov-DA-2209.html>

8. Тихонов Н. Ф. Анализ дизель-электрической гребной установки / Н.Ф. Тихонов, О.А. Надеждина // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 93-9. С. 147-149. DOI 10.18411/tmio-01-2023-475.

9. Левашов Д.Е. Некоторые суда для рыбопромысловых исследований, построенные в 2019–2020 гг. / Д.Е. Левашов, Н.П. Буланова// ИНФОРМАЦИЯ: ТРУДЫ ВНИРО. 2021, 184. С. 203-215. DOI: 10.36038/2307-3497-2021-184-203-217.

Рецензент: д.т.н., проф. И.Б. Арефьев

©М. П. Афанасьев, Н. А. Каторгин

ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова», Российская Федерация

АНАЛИЗ ПРЕИМУЩЕСТВ ВНЕДРЕНИЯ ДИЗЕЛЬ-ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИЛОВЫХ УСТАНОВОК В ПАССАЖИРСКИЙ РЕЧНОЙ ФЛОТ

Аннотация. В условиях возрастающих требований к экологичности и экономичности транспортных средств, особое внимание уделяется модернизации пассажирских речных судов. Одним из направлений повышения эффективности их эксплуатации является замена традиционных силовых установок на дизель-электрические системы. В статье изложен подход к комплексной оценке эффективности такой замены.

Ключевые слова: дизель-электрическая силовая установка, пассажирское речное судно, модернизация, эффективность.

Введение. В последние десятилетия внимание к экологическим аспектам транспортной отрасли значительно возросло [1,2]. Это касается не только автомобильного и воздушного транспорта, но и водного [3,4]. Одним из направлений повышения экономичности и экологичности является замена традиционных главных энергетических установок на дизель-электрические, что позволит улучшить экологические показатели судна, оптимизировать расход топлива и повысить комфорт пассажиров за счет снижения шума и вибрации.

Методика исследования. Целью настоящего исследования является разработка методики оценки эффективности замены главной дизельной двигательной установки на дизель-электрическую на пассажирском речном судне с учетом экономических, экологических и эксплуатационных показателей. Схема исследования приведена на рис.1.

Исследование основывается на сравнительном анализе технических, экономических и экологических параметров дизель-электрических и традиционных силовых установок. В качестве инструментов исследования

используются математическое моделирование, экспертные оценки и анализ статистических данных [5,6,7]. Для оценки экологической эффективности применяются методы расчета углеродного следа и других вредных выбросов.



Рис. 1. Схема исследования эффективности замены главных силовых установок для пассажирских речных судов

Дизель-электрическая установка обеспечивает лучшую регулировку мощности и скорости, что позволяет более точно поддерживать необходимые режимы эксплуатации с минимальным износом оборудования и потреблением топлива. В табл. 1 приведены примеры показателей, позволяющие оценить не только экономические и экологические аспекты эксплуатации судна после модернизации, но и техническую эффективность использования дизель-электрической силовой установки.

Таблица 1. Сравнительные характеристики

№	Название	Расчётные формулы
1	Расход топлива на единицу пути (RT)	$RT = \frac{V_{топл} \cdot 1000}{S},$ <p>где $V_{топл}$ – объем потребленного топлива за рейс, литры; S – пройденное расстояние за рейс, км.</p>
	Удельный расход топлива на перевозку пассажира (UP_n)	$UP_n = \frac{R_M}{P \times D}$ <p>где UP_n – удельный расход топлива на перевозку одного пассажира на 1 км пути в маневровом режиме; R_M – расход топлива в маневровом режиме, кг (или литры); P – количество перевезенных пассажиров; D – пройденное расстояние, км.</p>
2	Средняя скорость судна (V_{cp})	$V_{cp} = \frac{S}{T},$ <p>где T – время в пути, ч.</p>
3	Экономическая эффективность ($EЭ$)	$EЭ = \frac{\Pi}{З},$ <p>где Π – прибыль от эксплуатации судна за определенный период, руб.; $З$ – затраты на эксплуатацию судна за этот же период, руб.</p>
4	Экологическая эффективность ($ЭЭ_\phi$)	$ЭЭ_\phi = \frac{V_{топл}}{C_{выб}},$ <p>где $C_{выб}$ – количество вредных выбросов в атмосферу на единицу объема потребленного топлива, кг/л.</p>
5	Коэффициент полезного действия силовой установки ($KПД$)	$KПД = \frac{P_{полезн}}{P_{затр}} \times 100\%,$ <p>где $P_{полезн}$ – полезная мощность, вырабатываемая силовой установкой, кВт; $P_{затр}$ – затраченная мощность на выработку полезной мощности, кВт.</p>
6	Коэффициент использования мощности ($KИМ$)	$KИМ = \frac{P_{cp}}{P_{макс}}$ <p>где P_{cp} – средняя мощность, использованная во время рейса, кВт; $P_{макс}$ – максимальная мощность силовой установки, кВт.</p>

Выводы. Замена главной силовой установки на дизель-электрическую на пассажирском речном судне имеет ряд преимуществ и недостатков, которые следует учитывать при принятии решения о модернизации. Основные преимущества и недостатки приведены в табл.2.

Таблица 2. Основные достоинства и недостатки

№	Достоинства	Недостатки
1	Повышенная энергоэффективность и экономия топлива (дизель-электрическая силовая установка обеспечивает более эффективное использование энергии, особенно при работе в диапазоне часто меняющихся нагрузок)	Высокая стоимость внедрения (переход на дизель-электрическую систему требует значительных капиталовложений как в новое оборудование, так и в переоборудование судна)
2	Гибкость управления и маневренность (электрическая передача мощности позволяет легко управлять скоростью и направлением вращения винтов, улучшая маневренные характеристики судна)	Сложность системы и требования к обслуживанию (дизель-электрические установки сложнее в эксплуатации и требуют высококвалифицированных специалистов для их обслуживания)
3	Снижение износа и продление срока службы (благодаря более равномерной загрузке и отсутствию необходимости в частых запусках и остановках, дизель-электрическая система изнашивается медленнее)	Вес и занимаемое пространство
4	Улучшение экологических показателей (современные дизель-электрические установки обычно соответствуют более строгим экологическим стандартам по выбросам)	Зависимость от электроэнергии (полная работоспособность системы зависит от надежности электроснабжения, что может увеличивать риск отказов в критических ситуациях)
5	Снижение уровня шума и вибраций (электрическая передача мощности обеспечивает более тихую и комфортную работу по сравнению с традиционными механическими системами)	Сложность модернизации существующих судов (интеграция дизель-электрической системы в конструкцию уже эксплуатируемого судна может быть затруднена из-за ограничений по пространству и необходимости значительной перепланировки)

Выбор между традиционными и дизель-электрическими силовыми установками для пассажирского речного судна зависит от множества факторов, включая эксплуатационные характеристики, экономические показатели и специфические требования к маневренности и экологичности. Исследование,

направленное на оценку эффективности такой замены, способствует разработке рекомендаций для судоходных компаний, стремящихся к повышению экологичности, экономичности и комфорта своих судов.

Библиографический список

1. Бурков А.Ф. Развитие прибрежного морского транспорта с гибридными энергоустановками на примере дальневосточного региона / А.Ф. Бурков, В.В. Миханович, В.Х. Нгуен // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. 2021. №1. 102-114 DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-1-102-114.

2. Организация работы речного флота: учеб. пособие / Н. Н. Казаков // М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. Гомель : БелГУТ, 2012. 294 с

3. Безюков О. К. Газотурбинные двигатели на флоте: история и перспективы / О.К. Безюков, В.А. Жуков, М.С. Капустянский // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2021. Т. 13, № 2. С. 244-256. DOI 10.21821/2309-5180-2021-13-2-244-256.

4. Брежнев В. И. Моделирование системы регулирования частоты вращения судовой дизельной энергетической установки с использованием ПИД-регулятора / В.И. Брежнев, О.В. Афанасьева // Анализ и прогнозирование систем управления в промышленности, на транспорте и в логистике: Сборник трудов XXII Международной научно-практической конференции молодых ученых, студентов и аспирантов, Санкт-Петербург, 19–21 апреля 2022 года / Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. Санкт-Петербург: ООО "Медиапапир", 2022. С. 96-102.

5. Афанасьев П. М. Анализ компонентного состава судовой энергетической установки буксира-газохода / П.М. Афанасьев // Анализ и прогнозирование систем управления в промышленности, на транспорте и в логистике: Сборник трудов XXII Международной научно-практической конференции молодых ученых, студентов и аспирантов, Санкт-Петербург, 19–21 апреля 2022 года / Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. – Санкт-Петербург: ООО "Медиапапир", 2022. С. 67-73.

6. Гильмияров Е. Б., Цветков В. В. Многокритериальный подход к выбору судовой энергетической установки // Вестник МГТУ. 2006. №3. С. 502-513.

7. Математические методы исследования технических, экономических и социальных систем. Санкт-Петербург: ООО "Медиапапир", 2021. 72 с.

Рецензент: д.т.н., проф. И.Б. Арефьев

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МОНИТОРИНГА И ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Аннотация. В работе исследуется применение искусственного интеллекта (ИИ) для диагностики технических систем с целью увеличения эффективности и надежности. Рассматриваются вызовы и проблемы внедрения ИИ в производственные системы, предлагается использование нейронных сетей для анализа технического состояния. Внедрение современных технологий открывает новые возможности для автоматизированного обнаружения неисправностей. Это способствует снижению простоев производственных систем и расходов на их эксплуатацию.

Ключевые слова: искусственный интеллект, диагностика, мониторинг, судовые двигатели, нейронные сети, эффективность, надежность, безопасность.

Введение. Технический прогресс всё более усложняет и разнообразит производственные системы, что приводит к увеличению сложности их мониторинга и диагностики. Неисправности или отказы технических систем приводят к простоям на производстве, потере ресурсов, угрозе безопасности. В традиционных системах мониторинга и управления компоненты (датчики, исполнительные механизмы, контроллеры и компьютеры) взаимодействуют как единое целое [1, 2]. Эти системы ограничены в своей способности адаптироваться к динамическим изменениям условий работы и выявлению сложных взаимосвязей между различными параметрами системы и, при всех усилиях по обеспечению безотказной работы, не могут гарантировать абсолютную надежность. В связи с этим возникает потребность в разработке систем, основанных на принципах ИИ, которые будут способны осуществлять непрерывный мониторинг, а также прогнозировать их техническое состояние [3].

Использование методов и технологий ИИ, алгоритмов машинного обучения позволяет предотвращать возникновение неполадок [4], оперативно реагировать на них и даже прогнозировать возможные отказы, что существенно повышает эффективность работы технических систем [5–7]. Изучение литературы по теме исследования показывает, что широкий спектр инструментов ИИ уже реализован для решения различных задач во многих отраслях: горнодобывающей, транспортной, сельскохозяйственной, радиотехнической и других [8].

Целью работы является анализ существующих способов диагностики и мониторинга технических систем методами ИИ, а также анализ применения оптимального подхода на примере судовых двигателей, обеспечивающих энергией большую часть торгового и пассажирского флота РФ. Главной задачей является повышение эффективности, надежности и безопасности работы технических систем, а также снижение времени простоя и издержек на их обслуживание.

Основная часть. Техническая диагностика – это область научных исследований, которая занимается разработкой методов и инструментов для оценки состояния объектов или процессов без их разрушения. В ее основе лежат эвристические принципы и математические модели, используемые для анализа диагностируемых объектов [9].

Общее рассмотрение техник диагностики неисправностей позволяет выделить три основных типа в соответствии с методами применяемой процедуры: базирующиеся на моделировании, на сигналах и на полученных данных [10]. Важной составной частью этих методов является обработка сигналов, направленная на выявление признаков неисправностей рабочего оборудования. Мониторинг систем направлен на определение состояния оборудования и своевременное обнаружение негативных изменений на ранней стадии. Вместе с тем внедрение ИИ в производственные системы сопровождается рядом сложностей и вызовов, которые необходимо

учитывать [12]. Прежде всего, производственные системы обладают сложной стохастической и нелинейной динамикой. Также существуют множественные зависимости между данными, что создает дополнительные трудности при анализе и прогнозировании. Для эффективного применения ИИ в производстве необходимо глубокое понимание проблематики, которая включает в себя учет специфики производственных процессов и осознание последствий различных решений.

Анализ работы [13] показывает, что для диагностики технического состояния электродвигателей предпочтительнее использовать метод нейросетевых моделей. Такая модель – универсальный аппроксиматор, который может диагностировать технические объекты [14]. Рассмотрим, как применение нейронных сетей позволит облегчить диагностику и мониторинг судовых двигателей. Они играют ключевую роль в морской индустрии и используются в самых разных типах судов, включая грузовые суда, танкеры, пассажирские лайнеры, рыболовецкие суда и другие.

В настоящее время дизельные двигатели являются незаменимыми для современного флота, и это несмотря на вызовы, связанные с экологическими требованиями. Продолжающиеся исследования в области дизельных технологий обещают еще большее снижение воздействия на окружающую среду, сохраняя при этом все преимущества, которые делают этот тип двигателей важным активом морской индустрии.

Традиционные методы диагностики дизельных двигателей и других сложных механизмов сталкиваются с рядом проблем и ограничений, которые могут снижать их эффективность и точность. Основными из них являются: время и ресурсы; субъективность оценок; ограниченное обнаружение; высокая стоимость; необходимость регулярного обслуживания; ограниченная предсказуемость.

Общую схему диагностирования можно описать следующим образом. В первую очередь необходимо сформировать банк данных о технических

неисправностях двигателя, составляющих основу системы мониторинга техники. Данные могут предоставить ценную информацию о состоянии различных компонентов двигателя, включая подшипники, поршни, коленчатые валы и многие другие. Затем идёт стадия установки датчиков на объект диагностирования. Процесс сбора этих данных состоит из следующих этапов: подготовка оборудования; размещение датчиков; сбор данных, их анализ и обработка данных; подготовка к анализу нейронными сетями. Нейронные сети могут быть очень разнообразными по своей структуре и функциям. От простых однослойных перцептронов для решения простых задач классификации до глубоких нейронных сетей с множеством слоев для решения сложных задач области компьютерного зрения, обработки естественного языка и многого другого. На рис. 1 приведен пример нейронной сетей в виде многослойного перцептрона, представляющего собой сеть прямого распространения, где каждый нейрон текущего слоя связан со всеми нейронами предыдущего, каждая связь имеет свой синаптический вес.

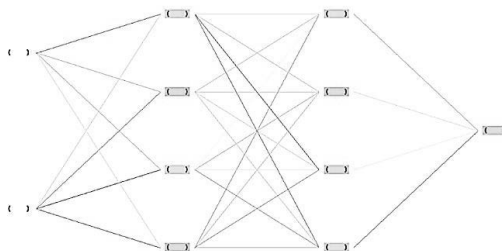


Рис. 1 Общий вид многослойной нейронной сети прямого распространения (перцептрон) с двумя скрытыми слоями, с четырьмя входами и одним выходом

Выбор подходящей архитектуры нейронной сети является ключевым шагом в разработке системы для анализа вибрационных сигналов дизельных двигателей. Разные архитектуры нейронных сетей обладают различными способностями к обработке, анализу и классификации данных, что делает

некоторые из них более предпочтительными для работы с временными рядами данных.

Сделаем вывод, что ИИ становится революционным инструментом во многих отраслях, включая морскую индустрию и диагностику дизельных двигателей. В последние годы технологии ИИ претерпели изменения и предлагают новые возможности для повышения эффективности, надежности и безопасности эксплуатации судовых дизелей. Использование ИИ для диагностики дизельных двигателей открывает новую эру в области технического обслуживания и ремонта, где предиктивная аналитика и автоматизированное обнаружение неисправностей становятся ключевыми элементами для минимизации простоев и уменьшения эксплуатационных расходов.

Библиографический список

1. Selak L. Condition monitoring and fault diagnostics for hydropower plants / L. Selak, P. Butala, A. Sluga. – DOI 10.1016/j.compind.2014.02.006 // *Computers in Industry*. – 2014. – Т. 65. – № 6. – С. 924–936.

2. Nikitin Y. Logical–Linguistic Model of Diagnostics of Electric Drives with Sensors Support / Y. Nikitin, P. Božek, J. Peterka. – DOI 10.3390/s20164429 // *Sensors*. – 2020. – Т. 20. – № 16. – С. 4429.

3. Beloglazov I. I. The concept of digital twins for tech operator training simulator design for mining and processing industry / I. I. Beloglazov, P. A. Petrov, V. Y. Bazhin. – DOI 10.17580/em.2020.02.12 // *Eurasian Mining*. – 2020. – С. 50–54.

4. Zemenkova M. Intelligent monitoring of the condition of hydrocarbon pipeline transport facilities using neural network technologies / M. Zemenkova, E. Chizhevskaya, Y. Zemenkov. – DOI 10.31897/PMI.2022.105 // *Journal of Mining Institute*. – 2022. – Т. 258. – С. 933–944.

5. Gabriel'an D. D. Artificial intelligence in the system of monitoring, diagnostics and forecasting of technical condition of the radio engineering systems / D. D. Gabriel'an, B. H. Kulbikayan, P. I. Kostenko, O. A. Safaryan. – DOI 10.46973/0201-727X_2021_4_91 // *Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения*. – 2021. – № 4. – С. 91–99.

6. Tugengold A. K. To autonomous control of technical state of machine tools / A. K. Tugengold, R. N. Voloshin, M. Y. Solomykin. – DOI 10.23947/1992-5980-2018-18-1-59-68 //

Vestnik of Don State Technical University. – 2018. – Т. 18. – № 1. – С. 59–68.

7. Samigulina G. Contribution Title Assessment of the Possibilities of Modern Microprocessor Technology for Integration with Modified Algorithms of Artificial Immune Systems in Complex Objects Control / G. Samigulina, Z. Samigulina, D. Porubov // *Cybernetics Perspectives in Systems*. – 2022. – С. 106–120.

8. Huang J. Rapid detection of coal ash based on machine learning and X-ray fluorescence / J. Huang, Z. Li, B. Chen [и др.]. – DOI 10.31897/PMI.2022.89 // *Journal of Mining Institute*. – 2022. – Т. 256. – С. 663–676.

9. Flegner P. An Advanced Method of Recognizing the State of the Technological Process in Technical Diagnostics / P. Flegner, J. Kacur, J. Terpak [и др.] // 2019 20th International Carpathian Control Conference. – С. 1–5.

10. Bellini A. Advances in Diagnostic Techniques for Induction Machines / A. Bellini, F. Filippetti, C. Tassoni [и др.]. – DOI 10.1109/TIE.2008.2007527 // *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. – 2008. – Т. 55. – № 12. – С. 4109–4126.

11. Arinez J. F. Artificial Intelligence in Advanced Manufacturing: Current Status and Future Outlook / J. F. Arinez, Q. Chang, R. X. Gao [и др.]. – DOI 10.1115/1.4047855 // *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. – 2020. – Т. 142. – № 11

12. Khamidov O. R. Development of expert system-based intelligent methods for assessing the locomotive asynchronous electric motor technical condition / O. R. Khamidov, A. V. Grishchenko, M. A. Schreiber. – DOI 10.20295/2223-9987-2020-2-77-89 // *Bulletin of scientific research results*. – 2020. – № 2. – С. 77–89.

13. Хамидов О. Р. Разработка методики комплексного диагностирования асинхронного тягового электродвигателя подвижного состава железнодорожного транспорта / О. Р. Хамидов, К. О.Т. // *Материалы конференций ГНИИ «Нацразвитие»: сб. избр. статей*. – СПб : ГНИИ «Нацразвитие», 2017. – С. 32–39.

Рецензент: д.т.н., проф. Д.А. Первухин

© А.С. Баскакова

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы
Екатерины II», Российская Федерация

СИСТЕМНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТРУКТУРНОГО ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

Аннотация. В статье рассматриваются основные методы применения системного анализа для исследования проблем логистических систем. Разработанная методика позволит описать процесс сбоев в системе перемещения продукта в процессе производства и доставки как совокупность факторов, влияющих на данную систему, а также определить степень влияния каждого предиктора и построить прогноз. Описание воздействия факторов на систему производится при помощи многофакторного корреляционно-регрессионного анализа и априорного ранжирования на основе экспертных оценок, полученных из опроса. Предоставлены графики распределения предикторов по степени влияния, построена линейная модель с информативными факторами, описывающая процесс сбоев в логистической системе предприятия.

Ключевые слова: системный анализ, регрессионный анализ, корреляционный анализ, априорное ранжирование, линейная модель.

Введение. На сегодняшний день существует ряд проблем, затрудняющих доставку как готовой продукции, так и ресурсов для ее производства. На многие пути сообщения были введены ограничения в период пандемии, а сегодня, в связи с санкционной политикой, они и вовсе стали недоступны.

Актуальность статьи обусловлена активным развитием новых логистических каналов. В ходе модернизации системы поставок ресурсов для производства, поиска аналогов, имеющихся ранее товаров, производится перестройка существующей системы.

Методика исследования. Анализ существующих проблем логистических систем позволит выстроить работу новых путей связи так, чтобы максимизировать эффективность системы и минимизировать затраты.

Чтобы решить данную проблему используем методы системного анализа (схема исследования представлена на рис. 1).

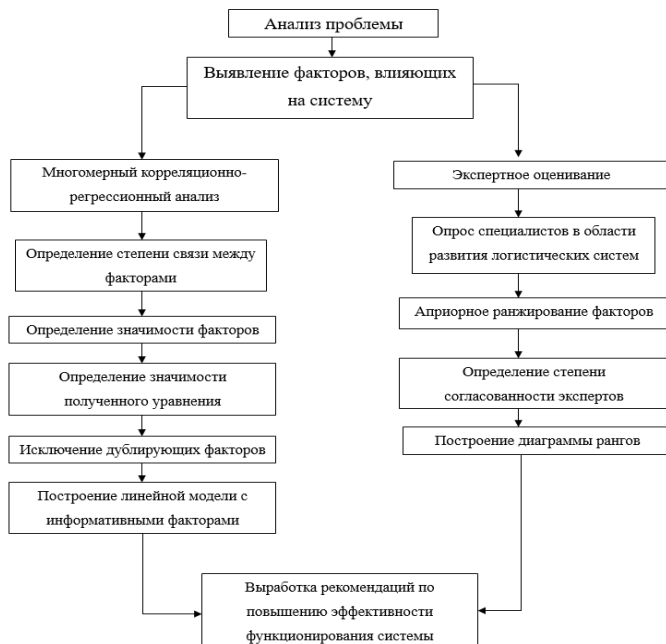


Рис.1. Схема исследования

Система поставок является сложной системой [2], требующей постоянного мониторинга. Точное планирование деятельности всех элементов системы на каждом участке не может дать гарантий бесперебойного выполнения поставленных задач. Причиной сбоя в логистической системе может стать любой фактор как внутренней, так внешней среды. Для поддержания эффективного функционирования системы необходимо выявить

основные из этих факторов, оценить их значимость и исходя из полученных сведений скорректировать работу логистической системы [4].

В ходе исследования были выделены следующие предикторы: проблемы с производством, транспортные проблемы, погрешность в планировании, стихийные бедствия, проблемы с инфраструктурой, проблемы с инфраструктурой, человеческий фактор и изменения в заказе. Для дальнейшего анализа факторы пронумерованы соответственно x_1, x_2, \dots, x_8 .

Одним из способов оценки значимости предикторов является метод априорного ранжирования [4]. На основе экспертных оценок составляется таблица, где каждому фактору эксперты присваивают ранг в зависимости от важности предиктора. В случае присвоения одним экспертом одинакового ранга двум и более факторам, используются связанные ранги (каждый такой ранг заменяется на среднее арифметическое мест фактора в ряду).

Чтобы проверить согласованность экспертов используется коэффициент конкордации. Значимость полученного коэффициента определяется в соответствии с хи-квадрат распределением (сравнение с табличным и расчетным значением). Если мнение экспертов согласовано, то строится диаграмма рангов - график сумм рангов по каждому фактору. Чем меньше сумма рангов, тем большее влияние на систему оказывает фактор по мнению экспертов. Результаты априорного ранжирования приведены на рис. 2.

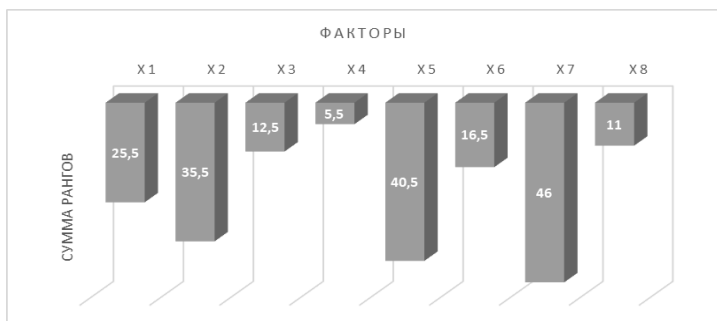


Рис. 3. Диаграмма рангов

Из диаграммы следует, что наибольшее влияние оказывает фактор x_5 – проблемы с инфраструктурой.

Другой способ определения степени влияния факторов на систему является многомерный корреляционно-регрессионный анализ [3].

В качестве исходных данных имеется таблица, содержащая в себе номер расчетного периода, общее число сбоев в системе поставок и количество срывов, распределенных по категориям (число сбоев в связи с транспортными проблемами, проблемами с инфраструктурой и пр.). При помощи статистического пакета [5] проводится регрессия по имеющимся данным, оценивается значимость каждого коэффициента полученного уравнения регрессии [1]. Используя инструмент для корреляционного анализа в том же статистическом пакете, определяется связь между факторами, что позволяет исключить предикторы, дублирующие друг друга. В данном случае дублирующими факторами оказались: x_1 (проблемы с производством), x_2 (транспортные проблемы), x_6 (политические события).

В результате исключения таких факторов и повторного проведения регрессии составляется линейное уравнение регрессии с информативными факторами, на основании которого можно строить прогноз о дальнейшем значении зависимой величины. Уравнение линейной регрессии будет иметь вид:

$$\tilde{y}_x = 23,0817 + 0,3278x_3 + 2,4508x_4 + 0,4834x_6 + 0,2708x_7 + 1,1829x_8$$

Для определения, насколько точно уравнение описывает процесс функционирования системы, необходимо произвести расчет средней ошибки аппроксимации. Для уравнения, полученного при проведении анализа, данная ошибка составляет менее одного процента, что говорит об отличном качестве математической модели.

Заключение. Таким образом, такие методы системного анализа как априорное ранжирование на основе экспертных оценок и многомерный корреляционно-регрессионный анализ позволяют оценить степень влияния

факторов на систему, выявить слабые стороны функционирования системы, тем самым представляя информацию для модернизации системы с целью повышения ее эффективности.

Библиографический список

1. Герасимова, Е. А. Эконометрика: регрессионный анализ : учебно-методическое пособие / Е. А. Герасимова, М. Ю. Карышев. — Самара : СамГУПС, 2011. — 98 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/130432> (дата обращения: 03.02.2024).

2. Катаргин, Н. В. Анализ и моделирование логистических систем / Н. В. Катаргин, О. Н. Ларин, Ф. Д. Венде. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 248 с. — ISBN 978-5-507-45668-0. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/279794> (дата обращения: 24.02.2024). — Режим доступа: для авториз. пользователей. Ignatenko A., Afanaseva O. Application of system analysis methods for the research of mining enterprise activity. 2023 Sixth International Conference of Women in Data Science at Prince Sultan University (WiDS PSU), Riyadh, Saudi Arabia, 2023, pp. 180-184, doi: 10.1109/WiDS-PSU57071.2023.00045.

3. 1. Olga Afanaseva, Oleg Bezyukov, Dmitry Pervukhin, Dmitry Tukeev. Experimental Study Results Processing Method for the Marine Diesel Engines Vibration Activity Caused by the Cylinder-Piston Group Operations. Inventions 2023, 8(3), 71; <https://doi.org/10.3390/inventions8030071>

4. Рзаев, М.А. ВОПРОСЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ЛОГИСТИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА ПРЕДПРИЯТИИ / М. А. Рзаев // Проблемы современной науки и образования. — 2022. — № 3. — С. 20-24. — ISSN 2304-2338. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/journal/issue/333317> (дата обращения: 24.02.2024).

5. Воскобойников, Ю. Е. Регрессионный анализ данных в пакете MATHCAD : учебное пособие / Ю. Е. Воскобойников. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 224 с. — ISBN 978-5-8114-1096-5. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/210557> (дата обращения: 24.02.2024).

Рецензент: д.т.н., проф. В.Е. Трушников

© Л.Т. Белик, А.В. Гурко

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы
Екатерины II», Российская Федерация

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАЛЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ФОРМ ДЛЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ СРЕДЫ

Аннотация. В работе рассмотрена задача строительства сооружений, пригодных для комфортного проживания и работы в условиях крайнего севера. Предлагается подход применения компьютерного моделирования по аналитическим зависимостям блоков каркасных изделий для возведения скелетных конструкций и сооружений с помощью строительных 3D принтеров.

Ключевые слова: арктический регион, горнопромышленный комплекс, окружающая среда, устойчивое развитие, инновационные технологии.

Введение. В плане [1] включен пункт, направленный на обеспечение граждан Арктической зоны доступным, современным и качественным жильем, а также повышение уровня жилищно-коммунальных услуг, особенно учитывая нужды лиц, ведущих кочевой и полукочевой образ жизни, принадлежащих к малочисленным народам. В [2] ставится задача разрабатывать здания быстро, с использованием передовых технологий, с учетом климатических особенностей, а также соответствуя растущим потребностям населения.

Ученые постоянно работают над решением различных задач свойственных Арктическому региону. Среди работ, опубликованных российскими учеными, авторы обратили внимание на ряд статей, в которых отмечаются основные тенденции. В [3] рассмотрены направления и пути решения выявленных проблем, способы достижения экологически ответственного природопользования и создания циркулярной экономики в регионе. В [4] рассмотрено два ключевых этапа в освоении и развитии Арктических территорий в контексте архитектуры и градостроительства -

советского и современного. В [5] обсуждаются возможности для бизнеса, которые вытекают из использования Северного Морского Пути и природных ископаемых. В [6] статье автор раскрывает проблемы строительства сооружений в условиях экстремально низких температур, а также особенности проектирования морских сооружений и сооружений на вечной мерзлоте. В [7] отмечается, что стандартные приёмы проектирования и строительства работают плохо, или вовсе непригодны. В связи с этим любой, не только архитектурный, проект в Заполярье сталкивается с острой необходимостью разработки новых решений - особых, арктических, которые возможно реализовать только в этом регионе и которые разработаны для конкретных мест и ситуаций.

Таким образом, перспектива архитектуры в Арктике - использование модульных, адаптивных и гибких архитектурных решений, распространение цифровых и «умных» инноваций в объемно-планировочных, функциональных и композиционных аспектах. Выделяются ключевые конструктивные особенности и инновационные строительные технологии для Арктической зоны - легкий сборный металлический каркас, обязательный свайный фундамент, использование простых геометрических форм, модульность конструкций, легкие и сборные элементы, способные быть доставленными в любые уголки Арктической зоны, простой монтаж [8]. В этом контексте внедрение цифровых методов производства и элементов искусственного интеллекта становится важным направлением научного и прикладного знания и является актуальной научно-технической задачей для Арктического региона.

Методы создания каркасных конструкций. В работах [9-12] авторы исследуют различные подходы к моделированию жилых конструкций для Арктических условий. Предлагается использовать аналитические зависимости для моделирования каркасных конструкций. Применение компьютерного моделирования легких каркасных сооружений оптимизирует производственные процессы в 10-15 раз. Технологии искусственного интеллекта, обеспечивают

быстрый и точный расчет технических характеристик зданий в соответствии с заданными условиями.

Каркасные сооружения соответствуют необходимым особенностям и современным инновационным строительным технологиям для Арктического региона. Колонны, балки и крыши могут быть точно описаны аналитическими выражениями, представляя основные элементы любого строения. Они могут быть представлены, как совокупность простых блоков и узлов, образуя малые промышленные формы. Для массового производства предпочтительно создавать повторяющиеся типовые детали, которые могут быть применены для различных строений. Анализируя ключевые тенденции в градостроительстве крайнего Севера, можно утверждать, что использование аналитических зависимостей для моделирования упростит промышленное производство каркасных конструкций за счет модульности и адаптивности, что, в свою очередь, ускорит процесс строительства.

Проекты с повторяющимися элементами дополняются и увеличиваются с учетом особенностей градостроительства. Компьютерное моделирование позволяет создавать 3D-модели каркасных форм (МКФ), используемых для визуализации и анализа конструкций объекта. Эти модели могут быть созданы с использованием различных программ, например, AutoCAD, SketchUp, 3ds Max, Mathcad [13]. Существуют программы для создания цифровых моделей, OpenCad, FreeCad, TinkerCad, Blender, Solidworks, Inventor, Fusion 360, Netfabb [14]. Все эти программы сохраняют модели в универсальном формате STL, который хранит полигональную информацию, и поэтому при изменении масштаба возможна потеря деталей [15]. Программы, создающие файлы в форматах step, stp, obj, dxml, catpart, сохраняют информацию о создании деталей, что позволяет масштабировать файлы без потери качества выходного файла в формате DFM [16]. Точность компьютерного моделирования зависит от задач, поставленных разработчиками (архитекторами, расчетчиками),

программного обеспечения и характеристик вычислительного комплекса. В табл. 1 представлены этапы компьютерного моделирования МКФ.

Таблица 1. Этапы компьютерного моделирования МКФ.

№	Этапы моделирования	Методы и технологии	Назначение этапа
1.	Разработка технического задания (физическая задача)	Виртуальный образ будущего объекта (эскиз, компьютерная графика, макет)	Описание и представление разрабатываемой модели (вида, структуры, допусков, размеров, модификаций)
2.	Создание математической модели (ММ)	Формализация содержательной модели в виде системы аналитических уравнений	Создание системы аналитических уравнений, описывающих ребра, вершины их топологические и функциональные связи
3.	Тестирование ММ	Исследование ММ при заданных параметрах (промежуточных и граничных) Качественный анализ	Для проверки адекватности ММ поставленной задаче
4.	Разработка требований к вычислительной системе	Оперативная память, объём дискового пространства, операционная система, библиотека математических подпрограмм, пользовательский интерфейс	Необходимые требования для решения поставленной задачи
5.	Выбор вычислительные системы с возможностью 3D печати	AutoCAD, SketchUp, 3ds Max, Mathematica и MatLab, Maple. OpenCad, FreeCad, Tinkercad, Blender. Solidworks, Inventor, Fusion 360, Netfabb.	Решаемые задачи: <ul style="list-style-type: none"> • аналитические исследования; • создание алгоритмов; • математическое и компьютерное моделирование; • анализ данных; • визуализация
6.	Компьютерный эксперимент	Функциональное численное моделирование	Варьирование входных и выходных данных (итерация) для достижения нужного результата
7.	Анализ результатов	Графическая 3D печать результата	Для визуального анализа и принятия решения о результате.

На современном этапе развития строительных технологий для Арктических зон перспективной является аддитивная технология производства, основанная на послойном наращивании с использованием строительных 3D принтеров [17]. Переход от традиционных методов строительства к

аддитивным, с применением строительной 3D-печати, представляется эффективным решением задач строительства в Арктической зоне.

Интерес к крупномасштабной трехмерной 3D-печати постоянно растет, и сегодня существуют 3D-принтеры, способные использовать различные материалы, такие как глина, цемент, известковый порошок, песок. Эти устройства позволяют создавать объекты больших размеров, например, для строительства и реконструкции зданий.

В условиях климата Арктики могут быть предложены инновационные материалы, такие как техническая сера, получаемая при очистке природного газа или нефти, разрабатываемая активно в этом регионе. Порошковая металлургия также продолжает развиваться, и одним из направлений этого развития являются аддитивные технологии, включая 3D-печать металлами и сплавами. Технология селективного лазерного спекания, позволяющая достигнуть высокой плотности (99,5%), представляет собой значимый шаг в этом направлении.

Одним из перспективных типов строительных 3D принтеров является модель, напоминающая козловой кран, с фермой, оснащенной печатающей головкой. Этот тип принтера, также известный как XYZ-принтер, перемещается по трём взаимно перпендикулярным осям во время печати, предоставляя новый уровень гибкости и точности (рис. 1).

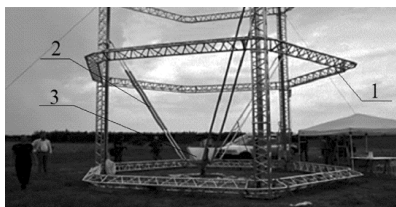


Рис. 1 Строительный 3D-принтер с дельтавидным приводом, 1 – каркас установки; 2 – тросы; 3 – печатающий оголовок

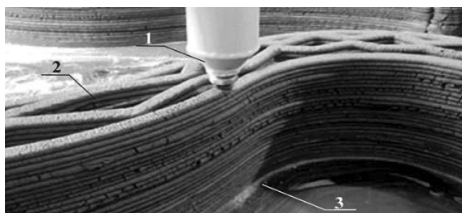


Рис. 2 Изготовление конструкций послойным экструдированием: 1 – сопло (экструдер); 2 – изготавливаемая конструкция; 3 – основание.

Применение трехмерной печати на строительных 3D принтерах для изготовления узлов и модулей не только существенно ускоряет процесс сборки архитектурных конструкций, но также обеспечивает безотходное производство, что приносит экологическую чистоту в процесс.

В современных математических пакетах используется принцип конструирования модели, где разработчик формулирует задачу, а система сама находит методы и алгоритмы ее решения, полученный файл сохраняется в выбранном формате, который затем подается на 3D принтер.

Чтобы изготовить модель, требуется использовать строительный 3D принтер. Процесс изготовления модели включает в себя этапы: выбор программного обеспечения для 3D принтера; экспорт 3D модели в выбранный формат файла для принтера; генерация G-кода; разделение модели на слои; запись полученной информации на карту памяти принтера; подготовка принтера к работе; загрузка выбранной смеси; запуск процесса печати; анализ работы.

Каждый этап цепочки связан с соответствующей программой [16, 17, 18]. Принтеры также подбираются в зависимости от используемого типа строительной смеси. Созданный каркас используется в качестве решетки или опалубки для наполнения строительным материалом с применением аддитивной технологии - способом послойного экструдирования (печати), который является основным методом 3D-печати для строительных принтеров (рис. 2). Каждый последующий слой формируется 3D-принтером поверх предыдущего, что способствует созданию определенной конструкции [19- 21].

В последние несколько лет Россия активно занимается разработкой новых технологий в области строительства, искусственного интеллекта и робототехники, необходимых для освоения территорий в арктических условиях. Эти инновационные технологии стали ключевым инструментом в стратегии развития Арктических регионов, обеспечивая не только технические возможности, но и повышение эффективности и устойчивости проектов в

условиях экстремального климата [22-24]. В области строительства новые методы и материалы позволяют создавать устойчивые инфраструктурные объекты, способные выдерживать арктические экстремумы, такие как сильные морозы и переменчивость ледяного покрова [25].

Выводы. В работе рассмотрены проблемы строительства в Арктике, выделены конструктивные особенности сооружений региона, продемонстрирована возможность применения каркасных сооружений для быстрого и более экономичного возведения различных объектов в Арктической зоне, рассмотрено использование моделирования по аналитическим зависимостям с использованием современных вычислительных комплексов, что значительно оптимизирует производственные процессы (в 10-15 раз). Представлены примеры аналитических поверхностей, а также предложены этапы компьютерного моделирования.

С учетом развития технологий трехмерной печати на 3D-принтерах, возможно осуществление печати каркасных сооружений, предложена технологическая цепочка изготовления каркасной модели с использованием 3D принтера, а также рассмотрены возможные форматы файлов для 3D принтеров.

Приведен пример строительства по аддитивной технологии, которая считается наиболее перспективной для современного строительства в Арктической зоне, предложены новые материалы для строительных принтеров, включая техническую серу, получаемую при очистке природного газа или нефти. Таким образом, представлена технологическая цепочка от моделирования до изготовления каркасных сооружений в контексте арктических условий.

Библиографический список

1.Единый план по достижению национальных целей развития Российской Федерации на период до 2024 г. и на плановый период до 2030 г. (утв. Расп. Правительства РФ от 01.10.2021 N 2765-п) с изм. от 24.12.2021 - URL: https://www.economy.gov.ru/material/dokumenty/edinyy_plan_po_dostizheniyu_nacionalnyh_cele

y_razvitiya_rossiyskoy_federacii_na_period_do_2024_goda_i_na_planovyy_period_do_2030_goda.html (дата обращения: 11.02.2024)

2. Указ Президента Российской Федерации об основах государственной политики в Арктике на период до 2035 года. - URL: <http://www.kremlin.ru/acts/bank/45255> (дата обращения: 11.02.2024)

3. Romasheva, N. V., Babenko, M. A., Nikolaichuk, L.A. Sustainable development of the Russian Arctic region: environmental problems and ways to solve them. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2022;(10-2), 78—87. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_102_0_78. (дата обращения: 11.02.2024)

4. Татевосян А. Г. Идеи и проекты советских и российских архитекторов за полярным кругом // *Актуальные исследования.* 2023. №16 (146). Ч.I. С. 58-63. URL: <https://apni.ru/article/6032-idei-i-proekti-sovetskikh-i-rossijskikh> (дата обращения: 11.02.2024)

5. Татевосян А. Г. Особенности архитектуры Арктики // *Актуальные исследования.* 2022. №51 (130). Ч.I. С. 36-42. URL: <https://apni.ru/article/5251-osobennosti-arkhitekturi-arktiki> (дата обращения: 11.02.2024)

6. Линейцев, А. А. Проблемы строительства сооружений в Арктике / А. А. Линейцев. — Текст : непосредственный // *Молодой ученый.* — 2021. — № 5 (347). — С. 74-78. — URL: <https://moluch.ru/archive/347/77997/> (дата обращения: 11.02.2024).

7. Савинова В. А., Арктическая архитектура: тенденции и перспективы, 2021г. URL: <https://goarctic.ru/news/arkticheskaya-arkhitektura-tendentsii-i-perspektivy/?ysclid=lp2ab1c07i787827560> (дата обращения: 11.02.2024)

8. Савинова В.А., Бродач М. Ю. Особенности проектирования и строительства в арктическом регионе // *Здания высоких технологий.* Журнал № 4, 2018г (дата обращения: 11.02.2024)

9. Сучилин В.А., Тюменев Ю.Я. Моделирование малых архитектурных форм по аналитическим зависимостям // *Интернет-журнал «Отходы и ресурсы»* Том 1, №1 (2014) <http://resources.today/PDF/01RRO114.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/01RRO114 (дата обращения: 11.02.2024)

10. Белик, Л. Т. Математическое и компьютерное моделирование малых архитектурных форм / Л. Т. Белик, Е. Б. Мазакон // *Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование (ИУСМКМ-2023): Материалы XIV Международной научно-технической конференции в рамках IX Международного Научного форума Донецкой Народной Республики, Донецк, 24–25 мая 2023 года.* – Донецк: Донецкий

национальный технический университет, 2023. – С. 342-346. – EDN DMOHHZ (дата обращения: 05.01.2024)

11.Зверьев Е.М. Аналитические поверхности в архитектуре зданий, конструкций и изделий (авторы С. Н. Кривошапко, И. А. Мамиева) // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2011. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiticheskie-poverhnosti-v-arhitekture-zdaniy-konstruksiy-i-izdeliy-avtory-s-n-krivoshapko-i-a-mamieva> (дата обращения: 11.02.2024).

12.Мамиева Ираида Ахсарбеговна Аналитические поверхности в архитектуре Москвы // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2013. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiticheskie-poverhnosti-v-arhitekture-moskvy> (дата обращения: 11.02.2024).

13.Программы для моделирования и печати на 3D принтере // Электронный ресурс: <https://cvetmir3d.ru/> (дата обращения: 05.01.2024)

14.Емельянов Р.Т., Прокопьев А.П., Якшина А.А., Пиндур С.В. Моделирование 3d печати малых архитектурных форм // Вестник евразийской науки. 2020. №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-3d-pechati-malyh-arhitekturnyh-form> (дата обращения: 11.02.2024).

15.3D печать для проектов строительства и архитектуры // www.3Dart.ru - электронный журнал. (дата обращения: 06.01.2024)

16.Технологии и материалы 3D-печати [Электронный ресурс]: учеб. пособие / А.Е. Шкуро, П.С. Кривоногов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017: - URL: <https://elar.usfeu.ru/bitstream/123456789/6617/1/Shkuro.pdf> (дата обращения: 11.02.2024)

17.Мухаметрахимов Р.Х., Вахитов И.М. Аддитивная технология возведения зданий и сооружений с применением строительного 3D-принтера // Известия КазГАСУ. 2017. №4 (42). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/additivnaya-tehnologiya-vozvedeniya-zdaniy-i-sooruzheniy-s-primeneniem-stroitel'nogo-3d-printera> (дата обращения: 11.02.2024).

18.Аддитивные технологии. Новые технологии: как печатают дома на 3D принтере – URL: <https://t-magazine.ru/pages/3dprint-house/> (дата обращения: 11.02.2024)

19.Галеев, С. А. Виды адаптации архитектурных систем к экстремальным условиям среды / С. А. Галеева // Системные технологии. – 2020. – №4 (37). – С. 77-83. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vidy-adaptatsii-arhitekturnyh-sistem-k-ekstremalnym-usloviyam-sredy> – (дата обращения: 11.02.2024)

20. Vilenskii M., Smirnova O. (2022). Evaluation of web technologies in urban planning management in the largest cities of Russia. *GeoJournal*, 1385 – 1397. <https://doi.org/10.1007/s10708-020-10316-y> (дата обращения: 06.01.2024)

21. Дмитриев, Н. В. Генеративный метод проектирования в структурной организации пространственной среды / Н. В. Дмитриев // Актуальные проблемы недропользования: Тезисы докладов XIX Всероссийской конференции-конкурса студентов и аспирантов, Санкт-Петербург, 12–16 апреля 2021 года. Том 6. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет, 2021. – С. 234-235. – EDN RKCSIX. Электронный ресурс: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47198080> (дата обращения: 07.01.2024)

22. Andreichuk, A. P. Trends in artificial intelligence and robotics technologies in the Arctic: the Russian experience / A. P. Andreichuk, A. V. Gurko // *Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*. – 2022. – No. 10-2. – P. 24-38. – URL: https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_102_0_24 (дата обращения: 10.02.2024)

23. Lavrik, Y. Zhukovskiy and A. Buldysko, "Features of the Optimal Composition Determination of Energy Sources During Multi-Criterial Search in the Russian Arctic Conditions," 2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), Moscow, Russia, 2020, pp. 1-5, - URL: <https://doi.org/10.1109/REEPE49198.2020.9059215> (дата обращения: 10.02.2024)

24. Zhukovskiy, Y.; Tsvetkov, P.; Buldysko, A.; Malkova, Y.; Stoianova, A.; Koshenkova, A. Scenario Modeling of Sustainable Development of Energy Supply in the Arctic. *Resources* 2021, 10, 124. - URL: <https://doi.org/10.3390/resources10120124> (дата обращения: 10.02.2024)

25. Zimin, R. Y., Kuchin, V. N. Improving the efficiency of oil and gas field development through the use of alternative energy sources in the arctic. Paper presented at the 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, 2020, FarEastCon 2020, - URL: <https://doi.org/10.1109/FarEastCon50210.2020.9271103> (дата обращения: 10.02.2024).

Рецензент: д.т.н., проф. В.Е. Трушников

ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ПО ВЫПУСКУ АВТОТРАНСПОРТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГНОЗНЫХ МОДЕЛЕЙ (НА ПРИМЕРЕ ПАО «НЕФАЗ»)

Аннотация: В статье рассматривается один из вариантов исследования показателей автомобилестроительной компании на примере ПАО «НЕФАЗ». В работе применены такие методы системного анализа, как прогнозирование, методы экспертного оценивания, множественный регрессионный-корреляционный анализ, имитационное моделирование.

Ключевые слова: корреляционно-регрессионный анализ, прогнозирование, экспертное оценивание, автомобилестроение, транспорт, автобусы.

Введение. Транспорт является одной из базовых отраслей экономики, обуславливающих развитие страны. Автомобильный транспорт – самый распространенный и доступный вид транспорта в России. По объёму перевозок он занимает первое место [1].

В связи с развитием городов и ростом городского населения возрастает количество пассажиров и грузов, перемещающихся в городских районах. Общественный транспорт является ключевым элементом устойчивой транспортной системы, обеспечивая мобильность населения. Однако большая часть автопарка России изношена. Согласно статистике [2] ежегодное обновление подвижного состава не соответствует необходимым нормам. В связи с этим возникает необходимость поиска решения транспортных проблем.

Меры для решения указанных проблем рассматриваются в работах [3 4] Кирсанова С.А., Анопченко Т.Ю и Ушаковой М.А., Свиридова Д.А. Для эффективной работы общественного транспорта необходимо грамотное городское планирование, обновление автобусного парка, выпуск моделей с

использованием новых технологий, производство экологически чистого транспорта.

Актуальность работы обусловлена необходимостью развития автотранспорта как показателя социальной и экономической стабильности государства.

В основном парк общественного транспорта РФ состоит из автобусов и троллейбусов отечественного выпуска. Автобусы «НЕФАЗ» входят в пятерку продаваемых автобусов России. ПАО «НЕФАЗ» производит электробусы и экологичный транспорт, следует тренду перехода на новые источники энергии, внедряет новейшие разработки для комфортных перевозок. В течение последних нескольких лет были заключены контракты на поставку транспорта Москве и Санкт-Петербургу.

Для определения направлений развития предприятия по выпуску автотранспорта необходимо провести анализ его показателей с использованием методов моделирования и статического анализа. Общая схема исследования приведена на рис. 1.



Рис. 1. Схема исследования работы ПАО «НЕФАЗ»

Рассмотрим подробнее блок 3 исследования (рис. 1). Для анализа компании были выбраны методы системного анализа, широко часто применяемые на практике. Прогнозирование показателей с помощью тренд-моделей применялось в работах Салиты С. В., Куценко Н. А., Фукиной С. П. [5 6] Метод экспертного оценивания рассматривался в работе Барсукова Д. П., Афанасьевой О. В. [7] Множественный корреляционно-регрессионный анализ применялся в работах многих авторов, например в работе Игнатенко А. и Афанасьевой О. [8] метод был применен для оптимизации деятельности экскаваторного парка горнодобывающего предприятия.

В результате исследования построены трендовые модели объема выпуска автобусов на основе показателей за 2010-2023 годы. Для прогнозирования выбрана линейная модель, так как у нее оказался самый высокий коэффициент детерминации R^2 . Были построены точечный и интервальный прогнозы на 2024 год на основе этой модели. Полученные результаты показали, что в 2024 году объем выпуска автобусов составит 1557 единиц, что на 7,5% выше, чем в 2023 году.

Согласно экспертному оцениванию, были выделены основные 8 факторов, влияющие на объем выпуска автотранспорта ПАО «НЕФАЗ». Наибольшее влияние на параметр оказывают субсидирование отрасли государством (X_1), финансирование государством общественного транспорта в регионах (X_2) и доля импортных агрегатов и деталей для производства (X_3). Выявлено, что на показатель не влияет доля семей РФ без личного автомобиля (X_8). Этот фактор был исключен из дальнейшего анализа.

В результате корреляционного анализа получено, что наибольшее влияние на результирующий показатель оказывает фактор X_6 (доля изношенного автотранспорта в регионах (срок службы более 15 лет)), а наименьшее – фактор X_7 (количество единиц продукции в номенклатуре). Выявлено, что некоторые факторы сильно связаны и могут дублировать друг

друга. Чтобы избежать взаимной корреляции, в ходе анализа факторы X_1 , X_2 и X_3 исключены из модели (как менее значимые относительно X_6).

В ходе регрессионного анализа составлено уравнение зависимости объема производства автобусов от факторов:

$$Y = 0,48 - 0,396x_4 + 0,21x_5 - 5,43x_6 + 0,39x_7$$

Наиболее существенными факторами оказались X_4 (доля импортных автобусов из Китая и Белоруссии), X_5 (средняя заработанная плата сотрудников завода), X_6 (доля изношенного автотранспорта в регионах), X_7 (количество единиц продукции в номенклатуре).

Коэффициенты регрессии показывают среднее изменение результативного признака с изменением на 1 единицу своего измерения данного фактора при условии постоянства всех остальных. Например, коэффициент регрессии при X_5 показывает, что с увеличением заработной платы сотрудников на 1 руб. количество выпущенных автобусов ПАО «НЕФАЗ» увеличится в среднем на 0,21 штук.

Выводы: исследование показало, что доля изношенного автотранспорта напрямую зависит от субсидирования государства отрасли производства автобусов. Кроме того, оба эти фактора имеют существенное влияние на выпуск автобусов на отечественном заводе. Для дальнейшего исследования следует провести анализ программ поддержки государством сферы транспорта.

Библиографический список

1. Курмашев Н.А. Автомобильный транспорт и его роль в рыночной экономике // Экономика и социум. 2015. №6-3 (19). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avtomobilnyy-transport-i-ego-rol-v-rynochnoy-ekonomike> (дата обращения: 13.02.2024)
2. Тургенева В. В. Место и роль автобусного транспорта в экономике Российской Федерации // Научный консультант, Московский политехнический университет, 2017. 161 с. (https://vuzdoc.org/187714/ekonomika/mesto_rol_avtobusnogo_transporta_ekonomike_rossiyskoy_federatsii)

3. Кирсанов С.А., Анопченко Т.Ю. Проблемы организации городского транспорта в России // Государственное и муниципальное управление. Ученые записки . 2014. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemny-organizatsii-gorodskogo-transporta-v-rossii> (дата обращения: 13.02.2024).
4. Ушакова М.А., Свиридов Д.А. Проблемы эксплуатации устаревших транспортных средств на городском пассажирском транспорте // Символ науки. 2017. №3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemny-ekspluatatsii-ustarevshih-transportnyh-sredstv-na-gorodskom-passazhirskom-transporte> (дата обращения: 13.02.2024).
5. Салита С.В., Куценко Н.А. Экономико-математическая модель прогнозирования финансовой устойчивости предприятия // Вестник ВУиТ. 2022. №1 (49). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekonomiko-matematicheskaya-model-prognozirovaniya-finansovoy-ustoychivosti-predpriyatiya> (дата обращения: 14.02.2024).
6. Фукина С.П. Трендовые модели в экономических исследованиях // Экономический анализ: теория и практика. 2011. №11. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/trendovye-modeli-v-ekonomicheskikh-issledovaniyah> (дата обращения: 14.02.2024).
7. Барсуков Д. П., Афанасьева О. В. Использование методов прогнозирования для решения задач информационно-статистического анализа деятельности предприятия в условиях риска // Петербургский экономический журнал. 2013. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-metodov-prognozirovaniya-dlya-resheniya-zadach-informatsionno-statisticheskogo-analiza-deyatelnosti-predp>
8. Ignatenko A., Afanaseva O. Application of system analysis methods for the research of mining enterprise activity. 2023 *Sixth International Conference of Women in Data Science at Prince Sultan University (WiDS PSU)*, Riyadh, Saudi Arabia, 2023, pp. 180-184, doi: 10.1109/WiDS-PSU57071.2023.00045

Рецензент: д.т.н., проф. В.Е. Трушников

© И. В. Бойкова, В. Л. Ямпольский

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы
Екатерины II», Российская Федерация

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ В МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОЙ ОТРАСЛИ

Аннотация. В исследовании рассмотрено общее понятие цифрового двойника, сферы его применения и сферы возможного применения конкретно в минерально-сырьевой отрасли. Также были изучены возникающие проблемы, связанные с изучением/внедрением технологии, а также предложены возможные пути их решения. В результате – сформирован вывод о значимости технологии и возможностях её применения в минерально-сырьевой отрасли.

Ключевые слова: цифровой двойник, горная промышленность, виртуальная модель, оптимизация нефтедобычи, инновация, логистика, прогнозирование.

Введение. В современном быстро развивающемся технологическом секторе концепция внедрения цифровых двойников (ЦД, Digital Twin) стала ключевым подходом в различных отраслях [4]. Эта инновационная структура позволяет создавать цифровые копии физических систем или активов, которые можно использовать для мониторинга, анализа и моделирования.

Используя данные в реальном времени и расширенную аналитику, цифровые двойники предлагают комплексное представление о своих физических аналогах, открывая путь для множества применений в различных сферах жизни человека [1].

Применение цифровых двойников определяется стремлением сократить время выхода на рынок и повысить эффективность разработки продукта.

Благодаря оцифровке производства, проектированию систем на основе моделей и растущим усилиям по сбору и обработке данных эти модели все больше обогащаются производственными данными [5].

Более того, они позволяют эффективно прогнозировать влияние разработки продукта и процесса [6], а также принимать решения по

эксплуатации и обслуживанию на поведение продукта без необходимости создания дорогостоящих и трудоемких физических макетов.

Такие реалистичные модели изделий необходимы, в частности, для ранней и эффективной оценки последствий проектных решений для качества и функционирования механических изделий [13].

В настоящее время наблюдается относительная нехватка исследований, посвященных применению цифровых двойников в минерально-сырьевой отрасли, связанная с новизной технологии. Это исследование посвящено анализу возможностей использования цифровых двойников в горнодобывающем комплексе.

Цель и задачи исследования. Целью исследования является изучение понятия цифрового двойника и возможностей его применения в минерально-сырьевой отрасли. Задачи исследования: исследовать современное состояние теории в области использования цифровых двойников, рассмотреть понятие цифрового двойника; исследовать особенности применения концепции цифровых двойников для различных сфер деятельности; изучить возможности применения технологии в минерально-сырьевой отрасли и рассмотреть существующий опыт внедрения; выделить научные проблемы в области изучения и внедрения ЦД, требующие дальнейшего рассмотрения и решения; предложить возможные решения выявленных проблем.

Понятие цифрового двойника. Цифровой двойник – это цифровое представление (моделирование, эмуляция, отражение или «дублирование») физического объекта или целой системы [2]. Технология ЦД, уже достаточно развитая и популярная может включать здания, заводы и даже города, а также людей и процессы. По сути, цифровой двойник – это компьютерная программа, которая принимает реальные данные о физическом объекте или системе в качестве входных и производит в качестве выходных прогнозы или симуляции того, как эти входные данные повлияют на поведение оригинального объекта.

Таким образом цифровой двойник – это живая, интеллектуальная модель, соответствующая жизненному циклу своего физического оригинала для мониторинга, управления и оптимизации процессов и функций. Она постоянно

прогнозирует будущие состояния (например, дефекты, повреждения или сбои [6]) и позволяет моделировать и тестировать новые конфигурации для превентивного применения операций технического обслуживания.

Области применения цифрового двойника. Наиболее изученными сферами применения ЦД являются: здравоохранение, морской транспорт и судоходство, производство, нефтегазовая отрасль, управление города, аэрокосмическая промышленность [4]. Цифровые двойники в здравоохранении используются для визуализации больничной системы, чтобы создать безопасную среду и проверить влияние потенциальных изменений на производительность системы (например, прогнозирование результатов определенных процедур). Цифровые двойники в морском деле и судоходстве используются в качестве поддержки проектирования. Цифровой двойник позволяет визуализировать все ключевые компоненты, выполнять анализы и расчеты, а также улучшать контроль за последствиями эксплуатации конструктивных и функциональных компонентов корабля. Цифровой двойник в производстве включает в себя применение на этапах всего жизненного цикла продукта, таких как проектирование, производство [3], логистика и техническое обслуживание (например, прогноз предстоящего отказа оборудования). Цифровые двойники в минерально-сырьевой отрасли.

Рассмотрим подробнее использование технологии в минерально-сырьевой отрасли. Основные области возможного применения включают в себя:

- Мониторинг и обслуживание активов: нефтедобывающие объекты и оборудование требуют постоянного мониторинга и обслуживания в целях обеспечения оптимальной производительности и предотвращения дорогостоящих простоев [10].

С помощью цифровых двойников можно отслеживать состояние активов, обнаруживать аномалии и прогнозировать необходимость в сопровождении:

все это позволяет более эффективно планировать мероприятия по техническому обслуживанию и сокращать незапланированные простои.

- Оптимизация добычи: цифровые двойники могут моделировать и оптимизировать процессы нефтедобычи путем использования данных с

датчиков и моделей добычи в реальном времени [7]. Анализируя эту информацию, операторы выявляют узкие места, оптимизируют производительность и повышают общую эффективность работы.

- Переработка сырья: ЦД можно использовать для создания виртуальных моделей газоперерабатывающих и нефтеперерабатывающих заводов, что позволяет оптимизировать такие процессы, как дистилляция, крекинг и смешивание.

Моделируя различные условия и сценарии эксплуатации, цифровые двойники могут помочь улучшить качество продукции, энергоэффективность и экологические показатели [12].

Логистика и управление цепочками поставок: горнодобывающая промышленность включает в себя сложные операции логистики и цепочки поставок, включая транспортировку сырой нефти, нефтепродуктов и природного газа [11]. Цифровые двойники могут помочь оптимизировать логистические операции за счет анализа данных о маршрутах транспортировки, мощностях хранения и структуре спроса. Это позволяет операторам улучшить планирование, снизить транспортные расходы и минимизировать уровень запасов. Примером отечественного опыта внедрения является запуск в эксплуатацию комплексной интегрированной цифровой модели Ватъеганского месторождения в сентябре 2021 года компанией ПАО «ЛУКОЙЛ». Беспрецедентный по масштабу и сложности проект включает создание цифровых двойников более чем 3 тыс. скважин и 12 объектов разработки и охватывает всю производственную цепочку добычи — от пласта до входа в центральный пункт сбора и подготовки нефти.

Таким образом цифровые двойники занимают значимое положение в отрасли минеральных ресурсов, предоставляя информацию об объектах в режиме реального времени, возможности прогнозирования и инструменты оптимизации [7]. Используя эту технологию, компании могут повысить операционную эффективность, сократить затраты и повысить устойчивость процессов по добыче, обработке сырья и логистике.

Проблемы цифровых двойников. В настоящее время есть некоторые важные проблемы и вопросы, связанные с использованием цифровых двойников и требующие дальнейшего изучения и решения. Реализация такой гигантской технологии сопряжена со своими трудностями.

Проблемы, возникающие при разработке ЦД, зависят от масштаба и сложности, но также имеются общие для всех.

- **Новизна технологии.** ЦД является новой технологией, отсутствует четкое понимание ценности, которую она может принести отдельным лицам или предприятиям [2]. Некомпетентность со стороны технических и практических знаний работников также препятствует прогрессу технологии. Отсутствуют тематические исследования успешных практик внедрения цифровых двойников в деятельность компаний их реалистичные оценки затрат.

- **Отстраненность исполнителей проекта от реальных бизнес-задач.** Например, при разработке проектов не задаются ключевые показатели, которые нужно достичь с помощью имитационного моделирования. Некоторые предприятия упускают моделирование критически важных процессов, при этом в модель вносятся процессы, которые не важны для функционирования физического объекта.

- **Нехватка кадров.** Эта проблема вытекает из предыдущей: в связи с «молодостью» технологии на рынке труда имеется немного специалистов, хорошо разбирающихся в этой области [3]. Нехватка квалифицированных кадров в области внедрения цифровых двойников может повлечь отсутствие окупаемости затрат, а неправильный анализ результатов работы цифровых двойников может привести к неверно принятым управленческим решениям.

- **Сложность цифровых двойников.** Проблемой является избыточная детализированность ЦД. Кроме увеличения затрат на разработку, появляются затраты на обновление деталей, не приносящих экономического эффекта. К тому же слишком сложный ЦД трудно анализировать, так как данные могут собираться с множества датчиков [4]. Эти данные распределяются среди множества пользователей и хранятся в различных форматах. Разнообразие

форматов создает путаницу в массивах генерируемых данных, и в итоге может сформироваться некорректная виртуальная модель.

- Стоимость технологий. Одной из самых больших проблем внедрения ЦД, является высокая стоимость.

Технология является дорогостоящей, так как весь процесс разработки компьютерных моделей со сверхвысокой точностью и создание ЦД является трудоемким мероприятием, требующим больших вычислительных мощностей для запуска [5].

Кроме того, встраивание в существующую систему датчиков для сбора данных и программное и аппаратное обеспечение для хранения и обработки этих данных, ведет к дополнительным затратам.

Безопасность данных. Это требует, чтобы разработчики и пользователи обращались с данными в соответствии с заявлениями о конфиденциальности и юридическими ограничениями, которые все еще должны быть установлены. Когда дело доходит до обработки данных, нельзя пренебрегать кибербезопасностью [2]. С одной стороны, если наличие хранилищ данных может повлиять на общую производительность двойников, их отсутствие делает ЦД более уязвимыми для киберпреступности.

Предложения для решения выявленных проблем. Проблемы, связанные с новизной технологии устранятся только с течением времени по мере того, как будет проведено достаточное количество исследований и экспериментов в этой области. В настоящее время эта тема и так является очень популярной для изучения, поэтому в ближайшее время стоит ожидать появления этой технологии как в новых областях, так и развития в уже имеющихся.

Если будет расти интерес к технологии, то количество квалифицированных работников будет увеличиваться. Что касается стоимости разработок по технологии, крайне важным для отраслей является проводить анализ затрат и выгод перед внедрением ЦД. Специально обученные сотрудники должны провести исследования, взвесить все «за» и «против», чтобы оценить эффект от внедрения технологии ЦД. А далее уже проводится

согласование с руководством и представление результатов исследования, после чего принимается решение о внедрении.

Необходимы дальнейшие исследования, чтобы прояснить природу и структуру жизненного цикла ЦД, уделяя особое внимание пониманию того, как возникают требования к ЦД, а также управлению конфигурацией и композицией на протяжении всего жизненного цикла ЦД [1]. При создании ЦД необходимо заранее определить его сложность и детализированность, сделать анализ необходимых составляющих и исключить лишнее [6]. Сотрудники, которые занимаются разработкой и сопровождением ЦД на предприятии должны отлично понимать процессы и объекты, которые затрагивают и моделируют двойники. Все наиболее вероятные области применения ЦД, рассмотренные выше, либо ценны, либо критичны для безопасности. Поэтому очень важно иметь возможность доверять предсказаниям ЦД. Это требование означает, что также должно быть доверие к данным, доверие к модели и доверие к процедуре обновления. При работе с данными необходимо проводить регулярные мероприятия для обеспечения их безопасности.

Анализ результатов исследования. В этом исследовании были рассмотрены различные определения ЦД и области применения ЦД, в которых эта технология уже развивается в полную силу. Она помогает принимать решения с помощью моделирования, машинного обучения и рассуждений. ЦД используются в самых разных отраслях: от розничной торговли до фармацевтики, зеленой энергетики и борьбы с изменением климата. Большую роль эта технология играет в минерально-сырьевой отрасли.

Среди возможных применений двойников в этой области выделяют оптимизацию добычи, переработку сырья, логистику, мониторинг и обслуживание активов. На отечественных предприятиях имеется опыт внедрения ЦД и размеры проектов только растут: в будущем ЦД будут встречаться практически на всех производствах.

ЦД как технология находится в зачаточном состоянии, а это означает, что она далека от полного раскрытия своего потенциала. Своевременный поиск и

решение проблем ЦД имеет решающее значение для использования технологии в различных областях.

Многие проблемы, связанные с двойниками, можно отнести к степени новизны технологии: отсутствие однозначности в отношении ее определения и значимости; отсутствие стандартов и правил; отсутствие компетентных инженеров и техников; отсутствие вспомогательного ПО. Так как данные служат основой для функционирования двойников, то вопросы их безопасности и права собственности требуют большого внимания.

В дополнение также необходимо расширить горизонты и определить проблемы, с которыми технология может столкнуться в будущем [9]. Понимание целостного взгляда на ЦД, его характеристики, его преимущества, способы его реализации и связанные с ним проблемы, необходимы, чтобы раскрыть истинный потенциал технологии.

Выводы. Исходя из анализа сделаны следующие выводы:

1. Не существует точного и категоричного определения для технологии ЦД, для каждой отрасли использования существует свое понятие со своими особенностями и уточнениями.

2. Число сфер применения ЦД стремительно растет, и технология набирает популярность [8]. И так как технология молодая, необходимо еще провести много исследований, чтобы достичь достаточно высокого уровня знаний о ней.

4. В горнодобывающей промышленности технология ЦД успела стать важной частью технологических процессов. Она используется в таких процессах, как добыча, переработка, доставка, хранение.

5. Проблемы, связанные с внедрением ЦД, общие для всех областей.

6. Для принятия решения и внедрении технологии на предприятии следует провести взвешенный качественный анализ, подготовить сотрудников, имеющих соответствующие навыки для работы с двойниками, обеспечить безопасность данных.

Библиографический список

1. Anderl, R., Haag, S., Schützer, K., Zancul, E. Digital twin technology – An approach for Industrie 4.0 vertical and horizontal lifecycle integration. *It - Information Technology*, 60(3), 125-132.
2. Barricelli, B. R., Casiraghi, E., Fogli, D. A Survey on Digital Twin: Definitions, Characteristics, Applications, and Design Implications. *IEEE Access*, 7, 167653-167671.
3. Cimino, C., Negri, E., Fumagalli, L. Review of digital twin applications in manufacturing. *Computers in Industry*, 113, 103130.
4. Rasheed, A., San, O., Kvamsdal, T. Digital Twin: Values, Challenges and Enablers From a Modeling Perspective. *IEEE Access*, 8, 21980-22012.
5. Saddik A. E. Digital Twins: The Convergence of Multimedia Technologies // *IEEE MultiMedia*, 2018, vol. 25, no. 2, pp. 87-92.
6. Боровков А. И., Гамзикова А. А., Кукушкин К. В., Рябов Ю. А. Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности: краткий доклад. СПб.: ПОЛИТЕХПРЕСС, 2019.
7. Золотарев О.В. Применение цифровых двойников в горнодобывающей промышленности: цифровой двойник мельницы измельчения. – Международный форум SEYMARTEC Mining. Эффективность и безопасность горнодобывающей промышленности, Челябинск, 2019.
8. Коровин Г. Б. Возможности применения цифровых двойников в промышленности // *Вестник Забайкальского государственного университета*. 2021. Т. 27, № 8. С. 124-133.
9. Литвиненко В.С., Сергеев И.Б. Инновационное развитие минерально-сырьевого сектора // *Проблемы прогнозирования*. 2019. №6 (177).
10. Нгуен Х.Х., Бажин В.Ю. Оптимизация системы управления электролитическим рафинированием меди с использованием цифрового двойника в процессе дендритного осаждения. *Металлург* 67, 41–50 (2023).
11. Плоткин Б.К., Хайкин М.М. Формирование и развитие теории минерально-сырьевой логистики // *Записки Горного института*. 2017. Т. 223. С. 139-146.
12. Разманова С.В., Андрухова О.В. Нефтесервисные компании в рамках цифровизации экономики: оценка перспектив инновационного развития // *Записки Горного института*. 2020. Т. 244. С. 482-492.
13. Череповицын А.Е., Третьяков Н.А. Разработка новой системы оценки применимости цифровых проектов в нефтегазовой сфере // *Записки Горного института*. 2023. Т. 262. С. 628-642.

Рецензент: д.т.н., проф. И.Б. Арефьев

© И. В. Бровченко, А. В. Гурко

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы
Екатерины II», Российская Федерация

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ШНЕКОВЫХ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ОРГАНОВ КОМБАЙНОВ ДЛЯ ПЛАСТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГОЛЬНЫХ ШАХТ

Аннотация. В работе рассматриваются методы математического моделирования, которые применяются для оптимизации конструкций и режимов работы рабочих органов горных выемочных машин. Изложены теоретические основы, лежащие в основе моделирования, а также практические аспекты применения моделей для повышения эффективности и надёжности машин. Обсуждаются достижения и недостатки существующих методологий, а также предлагаются направления для дальнейших исследований в области проектирования и эксплуатации резовых инструментов. Акцент делается на использовании компьютерного моделирования для анализа нагрузок, возникающих при взаимодействии реза с горным массивом, и исследовании процессов изнашивания и разрушения режущего элемента.

Ключевые слова: резец, выемочная машина, эффективность, износостойкость, надёжность, математическое моделирование.

Введение. Шнековые исполнительные органы очистных комбайнов оснащаются преимущественно тангенциальными поворотными резами, особенно при их эксплуатации на угольных пластах сложного строения с породными прослоями и твердыми включениями [1]. Тангенциальные поворотные резы не имеют режущих кромок, отделение угля от массива осуществляют последовательными элементарными сколами [2]. Из-за меньшей стоимости, большей стойкости и удобства эксплуатации эти резы, получили преобладающее распространение в горнодобывающей и горно-строительной отраслях [3]. Процесс отделения угля от массива шнековыми исполнительными органами включает в себя резание массива, вынос угля резами и рецедержателями из зоны резания в радиальном направлении, транспортирование угля лопастями шнека в осевом направлении к зоне

разгрузки [4], при этом поток угля на разных участках его траектории меняет направленность движения, что приводит к возникновению циркуляций в потоках и к изменению сопротивлений их движению [5].

Эффективность процесса отделения полезного ископаемого от массива шнековыми исполнительными органами при заданных скоростях резания и подачи очистных комбайнов зависит от значений геометрических и конструктивных параметров, как самих исполнительных органов, так и их резцов, и резцедержателей, что в совокупности отражается на значениях параметров расстановки резцов на исполнительном органе. При этом правильный выбор режущего инструмента, схем его расстановки и способов крепления на исполнительном органе, позволяют увеличить производительность горной машины [6], обеспечить снижение расхода резцов и повысить ресурс как исполнительных органов [7] и комбайнов [8].

Анализ исследований. Для оценки характеристик резцов исполнительных органов очистных комбайнов используются специализированные методы расчёта, адаптированные под различные классы машин. В России применяются отраслевые стандарты ОСТ 12.44.258 – 84 и ОСТ 12.44.197 – 81, получившие признание стране и за рубежом. Кроме того, существуют другие значимые работы в этой области [9], которые уточняют и дополняют теоретические модели разрушения пород [10].

В настоящее время имеются неразрешенные проблемы, связанные с построением математической модели, которая всецело зависит от условий, в которых работает шнековый исполнительный органы и геометрии его резцового инструмента.

Математическая модель. В методике ОСТ 12.44.258 – 84 количество резцов в линиях резания четко не определено, изменяется от максимального в крайней линии $m_{к1} = m_{сi} + (2 \dots 3)$ до минимального $m_{кн} = m_{сi}$ в линии, примыкающей к первой забойной $m_{сi}$. Недостатки данной методики при определении расположения резцов: неравномерное их расположение в линии резания по длине окружности диска шнека (угловому шагу), что приводит к неравномерности нагрузок на каждый отдельный резец и к повышению

неравномерности нагруженности исполнительного органа; не удаётся расположить резцы так, чтобы каждый последующий резец последовательно расширял врубовую полость, созданную первым врубовым резцом; увеличение вероятности не отклонения резцедержателя от борозды развала среза, что приводит к увеличению нагрузки на резец и к интенсивному износу резцедержателя.

При определении ширины захвата части $B_{з.к}$ шнекового исполнительного органа при числе линий резания $n_{лк} \geq 5$, не обеспечивается выполнение условия:

$$1,3 \cdot \bar{t}_{\text{опт.з}} \leq B_{з.к} = \sum_{i=1}^{n_{лк}-1} t'_{ki} \leq 2 \cdot \bar{t}_{\text{опт.з}} \quad (1)$$

Шаги резания в линиях резания могут оказаться меньше диаметра керна, что отрицательно сказывается на сортности добываемого угля по гранулометрическому составу.

Одним из основных параметров, влияющим на эффективность процесса отделения угля от массива резцами шнековых исполнительных органов очистных комбайнов является угол установки резца к плоскости резания – θ . Однако, в ОСТ 12.44.258–84 не обоснован выбор угла установки резца к плоскости резания – θ , а указывается только его возможный диапазон 45-53. Существует зависимость угла установки тангенциально поворотного резца θ от угла заострения керна резца β_k . При этом $\alpha_k = \theta - \frac{\beta_k}{2}$ и $\delta = \theta + \frac{\beta_k}{2}$, где α_k – задний угол резца, δ – значение конструктивного угла резания.

В процессе работы в зависимости от значений угла установки резца, скоростей резания v_p и подачи v_n фактические кинематические углы (α_k и δ_k) отличаются от геометрических [9]:

$$\delta_k = \delta \pm \arctg \frac{v_n}{v_p} \quad (2)$$

Знак «–» соответствует подаче резца на забой. Различие в значениях α_k и α сказывается на нагрузках при работе современных шнековых комбайнов при высоких значениях мгновенной скорости подачи.

В работе [9] установлено, что отжимающее усилие Y начинает интенсивно возрастать при $\alpha_k < 10^\circ$ и особенно при $\alpha_k < 5^\circ$. При этом усилия резания Z при

уменьшении α_k сначала немного снижаются в силу уменьшения кинематического угла резания δ_k , а затем резко возрастают из-за интенсивного роста составляющих сил трения, действующих на заднюю и боковые грани резца. При $\alpha_k > 10$ значение отношения Y/Z стабилизируются. Для поворотных резцов при резании угля рациональное значение α_k составляет 15° . Углы заострения керна резца (β_k) и установки его на исполнительном органе (θ) следует выбирать такими, чтобы при работе кинематический задний угол α_k был не менее 10° , а геометрический угол резания δ не превышал 85° . Следовательно, должно удовлетворяться условие:

$$\alpha_k = \alpha - \arctg \frac{V_n}{V_p} \geq 10^\circ \quad (3)$$

$$\Delta = \alpha + \beta_k \leq 85^\circ \quad (4)$$

Исследования тангенциальных поворотных резцов с конической формой режущей части позволили установить, что при расчете их нагруженности при резании угля со стружками $15-25 \text{ см}^2$ необходимо учитывать следующие геометрические параметры инструмента [9]: диаметр керна, изменение которого в диапазоне от 7 до 30 мм влияет на нагрузки; угол заострения головки керна, с увеличением которого силы резания и подачи линейно возрастают; радиус скругления головки керна, с увеличением которого нагруженность резцов нелинейно возрастает; вылет керна и диаметр технологического буртика державки резца, которые следует выбирать такими, чтобы державка не выходила за пределы конусной поверхности головки керна; угол конусности державки, который следует принимать не более 30° , поскольку при таких значениях он практически не влияет на нагруженность поворотных резцов. Рациональные значения углов разворота зависят от схемы резания и составляют: для последовательной схемы – $12-17^\circ$ в сторону не разрушенного массива, для шахматной – $3-8^\circ$ в противоположную сторону.

Экспериментально установлено [9], что усилия резания, подачи и боковые, равно как и энергоёмкость резания, при применении поворотных резцов с конической формой режущей части выше, чем при резании

долотчатыми резцами. Однако при этом следует иметь в виду, что в процессе наработки поворотных резцов изнашивается его стальная державка, образуется положительный задний и боковые углы, что благоприятно сказывается на снижении нагрузок на резец при резании.

Разработка компьютерной модели. Выбор и расчет параметров исполнительных органов очистных комбайнов, также расчета нагрузок на резцах и на самих исполнительных органах позволяет проектировать энергоэффективные, ресурсосберегающие исполнительные органы.

На первом этапе формируются исходные данные для проектирования схемы размещения резцов в соответствии с 1-м и 2-м блоками. После этого рассчитывается толщина стружки, кутковый шаг резания, число линий резания в различных частях шнека и другие параметры. Все результаты сохраняются в динамическом массиве. На втором этапе выполняется определение толщины стружки. Затем проводится расчёт основных параметров резания: первичного куткового шага, количества линий резания как в кутковой, так и в забойной частях шнека, а также углов наклона резцов по отношению к направлению подачи в кутковой части. Далее устанавливаются и определяются шаги резания $t'_{кi}$ и забойной $t'_{зi}$ в забойной частях шнека. Результаты этих расчетов заносятся в динамический массив данных. Третий этап включает расчет общего количества резцов на забойной и кутковой частях рабочего инструмента, исходя из предварительно рассчитанных значений количества резцов на соответствующих линиях резания. Также определяется угловой шаг для кутковых резцов γ_{ki} и вычисляются центральные углы γ_{zi} которые формируют угол между исходной точкой отсчета и каждым i -м забойным резцом. Эти данные также включаются в созданный массив углов расположения резцов. На четвертом этапе реализуется расчет сил, действующих на резцы при резании: силы резания, силы подачи и боковые силы. Эти нагрузки рассчитываются для каждого отдельного резца, принимая во внимание изменяющуюся толщину стружки на каждом этапе вращения рабочего органа. Анализируется не менее 36 положений шнека, чтобы обеспечить точность расчетов.

Заключение. Анализ исследований в области разрушения горных пород и углей резовым инструментом горных машин показал, что большинство специалистов развивают теоретические положения модели Эванса. Совершенствование этой модели происходит путем расширения области её применения. Отечественные исследования разрушения горных пород основываются на обширных экспериментах и методиках, прошедших апробации. Исходя из проведенного анализа методик расчета, опыта изготовления, ремонта и эксплуатации шнековых исполнительных органов были сформулированы рекомендации и предложены изменения к существующей методике ОСТ 12.44.258-84.

Уточнение методики расчета нагрузок, действующих на шнековый исполнительный орган, и разработка алгоритма и программного обеспечения позволят рассчитывать рациональные для конкретных условий эксплуатации параметры шнекового исполнительного органа очистного комбайна, что обеспечит улучшение сортности добываемого угля по гранулометрическому составу, снижение динамической нагруженности комбайна, и, как следствие, увеличение его производительности и надежности.

Библиографический список

1. Gabov V.V., Zadkov D.A., Nguyen Van Xuan, Hamitov M.S., Molchanov V.V. To the problem of improvement the working tools of mining excavation machines // MIAB. Mining Inf. Anal. Bull. 2022. no(6–2). pp. 205—222. [In Russ]. https://doi.org/10.25018/0236_1493_2022_62_0_205
2. Yuan Y., Wang S., Wang W. Numerical simulation of coal wall cutting and lump coal formation in a fully mechanized mining face // Int J Coal Sci Technol. 2021. Vol. 8. pp. 1371–1383. <https://doi.org/10.1007/s40789-020-00398-x>
3. Захаров В. Н., Линник Ю. Н., Линник В. Ю., Жабин А. Б., Цих А. Д. Влияние конструкции исполнительных органов выемочных машин на процесс разрушения и погрузку угля // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 3. С. 5–16. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2021-3-0-5-16>
4. Nguyen K. L., Gabov V. V., Zadkov D. A. Improving efficiency of cleanup and coal flow formation on conveyor by shearer loader with accessorial blade // Eurasian Mining. 2019. Т. 1. С. 37-39. <https://doi.org/10.17580/em.2019.01.09>

5. Габов В. В., Суан Н. В., Задков Д. А., Тхо Ч. Д. Увеличение содержания крупных фракций в добываемой массе угля комбайном с использованием парных срезов // Записки Горного института. 2022. Т. 257. С. 764–770. <https://doi.org/10.31897/PMI.2022.66>

6. Нгуен В.С., Нгуен К.Л., Лыков Ю.В. Увеличение выхода крупных фракций в процессе добычи угля шнековыми очистными комбайнами // Горный журнал. 2021. № 2. С. 97-100. <https://doi.org/10.17580/gzh.2021.02.13>

7. Габов В. В., Задков Д. А., Нгуен К. Л. Особенности формирования элементарных сколов в процессе резания углей и изотропных материалов эталонным резцом горных машин // Записки Горного института.– 2019. – Т. 236.– С. 153-161. <https://doi.org/10.31897/PMI.2019.2.153>

8. Сидоренко А.А., Дмитриев П.Н., Алексеев В.Ю., Сидоренко С.А. Совершенствование технологических схем обработки склонных к самовозгоранию пластов угля, опасных по горным ударам // Записки Горного института. 2023. С. 1-13. <https://doi.org/10.31897/PMI.2023.37>

9. Yungmeister D. A., Lavrenko S. A., Yacheikin A. I., Urazbakhtin R. Y. Improving the shield machine cutter head for tunneling under the conditions of the Metrostroy Saint Petersburg mines // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2020, Vol. 15, no. 11, pp.1282–1288. <https://doi.org/10.17580/nfm.2020.02.01>

10. Казанин О. И., Сидоренко А. А., Мешков А. А. Организационно-технологические принципы реализации потенциала современного высокопроизводительного очистного оборудования // Уголь. 2019. № 12. С. 4–13. <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2019-12-4-13>

11. Zenkov I.V., Morin A.S., Vokin V.N., Kiryushina E.V. Remote sensing of mining and haulage equipment arrangement in Russia: A case-study of the coal and iron ore industry // Eurasian Mining. 2020. Vol. 2020. no 2. pp. 46-49.. <https://doi.org/10.17580/em.2020.02.11>

12. Аверин Е. А. и др. Переход между заблокированным и полублокированным режимами при резании горных пород тангенциальными резцами // Записки Горного института. 2021. Т. 249. С. 329-333. <https://doi.org/10.31897/PMI.2021.3.1>

Рецензент: д.т.н., проф. И.Б. Арефьев

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

Аннотация. В данной статье представлены методы исследования деятельности промышленного предприятия по производству бетона ООО «СтарорусСтройБетон», результаты исследования с помощью методов априорного ранжирования, многомерного корреляционно-регрессионного анализа и построения прогнозных моделей. В статье описаны планы по построению имитационной модели системы массового обслуживания для анализа работы отдела доставки бетона на промышленном предприятии.

Ключевые слова: производство, регрессионный анализ, факторный анализ, прогнозирование, математическое моделирование, бетон, имитационное моделирование.

Введение. В современном мире ставится остро вопрос об эффективности работы предприятий. Для решения этой проблемы активно используются разные методы анализа, позволяющие не только оценить эффективность деятельности компании, но и выявить слабые места. Для определения показателей функционирования сложной системы необходимо построить модель, которая будет описывать деятельность предприятия [1]. Для этого используются методы, позволяющие установить аналитические зависимости и выбрать критерии для оценки [2].

Методы моделирования активно используются для исследования систем различной природы, например при расчете рисков использования сжиженного природного газа в транспорте [3] или при моделировании влияния учёта влажности воздуха на рабочий процесс сжатия в центробежном компрессоре [4].

Для выявления показателей, в большей и меньшей степени влияющих на тот или иной процесс, используется факторный анализ, который применяют в разных сферах деятельности, например, в сфере образования [5] или горнодобывающей промышленности [6].

Обоснование методов исследования. После изучения информации по производству бетона, деятельности предприятия, были получены задачи от генерального директора: определение наиболее важных факторов, влияющих на выбор клиента; определение факторов, влияющих на объем произведенного продукта в год; прогнозирование объема произведенного продукта на 2024 год; анализ работы отдела доставки бетона.

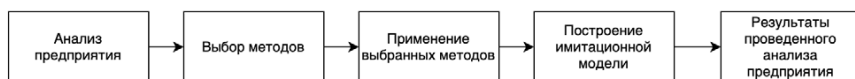


Рис. 1 Общая схема описания анализа предприятия

Для эффективного решения задач были выбраны методы системного анализа, которые помогут решить задачи, поставленные руководителем ООО «СтарорусСтройБетон» (рис.2).



Рис. 2. Выбранные методы для анализа

Для выявления предпочтений при выборе производителя бетона заказчиком было решено использовать метод априорного ранжирования факторов. Для того, чтобы выполнить задачи 2 и 3 был выбран метод

многомерного корреляционно-регрессионного анализа, который поможет определить степень влияния факторов на объем произведенного бетона, а также построить уравнение регрессии, с помощью которого можно спрогнозировать объем на 2024 год. Для достоверности данных решено построить линейную прогнозную модель и сравнить полученные прогнозные значения.

Для анализа работы отдела доставки продукта будет построена имитационная модель в программе GPSS. Так как доставку бетона на предприятии можно рассмотреть, как систему массового обслуживания.

Результаты. По итогам использования метода априорного ранжирования на диаграмме Парето (Рис. 3) видно, что сроки доставки и вид щебня играют более важную роль при выборе клиентом производителя бетона.

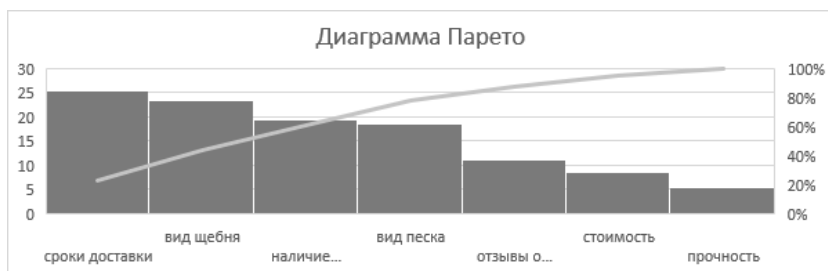


Рис. 3. Диаграмма Парето по итогам метода априорного ранжирования

После применения многомерного корреляционно-регрессионного анализа к исходным данным, полученным от предприятия, было выявлено, что наименьшее влияние на объем произведенного бетона имеет фактор x_2 – объем песка на открытом складе, а наибольшее – x_3 – количество активных бетоновозов (рис. 4).

	y	x1	x2	x3	x4	x5
y		1				
x1	0,85550525		1			
x2	0,26366133	0,24785521		1		
x3	0,89767285	0,73576554	0,42700841		1	
x4	0,80846968	0,65060482	0,39223227	0,81649658		1
x5	-0,6014376	-0,6124661	0,14089399	-0,4399413	-0,3592106	

Рис. 4. Результат функции «Корреляция»

Получив данные от предприятия о плановых показателях (x_1 – количество заказчиков, x_2 – объем песка на открытом складе, x_3 – количество активных бетоновозов, x_4 – количество активных погрузчиков, x_5 – время производства одного куба бетона) с помощью полученного уравнения регрессии будет спрогнозировано значение на 2024 год.

Таблица 1. Исходные данные для прогнозирования

Год	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Объем произведенного бетона	9567	10156	10235	11435	11583	12856	13245	13427	13674	15427	15678	16567

Для выбора более точной математической модели при построении прогноза было рассмотрено три вида: линейная, экспоненциальная и логарифмическая модель. Коэффициенты детерминации получились 0,98; 0,99 и 0,85 соответственно. Можно сделать вывод, что лучшей моделью, описывающей исходные данные, является экспоненциальная модель.

Было получено прогнозное значение на 2024 год – 17438 м³ с доверительным интервалом $\pm 901,92$ м³ и вероятностью 95%.

Обсуждение. В завершении необходимо сравнить два спрогнозированных значения, которые должны получиться приблизительно равными. Проверить достоверность спрогнозированных данных можно будет только по итогам 2024 года.

Выводы. По итогам работы будут предоставлены ответы на все вопросы руководителя предприятия, а именно, факторы, наиболее влияющие на выбор клиентом производителя бетона и объем произведенного бетона, среднее спрогнозированное значение исходя из результатов многомерного корреляционно-регрессионного анализа и построения прогнозных моделей, а также результаты анализа работы отдела доставки бетона с рекомендациями по его улучшению при необходимости.

Библиографический список

1. Афанасьева, О. В. Вибродиагностирование технического состояния судовых дизелей по критериям подобия: специальность 05.08.05 "Судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные)": диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Афанасьева Ольга Владимировна. Санкт-Петербург, 2004. 196с.
2. Ильюшин, Ю. В. Разработка системы управления технологическим процессом добычи высокопарафинистой нефти : специальность 05.13.06 "Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям)" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Ильюшин Юрий Валерьевич, 2021. 275 с.
3. Afanasev P.M. Simulation of liquid fuel spills combustion dynamics based on computational fluid dynamics using modern application programs В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference "EarthScience". 2020. С. 022034.
4. Афанасьев М.П. Сравнительный анализ влияния учёта влажности воздуха на рабочий процесс сжатия в центробежном компрессоре при проведении расчётов на основе двух подходов в моделировании газовых смесей / М.П. Афанасьев, Е.А. Кротовская // В сборнике: Анализ и прогнозирование систем управления в промышленности, на транспорте и в логистике. XXIII Международная научно-практическая конференция молодых учёных, студентов и аспирантов. 2023. С. 30-44.
5. Афанасьева О.В. Исследование основного показателя деятельности социально значимого объекта методами системного анализа / Афанасьева О.В., Прокофьев А.С. // В сборнике: Анализ и прогнозирование систем управления в промышленности, на транспорте и в логистике. XXIII Международная научно-практическая конференция молодых учёных, студентов и аспирантов. 2023. С. 52-57.
6. Игнатенко А.А. Анализ факторов аварийного простоя экскаваторного парка горнодобывающего предприятия методами множественного корреляционно-регрессивного анализа на примере угольного разреза РУ "НОВОШАХТИНСКОЕ" ООО "ПРИМОРСКУГОЛЬ" / А.А. Игнатенко, О.В. Афанасьева // В сборнике: Анализ и прогнозирование систем управления в промышленности, на транспорте и в логистике. Сборник трудов XXII Международной научно-практической конференции молодых ученых, студентов и аспирантов. Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. 2022. С. 139–145.

Рецензент: д.т.н., проф. В.Е. Трушников

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТРУКТУРНОГО
ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ
ХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ
СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА**

Аннотация: Для исследования процессов и явлений необходимо применять методы, позволяющие установить зависимость исследуемого процесса от различных факторов. В настоящее время методы системного анализа нашли применение во всех сферах деятельности человека. Модели сложных процессов позволяют установить зависимость, определить степень влияния различных обстоятельств и определить критерии для оценки состояния системы.

Ключевые слова: системный анализ, априорное ранжирование факторов, корреляционно-регрессионный анализ, технологический процесс, очистка растворителей, полиграфическая промышленность.

Введение. Владельцы компаний часто задаются вопросом: «как увеличить прибыль?». Для того чтобы получить ответ на этот вопрос, необходимо определить какие факторы имеют наибольшее влияние на работу компании. Двадцать первый век можно охарактеризовать, как век научно-технического прогресса [1, 4]. Промышленность становится все более цифровой, цифровое предприятие уже стало реальностью [7].

Компьютер может произвести анализ деятельности в два клика, однако стоит понимать какой именно метод стоит использовать для достижения поставленных целей.

Сегодня моделирование сложных процессов с использованием современных инструментов анализа, обработки и представления информации

является неотъемлемой составляющей эффективного управления любой системой [2,3].

Одними из самых часто используемых методов являются методы априорного ранжирования факторов и многомерного корреляционно-регрессионного анализа. Это связано с простотой проведения анализа, а также широким спектром применения в различных областях, например, обработка результатов социологического опроса, технического эксперимента или работы строительной компании [6].

Априорное ранжирование факторов. В качестве примера использования метода априорного ранжирования факторов возьмем компанию ООО «Компонент», занимающуюся очисткой лакокрасочных растворителей. В качестве влияющих были выбраны следующие факторы:

x_1 – количество сотрудников в цеху предприятия;

x_2 – качество исходного сырья;

x_3 – температура, которую может поддерживать устройство;

x_4 – квалификация сотрудников;

x_5 – количество растворителя на входе;

x_6 – поломки оборудования;

x_7 – энергозатраты на восстановление режима работы оборудования после отключения электроэнергии;

x_8 – платежеспособность компании, оказывающей услугу.

Оценки экспертов были записаны в таблицу (табл. 1).

Таблица 1. Матрица рангов.

Эксперт	Факторы							
	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
1	4	1	3	2	5	6	7	8
2	1	2	8	5	7	4	3	6
3	2	5	3	1	4	6	8	7
4	6	3	1	4	2	7	8	5
5	7	2	3	1	4	5	6	8

При применении факторного анализа [6] было выявлено, что в нашем случае наибольшее влияние оказывает второй и четвертый фактор – качество исходного сырья и температура кипения растворителя, а фактор 8 – платежеспособность клиента – влияет незначительно.

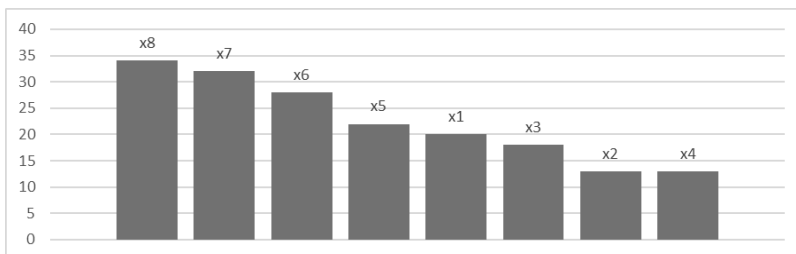


Рис. 1. Диаграмма рангов.

Применив метод априорного ранжирования факторов, были выявлены факторы, оказывающие наибольшее и наименьшее влияние на результат работы предприятия.

Многомерный корреляционно-регрессионный анализ. Использование второго метода будет также основываться на данных компании ООО «Компонент». Цель многомерно-корреляционно-регрессионного анализа: определение факторов, которые наиболее сильно влияют на количество очищенного растворителя, при помощи построения прогнозной модели.

Воспользовавшись методом корреляционно-регрессионного анализа факторов [5], выявляем сильную корреляцию между факторами x_1 и x_3 . Чтобы избежать этого необходимо исключить фактор x_3 , тогда получим следующее уравнение регрессии:

$$\hat{y} = 0.05 + 0.73x_1 - 0.24x_2 - 0.17x_4 + 0.23x_5$$

Средняя ошибка равна 0,59%, что означает, что модель отличного качества.

Полученные данные заносим в таблицу 3.

Таблица 3. Исходные данные.

Год	№	количество чистого растворителя на выходе, т	количество полученного сырья, т	количество сотрудников цеха, чел.	количество запусков	остановка производства, дни	человеческий фактор
Год	№	у	х ₁	х ₂	х ₃	х ₄	х ₅
2013	1	402,002	574,289	7	97	35	5
2014	2	703,372	1004,817	11	186	31	7
2015	3	711,476	837,031	9	194	30	7
2016	4	926,562	1090,073	8	190	25	10
2017	5	506,1	723,000	12	129	35	6
2018	6	447,978	527,033	9	110	33	4
2019	7	215,874	308,391	8	41	93	6
2020	8	354,352	416,885	6	67	61	5
2021	9	689,26	810,894	9	181	32	6
2022	10	750,911	1072,730	10	203	30	9

Выводы. По результатам проведенных анализов можно сделать вывод о работе предприятия, также выявлены факторы, имеющие наибольшее влияние на результаты деятельности компании.

Полученные данные могут помочь организовать производство таким образом, чтобы количество очищенного растворителя было максимальным, то есть повысить производительность компании и увеличить прибыль.

В дальнейшей работе по данной теме будет разработана модель системы массового обслуживания, которая также будет использована для построения плана дальнейшей работы компании с минимальными затратами и максимальной прибылью.

Библиографический список

1. Ильющин, Ю. В. Разработка системы управления технологическим процессом добычи высокопарафинистой нефти: специальность 05.13.06 "Автоматизация и управление

технологическими процессами и производствами (по отраслям)" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Ильющин Юрий Валерьевич, 2021. – 275 с.

2. Afanasev P.M. Simulation of liquid fuel spills combustion dynamics based on computational fluid dynamics using modern application programs В сборнике: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Science and Technology Conference "EarthScience". 2020. С. 022034.

3. Афанасьев М.П. Анализ влияния на рабочий процесс систем судовой дизельной установки с наддувом / М.П. Афанасьев, Д.И. Гвоздев // В сборнике: Анализ и прогнозирование систем управления в промышленности, на транспорте и в логистике. Сборник трудов XXII Международной научно-практической конференции молодых ученых, студентов и аспирантов. Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. 2022. С. 62-66.

4. Афанасьев М.П. Исследование двухфазных потоков при испарительном охлаждении воздуха в центробежном компрессоре агрегата наддува ДВС // Russian Journal of Logistics & Transport Management. 2021. Т. 6. № 5. С. 22-25.

5. Путило С.Ю. Многомерный корреляционно-регрессионный анализ работы структурного подразделения предприятия по транспортировке природного газа / Путило С.Ю., Афанасьева О.В. // В сборнике: Анализ и прогнозирование систем управления в промышленности, на транспорте и в логистике. Сборник трудов XXII Международной научно-практической конференции молодых ученых, студентов и аспирантов. Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. 2022. С. 208-214.

6. Игнатенко А.А. Анализ факторов аварийного простоя экскаваторного парка горнодобывающего предприятия методами множественного корреляционно-регрессивного анализа на примере угольного разреза РУ "НОВОШАХТИНСКОЕ" ООО "ПРИМОРСКУГОЛЬ" / Игнатенко А.А., Афанасьева О.В. // В сборнике: Анализ и прогнозирование систем управления в промышленности, на транспорте и в логистике. Сборник трудов XXII Международной научно-практической конференции молодых ученых, студентов и аспирантов. Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. 2022. С. 139-145.

7. Ромашин Д.В. Исследование показателей функционирования подразделения, осуществляющего контроль за эксплуатацией добывающей скважины кавказских минеральных вод на основе методов системного анализа / Ромашин Д.В. // В сборнике: Анализ и прогнозирование систем управления в промышленности, на транспорте и в логистике. Сборник трудов XXIII Международная научно-практическая конференция молодых учёных, студентов и аспирантов. 2023. С. 45-57.

Рецензент: д.т.н., проф. В.Е. Трушников

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ МЕТОДАМИ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА

Аннотация. В данной работе с помощью методов системного анализа была исследована деятельность предприятия химической промышленности. Целью исследования является оценка и выработка рекомендаций по повышению эффективности работы предприятия. Для достижения цели были выполнены следующие задачи: проведена прогнозная оценка показателя эффективности работы предприятия; с помощью многомерного корреляционно-регрессионного анализа проанализированы факторы, влияющие на данный показатель; разработана и проанализирована имитационная модель работы структурного подразделения предприятия. Актуальность исследования обоснована возможностью применения его результатов на практике в целях оптимизации и повышения эффективности работы предприятия.

Ключевые слова: анализ, факторы, предприятие, процесс, моделирование

Введение. Системное исследование деятельности предприятия позволяет выявить тенденции его развития, причины возможных проблем и выработать варианты их устранения, поэтому данная тема всегда будет актуальна.

Целью работы является системное исследование и анализ работы предприятия в целом и выбранного структурного подразделения для формирования рекомендаций по улучшению и повышению эффективности работы предприятия.

Для достижения цели были определены следующие задачи: исследовать статистические данные и построить прогнозную модель основного показателя работы предприятия; построить модель и провести анализ факторов с помощью многомерного корреляционно-регрессионного анализа; провести имитационное моделирование работы отдела как системы массового обслуживания и проанализировать полученные результаты.

Прогнозная оценка. Первый этап исследования – это прогнозная оценка.

Прогнозирование необходимо для выработки и принятия управленческих решений по улучшению различных показателей эффективности. Имея статистические данные по показателям эффективности можно проанализировать и выявить тенденцию их изменения, что играет важную роль в принятии решений [1]. Проанализируем работу структурного подразделения предприятия, для этого проведем анализ данных об объеме выпуска продукции. В качестве объекта исследования была выбрана годовая статистика объема выпуска продукции за 2015 – 2022 г. (рис. 1).

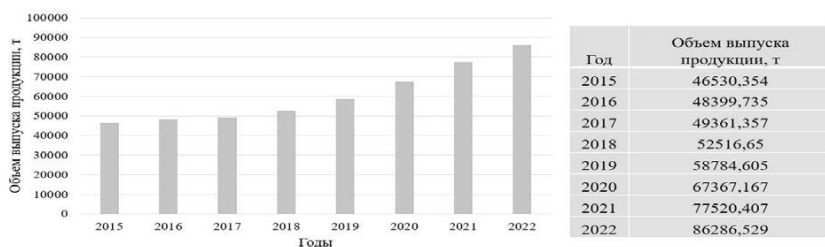


Рис. 1. Статистика изменения объема выпуска продукции

По имеющимся данным были построены линейная, степенная и экспоненциальная модели. Все модели являлись приемлемыми, но наибольшим коэффициентом детерминации обладала экспоненциальная модель, поэтому прогноз был построен на ее основе (рис. 2).



Рис. 2. Полученный прогноз

На основании полученной прогнозной оценки был сделан вывод, что объем выпускаемой продукции с каждым годом увеличивается и продолжит

увеличиваться, что является хорошим показателем. Для выработки рекомендаций по поддержанию и улучшению этой тенденции было предложено рассмотреть факторы, которые влияют на объем производства продукции.

Многомерный корреляционно-регрессионный анализ. Второй этап исследования – это многомерный корреляционно-регрессионный анализ. С помощью многомерного корреляционно-регрессионного анализа можно спрогнозировать тот или иной процесс, выявить наиболее значимые факторы, влияющие на него и принять эффективное решение [2].

Объем выпускаемой продукции зависит от времени простоя процесса производства. В свою очередь время простоя зависит от различных видов отказов. Рассмотрим влияние отказов (отказы электрической части оборудования, тепломеханической части оборудования, сбой внешних сетей, отсутствие запасных частей и материалов, переналадки и переоснащение технологических линий и производства) на время простоя процесса производства. Имеются отчетные данные о времени простоя (процент простоя от среднего значения прошлого года) и количестве отказов с января по ноябрь 2022 г. (рис. 3).

Месяц	Время простоя, %	Отказы (шт)				
		Отказ электрической части оборудования	Отказ тепло-механической части оборудования	Сбой внешних сетей	Отсутствие запасных частей и материалов	Переналадки, переоснащение технологических линий и производства
	y	x1	x2	x3	x4	x5
январь	96	203	401	8	4	6
февр.	100	263	462	9	9	7
март	104	391	407	10	9	8
апр.	109	436	411	10	10	9
май	114	423	457	6	9	10
июнь	120	489	500	8	10	11
июль	130	491	502	9	8	8
авг.	129	508	688	10	9	9
сентяб.	143	532	602	10	10	9
окт.	151	571	620	12	12	10
нояб.	169	585	799	15	13	15

Рис. 3. Исходные данные

Для того чтобы проанализировать влияние отказов на время простоя проведен регрессионный анализ, в результате было получено статистически значимое уравнение регрессии:

$$\tilde{y}_x = 28,162 + 0,096x_1 + 0,069x_2 + 2,052x_3 - 1,286x_4 + 0,958x_5$$

По данному уравнению можно определить среднее значение результата при различных значениях факторов.

Далее был проведен корреляционный анализ (рис. 4).

	y	x1	x2	x3	x4	x5
y	1					
x1	0,876539997	1				
x2	0,901803727	0,736754109	1			
x3	0,750452226	0,558181203	0,7408656	1		
x4	0,749444916	0,802704565	0,6510178	0,67639978	1	
x5	0,780050012	0,743402555	0,7287422	0,612950738	0,8081444	1

Рис. 4. Матрица коэффициентов парной корреляции

По результатам исследования, можно заметить, что:

- фактор x_2 оказывает наибольшее влияние на результирующий показатель;
- фактор x_4 коррелирует с факторами x_1 и x_5 .

Во избежание взаимной корреляции факторов, фактор x_4 был убран из модели, и аналогично была построена новая модель:

$$\tilde{y}_x = 27,312 + 0,084x_1 + 0,075x_2 + 1,614x_3 + 0,413x_5.$$

Полученное уравнение и его параметры являются статистически значимыми.

По результатам проведенного анализа было выявлено, что наибольшее влияние имеют отказы тепломеханической части оборудования.

Имитационное моделирование. Третий этап исследования – это имитационное моделирование.

Имитационная модель воспроизводит поведение реальной системы во времени и позволяет получать подробную статистику по всем аспектам

функционирования системы на основе входных данных [3]. Применение методов имитационного моделирования эффективно в различных отраслях производства [4].

По результатам корреляционно-регрессионного анализа было выявлено, что наибольшее влияние имеют отказы тепломеханической части оборудования. Для минимизации воздействия данного фактора рассмотрим отдел, занимающийся устранением отказов тепломеханической части оборудования как систему массового обслуживания.

Исходные данные для моделирования представлены на рисунке 5. Также на рисунке представлена программа моделирования системы массового обслуживания в среде GPSS World. С помощью GPSS World и Excel был определен номинальный режим работы СМО и проведен полный факторный эксперимент.

Исходные данные							Листинг программы в GPSS World	
$T_{\text{раб}}$	λ	n	m	$\bar{t}_{\text{обс}}$	ЗР	ε	CHANNELS	STORAGE 2; число каналов
12	1,3	2	3	1,25	exp	0,1	GENERATE	(Exponential(1,0,1/1.3)); создание заявки
$T_{\text{раб}}$ – время работы СМО, час; λ – интенсивность поступления заявок ед./час; n – число обслуживающих каналов, ед.; m – максимальная длина очереди, ед.; $\bar{t}_{\text{обс}}$ – среднее время обслуживания, час; ЗР – закон распределения времени обслуживания, exp – экспоненциальный; ε – погрешность вычислений.							TEST L	Q\$Ochered,3,OUT; ограничение длины очереди
							QUEUE	Ochered; заявка попала в очередь
							ENTER	CHANNELS; заявка попала в канал
							DEPART	Ochered; заявка покинула очередь
							ADVANCE	(Exponential(1,0,1.25)); обслуживание заявки
							LEAVE	CHANNELS; заявка покинула канал
							TRANSFER	,OUT1;
							OUT SAVEVALUE	Ushlo+,1; подсчет необслуженных заявок
							OUT1 TERMINATE	0;
							GENERATE	12; рабочие часы
							TERMINATE	1;
							START	1; число прогонов

Рис. 5. Моделирование СМО

По результатам имитационного моделирования был сделан вывод, что при сохранении существующего числа слесарей-ремонтников, время ожидания устранения отказов увеличится (в связи с увеличением общего числа оборудования и удаленностью нового оборудования), что повлечет за собой увеличение времени простоя оборудования и снижение выпуска продукции. Поэтому для оптимизации работы и снижения времени ожидания устранения отказов рекомендуется добавить еще одного слесаря-ремонтника в смену.

Заключение. Системное исследование работы предприятия и выбранного структурного подразделения, позволили выработать рекомендации по улучшению и повышению эффективности работы предприятия химической промышленности. Практическая значимость исследования заключается в возможности применения полученных результатов для дальнейшего развития предприятия.

Подводя итог проведенного исследования, можно отметить, что аналогичные подходы можно применить для анализа работы других подразделений компании.

Библиографический список

1. Первухин, Д. А. Системное исследование деятельности промышленного предприятия по производству усилителей сотового сигнала ООО "Полоса частот" / Д. А. Первухин, В. С. Лазебный // Системный анализ в проектировании и управлении: сборник научных трудов XXII Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 22–24 мая 2018 года. Том Часть 2. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2018. – С. 50-58. – EDN UUKPOK.

2. Пережогина, А. В. Применение множественного регрессионного анализа в MS EXCEL и RSTUDIO для определения прогноза дохода / А. В. Пережогина, О. В. Афанасьева // RussianJournalofLogistics&TransportManagement. – 2021. – Т. 6, № 5. – С. 75-80. – EDN VSGTAD.

3. Корельская, А. С. Исследование деятельности производственно- коммерческой компании с использованием методов имитационного моделирования / А. С. Корельская, О. В. Афанасьева // RussianJournalofLogistics&TransportManagement. – 2021. – Т. 6, № 5. – С. 53-57. – EDN DPUSAM.

4. Нейрус, С. К. Исследование структурных подразделений промышленных предприятий с помощью систем массового обслуживания / С.К. Нейрус, В.А. Навацкая, М.П. Афанасьев // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – № 12(126). – DOI 10.23670/IRJ.2022.126.32. – EDN KKJSFB.

Рецензент: д.т.н., проф. В.Е. Трушников

© М. П. Григорьева

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы
Екатерины II», Российская Федерация

АНАЛИЗ РАБОТЫ ОТДЕЛА КАДРОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ТЭЦ КАК СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Аннотация. В настоящее время имитационное моделирование находит широкое применение во многих областях. Благодаря ему возможно воссоздать различные условия функционирования системы. Особое значение этот метод исследования имеет в том случае, когда невозможно или затруднительно проведение экспериментов на реальных объектах. В данной статье реализуется имитационная модель отдела как системы массового обслуживания с использованием программного обеспечения GPSS World. После проведения различных экспериментов и анализа полученных данных было определено оптимально число работников для максимальной эффективности работы отдела. Помимо этого, в статье рассмотрены перспективы использования разработанной модели и пути её дальнейшего совершенствования.

Ключевые слова: имитационная модель, моделирование, система массового обслуживания, оптимизация, GPSS World.

Введение. Системный анализ на сегодняшний день является важным методом познания, используемым при оптимизации сложных систем [1,2]. Применение аналитических методов и технологий позволяет детально изучить поведение системы и преобразовать во взаимосвязанную информацию имеющиеся данные. Благодаря этому можно принимать эффективные решения для улучшения производительности и предсказывать результаты.

Одним из инструментов системного анализа является имитационное моделирование [3,4]. Этот метод включает в себя создание виртуальной модели системы и проведение экспериментов с ней с целью изучения

влияния различных факторов. К преимуществам имитационного моделирования относятся:

1. Изучение объекта без вмешательства в реальные процессы.
2. Проведение экспериментов с разными параметрами (условиями).
3. Возможность построения прогнозов поведения системы в будущем.

Таким образом, рассматриваемый метод позволяет выявлять влияющие на динамические процессы факторы, которые порой не обнаружимы на первый взгляд [5].

Методология исследования. В работе проводится анализ функционирования отдела кадров Северо-Западной ТЭЦ. Одной из задач, стоящих перед данным отделом, является обработка заявок на трудоустройство и наём сотрудников. В статье этот отдел рассматривается в виде системы массового обслуживания. Анализируемый отдел включает в себя 5 сотрудников: руководителя отдела и 4 специалистов. Ежемесячно в отдел поступает в среднем 30 заявок. Максимальная длина очереди ожидания обработки заявки составляет 4. Если количество заявок в очереди достигает этого значения, то новые заявки отклоняются. Среднее время обработки заявки одним сотрудником составляет 6 дней. Исходные данные представлены в табл. 1, расшифровка обозначений в табл. 2.

Таблица 2. Исходные данные имитационной модели

$T_{\text{раб}}$	λ	n	m	$\bar{t}_{\text{обс}}$	ЗР	ε
12	30	5	4	0,2	экспонен.	0,1

Выбор свободного канала для обслуживания заявки осуществляется произвольно. Поток заявок, которые поступают к специалисту, характеризуется как обычный стационарный поток с экспоненциально распределенными временными интервалами между событиями [6]. В данном контексте процесс выбора канала и назначения заявки осуществляется без чётких правил и зависит от текущей загрузки имеющихся ресурсов.

Таблица 3. Расшифровка принятых обозначений

Обозначение	Расшифровка
$T_{\text{раб}}$	время работы СМО, мес.
λ	интенсивность поступления заявок ед./мес.
n	число обслуживающих каналов, ед.
m	максимальная длина очереди, ед.
$\bar{t}_{\text{обс}}$	среднее время обслуживания, мес.
ЗР	закон распределения времени обслуживания
ε	погрешность вычислений

Моделирование выполняется с использованием программы GPSS World, необходимые вычисления и построения проведены с применением программы Microsoft Excel. Листинг моделирования системы массового обслуживания с использованием программы GPSS World представлен на рис. 1.

```

Otdel_kadrov      STORAGE      5
                  GENERATE      (Exponential(1,0,1/30))
                  TEST L        Q$Ochered,4,Otkaz
                  QUEUE         Ochered
                  ENTER         Otdel_kadrov
                  DEPART        Ochered
                  ADVANCE       (Exponential(1,0,0.2))
                  LEAVE         Otdel_kadrov
                  TRANSFER      ,Out
Otkaz             TERMINATE     0
Out               TERMINATE     0
; Timer
                  GENERATE      12
                  TERMINATE     1
                  START         1
    
```

Рис. 4. Листинг моделирования СМО

В начале моделирования определяется количество обслуживающих каналов. Затем устанавливается интенсивность поступления заявок, равная 30 заявкам в месяц. Далее производится проверка длины очереди: если она превышает 4, то заявка покидает отдел необслуженной, получая отказ. Если же длина очереди меньше 4, то заявка встаёт в очередь, в последствии занимает свободный канал. Длительность обслуживания заявки задается экспоненциальным законом. После обслуживания, заявка освобождает канал и покидает систему. Таким образом, представленная модель СМО описывает

процесс обработки заявок с использованием хранения, проверки состояния очереди и установки временного интервала работы.

Результаты первого прогона после запуска имитационной моделирования представлены в отчёте, отображенном на рис. 2.

LABEL	LOC	BLOCK TYPE	ENTRY COUNT	CURRENT	COUNT	RETRY
	1	GENERATE	339	0	0	
	2	TEST	339	0	0	
	3	QUEUE	281	0	0	
	4	ENTER	281	0	0	
	5	DEPART	281	0	0	
	6	ADVANCE	281	4	0	
	7	LEAVE	277	0	0	
	8	TRANSFER	277	0	0	
OTKAZ	9	TERMINATE	58	0	0	
OUT	10	TERMINATE	277	0	0	
	11	GENERATE	1	0	0	
	12	TERMINATE	1	0	0	

QUEUE	MAX	CONT.	ENTRY	ENTRY (0)	AVE. CONT.	AVE. TIME	AVE. (-0)	RETRY
ОЧЕРЕДЬ	4	0	281	93	1.650	0.070	0.105	0

STORAGE	CAP.	REM.	MIN.	MAX.	ENTRIES	AVL.	AVE. C.	UTIL.	RETRY	DELAY
ОТДЕЛ_КАДРОВ	5	1	0	5	281	1	4.554	0.911	0	0

FEC	XN	PRI	BDT	ASSEM	CURRENT	NEXT	PARAMETER	VALUE
331	0		12.045	331	6	7		
340	0		12.046	340	6	7		
341	0		12.071	341	0	1		
339	0		12.245	339	6	7		
339	0		12.605	339	6	7		
342	0		24.000	342	0	11		

Рис. 5. Отчёт моделирования СМО

Обработанные результаты моделирования в течение 12 месяцев представлены в табл. 3.

Таблица 4. Результаты первого прогона модели системы

Характеристика	Значение (ед., мес.)
Задач создано	339
Получили отказ и не выполнено	58
Коэффициент загрузки каналов	0,911
Средняя длина очереди	1,650
Среднее время ожидания в очереди	0,070
Среднее число занятых каналов	4,554

Для нахождения номинального режима работы системы массового обслуживания, который обеспечит оптимальную загрузку, следует изменять величину интенсивности поступления заявок [7]. Анализируя изменение одного из показателей эффективности работы системы, можно определить необходимое количество прогонов модели, которое гарантирует достаточную точность вычислений при заданной погрешности.

В табл. 4 приведены данные о результатах прогонов модели СМО при изменении интенсивности λ .

Таблица 5. Результаты моделирования при изменении значения интенсивности

Параметр	Интенсивность, ед./мес.				
	$\lambda = 28$	$\lambda = 29$	$\lambda = 30$	$\lambda = 31$	$\lambda = 32$
Вероятность отказа	0,239	0,262	0,171	0,221	0,279
Относительная пропускная способность	0,761	0,737	0,829	0,779	0,721
Абсолютная пропускная способность	21,313	21,385	24,867	24,140	23,070
Коэффициент загрузки каналов	0,886	0,949	0,911	0,899	0,944

В соответствии с рассчитанными значениями, можно сделать вывод о том, что режим работы СМО наиболее близок к оптимальному при интенсивности поступления заявок на трудоустройство, равной 30 ед./мес. Это обусловлено фактом, что при таком режиме работы вероятность возникновения отказов является приемлемой, а абсолютная пропускная способность достигает своего максимума при установленном уровне загрузки отдела.

Для определения достаточного количества прогонов модели, программу нужно запустить в номинальном режиме работы с разными генераторами. Полученные данные представлены в табл. 5. В качестве показателя эффективности была выбрана средняя длина очереди.

Таблица 5. Значения средней длины очереди в зависимости от номера генератора

Номер генератора	1	2	3	4	5	6	7	8
Средняя длина очереди	1,650	1,859	1,765	1,944	1,797	1,880	1,778	2,062

Ниже представлено найденное среднеквадратическое отклонение средней длины очереди (формула 1) [8]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^8 (t_i - \bar{t})^2}{8}} = 0,117. \quad (1)$$

Рассчитанное по формуле 2 число прогонов ($t = 2,365$; $\varepsilon = 0,1$):

$$N = \frac{t^2 \sigma^2}{\varepsilon^2} = \frac{2,365^2 \cdot 0,117^2}{0,1^2} = 7,65. \quad (2)$$

Достаточное число прогонов равняется 8. Результаты проведения моделирования представлены в таблице 6.

Таблица 6. Результаты моделирования при номинальном режиме и рассчитанном числе прогнозов

Характеристика	Значение (ед., мес.)
Задач создано	2842
Получили отказ и не выполнено	622
Коэффициент загрузки каналов	0,928
Средняя длина очереди	1,860
Среднее время ожидания в очереди	0,080
Среднее число занятых каналов	4,639
Вероятность отказа	0,219
Относительная пропускная способность	0,781
Абсолютная пропускная способность	23,434

Заключение. Результаты проведенного имитационного моделирования работы отдела кадров Северо-Западной ТЭЦ им. А.Г. Бориса указывают на необходимость расширения состава сотрудников в данном отделе для обеспечения его эффективного функционирования. Исследование показало, что текущая численность персонала не удовлетворяет возлагаемым на отдел задачам. Оптимальным количеством сотрудников при текущем уровне поступающих заявок является 6. Дальнейшими исследованиями, направленными на увеличение эффективности деятельности отдела кадров, являются построение полного факторного плана эксперимента, создание факторных моделей и их статистический анализ. Проведение этих исследований позволит определить оптимальные условия для работы, эффективно использовать ресурсы и разрабатывать стратегии для достижения успеха.

Библиографический список

1. Афанасьева, О. В. Повышение точности исследования вибрации двигателя методами системного анализа / О. В. Афанасьева // Системный анализ в проектировании и управлении: Сборник научных трудов XXV Международной научной и учебно-практической конференции. В 3-х частях, Санкт-Петербург, 13–14 октября 2021 года. Часть 1. СПб.: ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», 2021. С. 469–474.

2. Ильющин, Ю. В. Разработка системы управления технологическим процессом добычи высокопарафинистой нефти : специальность 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям)» : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Ю. В. Ильющин. – Санкт-Петербург, 2021. 275 с.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023660137 Российская Федерация. Программа имитационного моделирования многоканальной системы массового обслуживания с варьируемым числом каналов : № 2023619645 : заявл. 18.05.2023: опубл. 18.05.2023 / В.Е. Титов, В.А. Навацкая, С.К. Нейрус, О.В. Афанасьева ; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения". – EDN SZAGDL.

4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022616978 Российская Федерация. Программа расчёта коэффициентов критериального уравнения для оценки виброскорости дизеля, вызванной перекладкой поршня в тепловом зазоре между зеркалом втулки цилиндра и тронком поршня: № 2022614437: заявл. 24.03.2022: опубл. 18.04.2022 / О.В. Афанасьева, В.Д. Вихорев; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет». – EDN MIKBLP.

5. Асадулаги, М. М. Методы управления добывающими скважинами минеральных вод / М. М. Асадулаги, В. Е. Трушников, М. С. Федоров // Всероссийская научная конференция по проблемам управления в технических системах. – 2023. – Т. 1. – С. 189–192.

6. Кравченя, И. Н. Математические модели в транспортных системах. Моделирование систем массового обслуживания и задач управления запасами : пособие / И. Н. Кравченя, Д. Н. Шевченко. – Гомель: БелГУТ, 2022. – 145 с.

7. Афанасьева, О. В. Разработка имитационной модели на примере АО МХК «ЕвроХим» / О. В. Афанасьева, А. Андрейчук // Анализ и прогнозирование систем управления в промышленности, на транспорте и в логистике. XXIII Международная научно-практическая конференция молодых учёных, студентов и аспирантов. 2023. С. 45–51.

8. Доброхвалов, М. О. Анализ подходов к моделированию систем / М. О. Доброхвалов, П. В. Корытов, С. И. Степанова // Информатика, вычислительная техника и управление. 2019. С. 56–64.

Рецензент: д.т.н., проф. В.Е. Трушников

© Г.Ш. Гулиев, Е. С. Юдникова

ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей
сообщения Императора Александра I», Российская Федерация

АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ЭКСПОРТНО - ИМПОРТНЫХ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК В РФ И ПРОБЛЕМЫ ИХ ОРГАНИЗАЦИИ В ЛОГИСТИЧЕСКИХ КОМПАНИЯХ, ЗАНИМАЮЩИХСЯ ИМПОРТОМ И ЭКСПОРТОМ

Аннотация: В статье приведен анализ сложностей в организации грузоперевозок, с которыми сталкиваются логистические компании, специализирующиеся на экспортно – импортных операциях из Европы, в числе которых таможенное оформление, управление взаимодействия с поставщиками, неопределенность в доставке и контроль качества, возникающие при экспорте и импорте. Предлагаются варианты решений по совершенствованию логистических операций, что позволит гибко реагировать на динамично меняющиеся рыночные условия, оптимизировать операции по организации грузоперевозок в международной торговле.

Ключевые слова: логистика, экспорт, импорт, таможенные процедуры, управление поставками, цифровые технологии, международная торговля.

Введение. Организация доставки грузов в современной динамично изменяющейся экономической среде требует, с одной стороны, точной координации и управления ресурсами, с другой, постоянного стремления к повышению эффективности их использования. В особом внимании в условиях санкционного воздействия нуждается организация импортных и экспортных операций доставки грузов для успешной деятельности логистических предприятий. В свете быстрого развития технологий и появления новых требований рынка представляется целесообразным рассмотрение возможных управленческих решений и инновационных подходов, влияющих на конкурентоспособность логистических систем в области грузоперевозок.

Цель: рассмотреть динамику экспортно – импортных перевозок, меры адаптации к санкционным условиям российских логистических компаний по

автомобильным перевозкам, выявить существующие проблемы в их организации в логистических компаниях, занимающихся импортом и экспортом. Методы: в исследовании применялись методы сравнительного и статистического анализа, систематизации результатов. Результаты: определены имеющиеся проблемы в организации экспортно – импортных перевозок грузов в РФ, разработаны рекомендации по совершенствованию логистических операций по доставке экспортно – импортных грузов на микроуровне и на перспективу.

Анализ состояния экспортно - импортных грузоперевозок в РФ.

Санкционная политика США и Европы вызвало изменения в экспортно - импортных грузоперевозках. Статистика Федеральной таможенной службы РФ по экспортно-импортным операциям за 2023 год показала, что объем внешней торговли РФ в целом составил 710,2 млрд. долл. со снижением на 16,2%, в том числе объем экспорта из РФ -425,1 млрд. долл. или упал на 28,3%, объем импорт товаров в РФ -285,1 млрд. долл. или вырос на 11,7%. При этом экспорт из РФ в Азию вырос на 5,6%, до 306,6 млрд. долл., импорт в РФ из Азии вырос на 29,2%, до 187,5 млрд. долл. Также наблюдалось из-за санкций резкое снижение торговли с Европой: экспорт из РФ в Европу упал на 68%, до 84,9 млрд. долл., импорт в РФ из Европы снизился на 12,3%, до 78,5 млрд. долл. [1].

Наибольший рост экспорта на 30% относительно 2021 года наблюдался по продовольственным товарам [2]. Из-за того, что не на все виды европейского товара можно найти в азиатских странах аналог (высокотехнологичная продукция, предметы роскоши) организация грузоперевозок из Европы, особенно автомобильных, остается актуальной.

Возможные меры адаптации к санкционным условиям российских логистических компаний по автомобильным перевозкам даны в табл. 1.

Приведенные схемы косвенного реэкспорта следует рассматривать как временные, в перспективе следует ориентироваться на внедрение системы автоматизации товарно-транспортной логистики 2.0, гарантирующая высокие результаты в организации экспортно – импортных грузоперевозок [4].

Таблица 1. Меры адаптации к санкционным условиям

Санкции	Меры	Результат	Последствия	Риски
Запрет на въезд фур с российскими номерами на территорию ЕС	Перерегистрация перевозчиков - владельцев фур в Казахстане	Создание новых цепей поставок через Казахстан, Турцию, ОАЭ, Грузию, Армению.	Увеличение сроков доставки, рост стоимости из-за дополнительных расходов на логистику и таможенные процедуры в третьих странах.	Отказ перевозчика от транспортировки груза, возможные сложности на границе из-за принципиального таможенника
	Косвенный реэкспорт	Заключение европейским поставщиком контракта на поставку товара с компанией-посредником из дружественной страны с направлением груза сразу в Россию с заездом фуры с товаром на таможенный склад в одной из прибалтийских стран, где первый контракт заменяет новым — между компанией-посредником и конечным покупателем из России. Далее фура с «перепроданным» грузом и новым пакетом документов пересекает границу ЕС и заезжает в Россию.	Сокращение сроков и снижение стоимости доставки в два раза.	Рост тарифов на услуги транспортных компаний-посредников (транспортные услуги и таможенное оформление, 5-10% от суммы контракта)
	Перепродажа товара в пути	Европейский товар может быть «перепродан» в Россию и без заезда на склад,	Сокращение сроков и снижение стоимости доставки.	Рост тарифов на услуги транспортных компаний-посредников

		прямо во время движения фуры.		
Ложный транзит	Пересечение границы ЕС грузовиком с товаром с первичным пакетом документов с маршрутом в третью страну через Россию. После пересечения границы РФ автомобиль заезжает на местный таможенный склад, где происходит «перепродажа товара российскому получателю» с доставкой адресату.	Сокращение сроков и снижение стоимости доставки.	Боязнь вторичных санкций третьими странами.	
Открытие российскими логистическими компаниями за рубежом своих представительств	Пересечение границы ЕС грузовиком с товаром с первичным пакетом документов с маршрутом в третью страну через Россию. После пересечения границы РФ автомобиль заезжает на местный таможенный склад, где происходит «перепродажа товара российскому получателю» с доставкой адресату.	Прекращение работы с «жадными» посредниками.	В Казахстане вместо двух недель открытие компании, счета в банке может быть полтора месяца.	

Разработка рекомендаций по совершенствованию организации перевозок грузов логистические компании. С учетом понимания существующего комплекса проблем для совершенствования организации перевозок грузов логистические компании представляется возможным рекомендовать для внедрения ряд инновационных решений и стратегий, в числе которых следующие:

1) интеграция цифровых технологий, в том числе внедрение современных систем управления логистикой (WMS, TMS), использование технологий Интернета вещей (IoT) и искусственного интеллекта (ИИ), что поможет в реальном времени отслеживать грузы, оптимизировать маршруты, предвидеть задержки и улучшать сервис в логистической сети;

2) совершенствование таможенных процедур на основе сотрудничества с таможенными службами и использования современных систем таможенного оформления, что поможет сократить время и ресурсы, связанные с таможенными процедурами;

3) развитие гибких стратегий поставок посредством создания адаптивных стратегий поставок, что позволит логистическим компаниям эффективно реагировать на изменения в рыночных условиях, спросе и предложении, минимизируя риски и улучшая планирование;

4) интеграция экологически устойчивых методов транспортировки, (использование электромобилей или снижение выбросов углерода в процессе перевозок), что сократит экологический вред;

5) развитие сетевых партнерств на основе установления тесных отношений с поставщиками, перевозчиками и другими участниками логистической цепи для эффективной координации и взаимодействия;

6) обучение персонала в области использования новых технологий и методов путем повышения их квалификации;

7) применение аналитики данных, что позволит выявить тенденции, оптимизировать процессы принятия решений и прогнозировать проблемы, что повысит оперативность и эффективность доставок [4,5,6,7].

Эти предложения могут служить основой формирования комплексного подхода к улучшению организации грузовых перевозок на макро и мезо уровне, учитывая современные требования к логистическим системам и стремление компаний к инновационному развитию [8].

Заключение. Эффективная логистика при экспорте и импорте разнообразных грузов играет ключевую роль в обеспечении бесперебойного движения товаров через границы. Результаты аналитических исследований показывают, что логистические компании, занимающиеся экспортно-импортными операциями, сталкиваются с рядом вызовов, в числе которых сложности в таможенном оформлении, управлении взаимодействиями с поставщиками и высоким уровнем неопределенности из-за санкций в экспортно – импортных грузоперевозках. Внедрение современных систем управления логистикой, использование цифровых технологий, улучшение таможенных процедур и развитие гибких стратегий поставок являются важными инструментами для решения текущих проблем.

Библиографический список

1. За 2023 год экспорт из России сильно упал, а импорт вырос. Тенденции продолжатся. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://dzen.ru/a/ZcoBwRJyi34qprjR>. - Загл. с экрана;
2. ФТС раскрыла объем внешней торговли России в 2023 году. [Электронный ресурс]. <https://www.rbc.ru/economics/14/11/2023/65532b479a79471209aab87e?from=cor>. Загл. с экрана.
3. «Ложный транзит» и «перепродажа в пути»: как товары из Европы возят в Россию. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.forbes.ru/biznes/469665-loznyj-tranzit-i-repreprodaza-v-puti-kak-tovary-iz-evropy-vozat-v-rossiu>. - Загл. с экрана;
4. Тебекин А. В. Логистика: Учебник / А. В. Тебекин. М.: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°», 2018.
5. Рахманов А. М. Транспортно-логистические особенности российского экспорта продукции АПК // Экономика сельского хозяйства России. 2020. № 8. С. 107-115.
6. Голубчик А. М., Пак Е. В. Некоторые моменты логистики параллельного импорта в Россию // Российский внешнеэкономический вестник. 2022. № 10. С. 27-37.
7. Эмирова А. Е., Эмиров Н. Д. Международная логистика. 2022. №2. С. 12-23.
8. Ивуть Р. Б. Международная логистика. 2023. № 6. С. 25-32.

Рецензент: к.э.н., доц. Е.А. Фурсова

© А. А. Демидов

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы
Екатерины II», Российская Федерация

СИСТЕМНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСАЛТИНГОВОГО ОТДЕЛА ИТ-КОМПАНИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ PYTHON

Аннотация. Эта работа представляет результаты многомерного корреляционно-регрессионного анализа показателей функционирования консалтингового отдела ИТ-компании, для реализации которого был применён язык программирования Python. Исследование позволило выявить значимые факторы, влияющие на эффективность работы подразделения, а также оценить силу связи между этими факторами и показателями эффективности. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации деятельности консалтингового отдела ИТ-компании и повышения эффективности его работы.

Ключевые слова: регрессионный анализ, показатели функционирования, оптимизация бизнес-процессов, статистический анализ, повышение эффективности, Python.

Введение. В современном мире все люди сталкиваются с необходимостью обработки огромного объёма информации. В течение дня мы получаем новости, слухи и наблюдаем мир вокруг себя. Для получения каких-либо полезных сведений сырых данных недостаточно. Вся эта информация требует тщательного анализа.

Данное исследование посвящено процессу анализа консалтингового отдела ИТ-компании. В процессе исследования были собраны данные и проведён многомерный корреляционно-регрессионный анализ, который позволяет проанализировать данные и сделать выводы.

Анализ объекта исследования. Для проведения анализа необходимо использовать несколько рядов значений факторов и результата. Объектом исследования является отдел консалтинга в ИТ-компании, которое занимается разработкой бизнес-моделей компаний-клиентов на базе веб-платформы,

анализом бизнес-процессов, созданием отчётности и настройкой интеграций со сторонними сервисами. Процесс работы подразделения начинается с поступления заявки от клиента, что является первым шагом. Заявка образует проект, на который выделяется определённое количество сотрудников Компании и команда сотрудников компании-клиента, которые образуют рабочую группу. Рабочая группа разрабатывает модель. Её можно разместить на внутренних серверах Компании или на серверах компании-клиента, и её размер измеряется в гигабайтах. На схеме (см. Рис. 6), представлен процесс реализации заявки.



Рис. 6. Схема процесса реализации заявки

Компания заключает договор с клиентом на выполнение проекта и предоставляет лицензию на использование Платформы. Стоимость лицензии влияет на выручку, являющуюся целевой функцией. После составления схемы появляется возможность выделить факторы, которые влияют на выручку компании. К ним относятся сложность модели (x_1), временные затраты на её разработку (x_2), объём модели, занимаемый ею на сервере (x_3), количество пользователей по лицензии (x_4) и количество сотрудников компании-клиента в рабочей группе (x_5).

Сложность модели определяется бизнес-аналитиком, проводящим анализ запроса клиента. Временные затраты на разработку модели определяются как сумма часов в неделю, отработанных каждым участником рабочей группы на проекте. Объём модели определяется как количество гигабайт, занятых

разработанной моделью на сервере. Количество пользователей по лицензии заранее принятое количество сотрудников компании-клиента, которые имеют полный доступ к модели. Количество моделеров заранее устанавливается лицензией, каждый последующий моделер добавляется в лицензию на платной основе. Количество сотрудников компании-клиента в рабочей группе определяет количество человек, трудящихся на проекте со стороны компании-клиента [1]. Выручка компании является результатом выполнения проекта и измеряется в миллионах рублей. Продукцией компании является программный продукт Модель, работающая на Платформе, а услугой – анализ бизнес-модели компании-клиента.

Исследование. Исходные данные для этой работы были собраны по результатам работы отдела. Каждый проект имеет определённые характеристики. В набор данных для анализа, произведённого в этой работе, вошли данные о пятидесяти проектах, реализованных в подразделении консалтинга. По каждому проекту известны такие показатели: Y – выручка, млн. руб.; X_1 – объём работ, ч, количество часов, затраченных на проект; X_2 – объём модели, ГБ, занятое моделью пространство; X_3 – количество лицензий, количество пользователей в модели; X_4 – количество лицензий моделеров; X_5 – количество внешних сотрудников – сотрудников клиента; X_6 – сложность модели, оценка сложности модели; X_7 – тип хранения модели, 0 – если модель развёрнута в облаке, 1 – если модель находится на сервере клиента.

Данные хранятся в формате *csv*, удобном для дальнейшего использования. Процесс анализа был реализован с помощью языка программирования Python, широко использующий в сфере анализа данных. Помимо стандартных библиотек, были использованы *numpy* и *pandas* – для удобного управления данными, *scipy*, *sklearn* и *statmodels* – для статистических вычислений, и *plotly* – для визуализации.

Первым шагом в любой разработке является импортирование необходимых библиотек и их содержимого [2, 3].

Для удобства проведения аналитических операций был сформирован класс *Analysis* с присвоенными ему атрибутами и методами. Первым шагом

необходимо загрузить данные, на основе которых будут производиться аналитические действия. Помимо простой загрузки данных, необходимо сформировать модель линейной регрессии, а также получить предсказанные значения и коэффициенты модели [4,5]. Эти действия выполняются в конструкторе класса `Analysis` (см. Листинг 2) [6].

```
import numpy as np
import pandas as pd
from plotly import express as px
from scipy import stats
from scipy.cluster.hierarchy import dendrogram, linkage
from sklearn.cluster import KMeans
from sklearn.linear_model import LinearRegression
from sklearn.preprocessing import MinMaxScaler
```

Листинг 1 – Импорт необходимых библиотек

```
self.path = path
self.alpha = alpha
self.ndigits = ndigits
df = pd.read_csv(path)
if exclude_columns:
    df = df.drop(exclude_columns, axis=1)
self.df = df
self.columns = list(df.columns)
self.y_values, self.x_values = df[df.columns[0]], df[df.columns[1:]]
print("Загружены данные из файла:", path)
print("Получены колонки:", ', '.join(df.columns))
model = self.fit()
self.model = model
self.coef = model.coef_
self.y_pred = model.predict(self.x_values)
```

Листинг 2 – Код метода `__init__()` класса `Analysis`

Как видно на листинге выше, модель получается с помощью метода `fit()`, его код содержит создание экземпляра класса `LinearRegression` из библиотеки `sklearn` и вызов метода `fit()` с передачей Y -значений и X -значений [7].

Приступая к анализу, необходимо получить основные характеристики модели, например, коэффициенты регрессии, коэффициент детерминации, а также изучить описательную статистику. Для этого был написан метод `report_general()` класса `Analysis` (см.

Листинг 3).

```
print('=== Построение модели ===')
print("Коэффициенты регрессии:", ', '.join(
    [str(round(x, self.ndigits)) for x in list(self.coef)]))
if isinstance(self.model.intercept_, np.float64):
    print("Свободный коэффициент:", str(
        self.model.intercept_.round(self.ndigits)))
r_square = self.model.score(self.x_values, self.y_values)
print("Коэффициент детерминации R2:",
    str(round(r_square, self.ndigits)))
df_desc = self.df[self.columns].describe()
print('=== Описательная статистика ===')
print(df_desc.apply(lambda x: round(x, self.ndigits)))
При вызове этого метода на экран выводится следующий текст.
```

Листинг 3 – Код метода `report_general()`

```

==== Построение модели ====
Коэффициенты регрессии: 0.004, 0.142, 0.696, 0.798, -0.102, 0.539, -0.309
Свободный коэффициент: -5.511
Коэффициент детерминации R2: 0.956
==== Описательная статистика ====
y  x1  x2  x3  x4  x5  x6  x7
count 50.000 50.000 50.000 50.000 50.000 50.000 50.000 50.000
mean 7.826 1407.40 7.936 4.600 1.500 2.40 5.180 0.660
std 5.154 792.07 4.318 0.969 0.678 1.03 1.792 0.479
min 1.100 380.00 3.200 3.000 1.000 1.00 2.000 0.000
25% 4.400 775.00 4.800 4.000 1.000 2.00 4.000 0.000
50% 6.650 1350.00 6.050 4.000 1.000 2.00 5.000 1.000
75% 10.775 2000.00 10.175 5.000 2.000 3.00 6.000 1.000
max 22.800 4000.00 21.100 8.000 3.000 6.00 9.000 1.000

```

Листинг 4 – Результат вызова метода report_general()

Как видно на листинге выше, коэффициент детерминации достаточно высок, чтобы говорить о хорошей близости модели к фактическим данным, он равен 0,956. Уравнение полученной регрессионной модели следующее:

$$y = -5,511 + 0,004x_1 + 0,142x_2 + 0,696x_3 + 0,798x_4 - 0,102x_5 + 0,539x_6 - 0,309x_7 \quad (1)$$

Далее была произведена оценка силы связи с помощью вычисления коэффициентов эластичности. Эта задача была решена в методе elastic().

Полученные коэффициенты равны: 0,699, 0,144, 0,409, 0,153, -0,031, 0,356 и -0,026. Например, средний коэффициент эластичности, равный 0,699, показывает, что с увеличением объёма работ на 1%, выручка увеличится в среднем на 0,699%, при условии, что другие факторы остаются постоянными [8].

```

elastic = self.x_values.mean() / self.y_values.mean() * self.coef
print('==== Коэффициенты эластичности ====')
print(', '.join(str(round(x, self.ndigits)) for x in elastic))

```

Листинг 5 – Код метода elastic()

Необходимо провести оценку значимости уравнения с помощью критерия Фишера. Этот критерий позволяет сделать вывод о неслучайности полученной

модели [9]. Вычисление критерия Фишера реализовано в методе `f_test()` (см. Листинг 6).

```
n, k = len(self.y_values), len(self.x_values.columns)
# объясненная сумма квадратов
ssr = sum((self.y_pred - self.y_values.mean()) ** 2)
# остаточная сумма квадратов
sse = sum((self.y_values - self.y_pred) ** 2)
msr = ssr / (k - 1) # СКО объясненной суммы квадратов
mse = sse / (n - k) # СКО остаточной суммы квадратов
f_value = msr / mse
p_value = stats.f.sf(f_value, k - 1, n - k)
```

Листинг 6 – Вычисление значения критерия Фишера

Выполнение этой программы выводит следующий текст:

```
=== Значимость модели ===
F-статистика: 153.884
p-value: 0.0
```

Листинг 7 – Результат вызова метода `f_test()`

Значение критерия Фишера является очень высоким, при этом р-значение крайне низкое, что говорит о низкой вероятности случайного получения такого значения критерия [10].

```
n, k = len(self.y_values), len(self.x_values.columns)
# остаточная сумма квадратов
sse = sum((self.y_values - self.y_pred) ** 2)
mse = sse / (n - k) # СКО остаточной суммы квадратов
var = mse * np.linalg.inv(self.x_values.T @ self.x_values)
se = np.sqrt(np.diag(var))

# вычисление t-статистику и р-значения
t_stats = self.coef / se
p_values = (1 - stats.t.cdf(np.abs(t_stats), n - k - 1)) * 2
```

Листинг 8 – Вычисление t-статистик коэффициентов

Определение значимости коэффициентов, которое является следующим этапом регрессионного анализа, позволяет оценить вклад каждой независимой переменной в зависимую переменную [11, 12].

Результаты представлены на листинге ниже.

```
=== Значимость коэффициентов ===  
Станд. ошибки: 0.0 0.088 0.148 0.256 0.247 0.13 0.36  
Т-статистики: 7.865 1.615 4.71 3.122 -0.412 4.148 -0.859  
Р-значения: 0.0 0.114 0.0 0.003 0.682 0.0 0.395  
Значимость:  ✓  ✓  ✓  ✓  ✓  ✓  ✓
```

Листинг 9 – Вычисленные значения Т-статистик

Такие оценки значимости позволяют сделать вывод о том, что коэффициенты при x_5 и x_7 не являются статистически значимыми. При этом фактор x_1 – объём работ по реализации модели – влияет на результат сильнее всего. Далее следует определение информативных факторов с помощью вычисления парных корреляций. Эта операция производится простым применением метода `corr()` класса `DataFrame`, в котором хранятся исходные данные [13].

```
print('=== Коэффициенты парной корреляции ===')  
corr = self.df[self.columns].corr()  
print(corr.apply(lambda x: round(x, self.ndigits)))  
print(f'=== Коэффициенты парной корреляции превышающие {limit} ===')  
mask = corr.abs() < limit  
print(corr.apply(lambda x: round(x, self.ndigits)).mask(mask, '-'))
```

Листинг 10 – Код метода `correlation()` класса `Analysis`

Результаты вызова метода `correlation()` класса `Analysis` представлены на листинге 11.

Изучая полученные значения парной корреляции, можно сделать следующие выводы: коэффициент корреляции между u и x_1 , x_2 и x_6 довольно высокий (0,802–0,965), что может свидетельствовать о наличии сильной связи между этими переменными; коэффициент корреляции между u и x_3 довольно низкий – 0,492, что может означать отсутствие или слабую связь между этими переменными; коэффициент корреляции между u и x_7 очень низкий – -0,057, что свидетельствует о практически отсутствии связи между этими переменными; между x_1 и x_2 , между x_1 и x_6 , а также между x_2 и x_5 наблюдается высокий коэффициент корреляции – 0,871, 0,755 и 0,73, что может

свидетельствовать о наличии мультиколлинеарности между этими переменными.

```

=== Коэффициенты парной корреляции ===
  y  x1  x2  x3  x4  x5  x6  x7
y  1.000  0.965  0.869  0.656  0.492  0.655  0.802 -0.057
x1  0.965  1.000  0.871  0.636  0.493  0.652  0.755 -0.021
x2  0.869  0.871  1.000  0.627  0.359  0.730  0.671  0.042
x3  0.656  0.636  0.627  1.000  0.000  0.552  0.454  0.097
x4  0.492  0.493  0.359  0.000  1.000  0.292  0.294 -0.031
x5  0.655  0.652  0.730  0.552  0.292  1.000  0.535  0.157
x6  0.802  0.755  0.671  0.454  0.294  0.535  1.000 -0.141
x7 -0.057 -0.021 0.042 0.097 -0.031 0.157 -0.141 1.000
=== Коэффициенты парной корреляции превышающие 0.7 ===
  y  x1  x2  x3  x4  x5  x6  x7
y  1.0  0.965  0.869  -  -  -  0.802  -
x1  0.965  1.0  0.871  -  -  -  0.755  -
x2  0.869  0.871  1.0  -  -  -  0.73  -  -
x3  -  -  -  1.0  -  -  -  -
x4  -  -  -  -  1.0  -  -  -
x5  -  -  0.73  -  -  1.0  -  -
x6  0.802  0.755  -  -  -  -  1.0  -
x7  -  -  -  -  -  -  -  1.0

```

Листинг 11 – Коэффициенты парной корреляции

Резюмируя выводы, можно сделать вывод, что факторы x_2 и x_6 имеет смысл отбросить, однако после проведения эксперимента, было решено оставить оба фактора, так как при их удалении точность модели снижается.

Заключение. Завершив корреляционно-регрессионный анализ исходных данных, можно сформулировать определённые выводы. Данный регрессионный анализ показывает высокую значимость всех факторов, за исключением x_5 (количество человек от клиента, занятых проектом). Коэффициент детерминации R^2 равен 0,956, что говорит о том, что примерно 96% вариации зависимой переменной (чистый доход) объясняется выбранными факторами.

Коэффициенты регрессии и коэффициенты парной корреляции показывают, что чистый доход (y) наиболее сильно коррелирует с факторами x_1 (объём работ, ч.), x_2 , (объём модели, Гб), x_6 (сложность модели).

Коэффициенты эластичности показывают, что наибольшее влияние на чистый доход оказывает объём работ (x_1) с эластичностью 0,699, за ним следует количество лицензий (x_3) с эластичностью 0,409.

Библиографический список

1. Демидов А.А. Многомерный корреляционно-регрессионный анализ показателей функционирования структурного подразделения IT-компании / А.А. Демидов // Анализ и прогнозирование систем управления в промышленности, на транспорте и в логистике: Сборник трудов XXII Международной научно-практической конференции молодых ученых, студентов и аспирантов, Санкт-Петербург, 19–21 апреля 2023 года / Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. – СПб.: ООО "Медиапапир", 2022. – С. 133–138. – EDN PNIWXX.
2. Первухин Д.А., Ильюшин Ю.В. Параллельный анализ геоданных гидротолитосферных пластов минеральной воды Кисловодского месторождения Нарзана // Записки Горного института. 2016. Том 221. С. 706.
3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023682168 Российская Федерация. Программа для обработки документов с помощью компьютерного зрения: № 2023681525: заявл. 19.10.2023; опубл. 23.10.2023 / Я.А. Протасов, О.В. Афанасьева, Д.А. Первухин; заявитель ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет». – EDN YSXDFK.
4. Применение спектрофотометрического метода для исследования содержания этилового спирта в жидкофазных средах / Е.Е. Майоров, О.В. Афанасьева, В.В. Курлов [и др.] // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2023. – Т. 66, № 6. – С. 501-508. – DOI 10.17586/0021-3454-2023-66-6-501-508. – EDN VNHFTKI.
5. Афанасьева, О.В. Идентификация пространственно-распределенных вибрационных полей судовых энергетических установок / О.В. Афанасьева, И.М. Новожилов // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. – 2022. – № 3. – С. 23-31. – DOI 10.32603/2071-8985-2022-15-3-23-31. – EDN QEUKQC.
6. Брюс, П. Практическая статистика для специалистов Data Science: пер. с англ. / П. Брюс, Э. Брюс. – СПб.: БХВ-Петербург, 2018. – 304 с.: ил.
7. Scikit-learn. Documentation. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://scikit-learn.org/stable/documentation.html> (дата обращения: 13.03.2024)
8. Уатт, Дж. Машинное обучение: основы, алгоритмы и практика применения: Пер. с англ./ Дж. Уатт, Р. Борхани, А. Катсагелос. – СПб.: БХВ-Петербург, 2022. – 640 с.: ил.
9. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.
10. Фёрстер Э., Рёнци Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа: пер. с нем. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 302 с.
11. SciPy. Documentation. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.scipy.org/doc/scipy/reference/> (дата обращения: 13.03.2024)
12. NumPy. Documentation. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://numpy.org/doc/stable/> (дата обращения: 12.03.2024)
13. pandas. Documentation. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://pandas.pydata.org/docs/> (дата обращения: 12.03.2024)

Рецензент: д.т.н., проф. В.Е. Трушников

© Д. И. Демченко, Р. Д. Крушинов

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы
Екатерины II», Российская Федерация

МНОГОМЕРНЫЙ КОРРЕЛЯЦИОННО-РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОПЛИВА

Аннотация: В статье исследуется способ анализа физико-химического состава топлива, производимого смешением нескольких компонентов в соответствующих пропорциях. Разработанный метод позволит оптимизировать процесс смешивания углеводородных компонент топлива, увеличить его эффективность и экологичность, путем уменьшения количества лишних примесей. Цель достигается за счет использования методов линейного программирования, метода экспертных оценок, а также многомерного корреляционно-регрессионного анализа.

Ключевые слова: анализ, системный анализ, химия, топливо, энергетика, топливно-энергетический комплекс.

Введение. Несмотря на колоссальный прогресс в развитии топливно-энергетического комплекса Российской Федерации, самое важное место в нем стабильно продолжают занимать различные виды углеводородного топлива, такие как бензин и дизель, остаются актуальными и проблемы экологичности углеводородного топлива и задачи снижения уровней выбросов вредных веществ в атмосферу. Создание топлива с высоким октановым числом и соблюдением экологических норм требует комплексного подхода. Для этого требуется модернизация имеющегося оборудования, создание специальных добавок и присадок, которые при этом увеличивают себестоимость топлива, а также важно учитывать энергоэффективность процесса его производства [1, 5].

Методология. Для решения данных проблем возможно использование методов системного анализа, в частности корреляционно-регрессионного анализа и метода линейного программирования.

Бензин производится в результате процессов, которые происходят в трех основных установках: установка каталитического реформинга, каталитического крекинга и каталитической изомеризации - обозначим их далее, как X, Y, Z-компоненты [2]. Каждая из компонент состоит из набора углеводородов, имеющих свое октановое число. Имеются ограничения на состав итоговой топливной смеси согласно ГОСТ 32513 - 2013, а также целевое значение октанового числа, которое должно быть достигнуто. Необходимо рассчитать конфигурацию установок и итоговую пропорцию компонент таким образом, чтобы достичь целевого значения октанового числа при соблюдении всех экологических ограничений. Каждый из этих трёх компонент обладает собственным значением *ОЧ* и составом вещества. Для того, чтобы посчитать *ОЧ* итоговой смеси, необходимо вычислить средневзвешенное из *ОЧ* исходных компонентов.

$$OЧ_{\text{смесь}} = \sum OЧ_k * C_i$$

где $OЧ_{\text{смесь}}$ – октановое число смеси; $OЧ_k$ – октановое число компонента; C_i – концентрация компонента в общей смеси.

Для получения подробных характеристик о концентрации каждого из веществ и его собственного *ОЧ* необходимо проанализировать исходный массив данных с помощью регрессионного анализа.

Вначале необходимо рассмотреть систему, основанную на компонентах с реального производства, и найти параметры наилучшего возможного топлива, основанного на исходных компонентах. Этот случай подразумевает наличие всех вышеназванных условий за исключением целевого значения октанового числа, задача которого достичь максимального значения. Зная отдельные показатели *ОЧИ* для каждого вещества из компонентов вместе с их концентрацией, можно аналитически вывести октановое число итоговой смеси и концентрацию каждого из веществ. Воспользовавшись методом линейного программирования и приняв полученную функцию октанового числа смеси за целевую, а уравнения веществ за ограничения, реально вычислить наиболее оптимальную про-

порцию компонент для текущих конфигураций работы установок с точки зрения получаемого октанового числа. Этот случай имеет научную и промышленную ценность с точки зрения оптимизации уже имеющегося оборудования и производственного процесса.

Задача линейного программирования приобретает следующий вид:

$$\begin{aligned} \text{ОЧ}_{\text{смесь}} &= \sum \text{ОЧ}_k * C \rightarrow \max \\ \begin{cases} X_{al} * C_1 + Y_{al} * C_2 + Z_{al} * C_3 & \leq 0.18 \\ X_{ar} * C_1 + Y_{ar} * C_2 + Z_{ar} * C_3 & \leq 0.35 \end{cases} \end{aligned}$$

Где X_{al} , Y_{al} , Z_{al} - концентрация в компонентах алкенов, а X_{ar} , Y_{ar} , Z_{ar} - концентрация в компоненте аренов. Согласно ГОСТ 32513 - 2013 процентное содержание алкенов в итоговой смеси не может превышать 18%, а концентрация аренов не может превышать 35%. Заметим, что содержание алкенов и аренов в Z-компоненте равняется нулю, что “компенсируется” низким ОЧ. Содержания алкенов и аренов в компоненте X и Y превышает нормы. Значит Z-компонент можно использовать в качестве разбавляющего вещества.

Основываясь на данных (допустим), мы получаем, что наилучшая смесь обладает ОЧ равным 90.95, что далеко от необходимого целевого параметра 95.

Далее рассмотрим условия достижения целевого показателя ОЧ, равным 95, в качестве необходимого. Для этого необходимо внести корректировки в состав исходных компонентов и вывести такие минимальные изменения, при которых целевой показатель будет достигнут. Заметим, что основные сложности в производстве бензина имеют четыре вещества: алкены, арены, пентан и гексан. Первые два вещества являются “вредными” и их содержание необходимо ограничить в соответствии с экологическими требованиями ГОСТа, что создаёт необходимость создавать дополнительный процесс очистки компонентов от них [3,4]. Вторые два вещества, находящиеся в Z-компоненте, сильно снижает его ОЧ и при смешивании целевой параметр может не достигаться. Поскольку пентан и гексан являются химическими соединениями из одного класса веществ - алканы и техпроцесс их вывода может быть общий, их можно объеди-

нить в одно вещество. По итогу перед нами стоит задача о уменьшению концентрации каждого из трёх типов веществ, что приводит к удорожанию и усложнению процесса, в связи, с чем необходимо посчитать, на сколько минимально нужно поменять их концентрацию.

Для решения данной задачи обозначим в качестве неизвестных следующие концентрации: X_{ar} - арены в компоненте X , Y_{ar} - арены в компоненте Y , Y_{al} - алкены в компоненте Y , $Z_{алан}$ - алканы в компоненте Z . Прочие переменные оставим исходными. В таком случае образуется следующая система:

$$\begin{aligned} & C_X (94 * (1 - X_{ar}) + 103 * X_{ar}) + \\ & + C_Y (121 * (1 - Y_{al} - Y_{ar}) + 90 * Y_{al} + 103 * Y_{ar}) + \\ & + C_Z (113 * (1 - Z_{алан}) + Z_{алан} * 50) \geq 95 \end{aligned}$$

$$C_Y * Y_{al} \leq 0.18$$

$$C_X * X_{ar} + C_Y * Y_{ar} \leq 0.35$$

$$C_X + C_Y + C_Z = 1$$

$$X_{ar} < 0.66$$

$$Y_{ar} < 0.35$$

$$Y_{al} < 0.215$$

$$Z_{алан} < 0.16$$

$$(21.5 - Y_{al})P_{al} + (66 - X_{ar})P_{ar} + (35 - Y_{ar})P_{ar} + (16 - Z_{алан})P_{алан} \rightarrow \min$$

Рис. 1. Формула концентрации $ОЧ$ в итоговом веществе в зависимости от переменных.

P - стоимость изменения 1% концентрации для каждого из веществ. Для того, чтобы получить их воспользуемся методом экспертных оценок. Решением данной системы будет оптимальное соотношение трёх исходных компонент с скорректированным составом и итоговая пропорция, при которой итоговая смесь достигает целевого значения по $ОЧ$ с соблюдением экологических требований.

Заключение. В данной работе исследовался метод оптимизации процесса смешивания компонент с целью получения бензина, удовлетворяющему необходимым запросам на высокое октановое число и соблюдением необходимых экологических требований. Данный метод позволяет вычислить, какое

наилучшее топливо возможно произвести без изменения в исходные конфигурации, и как необходимо изменить конфигурации с минимальными издержками, но получением всех необходимых характеристик. Данный метод позволяет лучше анализировать работу нефтяных производств и лучше составлять техзадание под их модернизацию.

Список источников

1. Ильюшин Ю.В. Моделирование систем: Учебное пособие для студентов направления подготовки 27.03.04 «Управление в технических системах» / Ю.В. Ильюшин, Т.В. Кухарова, О.В. Афанасьева. СПб.: ООО "Медиапапир", 2022. 104 с. –EDN ACIYQC.
2. Математические методы исследования технических, экономических и социальных систем. СПб.: ООО "Медиапапир", 2021. 72 с. – EDN JCOVKE.
3. Производство бензинов / Л.В. Григорьева, Ю.Н. Капуба // URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/proizvodstvo-benzinov/viewer>
4. Яков и партнёры // В. Сурков, Е. Кузнецова, А. Волкова, М. Дорохова, В. Емельянов // Перспективы замещения традиционных видов топлива в России к 2030 г. Москва 2023 год //URL: https://www.bigpowernews.ru/photos/0/0_2LF5XsQTSUKoJyGp4I8uwqcKYQNsMIot.pdf
5. Чалая Е. Р. Ранжирование рисков методом экспертных оценок с помощью шкалы попарных сравнений / Е.Р. Чалая, О.В. Афанасьева // Анализ и прогнозирование систем управления в промышленности, на транспорте и в логистике: Сборник трудов XXII Международной научно-практической конференции молодых ученых, студентов и аспирантов, СПб. 19–21 апреля 2022 года / Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. – СПб.: ООО "Медиапапир", 2022. С. 264-270.
6. Оптимизация процессов компаундирования нефтепродуктов / Г.Н. Рогачев, Ю.С. Труфанов // Вестник Самарского Гос. Техн. Ун-та. 2022 г. // URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimizatsiya-protseсса-kompaundirovaniya-nefteproduktov/viewer>
7. Neftegaz.ru - Оптимизация рецептур смешения бензинов с использованием компьютерной моделирующей системы (дата обращения на сайт 10.03.2024) // URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/tsifrovizatsiya/497983-optimizatsiya-retseptur-smesheniya-benzinov-s-ispolzovaniem-kompyuternoy-modeliruyushchey-sistemy/>
8. ХимТЭК - Бензин. Технология производства. (дата обращения на сайт 10.03.2024) // URL: <https://chimtec.ru/info/articles/proizvodstvo-benzina>

Рецензент: д.т.н. Ю.В. Ильюшин

© В. Д. Дьяченко, В. Л. Ямпольский

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы
Екатерины II», Российская Федерация

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОИЗОЛЯЦИИ ИЗО- КОНТЕЙНЕРА ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ЖИДКОГО ГЕЛИЯ МЕТО- ДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Аннотация. Исследование посвящено анализу характеристик термоизоляции при транспортировке жидкого гелия методом математического моделирования. Результаты моделирования показывают наилучший коэффициент теплопроводности, дающий минимальные тепловые потери.

Ключевые слова: жидкий гелий, теплоизоляция, 3D-моделирование, тепловые расчеты, многослойная изоляция, математическое моделирование.

Введение. Транспортировка жидкого гелия – это сложный процесс, который требует специализированных технологий и материалов для обеспечения безопасности и эффективности. Один из ключевых аспектов этого процесса – это теплоизоляция, которая играет важную роль в сохранении свойств жидкого гелия во время транспортировки и хранения.

Изо-контейнер – это высокотехнологичная емкость, предназначенная для долгосрочной транспортировки жидкого гелия как на автомобильном, так и на морском транспорте. Он состоит из нескольких ключевых компонентов, включая внутренний сосуд для гелия, азотный экран, вакуумно-многослойная изоляция и прочный внешний кожух. Между этими элементами проходит высокоэффективная вакуумная изоляция [1].

В исследовании сосредоточимся на изучении влияния свойств стальной слоя вакуумно-многослойной теплоизоляции на качество теплоизоляции в изо-контейнерах. Будет проведен анализ характеристик термоизоляции (варьирова-

ние коэффициентов теплопроводности стального экрана), а теплопроводность пены и пластика будут взяты, как постоянные величины.

Теплоизоляционная система изо-контейнера включает охлаждаемый жидким азотом экран, разделенный на две зоны. Между азотным экраном и кожухом располагается вакуумно-многослойная теплоизоляция, обеспечивающая эффективную защиту от теплопотерь. Вакуумно-многослойная теплоизоляция – это слои различных материалов, разделенные воздушными промежутками, они состоят из металла (сталь), пластика и пены, которые имеют различные коэффициенты теплопроводности. Этот подход позволяет снизить воздействие окружающей среды на гелий и обеспечивает долгосрочное сохранение его свойств [2, 3].

Учитывая характеристики жидкого гелия, такие как низкая температура испарения и высокая теплопроводность, особое внимание уделяется качеству теплоизоляции. Для минимизации потерь гелия на испарение применяется «азотная рубашка» – дополнительная оболочка в вакуумной полости цистерны, охлаждаемая кипящим жидким азотом при температуре 77К. Это позволяет эффективно сократить теплообмен между гелием и окружающей средой, обеспечивая надежность и безопасность транспортировки.

Тепловые расчеты цилиндрических стенок

Современные технологии транспортировки и хранения жидкого гелия требуют высокоэффективных решений, обеспечивающих безопасность и эффективность процессов. 3D-модель изо-контейнера, представленная на рисунке 1, является примером инженерного мастерства в этой области.

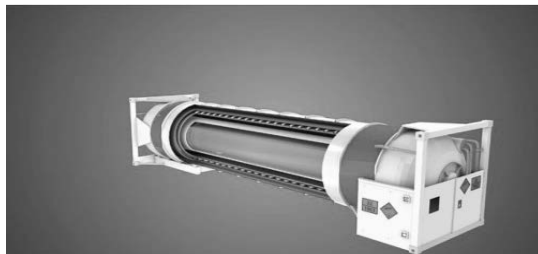


Рис.1. 3D-модель изо-контейнера [4]

На рисунке 2 представлена конструкция контейнера для транспортировки жидкого гелия с использованием нескольких экранов, охлаждаемых его парами. Этот инновационный подход позволяет эффективно решать задачи по отбору жидкости в испаритель. Используется два испарителя, размещенных параллельно оси симметрии, что обеспечивает эффективный процесс отбора жидкости с помощью запорного вентиля на жидкостной линии [5].

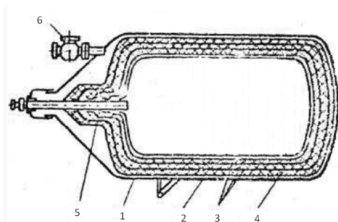


Рис. 2. Контейнер для жидкого гелия с вакуумно-многослойной изоляцией и экранами: 1 – емкость для гелия; 2 – кожух; 3 – экраны; 4 – многослойная изоляция; 5 – центральная труба; 6 – вентиль для откачки изоляции [1].

Центральная труба, вентиль для откачки изоляции и другие элементы арматурного ящика обеспечивают контроль и управление процессами в изо-контейнере. Дифманометрический указатель уровня и манометр добавляют дополнительные средства мониторинга, обеспечивая надежность системы.

Важно использование многослойной изоляции для эффективного управления теплопередачей.

Расчеты тепловых потерь проводятся с учетом погонной плотности теплового потока, что особенно актуально при использовании многослойных цилиндрических стенок (сталь, пластик и пена).

При выводе соответствующих формул для цилиндрических стенок приходится учитывать изменение размеров цилиндрической поверхности по мере удаления от оси. Следовательно, плотность теплового потока q , как переменная величина, уменьшается с увеличением радиуса цилиндра. При разработке фор-

мул для расчета тепловых потерь через цилиндрические стенки используется понятие погонной плотности теплового потока – теплового потока, приходящегося на единицу длины стенки, выраженной в Вт/м.

$$q_{\text{пог}} = \frac{Q}{L} \quad (1)$$

Для многослойной цилиндрической стенки, состоящей из различных материалов и, например, трех слоев (рисунок 5), можно вывести формулу для расчета тепловых потерь трехслойной цилиндрической стенкой в условиях стационарного теплового состояния, выраженную в Вт:

$$Q = \frac{(t_1 - t_2) * 2\pi * l}{\left(\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{\lambda_3} \ln \frac{r_4}{r_3}\right)} \quad (2)$$

где $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ - коэффициенты теплопроводности материалов, из которых выполнены соответствующие слои (сталь, пластик, пена).

В общем случае для цилиндрической стенки, состоящей из n слоев, формула может быть представлена в виде:

$$Q = \frac{(t_1 - t_{n+1}) 2\pi l}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{r_{i+1}}{r_i}} \quad (3)$$

Температуру между слоями, где n - число слоев, можно рассчитать с использованием формулы:

$$t_{i+1} = t_i - \frac{q l}{2\pi} \left(\frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{r_{i+1}}{r_i} \right) \quad (4)$$

Моделирование тепловых потерь в вакуумно-многослойной теплоизоляции. Моделирование проводилось в программе MathLab, которая широко используется для решения сложных математических задач и моделирования физических систем [8].

При моделировании рассматривается вакуумно-многослойная изоляция и прослойка стального листа гелиевого контейнера-цистерны ЦТГ-40/0,45, варьируется коэффициент теплопроводности стали (от 40 Вт/м·К до 60 Вт/м·К), коэффициенты теплопроводности пены (0,0034 Вт/м·К) и пластика (0,47 Вт/м·К) приняты как постоянные величины. Наименьшие теплотери после 10 часов

происходят при коэффициенте теплопроводности 40 Вт/м·К и составили 65,715К.

Из полученных результатов следует, что предпочтительным значением коэффициента теплопроводности является 60 Вт/м·К, при этом теплотери после 10 часов температуре 77,896 К будут минимальными. В таблице 1 представлены расчетные данные.

Таблица 1 – Расчетные данные

Коэффициенты теплопроводности (Вт/м·К)	Время (ч)	Температура (К)
40	10.000	72.013
45	10.000	74.353
50	10.000	75.911
55	10.000	77.038
60	10.000	77.896

На рисунке показано распределение температуры после 10 часов для выбранного материала. Как показано на рисунках 6 и 7, температура жидкого гелия составляет 77,9 К, что является максимальной, и начинает повышаться на внешнем слое.

Рисунок 3 показывает изотермические контуры для выбранного коэффициента теплотери после 10 часов. Рисунок 4 иллюстрирует изотермическую область температуры для выбранного коэффициента теплотери в течение 10 часов.

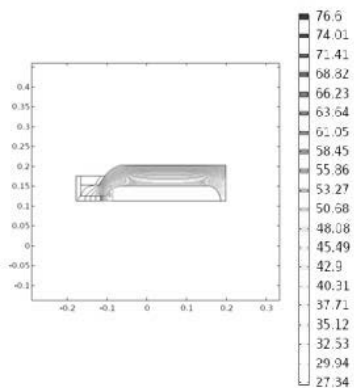


Рис. 3. Изотермические контуры для выбранного коэффициента теплотери [составлено авторами]

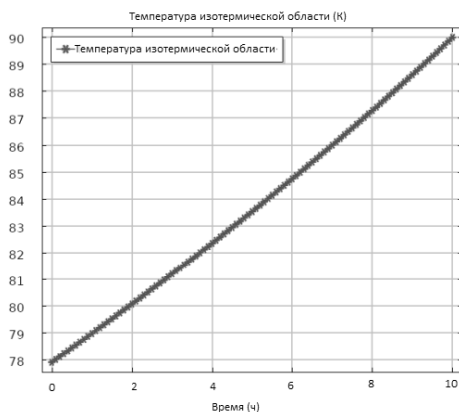


Рис. 4. Изотермическая область для выбранного коэффициента теплотери [составлено авторами]

Основываясь на полученных результатах, можно сделать вывод, что оптимальным выбором является сталь с коэффициентом теплопроводности 60 Вт/м·К. Этот материал обеспечивает минимальные теплотери после 10 часов и достигает максимальной температуры 77,896К. Это делает его наиболее подходящим для использования в вакуумно-многослойной теплоизоляции изо-контейнера для транспортировки жидкого гелия.

Также стоит отметить, что при моделировании тепловых потерь важно учитывать влияние различных факторов, таких как температура окружающей среды, коэффициент теплопроводности материала и толщина прослойки. Эти параметры могут существенно влиять на эффективность теплоизоляции и, следовательно, на безопасность и эффективность транспортировки и хранения жидкого гелия.

Заключение. В данной статье рассмотрены важные аспекты транспортировки жидкого гелия с использованием специальных изо-контейнеров. Одним из ключевых элементов изо-контейнера является его теплоизоляционная система, включающая охлаждаемый жидким азотом экран и вакуумно-многослойную теплоизоляцию. Эти компоненты обеспечивают эффективную защиту от теплотерь, сохраняя свойства жидкого гелия в течение длительных периодов. Математическое моделирование теплотерь позволяет определить оптимальные параметры, такие как коэффициент теплопроводности стальной прослойки. Результаты показывают, что оптимальным выбором является сталь с коэффициентом теплопроводности 60 Вт/м·К, обеспечивающая минимальные теплотери после 10 часов.

Библиографический список

1. Иванов В.И., Еремеев В.А. Исследование процесса получения переохлажденного сжиженного природного газа. Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО. Том 1. – СПб.: Университет ИТМО, 2017. – 348 с.

2. Плоткин, Б. К., Хайкин, М. М. (2017). Формирование и развитие теории минерально-сырьевой логистики. Записки Горного института, 223, 139. <https://doi.org/10.18454/pmi.2017.1.139>
3. Малков С. Ю., Давыдова О. И. Модернизация как глобальный процесс: опыт математического моделирования // Компьютерные исследования и моделирование. – 2021. – Т. 13. – №. 4. – С. 859-873. <https://doi.org/10.20537/2076-7633-2021-13-4-859-873>
4. Матрохина, К. В., Трофимец, В. Я., Мазакон, Е. Б., Маховиков, А. Б., Хайкин, М. М. (2023). Развитие методологии сценарного анализа инвестиционных проектов предприятий минерально-сырьевого комплекса. Записки Горного института, 259, 112-124.
5. Иванова И.В., Копейкин М.В., Мазакон Е.Б., Спиридонов В.В. Подходы к изучению образовательных моделей и методов для подготовки специалистов по программной инженерии // Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса. – СПб: Санкт-Петербургский горный университет, 2017. – С. 219–227.
6. Heat Analysis of a Vacuum Flask [Текст] // The Journal of Engineering and Exact Sciences – jCES. – Vol. 08, N. 11. – 2022. <https://doi.org/10.18540/jcescv18iss11pp15174-01e>
7. Иванова, И. В. Современные перспективы получения газа [Текст] / И. В. Иванова, В. М. Шабер // Записки Горного института, №219. – 2016. – С. 403. <https://doi.org/10.18454/pmi.2016.3.403>
8. Ильюшин, Ю. В. Разработка Scada-модели компрессорной станции магистрального газопровода [Текст] / Ю. В. Ильюшин, О. В. Афанасьева // Записки Горного института, №240. – 2019. – С. 686. <https://doi.org/10.31897/pmi.2019.6.686>

Рецензент: к.т.н., доц. А.В. Гурко

© В. А. Елисеев, Н. Г. Кобозева

ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей
сообщения Императора Александра I», Российская Федерация

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ЗАМОРАЖИВАНИЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Аннотация: Цель: ознакомиться со значимостью сохранения пищевой ценности продуктов питания и способами предотвращения потерь в процессе длительного хранения. Сравнить современные способы заморозки. Методы: анализ качества пищевой продукции до и после процесса замораживания. Исследование зависимости между температурой и временем заморозки на изменения в физико-химических свойствах продукта. Результаты: определены последствия заморозки на разные категории пищевой продукции. Практическая значимость: анализ условий замораживания и хранения продуктов питания в замороженном виде даёт возможность правильного выбора способа заморозки и температур хранения для конкретного продукта.

Ключевые слова: Замораживание, хранение, кристаллообразование, деформация тканей, пищевая продукция.

Введение. Для обеспечения продовольственной безопасности страны остро стоит вопрос продолжительного хранения пищевой продукции. Одним из способов сохранения продуктов является *замораживание*. Заморозка позволяет продлить сроки хранения пищевой продукции, сохранив при этом большую часть их питательных и вкусовых свойств. Однако, процесс замораживания приводит и к отрицательным последствиям. На сегодняшний день существуют различные методы замораживания продуктов.

Замораживание пищевых продуктов – это один из способов «консервирования» продуктов, заключающийся в понижении температуры продукта ниже точки замерзания его соков.

Основополагающим процессом замораживания, определяющим все другие изменения, является процесс *кристаллообразования*.

Кристаллообразование — это процесс, протекающий при достижении криоскопической температуры. В результате чего, за счет кристаллизации воды теряются многие связи, которые не восстанавливаются при размораживании.

Основная часть. Говоря о замораживании продуктов питания, необходимо понимать с каким продуктом имеем дело. От концентрации растворимых веществ в клеточном соке зависит криоскопическая точка замерзания и составляет: для мяса от $-0,6$ до $-1,2$ °С; рыбы от $-0,6$ до -2 °С; молока $-0,55$ °С. При дальнейшем замораживании продукта часто понижают от -18 до -30 °С [1-3]. В связи с этим, рассмотрим более подробно каждую единицу пищевой продукции, и начнем с *мяса*.

При минусовых температурах мясо подвергается различным межклеточным изменениям. Главная проблема, заключается в потере большей части влаги (приблизительно 80%).

При замораживании и дальнейшем хранении в замороженном состоянии качество мясной продукции значительно понижается в следующих случаях.

1. При медленной заморозке клеточные структуры мясной ткани подвергаются существенным повреждениям. Образование крупных кристаллов льда приводит к увеличению межклеточного пространства и разрушению соединительнотканых прослоек острыми гранями.

2. Денатурация и агрегация белков оказывают отрицательное влияние на их растворимость, что сказывается на текстуре и сочности мяса.

3. Негативное воздействие на органолептические характеристики мяса, такие как цвет, запах, вкус из-за окисления пигментов и липидов мяса.

4. При глубоком окислении липидов мяса, высокая возможность образования токсичных соединений [4].

Процессы, происходящие при *заморозке рыбы, влияющие на качество продукта*, схожи с процессами замораживания мяса.

Когда рыба замораживается часть питательных веществ может быть потеряна, включая витамин С и комплекс витаминов В, особенно при длительном хранении.

Замораживание также оказывает влияние на вкус и аромат рыбы. Такая рыба обычно имеет более легкую или пресную нотку (рис. 1) [5].

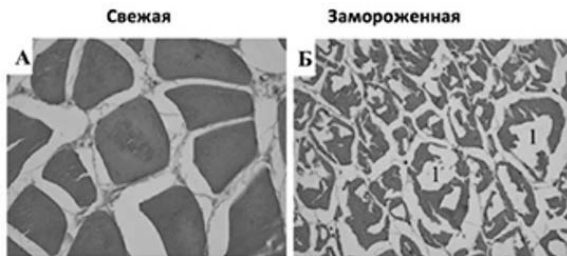


Рис. 1. Мышечная ткань радужной форели [5]: А - не замороженная мышечная ткань образца радужной форели;

Б - замороженный образец радужной форели, повсеместно наблюдается разрушение мышечных волокон

Если рассматривать другие пищевые продукты, то необходимо отметить, что они редко подвергаются замораживанию из-за значительных потерь в качестве. Начнем с рассмотрения *влияния заморозки на молочную продукцию*. Замораживание молока и молочных продуктов имеет большое практическое значение поскольку упрощает транспортировку и увеличивает возможное время хранения.

При заморозке качество молока значительно понижается, так как в процессе замораживания молоко охлаждается от краев к центру, что приводит к неравномерному распределению его составных частей. Исключением является жир, который поднимается вверх и концентрируется в верхнем слое (рис. 2) [6].

Таким образом, для выставления равномерности составных частей молока после разморозки его следует встряхнуть. Однако, это уже не сможет полностью компенсировать утерянные качества и свойства молока.



Рис. 2. Составные части молока после заморозки [6]



Рис. 3. Замороженные яйца в скорлупе [7]

Следующим продуктом, который будет рассмотрен с точки зрения процесса замораживания будут **яйца**. Нужно отметить, что яйца в скорлупе замораживанию практически не подвергают из-за деформации оболочки (рис. 3) [7]. В связи с этим, речь пойдет об яичных белках и желтках отдельно или их смеси, называемой меланжем.

Заморозка яиц не оказывает сильного влияния на вкус. Более того, обработка минусовыми температурами повышает пенообразующую способность яичного белка.

В продолжении статьи затронем одну из самых обширных тем - **влияние заморозки на плодоовощи**. Наибольшее кристаллообразование в плодоовощах происходит в диапазоне температур от -2°C до -8°C . Быстрое и последовательное прохождение данного интервала температур позволяет избежать значительного диффузионного перераспределения воды и формирования крупных кристаллов [8].

Исходя из основных условий заморозки плодоовощей можно сделать выводы о том, что фрукты и овощи, содержащие большое количество влаги, не должны подвергаться заморозке из-за потери питательных веществ.

Ниже приведены данные по влиянию заморозки на качество продуктов питания (таблица 1), полученные в результате проведенных экспериментов и изученных материалов.

Таблица 1 - Влияние процесса заморозки на качество продуктов после размораживания

№ пункта	Название продукта	Результат заморозки, качество после разморозки
1	Томаты	При размораживании превращаются в массу без вкуса и запаха
2	Красный перец	Пускает сок и становится мягким, теряет форму
3	Огурец	Используется только в сыром виде, после разморозки непригоден, становится водянистым и теряет вкусовые свойства
4	Зеленый салат	Теряет внешний вид, вкусовые свойства, упругость
5	Листовая зелень, укроп, петрушка, кинза	После заморозки может быть использована только в приготовлении блюд, в свежем виде при размораживании становится неприглядной и невкусной
6	Сельдерей	Теряет все свои не только вкусовые, но и полезные качества
7	Щавель, Шпинат	Становятся скользкими, темнеют, теряют вкусовые качества
8	Лук	Становится мягким и водянистым, теряет вкусовые качества
9	Чеснок	Вкус и аромат после заморозки становятся менее выраженными, после размораживания становится мягким
10	Банан	После размораживания меняется внешний вид и консистенция
11	Дольки яблок	После размораживания меняется внешний вид, консистенция и вкус
12	Малина, черника, брусника	Сохранение содержания витамина С на 74-85%, катехинов на 90-97%, антоцианов на 90-96%.
13	Арбуз	Становится мягким, безвкусным
14	Яйца	Теряют свою структуру (это касается, как вареных, так и сырых яиц)
15	Молоко	Полностью меняет текстуру, став неоднородным и комковатым
16	Йогурты	Расслаиваются, теряют вкусовые качества
17	Творог	Меняет структуру, крошится, становится суше
18	Сметана	Кристаллизуется и потом выделяет сыворотку (совершенно непригодна после разморозки к употреблению)
19	Сыр	Приобретает рыхлую текстуру и начинает рассыпаться на кусочки
20	Брынза	Приобретает рыхлую текстуру и начинает рассыпаться на кусочки
21	Майонез	Расслаивается, теряет необходимую густоту и консистенцию
22	Красная икра	Вкус не ухудшается, часть икринок может полопаться
23	Колбасы, сосиски, сало, балык	Хорошо переносят заморозку, вкус после оттаивания почти не меняется.
24	Пряности	Перестают издавать ароматы
25	Корень имбиря	Становится совершенно бесполезным, теряет все свои свойства
26	Мед	Длительное хранение меда в замороженном состоянии приводит к потере некоторых витаминов и минералов, что влияет на его питательную ценность
27	Шоколад	Разрушаются дубильные вещества (танины), которые придают продуктам горечь и вязкий вкус

Хочется отметить, что однократная заморозка мяса и рыбы при размораживании почти не ухудшает вкусовые параметры продуктов, однако, уже повторное замораживание негативно сказывается на качестве продуктов.

Хотелось бы обратить внимание на два инновационных метода заморозки, выходящие за рамки обычного способа замораживания продуктов питания.

Шоковая заморозка. Позволяет более эффективно сохранить структуру тканей продуктов, но и значительно увеличивает сроки их хранения. Идея шоковой заморозки заключается в форсировании режимов при заморозке: охлаждение, подмораживание и домораживание. Для достижения этого, температура в морозильной камере снижается до -30°C - 40°C , а воздух активно циркулирует. Процесс быстрой заморозки при данном методе занимает всего 20-35 минут. Шоковая заморозка продуктов питания становится востребованной и набирает популярность. На рис. 4 представлен шкаф шоковой заморозки [9]. Впрочем, уже скоро она начнет конкурировать с новой системой заморозки. И это система акустической заморозки (рис. 5) [10].



Рис. 4. Шкаф шоковой заморозки [9]

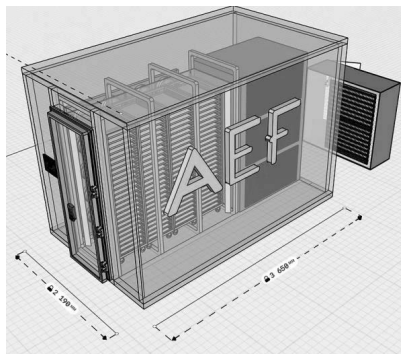


Рис. 5. Мини камера акустической заморозки AEF 4-100 на 4 тележки [10]

Акустическая заморозка. Акустическая заморозка продуктов (AEF) основана на действии акустических волн, которые формируют кристаллы льда минимальных размеров. В результате чего, клеточная структура остается целой, а

при разморозке продукт практически не теряет влагу, сохраняет свою текстуру, цвет и вкус (рис. 6) [10]. Замороженная продукция может храниться достаточно долго даже в обычных морозильных камерах при температуре от -18°C до -24°C . В рамках исследований была заморожена живая рыба. После полной заморозки рыба была помещена в теплую воду и уже через 3 мин показала первые признаки жизни, а через 10 мин свободно передвигалась по аквариуму. Кроме того, в акустической заморозке была протестирована готовая еда. После оттаивания приготовленное блюдо полностью сохранила вкус и качество.

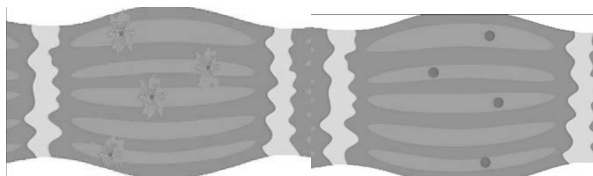


Рис. 6. Схематический образ кристаллов при обычной заморозке и акустической [10]

Выводы. Таким образом, влияние замораживания на изменение качества продуктов имеют большое значение, как для пищевой промышленности, так и для потребителей. Это позволяет разработать эффективные методы консервации пищевой продукции, повышает безопасность и сохраняет их пищевую ценность. Однако, необходимо учитывать условия замораживания и хранения в замороженном виде, а также правильно проводить процесс размораживания в зависимости от конкретного продукта. Только при соблюдении всех этих факторов можно достичь оптимального результата и сохранить качество продукции на протяжении всего периода хранения.

Библиографический список

1. Иванова, Т.Н., Баранова, С.А. (2017). Влияние заморозки на изменение физико-химических свойств пищевых продуктов. *Продукты и ингредиенты питания*, 4, 44-50.
2. Сороко О., Усенья Ю. Анализ способов замораживания пищевых продуктов // *Наука и инновации*. 2011. Т. 5. № 99. С. 63–67.

3. Дмитриева, С.В., Петрова, Т.И. (2012). Микробиологическая безопасность замороженных продуктов питания. Вестник сельскохозяйственной науки, 5, 17-23.
4. Журавская Н.К., Алехина Л.Т., Отряшенкова Л.Н. Исследование и контроль качества мяса и мясопродуктов. - М.: Агропромиздат, 1985. - 295 с.
5. Гончаров И. Заморозка рыбы и ее влияние на сохранение качества // Рыбная индустрия. – 2015. - №6. – С. 42-47
6. Биохимия молока и молочных продуктов: учеб. К. К. Горбатова, П. И. Гунькова; под общ. ред. К. К. Горбатовой. – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.:ГИОРД, 2010 – 336 с.
7. Белова. Е. В. Влияние заморозки на качество яиц птицы / Е. В. Белова // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2015. - №2. – С. 98-102
8. Баранова Е. В. Влияние низких температур на качество плодов и овощей / Е. В. Баранова // Вестник Московского государственного университета пищевых производств. – 2015. Т. 3, №1. – С. 34-40.
9. Баранова Е. А. Шоковая заморозка пищевых продуктов: технология и оборудование. Москва: издательство «Агропромиздат», 2010
10. Акустическая заморозка // Food | Acoustic Extra Freezing Aef, Quick Freezing, Blast Freezer, Shock Freezer: сайт. – URL: <https://www.aeftrade.ru/?ysclid=ism4s8oxht990200270>
(Дата обращения: 01.12.2023)

Рецензент: к.э.н., доц. Е.А. Фурсова

ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота
имени адмирала С.О. Макарова», Российская Федерация

МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭТАПОВ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Аннотация. В статье раскрыто понятие «жизненный цикл» сложной системы, предложена методика системного анализа этапов жизненного цикла автоматизированной системы управления, формализованы основные этапы жизненного цикла.

Ключевые слова: системный анализ, жизненный цикл, автоматизированные системы управления, экспертные системы, нейронные сети.

Введение. Жизненный цикл (ЖЦ) – «период времени от возникновения потребности в системе и её становления до снижения эффективности функционирования и «смерти» или ликвидации» [1, С.171]. Идентификация этапов жизненного цикла сложных систем управления является нетривиальной задачей, от которой зависит принятие стратегических решений, определяющих полную эффективность системы управления. Управление ЖЦ автоматизированной системы управления (АСУ) подразумевает, в том числе, минимизацию продолжительности этапов разработки, внедрения, модернизации (реинжиниринга) и ликвидации, и увеличение продолжительности этапа эксплуатации. В качестве эффективного инструмента мониторинга и прогнозирования этапов ЖЦ предлагается экспертная система на основе искусственной нейронной сети.

Методика. Концепция жизненного цикла системы (процесса) базируется на общесистемных закономерностях, сформулированные основоположниками теории систем [2-5], которые характеризуют особенности построения, функционирования и развития сложных систем. История развития понятия «жизненный цикл» показана в [6].

Реализация концепции отражает системный подход [7] в исследовании сложных систем управления, и, соответственно, может быть использована для формирования основных показателей объективной оценки АСУ. Количество и содержание этапов ЖЦ зависит от целей исследования и типа системы. Наиболее системная интерпретация, по мнению автора, выражается в концепции полного жизненного цикла (ПЖЦ) [6].

Используя положения теории множеств, формализуем обобщенную модель ЖЦ:

$$LC = (TS, T_{is}, S, COND, T),$$

где LC – жизненный цикл; TS – тип исследуемой системы (автоматическая, автоматизированная, киберфизическая, организационная и т.д.); T_{LC} – тип жизненного цикла (замкнутый ЖЦ, разомкнутый ЖЦ); S – множество этапов ЖЦ; COND – условия развития (внешние, внутренние); T – длительность ЖЦ,

$$T = \sum_1^n \Delta t.$$

Методика системного анализа этапов ЖЦ АСУ показана на рис. 1.

Раскроем содержание этапов системного анализа:

Этап 1. Постановка целей. Реализация концепции ЖЦ может проходить в рамках системных исследований базовых свойств сложных систем, от полной эффективности создаваемой системы до выявления внутренних и внешних зависимостей между этапами ЖЦ, а также, как методика анализа и управления продолжительностью и последовательностью этапов ЖЦ.

Этап 2. Разработка модели ЖЦ. Наиболее универсальной и информативной, по мнению автора, является сетевая модель (сетевой график), где вершины – этапы ЖЦ, ребра – связи между этапами, направления которых показывают возможные переходы от одного этапа к другому (рис. 2), где

S_1 – этап исследования;

S_2 – этап проектирования;

S_3 – этап технологический;

S₄ – этап производства;

S₅ – этап эксплуатации;

S₆ – этап ликвидации.

Ориентация (направление) стрелок показывает возможные переходы системы от одного этапа к другому. Переход системы к этапу ликвидации может произойти из любого этапа, в зависимости от внешних или внутренних условий. Переход системы из этапа эксплуатации к этапу проектирования возможен в случае модернизации (реинжиниринга).

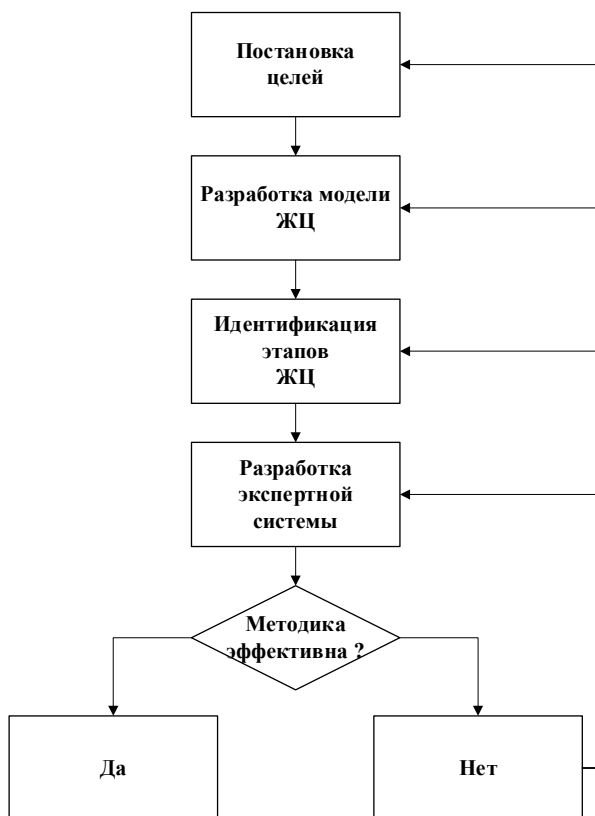


Рис. 1. Блок-схема системного анализа ЖЦ АСУ

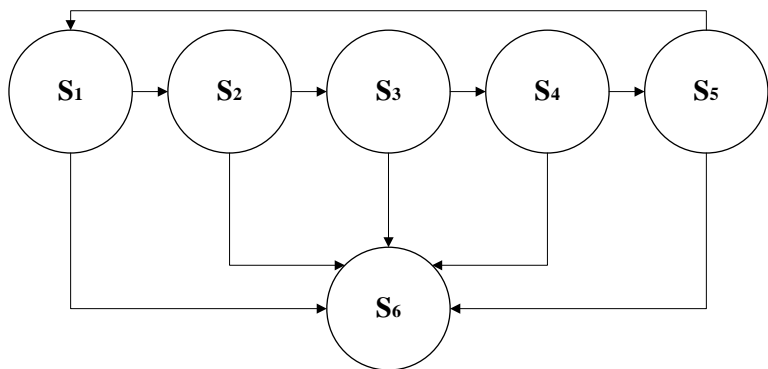


Рис. 2. Сетевая модель ЖЦ (по В.Н. Спицнаделю)

Этап 3. Идентификация этапов ЖЦ. Идентификация – определение существенных, с точки зрения поставленных целей, свойств (параметров) исследуемой системы. Как правило, выявляются показатели таких комплексных свойств системы, как качество, надежность, эффективность, живучесть. В случае решения задачи формализации динамических свойств ЖЦ можно использовать теорию марковских процессов.

Этап 4. Разработка экспертной системы. Основное назначение экспертной системы – дать ответ на следующие вопросы: «что происходит?» и «что делать?». Т.е. классифицировать объекты управления (этапы ЖЦ) и своевременно спрогнозировать поведение системы и/или сформулировать рекомендации по дальнейшему развитию АСУ. Наиболее эффективной технологией, лежащей в основе экспертных систем, является, по мнению автора, технология искусственных нейронных сетей (ИНС) [8]. Базовые алгоритмы проектирования ИНС рассмотрены в [9,10]. Перечислим основные этапы разработки ИНС:

1. Определить архитектуру нейронной сети:

- решить, какие слои будут присутствовать в нейронной сети, например, входной слой, скрытые слои и выходной слой;

- определить количество нейронов в каждом слое и их типы активации.

2. Инициализировать веса:

- инициализировать случайные значения для весов между нейронами в сети.

3. Определить функцию потерь:

- выбрать подходящую функцию потерь, которая будет использоваться для оценки ошибки модели.

4. Обучить нейронную сеть:

- подготовить обучающий набор данных, состоящий из входных данных и соответствующих им целевых значений;

- передать входные данные через сеть и получите предсказания;

- сравнить предсказания с целевыми значениями и вычислите значение функции потерь;

- использовать алгоритм обратного распространения ошибки для обновления весов и улучшения предсказаний с каждой итерацией.

5. Оценить производительность модели:

- использовать отложенный набор данных или кросс-валидацию для оценки производительности модели на новых данных;

- измерить метрики, такие как точность, полноту, F_1 -меру и другие, чтобы оценить качество модели.

6. Повторить шаги 4 и 5, если необходимо:

- если производительность модели не достаточна, можно изменить гиперпараметры, такие как скорость обучения, количество слоев или количество нейронов, и повторить процесс обучения и оценки.

Этап 5. Оценка эффективности. Эффективность экспертной системы можно проводить по различным показателям, в зависимости от критерия эффективности. Наиболее распространенными являются: точность (правильность) принимаемых решений, скорость (время, затраченное на принятие решения), производительность (количество решений в единицу времени), удобство использования (эргономичность), уровень автоматизации

(интеллектуализации), уровень интеграции (совместимости) с другими системами, модернизационный потенциал, надежность и т.д. Предлагаемая методика предполагает возврат к предыдущим этапам в случае необходимости.

Выводы. Развитие концепции жизненного цикла и исследование его этапов, позволяет оптимизировать управление состоянием и развитием сложных систем, минимизировать временные и материальные затраты на этапах разработки, внедрения и ликвидации, увеличить продолжительность этапа эксплуатации и, в конечном счете, повысить общую эффективность сложной системы.

Библиографический список

1. Теория систем и системный анализ в управлении организациями: Справочник: учеб. пособие / под ред. В.Н. Волковой и А.А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2009. – 848 с.
2. Бергаланфи, Л. фон История и статус общей теории систем: критический обзор / Л. фон Бергаланфи // Исследования по общей теории систем. – М.: Прогресс, 1969. – 195 с.
3. Холл, А. Опыт методологии для системотехники. – М.: Сов. радио, 1975. – 448 с.
4. Флейшман, Б. С. Элементы теории потенциальной эффективности сложных систем. – М.: Сов. радио, 1971. – 225 с.
5. Эшби У. Р. Введение в кибернетику. – М.: ИЛ, 1959. – 432 с.
6. Спицнадель, В. Н. Основы системного анализа: Учеб. пособие. — СПб.: Изд-дом «Бизнес-пресса», 2000 г. — 326 с.
7. Системный анализ в управлении: учеб. пособие / В.С. Анфилатов, А.А. Емельянов, А.А. Кукушкин; под. ред. А.А. Емельянова. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 368 с.
8. Соловьев, В.М. Построение диагностических экспертных систем на основе нейронных сетей // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Математика. Механика. Информатика. 2006. №1-2. – С.108-120
9. Аксенов, С.В., Новосельцев В.Б. Организация и использование нейронных сетей (методы и технологии) / Под общ. ред. В.Б. Новосельцева. – Томск: Изд-во НТЛ, 2006. 128 с.
10. Воронов, М.В. Системы искусственного интеллекта: учебник и практикум для вузов / М.В. Воронов, В.И. Пименов, И.А. Небаев. – М.: Из-во Юрайт, 2022. – 256 с.

Рецензент: д.т.н., проф. С.В. Колесниченко

© К. А. Каримулин, Е.Е. Майоров

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения», Российская Федерация

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЗВЕЗДНЫХ ДАТЧИКОВ ОРИЕНТАЦИИ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Аннотация. Звёздный датчик является важнейшим компонентом в системе ориентации космического аппарата. В связи с этим обеспечение его надежности, точности и функциональности является первостепенной задачей при его создании. В статье изучены роль, история, принцип работы и проблемы, связанные с работой звездных датчиков, а также рассмотрены направления их развития.

Ключевые слова: звёздный датчик, астродатчик, космическая ориентация, перспективы развития звездных датчиков.

Введение. Задолго до начала космической эры люди научились использовать звезды для решения навигационных задач. Поэтому создание оптических приборов, способных в автоматическом режиме выполнять слежение за звездами, было естественным развитием практических знаний человечества. Помимо звезд, в качестве опорных ориентиров для решения задач, связанных с ориентацией и навигацией летательных аппаратов могут выступать и другие небесные объекты, например, Солнце или Земля. Информация о текущей ориентации космического аппарата критически важна для его управления, следовательно, необходимо обеспечить точную и бесперебойную работу систем определения местоположения КА [1].

Роль звездных датчиков в космических миссиях. Звездный датчик – это устройство, используемое в астрономии и космической навигации для измерения положения и ориентации космических аппаратов относительно звезд на фоне неба. Эти датчики обычно используют оптические системы, такие как фоточувствительные детекторы, для обнаружения и анализа звёздного неба.

Данное устройство играет важную роль в космических миссиях. Ниже представлены основные аспекты их работы в космических миссиях:

Первый аспект – навигация и стабилизация КА;

Второй – контроль ориентации во время выполнения операций:

- маневрирование;
- ориентация антенн;
- установка солнечных панелей в оптимальное положение для их максимальной эффективности;

Третий – исследование небесных объектов. Звездные датчики используются для точной навигации космического аппарата к целевым объектам и обеспечения стабильности при съёмке и сборе данных.

Четвертый – Калибровка наземных инструментов и оборудования: телескопов, антенн и другого оборудования, используемого для наблюдений из космоса.

В целом, звездные датчики играют одну из важнейших ролей в успешном выполнении космических миссий, обеспечивая надёжную навигацию, стабильность и точность в сборе данных о небесных объектах [2].

Принцип работы. Вследствие того, что положения звезд известны достаточно хорошо, использование их в качестве ориентиров позволяет с высокой точностью рассчитывать ориентацию самолета или космического аппарата (КА). Астродатчик (АД) визирует звезды, находящиеся в его поле зрения, и выдает направления на них относительно системы координат, связанной с КА.

Принцип работы звездного датчика основан на измерении углового расположения звезд и состоит из следующих шагов:

- 1) Обнаружение звёзд: используя оптическую систему, датчик обнаруживает светящиеся тела. Обычно это происходит с помощью фоточувствительных детекторов, таких как CCD-матрицы, которые регистрируют свет от звёзд.

2) Определение положения звёзд: звездный датчик анализирует интенсивность света и его распределение по светочувствительной матрице. Это делается путём сравнения расположения звёзд на изображении с данными о звёздах в базе данных, включающей около 375 000 звёзд

3) Ориентация космического аппарата: на основе информации о положении звёзд на изображении звездный датчик определяет ориентацию космического аппарата в пространстве. Данный этап выполняется путём вычисления угловой разницы между положением обнаруженных звёзд и ожидаемыми координатами звёзд на фоне неба.

4) Передача определенной ориентации вычислительной системе космического аппарата

Иллюстрация работы датчика показана на рисунке 1.

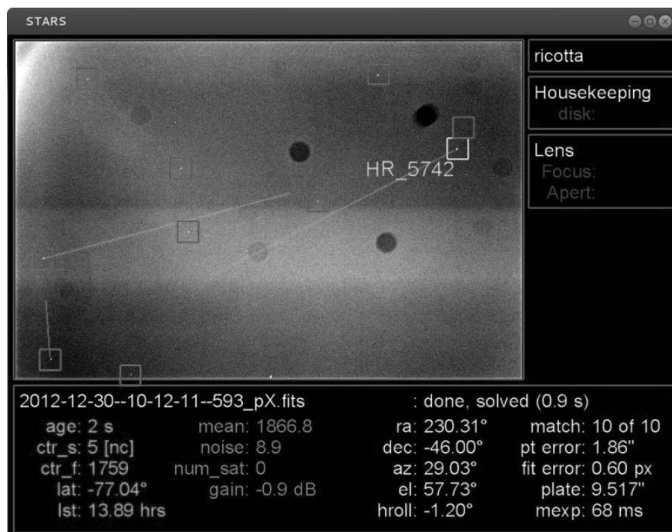


Рис. 1. Иллюстрация работы датчика

Проблемы, связанные с использованием звездных датчиков.

Несмотря на то, что звездные датчики имеют ключевое значение в сфере космической навигации и астрономических исследований, они имеют ряд

сложностей и ограничений, влияющих на их функциональность и точность. Среди таких:

1) Шум и помехи. Фоточувствительные детекторы, используемые в звездных датчиках, могут быть подвержены различным источникам шума и помех, таким как тепловой шум, электромагнитные помехи и фоновое излучение. Это может снижать точность измерений и усложнять обработку данных.

2) Калибровка и выравнивание. Звездные датчики требуют регулярной калибровки и выравнивания для обеспечения точности измерений. Это может потребовать сложных процедур, ресурсоёмких и дорогостоящих операций, особенно в долгосрочных космических миссиях.

3) Ограниченная чувствительность. Некоторые звездные датчики могут иметь ограниченную чувствительность к свету, что может затруднять обнаружение и измерение слабых звёзд или объектов с низкой яркостью.

4) Влияние атмосферы Земли: Земная атмосфера может создавать искажения и искажения в изображениях, получаемых звездными датчиками, особенно при наблюдениях из космоса. Это может усложнять астрономические наблюдения и требовать разработки методов компенсации атмосферных эффектов.

5) Обнаружение и коррекция дрейфа. Данные факторы могут возникать по различным причинам, таких как тепловые эффекты, механические вибрации и другие факторы. Это может привести к смещению или потере точности в измерениях.

6) Необходимость в обслуживании и ремонте. В долгосрочных космических миссиях звездные датчики могут потребовать обслуживания или ремонта из-за износа, повреждений или сбоев в работе. Это может быть сложной и рискованной операцией, особенно в условиях космического пространства [3].

Перспективы развития. Перспективы развития звездных датчиков связаны с постоянным стремлением улучшить их точность, чувствительность, надёжность и функциональность. Как описано выше, некоторые проблемы и ограничения всё ещё существуют. Из этого можно сделать вывод, что перспективами развития, которые могут сделать звездные датчики более эффективными и надёжными выступают следующие направления [4,5]:

1) Разработка новых методов обработки данных. Направление может улучшить точность измерений и уменьшить влияние шума и помех на результаты.

2) Создание более интеллектуальных и автономных систем звездных датчиков. Возможности новых систем должны включать в себя самостоятельный анализ и корректировку своих измерения в реальном времени. Это поможет снизить необходимость вручную проводить калибровку и настройку.

3) Улучшение технологий детекторов. Среди таких: CCD и CMOS матрицы. Это позволит увеличить чувствительность и разрешение звездных датчиков, что в свою очередь позволит обнаруживать более слабые звёзды и улучшить качество изображений.

4) Внедрение адаптивной оптики. Данное направление может помочь компенсировать атмосферные искажения и улучшить качество изображений при наблюдениях из космоса или с земли.

5) Применение методов машинного обучения и нейронных сетей. Анализ данных с помощью данной инновации для анализа данных поможет улучшить точность и быстродействие звездных датчиков, помогая обнаруживать и компенсировать искажения и шумы.

6) Применение сенсоров, работающих в инфракрасном, ультрафиолетовом и радио – диапазонах спектра. Это позволит получать дополнительную информацию о небесных объектах и расширить область исследований в астрономии.

Заключение. Решение существующих проблем и ограничений звездных датчиков требует комплексного подхода, включающего в себя совершенствование технологий, разработку новых методов и алгоритмов, а также активное исследование в различных научных областях. Эти улучшения и инновации будут способствовать развитию космических исследований и расширению наших знаний о Вселенной.

Библиографический список

1. Дятлов С. А., Бессонов Р. В. Обзор звездных датчиков ориентации космических аппаратов // Всероссийская научно-техническая конференция «Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов» сборник трудов.- Россия.–2009.–С.: 12 – 31, <https://elibrary.ru/contents.asp?id=33699680>.
2. Сборник трудов "Современные проблемы определения ориентации и навигации космических аппаратов", - М: Ротапринт ИКИ РАН, 2009
3. Черенков С.А., Худяков А.А. О перспективных астрокорректорах астроинерциальных навигационных систем // Труды Московского института электромеханики и автоматики (МИЭА). 2017. Вып. 18. С. 35–42.
4. Аванесов Г.А., Бессонов Р.В., Куркина А.Н., Людомирский М.Б., Каютин И.С., Ямщиков Н.Е. Автономные бесплатформенные астроинерциальные навигационные системы: принципы построения, режимы работы и опыт эксплуатации // Гироскопия и навигация. 2013. № 3. С. 92–93.
5. Method of Analyzing the Availability Factor in a Mesh Network / A. Dagaev, V. D. Pham, R. Kirichek [et al.] // Communications in Computer and Information Science. – 2022. – Vol. 1552. – P. 346-358. – DOI 10.1007/978-3-030-97110-6_27. – EDN PCPMMZ.

Рецензент: д.т.н., проф. И.Б. Арефьев

ВЫБОР МЕЖДУНАРОДНОГО ТРАНСПОРТНОГО КОРИДОРА НА ОСНОВЕ ТРИАНГУЛЯЦИИ

Аннотация. Цель: Разработка алгоритма выбора транспортного коридора на основе триангуляции. Методы: общенаучные методы, в том числе статистические (описание, анализ систематизация, дедукция). Результат: разработана схема выбора транспортного коридора на основании триангуляции.

Ключевые слова: контейнерные перевозки, триангуляция, фитинговая платформа, контейнерный терминал, контейнер, международный транспортный коридор, санкции, ускоренный контейнерный поезд.

Введение. На данный момент, практически все грузы народного потребления и большая часть необработанных грузов в качестве транспортного средства используют стандартные ISO контейнеры (типоразмерностью 20 фут и 40 фут).

В современных рыночных реалиях, где производственные мощности и рынки сбыта находятся в разных точках Евразии и стран АТР – крайне остро стоит вопрос транспортировки контейнеризированных грузов к месту производства или конечного потребления.

В последние годы, на территории Российской Федерации сформировалось несколько главных направлений контейнеризированных грузопотоков:

- 1) Китай/Япония/Корея/страны АТР – Россия (импорт);
- 2) Китай/Япония/Корея/страны АТР – Европа (транзит WESTBOUND);
- 3) Европа – Китай/Япония/Корея/страны АТР (транзит EASTBOUND);

- 4) Россия (Урал, Сибирь, Дальний Восток) – Китай/Япония/Корея/АТР (экспорт);
- 5) Россия (Урал, Сибирь, Дальний Восток) – Европа (экспорт);
- 6) Европа – Россия (импорт).
- 7) Внутрirosийские перевозки готовой продукции с Запада на Восток;
- 8) Обеспечение грузами удалённых территорий (Калининградская обл., Северный завоз, Дальневосточный ПСЖВС и каботаж).

В целом, согласно данных главного вычислительного центра ОАО «РЖД», объём контейнерного рынка объём всего контейнерного рынка РФ после значительного снижения в 2022 году, в 2023 году показал значительный рост и за 9 месяцев 2023 года составил 7 158 727 TEU (рост на 15,6%) [1,2,3]

Так как, главные рынки приобретения ТНП и сбыта контейнеризированного сырья (пиломатериалы, фанера, бумага, картон, полиэтилен) находятся в Азиатских странах, Турции и Индии то схемы доставки сильно изменились и диверсифицировались:

- Морской фрахт (Short Sea) через порты Дальнего Востока (ВМТП, ВСК, ВМКТ, ВМПП), с дальнейшей железнодорожной доставкой до Центральной России и обратно.

- Морской фрахт (Short Sea) из Новороссийска в Турцию + железнодорожная доставка до Центральной России и обратно.

- Морской фрахт с трансшипментом в Африке/Турции (Deep Sea) через порты Санкт-Петербурга или Новороссийска (с трансшипментом в Африке/Турции и автомобильной доставкой до Центральной России и обратно.

- Прямой морской фрахт на собственных активах из АТР в порты Санкт-Петербурга и Новороссийска.

- Прямые контейнерные поезда из Китая в Россию и обратно, через пограничные железнодорожные переходы: Гродеково, Забайкальск, Замын-Ууд (Монголия), Достык (Казахстан), Алтынколь (Казахстан).

С учётом перераспределения грузовых потоков, как клиенты, так и перевозчики (в первую очередь мультимодальные контейнерные операторы) – испытали множество проблем. [4]

В 2022-2023 годах, клиенты столкнулись с резким удорожанием стоимости перевозок, длительным ожиданием отгрузок и перестройкой цепочек поставок, а контейнерные операторы столкнулись с ограничениями Восточного полигона ОАО «РЖД», непредсказуемостью контейнеропотоков и вагонопотоков и, самое главное, дефицитом вместимости на судах Short sea, а судов класса Deep Sea (экономическая целесообразность использования таких судов – только при вместимости от 3 000 TEU) в РФ не было. Согласно данным группы компаний Fesco, из-за этого сильно изменилась ситуация на всех точках входа/выхода грузопотоков по территории РФ. (рис. 1) [5]

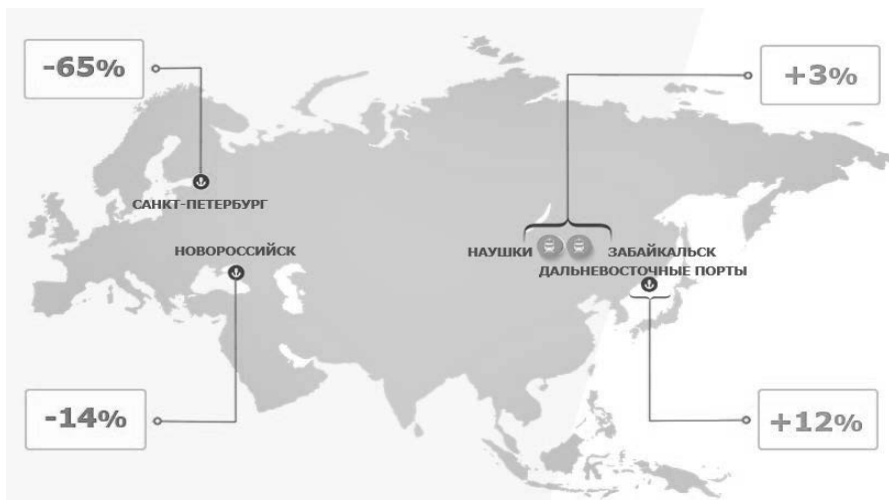


Рис. 1. Изменение импортного/экспортного контейнерного грузопотока в РФ в начале 2023 года (по сравнению с 2022), %

Именно по причине сильного падения грузопотоков через Большой порт Санкт-Петербург, главные контейнерные операторы РФ в 2023 г., активно

инвестируют в покупку готовых контейнеровозов и строительство новых судов [6].

Так как весь 2023 г, активы на Северо-Западе РФ использовались значительно меньше, то с учётом активного «входа» новых компаний на рынок – случилась разбалансировка активов – сильный профицит КТК (выгружаемых с судов, при стагнации объёма экспорта), дефицит фитинговых платформ в регионе (основной вход был с импортным грузом через Дальневосточные порты, который при запуске нового сервиса – сократился). При этом портовые мощности порта СПб (Бронка, КТСП, ПКТ, ПЛП, Рыбный порт) – из «простоя», перешли в стандартный режим работы [7,8].

Именно поэтому, при планировании работы, в крупных контейнерных операторах используется схема триангуляции активов – она позволяет сгладить данные «перекосы».

Выбор транспортного коридора на основании триангуляции (на примере порта Санкт-Петербург). «ТРИАНГУЛЯЦИЯ» — это процесс использования активов оператора для формирования сложных цепочек поставок с максимальной эффективностью их использования.

В настоящее время контейнерные операторы рассматривают триангуляцию при осуществлении перевозки на всех плечах, т. е., этот термин описывает транспортировку, как единое целое, но разбитое на сегменты: на экспорт, импорт, транзит и внутригосударственное сообщение.

Например, сейчас стандартная схема работы контейнерного оператора начинается свой цикл в портах и/или сухопутных пограничных переходах и выглядит следующим образом:

Импорт — внутрироссийская перевозка (опционально) — подсыл под экспорт — экспортная перевозка — импорт.

Исходя из вышеописанной ситуации в порту Санкт-Петербурга выбор международного коридора АТР – РФ (DEEP SEA через порт СПб), должен учитывать:

1 Наличие свободных портовых мощностей для обработки судов без ожидания на рейде (что происходит на Дальнем Востоке), возможность выгрузки контейнеров на площадку, в том числе с опасными грузами ИМО.

С учётом ситуации на зиму 2024 г. любой терминал в Санкт-Петербурге готов это обеспечить.

2 Возможность отправить контейнеры в груженом состоянии после выгрузки. Т.к. контейнер это многооборотная тара, то после выгрузки его необходимо загрузить и обеспечить возможность дальнейшей отправки.

С учётом ситуации на лето 2024 г. стоки порожних контейнеров в Санкт-Петербурге, Москве, Новороссийске – переполнены, а в регионах наблюдается их сильный дефицит. Учитывая схему триангуляции – оператором необходимо или увеличить подсылы под экспорт (с возвратом КТК для погрузки на судно) и/или увеличить выход внутрироссийских поездов в Сибирь/на Дальний Восток.

Так, крупнейшая морская линия РФ расширяет «сетку» ВРП поездов и, дополнительно увеличивает вход экспортных поездов. [9,10]

3 Наличие фитинговых платформ для обеспечения вывоза КТК как в ускоренных маршрутах, так и в сборных, внутрироссийских поездах.

С учётом ситуации на зиму 2024 г. вход платформ сократился, поэтому операторам приходится искать дополнительные возможности решения этой проблемы. Так, крупнейшая морская линия РФ запустила уникальный поезд Москва – Санкт-Петербург с грузами на Калининград (каботаж), при этом, платформы после выгрузки возможно использовать для отправки других грузов.

Заключение. Исходя из вышеизложенного, данный маршрут возможно оптимизировать, используя схему триангуляции активов, что доказывает опыт крупнейших контейнерных операторов, при условии, что DEEP SEA сервис является уникальным решением, и раньше российские морские линии с ним не сталкивались.

Библиографический список

1. Безбородов А. Контейнерный отчёт по итогам 2023 года [электронный ресурс]//РБК: [сайт]. [2023] URL: <https://www.infranews.ru/issledovaniya/63785-kontejnernyj-otchet-po-itogam-2023-goda/> (дата обращения 30.03.2024)
2. Официальный сайт ОАО «РЖД» (ГВЦ): [сайт]. URL <https://company.rzd.ru/ru/9349/page/105554?id=2459#enttab-main>
3. Сеницына, С. В. Анализ структуры и основных характеристик грузопотоков России / С. В. Сеницына, П. С. Адауров, Ю. В. Коровяковская // Russian Journal of Logistics & Transport Management. – 2019. – Т. 4, № 2. – С. 134-143. – EDN ROHDQK.
4. Щадрина А. Российские порты с трудом справляются с грузопотоком [электронный ресурс]// RG : [сайт]. [2023] URL: <https://rg.ru/2023/01/30/reg-dfo/tovary-idut-na-peregruzku.html> (дата обращения 30/03/2024)
5. Грязневич В. «Окно не в Европу»: Большой порт Петербурга удивил экспертов [электронный ресурс]//РБК: [сайт]. [2023] URL: https://www.rbc.ru/spb_sz/30/01/2023/63d7844a9a7947827be2ca28 (дата обращения дата обращения 30/03/2024)
6. FESCO запустила морскую линию из портов Китая в Петербург по deep sea [электронный ресурс]//Интерфакс: [сайт]. [2023] URL: <https://www.interfax-russia.ru/northwest/main/fesco-zapustila-morskuyu-liniyu-iz-portov-kitaya-v-peterburg-po-deep-sea> (дата обращения 30/03/2024)
7. Ольшанский Н. «На российском рынке в целом наблюдает профцит контейнерного оборудования [электронный ресурс]//РЖД- Партнёр: [сайт]. [2023] URL: <https://www.rzd-partner.ru/logistics/interview/na-rossijskom-rynke-v-tselom-nablyudaetsya-profitsit-konteynernogo-oborudovaniya/> (дата обращения 30.03.2024)
8. Гришков А. Большой порт Санкт-Петербурга в апреле нарастил грузооборот в 1,5 раза [электронный ресурс]// Ведомости : [сайт]. [2023] URL: <https://vedomosti-spb.ru/economics/articles/2023/05/14/974979-bolshoi-port-sankt-peterburga?ysclid=lj37wnvsvm957997662> (дата обращения 05/06/2023)
9. FESCO и «Сибур» договорились о сотрудничестве в сфере транспортно-логистических решений для экспорта [электронный ресурс]//Portnews: [сайт]. [2023] URL: <https://portnews.ru/news/349004/> (дата обращения 16/06/2023)
10. Fesco запустила новый интермодальный маршрут из Москвы в Калининград через Петербург [электронный ресурс]//ТАСС: [сайт]. [2023] URL: <https://tass.ru/ekonomika/17315219> (дата обращения 16/06/2023)

Рецензент: д.т.н., проф. И.Б. Арефьев

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ МЕТОДОВ КЛАСТЕРИЗАЦИИ

Аннотация. Определение наиболее подходящих кластеров можно рассматривать как задачу категоризации, которая привела к разработке многочисленных методов кластеризации в различных исследованиях. Каждый метод предлагает решение одной или нескольких проблем категоризации при анализе наборов данных с различным количеством тестируемых кластеров. Сильные и слабые стороны каждого метода дополняют друг друга при решении этих проблем категоризации. Цель данной статьи - обсудить эффективность кластерных методов в определении лучших кластеров, сосредоточившись на критериях, которые представляют собой препятствия в процессе категоризации. Результаты этого анализа должны послужить основой для создания нового и усовершенствованного метода кластеризации путем потенциальной комбинаторной оптимизации.

Ключевые слова: кластер, производительность, обзор, оптимальный кластерный подход.

Введение. Кластеризация необходима для того, чтобы группировать экземпляры данных на основе их сходства, извлекая ценную информацию. Однако процесс кластеризации также требует применения методов, которые могут интерпретировать информацию, лежащую в основе данных, оставшихся после группировки [1,2]. Кластеризация выполняется с помощью заранее определенного алгоритма для организации данных в группы на основе присущих им характеристик, направленных на установление наилучшей группировки для заданного набора данных [3]. Для достижения желаемых результатов кластеризации необходимо задать критерий, который будет эффективно направлять процесс кластеризации. Как правило, набор данных делится на несколько кластеров, однако определение идеального количества кластеров остается сложной задачей при интерпретации кластеризованных данных.

Цель данного исследования - оценить эффективность трех различных методов кластеризации - алгоритма Elbow, алгоритма динамической кластеризации и индекса Xie Beni - в определении оптимальных кластеров. При оценке эффективности этих методов с учетом размера набора данных учитываются различные факторы, такие как используемый алгоритм, ограничения задачи, уровень ошибок, подходы к решению задачи и количество кластерных тестов. Исследуя эти методологические аспекты, данное исследование направлено на разработку нового метода оптимизации для определения оптимального числа кластеров с помощью комбинаторной оптимизации, предлагающего решения различных задач кластеризации.

Анализ методов кластеризации. Чтобы получить ценные сведения, необходимо использовать различные методы кластеризации для достижения наилучшего результата. Такие методы, как Elbow, алгоритм динамической кластеризации и индекс Xie Beni, доказали свою эффективность в решении широкого спектра задач кластеризации. В данной обзорной статье мы специально рассматриваем эти методы и их вклад в область кластеризации.

1. Метод Elbow. Этот старейший из когда-либо существовавших методов часто называют методом локтя. Метод локтей работает путем сравнения значения или процентного соотношения числа k , которое было проверено и образовало локоть в точке [4]. Значение k на комбинации локтей с K-Means представляет собой график кластерных отношений с уменьшающимися ошибками. Увеличение значения k приводит к тому, что график медленно уменьшается, пока значение k не станет стабильным [5]. Количество кластеров k , полученных в результате тестирования с помощью K-Means, оценивалось с помощью метода SSE. Чем больше число k , тем меньше значение SSE. SSE - это способ проверки кластеров через сумму квадратов расстояний каждого члена кластера до его центра [6]. Чем больше расстояние, образующее локоть, тем оптимальнее число кластеров. Формула SSE выглядит следующим образом [7]:

$$SSE = \sum_{k=1}^K \sum_{x_i \in S_k} \|x_i - c_k\|_2^2$$

2. Алгоритм динамической кластеризации. Преимуществом данного алгоритма становится качество вывода кластеров. В некоторых исследованиях этот алгоритм реализуется в сочетании с алгоритмом K-Means, с самого начала для получения кластеров. В конце, после того как кластер сформирован, производится расчет внутрикластерного и межкластерного расстояния. Если внутрикластерное расстояние меньше, а межкластерное - больше, то алгоритм вычисляет новый кластер, добавляя к счетчику k единицу на каждой итерации, пока не будет достигнут предел качества кластеров [8]. Эта техника проверки известна как индекс Дэвиса Болдина (DBI). Оценки, использующие DBI, имеют внутреннюю схему оценки кластеров, в которой результаты кластеризации являются хорошими или нет, исходя из количества и близости между данными кластеров. Подход к измерению DBI заключается в максимизации межкластерного расстояния и минимизации внутрикластерного расстояния. Наиболее оптимальный кластер определяется по наименьшему значению DBI. Формула DBI имеет вид [8]:

$$DBI = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \max_{j \neq k} R_{j,k}$$

где

$$R_{j,k} = \frac{MAE_j + MAE_k}{d(c_j, c_k)}$$

3. Индекс Xie Beni. Этот метод, известный как метод XB, был открыт Кси и Бени в 1991 году. Этот метод используется для проверки количества кластеров. Метод XB использует расстояние между кластерами и объем данных для определения значения индекса XB. Чем меньше значение индекса XB для номера кластера, тем более оптимальным является номер кластера. Формула индекса Xie Beni выглядит следующим образом:

$$XBI = \frac{\sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^N u_{ij}^m d(x_i c_j)^2}{N x m_i n_{ij} (d(d_i c_j))} = \frac{Jm(u, c)/N}{S\theta p(c)}$$

Применение трех оптимальных кластерных подходов показывает различные результаты для каждой задачи группировки. Обобщение результатов исследований представлено в таблице 1.

Таблица 1. Обобщение результатов исследования

Метод Фактор	Метод Elbow	Алгоритм динамической кластеризации	Индекс Xie Beni
Частота возникновения искажений	Использование значений искажений. -тест с наибольшей разницей искажений является лучшим или оптимальным k	Использование индексов искаженных значений для измерения наименьших внутри- и межкластерных значений. k -тест с наименьшим индексом является лучшим k	Использование индексов искаженных значений с учетом расстояния между кластерами и объема данных, тест с наименьшим индексом является лучшим k
Результат кластеризации	В целом успешно, но в некоторых тестах не удается создать оптимальные кластеры	В целом успешно	В целом успешно
Количество тестов	>3	>3	>3

Обсуждение. Исходя из данных таблицы 1, каждый метод можно протестировать с помощью различных алгоритмов, увеличивая количество критериев и проводя испытания для различных значений k . В то время как в одних исследованиях используются большие наборы данных, другие работают с меньшими. Количество тестовых данных играет решающую роль в точности результатов кластеризации. Взаимосвязь между объемом данных и количеством тестов k напрямую влияет на создание оптимальных кластеров. Более высокое значение k приводит к более стабильному коэффициенту ошибок. Эта информация может служить руководством при выборе и применении методов оптимизации кластеров.

Вывод. В этой статье показано, как три различных подхода к кластеризации применялись в различных сценариях с разным объемом и типом данных. Эффективность метода Elbow, алгоритма динамической кластеризации и индекса Xie Beni оценивалась с учетом таких факторов, как используемый алгоритм, ограничения задачи, частота ошибок, решение задачи и количество тестов, проведенных для различных значений k . Полученные результаты свидетельствуют о том, что наиболее оптимальные результаты кластеризации получаются при сочетании математического моделирования и статистического

анализа. Этот вывод может вдохновить на разработку методов проверки кластеров путем интеграции математических и вычислительных моделей.

Библиографический список

1. Афанасьева, О. В. Повышение точности исследования вибрации двигателя методами системного анализа / О. В. Афанасьева // Системный анализ в проектировании и управлении: Сборник научных трудов XXV Международной научной и учебно-практической конференции. В 3-х частях, Санкт-Петербург, 13–14 октября 2021 года. Том Часть 1. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2021. – С. 469-474. – DOI 10.18720/SPBPU/2/id21-95. – EDN UNIEAE.

2. Experimental Study Results Processing Method for the Marine Diesel Engines Vibration Activity Caused by the Cylinder-Piston Group Operations / O. Afanaseva, O. Bezyukov, D. Pervukhin, D. Tukeev // Inventions. – 2023. – Vol. 8, No. 3. – P. 71. – DOI 10.3390/inventions8030071. – EDN PSWK0Y.

3. Ильюшин, Ю. В. Моделирование систем : Учебное пособие для студентов направления подготовки 27.03.04 «Управление в технических системах» / Ю. В. Ильюшин, Т. В. Кухарова, О. В. Афанасьева. – Санкт-Петербург : ООО "Медиапапир", 2022. – 104 с. – ISBN 978-5-00110-276-2. – EDN ACIYCQ.

4. Bholowalia P., Kumar A. 2014. EBK-Means: A Clustering Technique based on Elbow Method and K-Means in WSN. Int. J. Comput. Appl., Vol. 105(9), pp. 17–24.

5. Syakur M. A., Khotimah B. K., Rochman E. M. S., Satoto B. D.. Integration KMeans Clustering Method and Elbow Method for Identification of the Best Customer Profile Cluster. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, Vol. 336(1), pp. 1–7.

6. Duvvada H. P., Naidu G. D. R., Sri V. D. 2017. K-Means Cluster Analysis Of Cities Based On Their. Int. J. Eng. Dev. Res., Vol. 5(4), pp. 1356–1363.

7. Strobl J., Pioreck M. 2017. Methods for automatic estimation of the number of clusters for K-means algorithm used on eeg signal: Feasibility study. Lek. a Tech., Vol. 47(3), pp. 1–6.

8. Shafeeq B. M. 2012. Dynamic Clustering of Data with Modified K-Means Algorithm. in International Conference on Information and Computer Networks (ICICN 2012), vol. 27(2), pp. 221–225.

Рецензент: д.т.н., проф. В.Е. Трушников

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР РАДИАЦИОННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В НЕПРЕРЫВНОЙ ХОЛОДИЛЬНОЙ ЦЕПИ

Аннотация: Цель: рассмотрение возможности использования радиационного охлаждения в непрерывной холодильной цепи. Данная технология позволяет оптимизировать потребление энергии при хранении и перевозке скоропортящихся грузов. Методы: произведён анализ систем пассивного радиационного охлаждения; рассмотрена принципиальная схема установки с радиационным охлаждением; описаны виды радиаторов, используемых в системах радиационного охлаждения. Результаты: в ходе работы структурирована информация о радиационной системе охлаждения и потенциале использования в непрерывной холодильной цепи. Проанализированы основные факторы, влияющие на эффективность радиационного охлаждения, такие как погодные условия и материалы, используемые в производстве систем радиационного охлаждения. Выявлена необходимость дальнейшего изучения потенциала радиационного охлаждения. Практическая значимость: Рассмотрена возможность использования систем радиационного охлаждения в непрерывной холодильной цепи, что позволит снизить эксплуатационные расходы при хранении и транспортировке скоропортящихся грузов, снизит потребление исчерпаемых энергоресурсов, а также минимизирует негативное воздействие на окружающую среду.

Ключевые слова: Радиационное охлаждение, непрерывная холодильная цепь, кондиционирование воздуха, энергосбережение, инфракрасное атмосферное окно.

Введение. Искусственное охлаждение – это процесс понижение температуры тела или среды с помощью специальных устройств и приспособлений. Основными областями применения искусственного охлаждения являются: промышленное производство (охлаждение оборудования и машин); охлаждение скоропортящихся грузов (продуктов питания) при их хранении и перевозке; кондиционирование воздуха в жилых и коммерческих помещениях и во многие другие сферы деятельности человека.

Наиболее распространёнными принципами искусственного охлаждения являются воздушное и жидкостное охлаждения. Для воздушного охлаждения необходимо пропустить воздух через систему или устройство, что позволяет

удалить избыточное тепло, передав его воздуху, который будет далее удалён из системы при помощи вентиляторов, кондиционеров или иных систем циркуляции воздуха. Данный вид охлаждения используется повсеместно от автомобилей до электроники, т.к. он является эффективным и удобным в использовании. Жидкостное охлаждение, в большинстве случаев, использует воду, поскольку она обладает высокой теплоёмкостью и теплопроводностью. После нагрева жидкости система циркуляции отводит нагретую воду к радиатору, где жидкость остужается, после чего она возвращается к охлаждаемому телу. Примерами использования данного типа охлаждения можно назвать компьютеры, двигатели внутреннего сгорания локомотивов, а также ядерные реакторы.

Однако новые технологии в этой области потенциально позволяют снизить эксплуатационные расходы, уменьшить выбросы вредных веществ в окружающую среду, повысить безопасность систем, а также привести к технологическому прорыву в целых областях науки. По мнению многих учёных, одной из таких систем является система радиационного охлаждения.

Основная часть. Радиационное охлаждение (РО) – это охлаждение объектов или систем, тепловое излучение которых рассеивается в инфракрасном спектре в интервале от 8 до 13 мкм. РО является пассивным способом охлаждения, включающим технологии и решения, созданные для охлаждения с потреблением минимального количества энергии. Важно отметить, что радиационное охлаждение не является ионизирующим излучением, которое подразумевают под более широким значением - радиация. Это означает, что радиационное охлаждение не является опасным для жизни, поскольку инфракрасное излучение, используемое в системах РО, обладает гораздо меньшей интенсивностью и энергией, которая не проникает в организм, не может ионизировать клетки и молекулы человека. ИК-излучение является естественным процессом, происходящим повсеместно, одним из его примеров является охлаждение Земли путём излучения тепла в космос.

Ниже предоставлена принципиальная схема системы радиационного охлаждения (рис.1) [1]. Данная система представляет собой аккумулятор холода, два гидравлических контура заполненных теплоносителем,

гидронасосы, радиаторы, воздухоохладитель, электродвигатели и охлаждаемое помещение. При нагреве охлаждаемого помещения до максимально допустимой температуры объекта охлаждения, в работу включается гидронасос Н1, забирающий теплоноситель из аккумулятора холода А, подавая в радиаторы радиационного охлаждения Р1,...,Р6, теплоноситель, где он охлаждается и снова попадает в аккумулятор холода А. Затем, гидронасос Н2 перекачивает теплоноситель в воздухоохладитель ВО, расположенный в охлаждаемом помещении ОП [8].

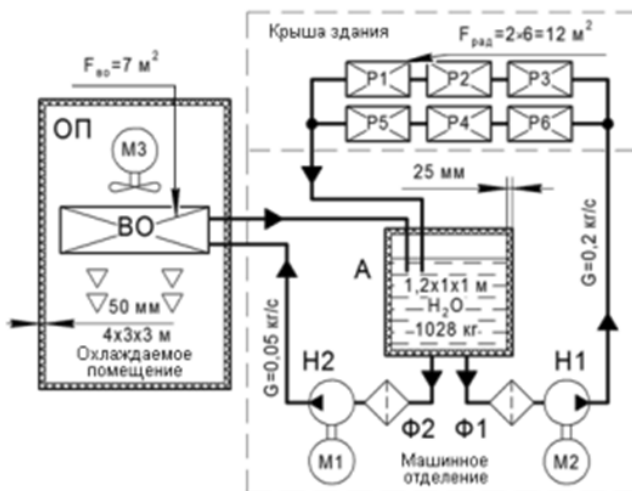


Рис. 1. Принципиальная гидравлическая схема установки радиационного охлаждения [1]:

А — аккумулятор холода; ВО — воздухоохладитель; Н1, Н2 — насосы; М1, М2, М3 — электродвигатели, ОП — охлаждаемое помещение; Р1... Р6 — радиаторы; Ф1, Ф2 — фильтры.

Работа системы радиационного охлаждения зависит от следующих природных факторов: температура, влажность атмосферного воздуха, облачность, осадки, туман, время года и суток, углы положения солнца и углы установки радиаторных панелей. При ясной погоде и низкой влажности наиболее эффективное использование солнечного коллектора в системах обогрева наблюдались в астрономический полдень, для систем охлаждения – в астрономическую полночь. Это явление обусловлено инерционностью нагрева

атмосферы. Отдельные облака затрудняют анализ воздействия облачности на работу радиационной системы охлаждения. Для учета влияния отдельных облаков необходимо непрерывно отслеживать инсоляцию - облучение поверхностей солнечным светом, солнечной радиацией и поток солнечной радиации на поверхность в точке нахождения в режиме реального времени. Это позволит оценить производительность системы радиационного охлаждения, как в каждый момент времени, так и интегрально. Изменение облачности на 15-25% приводит к такому же изменению производительности системы, но с противоположным знаком. Таким образом, наилучшее расположение систем радиационного охлаждения - в гористой местности, где будет большая разница в температуре, минимальная облачность и низкая влажность воздуха [4,6,7].

Радиационное охлаждение имеет отличительную способность – значительно бóльшая энергоэффективность поскольку энергия требуется лишь для циркуляции теплоносителя внутри холодильной цепи. Это значительно снижает эксплуатационные расходы на охлаждение внутри холодильной цепи. Также важно отметить, что радиационное охлаждение является автономным, поскольку оно может функционировать независимо от тепловой энергии, и для его работы требуется минимальное количество электроэнергии. Это делает его экологичным и при использовании в глобальных масштабах может способствовать снижению скорости глобального потепления. Ещё одним преимуществом является возможность использования радиационного охлаждения в любой местности, и в случае размещения в отдалении от крупных населённых пунктов его эффективность будет только расти в связи с прозрачностью атмосферы [5].

Для систем радиационного охлаждения существуют различные виды радиаторов, отличающиеся своим устройством в зависимости от предназначенного времени работы (рис.2) [2,9,10].

Наиболее эффективными являются системы с ночными радиаторами (рис.3), использующие одновременно чёрный радиатор и селективный радиатор, поскольку чёрный радиатор обладает высокой излучающей способностью в большинстве тепловых спектрах, позволяя с большей интенсивностью охлаждать при комнатной температуре, в то время как

селективный радиатор более эффективен в инфракрасном атмосферном окне, в котором чёрный радиатор наименее эффективен.

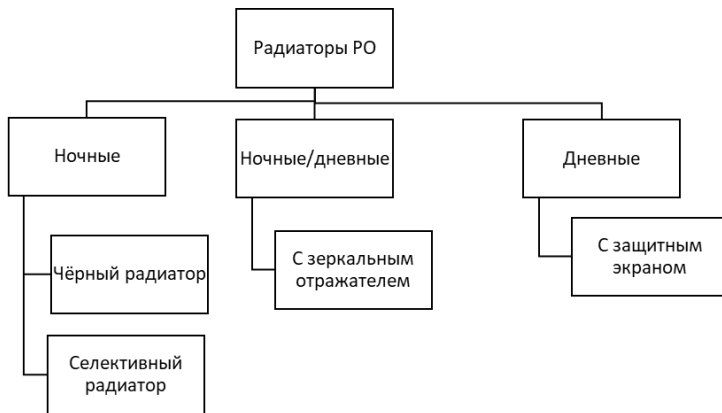


Рис. 2. Классификация радиаторов радиационного охлаждения [2]



Рис. 3. Схема радиатора ночного пассивного радиационного охлаждения [2]

Дневное радиационное охлаждение менее эффективно, чем ночное, поскольку в дневное время на поверхности, обращённой к солнцу, доминирует солнечное облучение в спектре 0,3-2,5 мкм, при потоке излучения более 1000 Вт/м², таким образом необходимо предотвратить поглощение солнечного излучения, для чего дневные радиаторы монтируют в тени. Так же дневные радиаторы (рис.4) используют защитный экран, отражающий солнечное

излучение, но имеющие «окно» для волн инфракрасного атмосферного окна. Данные защитные экраны используют различные материалы, основным из которых, на данный момент, является диоксида кремния (SiO_2), имеющий высокие показатели отражения солнечного излучения. К примеру, сочетание использования в солнечном отражателе слоёв диоксида кремния (SiO_2), оксида титана (TiO_2) и оксида алюминия (Al_2O_3), дают мощность охлаждения порядка 100 Вт/м^2 для одного радиатора, при средней производительности ранее произведённых радиационных радиаторов порядка 35 Вт/м^2 . Сочетание слоёв диоксида кремния (SiO_2) и серебряной плёнки (Ag) дают мощность охлаждения около 95 Вт/м^2 для одного радиатора в системе. Так же, стоит обратить внимание на фосфат алюминия (AlPO_4), поскольку данный материал имеет высокую солнечную отражательную способность и при этом обладает высокой средней ИК-излучающей способностью [2].

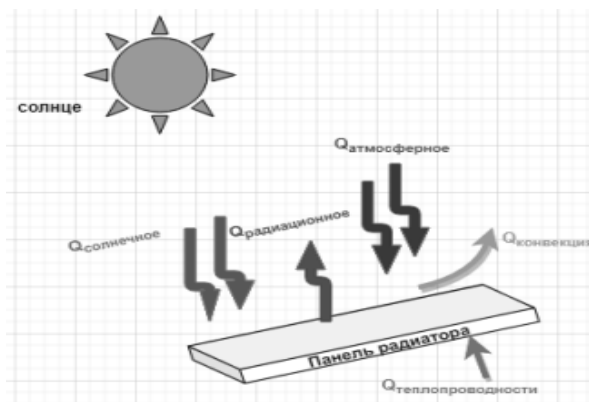


Рис.4. Схема радиатора дневного пассивного радиационного охлаждения [2]

Для дневных/ночных радиаторов используют зеркальные излучатели, в зависимости от материалов которых, устройство может быть эффективно не только в инфракрасном атмосферном окне, но и в других диапазонах. На примере использования многослойного покрытия из сочетания алюминия (Al), нитрида кремния (SiN_x), диоксида кремния (SiO_2) и оксида титана (TiO_2) была

получена чистая мощность 43 Вт/м^2 для ночного/дневного радиатора. Моделирование системы дневного/ночного радиационного охлаждения показывает, что для среднего метеорологического года в США, г. Финикс, штат Аризона, система может генерировать до $350 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ или $26 \text{ кВт} \cdot \text{ч/м}^2$ холода [2]. На данный момент большинство радиаторов кондиционеров, в том числе и используемые в непрерывной холодильной цепи, передают излишнее тепло охлаждаясь от наружного воздуха [2,3].

Проанализировав системы радиационного охлаждения, можно прийти к выводу о возможности использования таких систем в непрерывной холодильной цепи практически на всех её этапах: при хранении грузов, перегрузочных работах, подготовке груза к доставке и подготовка груза к реализации. Для этого необходимо установить на складах, в помещениях магазинов и на производствах продуктов питания системы охлаждения с использованием радиационного охлаждения с панелями радиаторов на крышах, используя ранее пустующее пространство. При транспортировке грузов такие системы с пассивным радиационным охлаждением можно устанавливать на транспортные модули различных видов транспорта. Конечно, стоит учитывать дороговизну разработки и установки систем на транспортные модули, а также затраты на замену действующих систем охлаждения, однако низкие эксплуатационные расходы, в долгосрочной перспективе, смогут привести к значительной экономической выгоде.

Выводы. Рассмотрев принцип работы радиационного охлаждения, а также факторы, от которых оно зависит, такие как, погодные условия и используемые в производстве материалы, можно отметить, что данные системы являются высокоэнергоэффективными и экологически чистыми, обладающими при этом небольшими эксплуатационными расходами. Методы радиационного охлаждения можно использовать в том числе и в непрерывной холодильной цепи, что может снизить затраты на транспортировку и хранение скоропортящихся грузов. Это актуально, учитывая большие экономические затраты и использование исчерпаемых энергоресурсов на охлаждение грузов в непрерывной холодильной цепи.

Библиографический список

1. Цой А. П., Грановский А. С., Цой Д. А., Бараненко А. В. Моделирование работы установки с радиационным охлаждением для кондиционирования воздуха // Вестник Международной академии холода. 2019. № 3. С. 3–14.
2. Камара С., Сулин А. Б. Аналитический обзор пассивных радиационных систем охлаждения // Вестник Международной академии холода. 2020. № 2. С. 37–4
3. Дженблат С. С., Волкова О. В. Оценка эффективности многослойного покрытия для пассивного радиационного охлаждения // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2021. Т. 5, № 2. С. 37–46. DOI: 10.25206/2588-0373-2021-5-2-37-46.
4. Карагузов В. И., Колпаков И. С. Влияние погодных факторов на работу радиационной системы обогрева // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2019. Т. 3, № 1. С. 66–72. DOI: 10.25206/2588-0373-2019-3-1-66-72
5. Карагузов В. И., Погуляев И. Н. Среднесуточная холодопроизводительность радиационной системы кондиционирования // Омский научный вестник. Сер. Авиационно-ракетное и энергетическое машиностроение. 2019. Т. 3, № 2. С. 37–43. DOI: 10.25206/2588-0373-2019-3-2-37-43.
6. Цой А. П., Грановский А. С., Цой Д. А., Бараненко А. В. Влияние климата на работу холодильной системы, использующей эффективное излучение в космическое пространство (часть 1) // Холодильная техника. 2014. № 12. С. 36–41.
7. Цой А. П., Грановский А. С., Цой Д. А., Бараненко А. В. Влияние климата на работу холодильной системы, использующей эффективное излучение в космическое пространство (часть 2) // Холодильная техника. 2015. № 1. С. 43–46.
8. Цой А. П., Грановский А. С., Цой Д. А. Моделирование работы холодильной системы ночного радиационного охлаждения в условиях определенного климата // Известия научно-технического общества «КАХАК». 2015. № 3. С. 95–103.
9. Цой А. П., Грановский А. С., Джамашева Р. А., Ашихин А. Ю., Корецкий Д. А. Экспериментальное исследование системы ночного радиационного охлаждения в летний период времени // Вестник Алматинского технологического университета. 2018. № 3 (120). С. 110–117
10. Бутузов Б. А. Солнечное теплоснабжение в России: состояние дел и региональные особенности // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. 2009. № 7 (75). С. 48–51.
11. Дженблат С. С., Волкова О. В. Основы и перспективы применения пассивного радиационного охлаждения // Холодильная техника. 2019. № 9. С. 36–44.

Рецензент: к.т.н., доц. Е. К. Коровяковский

© Д. А. Колмакова

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы
Екатерины II», Российская Федерация

ЖИЗНЕННЫЙ ЦИКЛ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ СПЕЦИАЛЬНОГО ТРАНСПОРТА НЕФТЕДОБЫВАЮЩЕЙ ОТРАСЛИ

Аннотация. В добыче нефти участие принимает не только техника добывающая нефть, но и обслуживающая техника. Простои такой техники несут за собой колоссальные убытки, поэтому важно отслеживать жизненный цикл двигателя и вовремя принимать меры по предотвращению поломок. Разработка новых программ, использующих новые технологии по учету и отслеживанию данных, увеличит жизненный цикл двигателя и сократит простои техники [1].

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, жизненный цикл, техническое состояние.

Введение. Двигателя внутреннего сгорания является «сердцем» любого транспортного средство и наиболее важно поддерживать его в рабочем состоянии. В цилиндре каждого двигателя протекает ряд последовательных процессов, которые обуславливают превращение тепловой энергии в механическую работу. Для постоянной работы необходимо учитывать все факторы, влияющие на его работу.

В статье [2] представлены результаты моделирования рабочих параметров центробежного компрессора узла наддува двигателя при испарительном воздушном охлаждении. Описан пошаговый метод расчета центробежного компрессора с целью оценки влияния испарительного охлаждения и влажности воздуха на температуру за центробежным компрессором.

Моделирование [3-6] иного процесса или объекта позволяет просчитать действия [7,8] на несколько шагов вперед или проработать методы без лишних затрат или ошибок.

Основная часть. Последовательность работы двигателя внутреннего сгорания состоит из следующих тактов: впуск; сжатие; расширение (рабочий ход); выпуск.

Работу двигателя можно оценивать по определённым критериям [9], производить расчет на дальнейшее состояние [10-13] и на основании полученных данных проводить анализ о состоянии двигателя внутреннего сгорания [14]. На рисунке 1 представлен этот процесс.

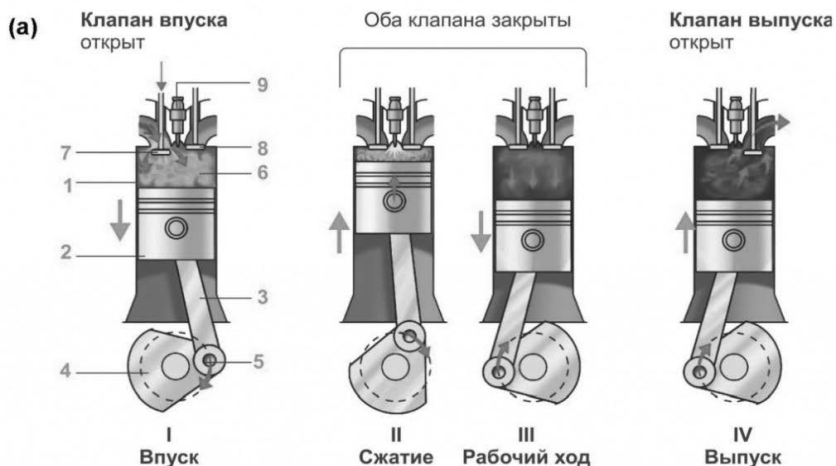


Рисунок 1 – Принцип работы поршня ДВС [15]

Во время впуска поршень в цилиндре движется вниз происходит открытие клапана. Затем в цилиндр поступает воздух или топливно-воздушная смесь. (под воздействием поршня или системы поршня и турбонаддува), благодаря чему поршень поднимается. Выпускной клапан закрывается.

Когда поршень сжимает воздух и доходит до верхней мертвой точки, срабатывает свеча зажигания, открывается выпускной клапан.

Поршень начинает двигаться вверх и выхлопные газы выдавливаются в выпускной коллектор.

Учитывая весь процесс работы и критерии, влияющие на жизненный цикл двигателя внутреннего сгорания путем моделирования и прогнозирования, можно увеличить срок работы [16-19].

Заключение. Таким образом, учитывая факторы и критерии, влияющие на работу двигателя внутреннего сгорания, с помощью моделирования можно планировать ремонт, что позволит увеличить жизненный цикл, финансовые издержки, поскольку необходимые детали можно заказать заранее по приятным условиям, а также проектировать ход работ, которые помогут избежать критических моментов в работе двигателя внутреннего сгорания.

Список литературы

1. Ильюшин Ю.В. Разработка системы управления технологическим процессом добычи высокопарафинистой нефти : специальность 05.13.06 "Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям)" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Ильюшин Юрий Валерьевич, 2021. – 275 с. – EDN VUJDUA.
2. Afanasyev M.P. Simulation of the Centrifugal Compressor Flow Part of the Internal Combustion Engine to Determine Areas of Non-Evaporated Moisture Effective Discharge during Charge Air Evaporative Cooling. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.2020, 459,1,022053, DOI:10.1088/1755-1315/459/2/022053
3. Afanasev P.M. Simulation of Liquid Fuel Spills Combustion Dynamics Based on Computational Fluid. Dynamics Using Modern Application Programs. / Afanasev, P.M. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. - No. 459 (2), 022034. DOI: 10.1088/1755-1315/459/2/022034
4. Ignatenko A., Afanaseva O. Application of system analysis methods for the research of mining enterprise activity. 2023 Sixth International Conference of Women in Data Science at Prince Sultan University (WiDS PSU), Riyadh, Saudi Arabia, 2023, pp. 180-184, doi: 10.1109/WiDS-PSU57071.2023.00045.

5. Experimental Study Results Processing Method for the Marine Diesel Engines Vibration Activity Caused by the Cylinder-Piston Group Operations / O. Afanaseva, O. Bezyukov, D. Pervukhin, D. Tukeev // *Inventions*. – 2023. – Vol. 8, No. 3. – P. 71. – DOI 10.3390/inventions8030071. – EDN PSWKQY.

6. Mikhail Afanasyev, Dmitry Pervukhin, Dmitry Kotov, Hadi Davardoost, Anna Smolenchuk. System Modeling in Solving Mineral Complex Logistic Problems with the Anylogic Software Environment. *Transportation Research Procedia*, Volume 68, 2023, Pages 483-491. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.02.065>.
(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352146523000674>)

7. Arefiev I.B., Afanaseva O.V. (2022). Implementation of Control and Forecasting Problems of Human-Machine Complexes on the Basis of Logic-Reflexive Modeling. In: Vasiliev, Y.S., Pankratova, N.D., Volkova, V.N., Shipunova, O.D., Lyabakh, N.N. (eds) *System Analysis in Engineering and Control. SAEC 2021. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 442. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-98832-6_17

8. Афанасьева, О. В. Идентификация пространственно-распределенных вибрационных полей судовых энергетических установок / О. В. Афанасьева, И. М. Новожилов // *Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ*. – 2022. – № 3. – С. 23-31. – DOI 10.32603/2071-8985-2022-15-3-23-31. – EDN QEUKQC.

9. Критерии для оценки виброактивности судовых дизелей. Безюков О.К., Афанасьева О.В. *Двигателестроение*. 2009. № 2 (236). С. 47-48.

10. Программа расчёта коэффициентов критериального уравнения для оценки виброскорости дизеля, вызванной перекладкой поршня в тепловом зазоре между зеркалом втулки цилиндра и тронком поршня. Афанасьева О.В., Вихорев В.Д. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2022616978, 18.04.2022. Заявка № 2022614437 от 24.03.2022.

11. Методы и средства мониторинга вибрационного состояния судовых дизелей. Афанасьева О.В. В сборнике: *Современные проблемы цифровизации предприятий водного транспорта и подготовки специалистов в области информационных технологий. Сборник трудов Международной научно-практической конференции к 80-летию со дня рождения профессора А.С. Бутова*. 2019. С. 43-49.

12. Основные этапы и положения проектирования малозумных дизельных установок. Афанасьева О.В. *Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму*. 2017. № 11-12 (113-114). С. 30-34.

13. Моделирование виброактивности двигателей внутреннего сгорания с использованием методов теории подобия и анализа размерностей. Афанасьева О.В. Современная наука и инновации. 2017. № 2 (18). С. 57-64.

14. Анализ качества и причин отказов дизелей на основе метода DFMEA. Афанасьева О.В., Носова В.А. В сборнике: Анализ и прогнозирование систем управления в промышленности, на транспорте и в логистике. Сборник трудов XXII Международной научно-практической конференции молодых ученых, студентов и аспирантов. Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. 2022. С. 80-87.

15. Устройство и принцип работы поршня двигателя внутреннего сгорания — основные компоненты, принципы функционирования и особенности работы. Электронный ресурс: <https://myavtomobili.ru/ustroystvo-i-printsip-raboty-porshnya-dvigatelya-vnutrennego-sgoraniya-osnovnye-komponenty-printsipy-funksionirovaniya-i-osobennosti-raboty>

16. Система диагностирования виброактивности двигателей внутреннего сгорания с использованием методов теории подобия и анализа размерностей. Афанасьева О.В., Первухин Д.А., Безюков О.К., Сердитов Ю.Н. Международная научная конференция по проблемам управления в технических системах. 2017. Т. 1. С. 96-98.

17. Моделирование вибраций двигателей внутреннего сгорания, порождаемых процессами сгорания топлива. Афанасьева О.В., Безюков О.К., Афанасьев П.М. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2015613003, 27.02.2015. Заявка № 2015610087 от 12.01.2015.

18. Снижение уровня вибрации двигателей внутреннего сгорания совершенствованием конструкции цилиндропоршневой группы. Безюков О.К., Афанасьева О.В. В сборнике: Защита от повышенного шума и вибрации. Сборник докладов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Под редакцией Н.И. Иванова. 2013. С. 469-476.

19. Тузов, Л. В. Вибрация судовых двигателей внутреннего сгорания / Л.В. Тузов, О.К. Безюков, О.В. Афанасьева; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Северо-Западный государственный заочный технический университет". Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2012.348 с.

Рецензент: д.т.н. доц. Ю.В. Ильюшин

© Н. В. Колцун, А. В. Гурко

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы
Екатерины II», Российская Федерация

ВНЕДРЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ГОРНОДОБЫВАЮЩЕМ СЕКТОРЕ

Аннотация. В данной статье рассматриваются проблемы и возможности искусственного интеллекта (ИИ) в горнодобывающем секторе промышленности. Обсуждаются технические трудности внедрения ИИ с устаревшими системами и недостаточная квалификация работников промышленности, управляющих системами, оснащенными ИИ.

Ключевые слова: машинное обучение, геологические данные, добыча, полезные ископаемые, робототехника, самоуправляемые автомобили, автоматизация.

Введение. Искусственный интеллект применяется для анализа данных, получаемых от оборудования, с целью прогнозирования возможных сбоев. Это приводит к увеличению срока службы техники и предотвращению простоев, что способствует экономии средств [1]. Например, искусственный интеллект используется для мониторинга грузовых автомобилей, сеялок и конвейеров, где он анализирует данные о вибрации, температуре и звуке, предупреждая о возможных проблемах, указывая на грядущие поломки [2].

Основная часть. Искусственный интеллект превращает процесс в крайне важный, предсказывающее обслуживание внедряется системой, которая играет основе на роли формы предиктивной диагностики и управления оборудованием, стратегическом подходе. Путем сбора и интеграции данных с различных датчиков оборудования, непрерывного реального времени мониторинга и анализа данных, методов машинного обучения и прогнозирования, демонстрируется достижение данной цели, проведения диагностики и прогнозирования проблем, оптимизации графиков технического обслуживания и улучшения управления активами [3].

Интеллектуальная разведка. Технологии, основанные на анализе геологических данных, позволяют выявлять уникальные закономерности, указывающие на обширные залежи ценных минеральных ресурсов [4]. Также, современные системы автоматизированного бурения способны оптимизировать процесс, обеспечивая высокую эффективность и минимальное воздействие на окружающую среду благодаря мгновенной коррекции бурения в реальном времени [5].

Автоматизированное бурение. Максимизация добычи и улучшение проектирования — вот основная задача автоматизированной системы бурения. Ее компоненты включают робототехнику, автономные операции, оптимизацию с использованием искусственного интеллекта, интеграцию с другими операциями, а также планирование и навигацию в режиме реального времени [6]. При использовании разведочных данных в процессе автоматизированного бурения возможно снижение объема отходов и принятие обоснованных решений в сфере добычи и использования ресурсов. Важно подчеркнуть, что эта система обеспечивает безопасность, повышает производительность и обладает высокой экономичностью.

Горнодобывающие компании могут достигнуть увеличения производительности и снижения затрат благодаря применению алгоритмов машинного обучения. Оптимизация движения самосвалов, выбор оптимального расположения оборудования и улучшение процесса перемещения материалов - все это доступно с использованием численных методов и алгоритмов [7]. Такой подход обеспечивает повышение эффективности и безопасности горных работ, а также сокращение выбросов парниковых газов. В конечном итоге, совместное применение этих методов может значительно увеличить рентабельность деятельности горнодобывающих компаний [8].

Проектирование шахт и инфраструктуры, разработка оптимизированных планов добычи с применением 3D-моделирования геологических структур и оценкой ресурсов представляют собой важный этап в повышении эффективности горных работ. Использование программного обеспечения для

проектирования и оптимизации, а также датчиков IoT для получения данных в реальном времени играют ключевую роль в динамическом планировании. Также значимо применение программного обеспечения для предиктивного обслуживания, оценки рисков и мониторинга окружающей среды, что способствует оптимизации обогатительных фабрик [9].

Автономные транспортные средства. Использование беспилотных аппаратов для мониторинга и картографирования труднодоступных мест является важным аспектом современных технологий. При этом автомобили с искусственным интеллектом могут безопасно перемещаться по подземным туннелям, минуя риски для человеческой жизни [10]. С помощью искусственного интеллекта возможно повысить уровень безопасности на рабочем месте, распознавая признаки усталости работников и предотвращая неправомерное использование оборудования [11]. Технологии мониторинга и анализа, основанные на искусственном интеллекте, способны предупреждать возникновение неисправностей в оборудовании и выявлять опасные ситуации в окружающей среде [12].

Применение видеoaналитики и технологий распознавания лиц способно существенно повысить безопасность и контроль доступа. Использование искусственного интеллекта помогает обнаруживать опасности и уменьшать их воздействие, например, путем создания геозон и анализа проектов. Автоматизированные операции, такие как автономные автомобили и удаленное управление, способны значительно снизить риски для работников [13]. Машинное обучение может обучать сотрудников навыкам безопасности путем создания виртуальных симуляторов [14]. Создание отчетов, документации и соблюдение нормативных требований - вот сферы, где искусственный интеллект может оказать поддержку. Хранение знаний также входит в перечень его задач [15]. В результате этих усилий протоколы безопасности могут быть улучшены, что позволит создать более защищенную рабочую среду.

Экологический мониторинг. Искусственный интеллект и машинное обучение представляют собой передовые технологии, способные эффективно

анализировать воздействие на окружающую среду и качество воды и воздуха [16]. Эти инновационные инструменты также могут быть использованы для планирования рекультивации и оптимизации управления отходами. Важно отметить, что технологии искусственного интеллекта могут служить для взаимодействия с местным населением, учитывая их мнения и проблемы, что в свою очередь позволит компаниям в области горнодобычи минимизировать негативное воздействие на окружающую среду и строго соблюдать экологические нормы и требования [17].

Проблемы внедрения ИИ:

1. Для успешной реализации искусственного интеллекта ключевую роль играют вопросы недостатка качественных данных и оценки затрат. Огромные вложения в технологии, обучение сотрудников и развитие инфраструктуры не всегда находят понимание у некоторых организаций, которые могут сомневаться в окупаемости таких расходов. [18].

2. Недостаток качественных данных: Сложность заключается также в том, что алгоритмы искусственного интеллекта требуют огромных объемов высококачественных данных, которых, как правило, недостает во многих компаниях горной добычи. Недостаточное количество и низкое качество данных могут затруднять обучение и поддержку СИИ, создавая дополнительные вызовы и препятствия на пути к их внедрению. [19].

3. Внедрение искусственного интеллекта может быть затруднено из-за проблем с подключением и использованием старых систем в технологической инфраструктуре. Дорогостоящая и сложная задача - модернизация уже существующих технологий. [20].

4. Интеграция бизнеса: внедрение ИИ изменяет существующие бизнес-процессы, что требует изменения бизнес-процедур. Сопротивление сотрудников и незнание новых технологий также могут стать проблемой [21].

5. Нехватка навыков и трансформация рабочей силы: нехватка квалифицированных специалистов, способных работать с ИИ, может

затруднить внедрение технологии. Обучение существующих сотрудников новым инструментам ИИ также требует значительных ресурсов [22].

6. Вопросы безопасности и надежности: внедрение ИИ может привести к появлению новых рисков кибербезопасности, поэтому необходимо обеспечить безопасность системы. Кроме того, непроверенные технологии могут вызывать опасения по поводу безопасности горных работ [23].

7. Нормативно-правовые вопросы: нормативно-правовая база для использования ИИ еще не сформирована и может измениться. В некоторых юрисдикциях могут возникнуть проблемы с соблюдением требований [24].

8. Экологические и социальные последствия: при внедрении ИИ необходимо учитывать экологические и социальные последствия. Также могут возникнуть проблемы с безработицей и влиянием на общество [25].

9. Выбор поставщика и технологии: выбор подходящей технологии ИИ и поставщика может оказаться непростой задачей, особенно с учетом специфических требований горнодобывающих предприятий. Интеграция с существующими системами также может стать проблемой.

10. Долгосрочное обслуживание и поддержка: решения ИИ требуют постоянной поддержки, обновления и обслуживания. Устаревание технологий также может стать проблемой в долгосрочной перспективе.

Выводы. Внедрение ИИ в горнодобывающую промышленность требует тщательного планирования и инвестиций в технологии, персонал и инфраструктуру. Преимущества ИИ, такие как повышение производительности и безопасности, должны быть согласованы с долгосрочными целями организации. Необходимо решить проблему нехватки квалифицированных кадров в отрасли путем обучения сотрудников и сотрудничества с поставщиками ИИ и научными учреждениями; необходимо поддерживать высокие стандарты безопасности и отбора ИИ, а также обеспечить соответствие нормативно-правовой базе; при внедрении ИИ необходимо учитывать социальную и экологическую ответственность. Для получения максимальной отдачи от ИИ требуется постоянное обслуживание, обучение и обновления;

горнодобывающие компании, успешно внедряющие ИИ, должны уделять особое внимание адаптируемости персонала, стандартам безопасности и устойчивости.

Библиографический список

1. Predictive Maintenance with Artificial Intelligence - DOI: 10.1007/978-1-4842-2596-4
2. Сакаев А.Ф. Контроль и диагностика состояния оборудования штанговых глубинных насосов косвенным методом по ваттметрограмме с использованием искусственных нейронных сетей // Записки Горного института. 2007. Т. 173. С. 101-104
3. Artificial intelligence in service prediction: a systematic review and meta-analysis (DOI: 10.1016/j.proeng.2021.112306)
4. Интеллектуальная разведка месторождений и автоматизация бурения - DOI: 10.15826/PMV.2021.1.49.013
5. Intelligent Exploration and Automated Drilling: A Comprehensive Review (DOI: 10.3390/rs11192625)
6. Rudakov M., Gridina E., Kretschmann J. Risk-based thinking as a basis for efficient occupational safety management in the mining industry // Sustainability (Switzerland). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 2021. Vol. 13, № 2. P. 1–14. – URL: <https://doi.org/10.3390/su13020470> (дата обращения: 11.02.2024)
7. Enhanced Mine Planning and Optimisation using Artificial Intelligence: Methods and Approaches (DOI:10.1061/9780784483332.029)
8. Methods and Tools for Intelligent Mining Planning and Operation (DOI:10.1017/CBO9781316126843.011)
9. Mining Planning and Optimization: A Survey of Artificial Intelligence and Evolutionary Computation Approaches (DOI: 10.1016/j.compminfl.2015.10.008)
10. Александров Э.Ф., Горьков Л.П., Слепова Е.И., Щербаков Г.К. Методика проектирования трасс скважин на ЭВМ // Записки Горного института. 1985. Т. 105. С. 75.
11. Kulchitskiy, A. A., Mansurova, O. K., & Nikolaev, M. Y. (2023). Recognition of defects in hoisting ropes of metallurgical equipment by an optical method using neural networks. *Chernye Metally*, 2023(3), 81-88. – URL: doi:10.17580/chm.2023.03.13 (дата обращения: 11.02.2024)
12. Information Security and Surveillance: Artificial Intelligence Approaches - DOI: 10.1017/CBO9781139166771
13. Petrov, P.A., Shestakov, A.K., & Nikolaev, M.Y. (2023). Use of multifunctional crust breaker and machine vision system for acquisition and processing of aluminium reduction cell data.

Tsvetnye Metally, 2023(4), 45-53. – URL: doi:10.17580/tsm.2023.04.06 (дата обращения: 11.02.2024)

14. Intelligent Surveillance and Security Systems Using Deep Learning: A Review (DOI: 10.1155/2017/4879389)

15. Карасов, Д.А. Система визуального мониторинга высокотемпературных объектов / Д. А. Карасов, Ю. М. Кислицына, А. В. Гурко // Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование (ИУСМКМ-2023) : Материалы XIV Международной научно-технической конференции в рамках IX Международного Научного форума ДНР, Донецк, 24–25 мая 2023 года. – Донецк: Донецкий НТУ, 2023. – С. 433-435. – EDN RNOEJO. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54993093>

16. Пашкевич М.А., Смирнов Ю.Д., Петрова Т.А. Система экологического мониторинга атмосферного воздуха горно-промышленной агломерации // Записки Горного института. 2013. Т. 204. С. 272.

17. Елфимов В.И., Калмыков А.А. Разработка локационной системы дистанционного зондирования для экологического мониторинга природных и техногенных объектов // Записки Горного института. 2001. Т. № 5 149. С. 68-71.

18. Romashev, A. O., Nikolaeva, N. V., & Gatiatullin, B. L. (2022). Adaptive approach formation using machine vision technology to determine the parameters of enrichment products deposition. Journal of Mining Institute, 256, 677-685. – URL: doi:10.31897/PMI.2022.77 (дата обращения: 11.02.2024)

19. Использование искусственного интеллекта для повышения эффективности горнодобывающего производства / В.Р. Белай, А.А. Лойко, Ю.И. Шишко, 2017 - DOI: 10.7256/2453-8884.2017.4.23702

20. Методы и технологии искусственного интеллекта в управлении горнодобывающими предприятиями / Е.В. Капустина, В.Ю. Нестеров, 2015. DOI: 10.18720/IEP/2015.

21. Applications of Artificial Intelligence in Mining: A Review DOI: 10.3390/app9123071

22. Artificial Intelligence in Mining Operations: A Literature Review DOI: 10.2514/1.G004542

23. Integrating Artificial Intelligence into Mining Systems: Opportunities and Challenges. DOI: 10.5772/intechopen.91378

24. A review of the role of artificial intelligence on the sustainability of open-pit mining. DOI: 10.1002/stam.2295

25. Challenges in adopting artificial intelligence and automation in mining operations. DOI: 10.1186/s42400-020-00050-6

Рецензент: д.т.н., проф. И.Б. Арефьев

©И. Ю. Конорев, Е.Е. Майоров

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения», Российская Федерация

МЕТОД КЛАССИФИКАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Аннотация. Классификация изображений является одной из важнейших задач в области компьютерного зрения. Она заключается в автоматическом распознавании и классификации объектов на изображении. Эта задача имеет широкое применение в различных областях. В данной статье представлен метод классификации изображений на основе сверточной нейронной сети.

Ключевые слова: классификация изображений, сверточные нейронные сети, компьютерное зрение, нейронные сети.

Введение. В последние годы сверточные нейронные сети (Convolutional Neural Networks, CNN) стали одним из самых эффективных методов обработки и классификации изображений. Они обладают способностью автоматически извлекать иерархические признаки из входных данных, что позволяет им достичь высокой точности в распознавании объектов на изображениях. В данной статье рассмотрены принципы работы классификации изображений на основе сверточных нейронных сетей [1].

Сверточные нейронные сети являются одной из форм многослойных нейронных сетей. Архитектура сверточных нейронных сетей состоит из нескольких слоев, которые выполняют последовательную обработку входных данных. Основные слои включают в себя [2]:

1. Входной слой: принимает изображение в качестве входных данных.
2. Сверточные слои (Convolutional Layer): применяют фильтры для извлечения локальных признаков из изображения.

3. Слои объединения (Pooling): уменьшают размерность изображения и сохраняют наиболее значимые признаки.

4. Полносвязные слои: выполняют классификацию на основе извлеченных признаков.

5. Выходной слой: представляет вероятности принадлежности изображения к каждому классу.

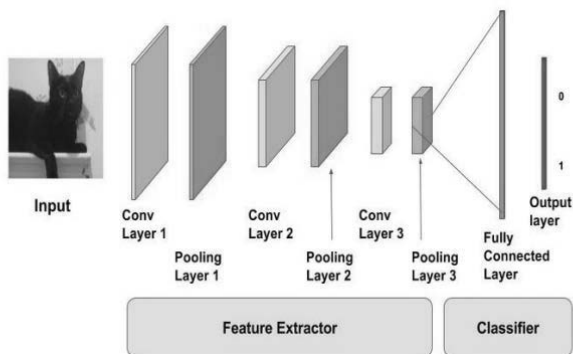


Рис. 1. Схема CNN

Входной слой. Входной слой в сверточных нейронных сетях для классификации изображений представляет собой матрицу пикселей, которая представляет входное изображение. Каждый пиксель содержит значения яркости или цвета, которые могут быть нормализованы или предварительно обработаны. Размер входного слоя соответствует размеру входного изображения и определяет пространственное разрешение, которое влияет на способность сети распознавать детали и особенности изображения. Он играет важную роль в передаче информации о структуре и содержимом изображения в последующие слои сети [3].

Сверточные слои. Сверточный слой (Convolutional Layer) является основным строительным блоком сети. Он выполняет операцию свертки между

входными данными и фильтрами (ядрами), чтобы извлечь признаки из изображений.

Сверточный слой включает следующие аспекты:

1. **Фильтры.** Сверточный слой содержит набор фильтров. Каждый фильтр представляет собой небольшую матрицу весов, которая скользит по входным данным. Фильтры играют роль детекторов различных признаков, таких как границы, текстуры или цветовые шаблоны.

2. **Размер фильтра.** Фильтры имеют заданный размер, например, 3×3 или 5×5 . Этот размер определяет область входных данных, с которой выполняется свертка.

3. **Шаг свертки (Stride).** Шаг свертки определяет, насколько фильтр сдвигается при выполнении свертки. Например, шаг свертки 1 означает, что фильтр сдвигается на один пиксель в каждом направлении.

4. **Заполнение (Padding).** Заполнение добавляет дополнительные пиксели вокруг входных данных, чтобы сохранить размерность исходного изображения при выполнении свертки.

5. **Функция активации.** После выполнения свертки для каждого фильтра, на выходе применяется функция активации, например, ReLU (Rectified Linear Unit), которая добавляет нелинейность в выходные данные.

6. **Количество фильтров.** Сверточный слой может иметь несколько фильтров, и каждый фильтр извлекает свои собственные признаки из входных данных. Количество фильтров определяет количество выходных каналов сверточного слоя [4].

Слой объединения. Слой объединения (Pooling Layer) в CNN выполняет уменьшение размерности выходных данных, объединяя информацию из более крупных областей. Он играет важную роль в уменьшении количества параметров и вычислительной сложности сети, а также в создании инвариантности к масштабу и сдвигам входных данных.

Слой объединения включает следующие аспекты:

1. **Размер и шаг объединения.** Слой объединения объединяет информацию из прямоугольных областей фиксированного размера. Это размер области пулинга. Шаг объединения определяет, насколько область пулинга сдвигается при выполнении объединения.

2. **Метод объединения.** Существуют различные методы объединения, такие как средний пулинг (Average Pooling) и максимальный пулинг (Max Pooling). В среднем пулинге для каждой области пулинга вычисляется среднее значение, а в максимальном пулинге выбирается максимальное значение. Максимальное пулинг часто используется для выделения наиболее значимых признаков.

3. **Размерность выходных данных.** Слой объединения уменьшает размерность выходных данных по сравнению с входными данными. Это позволяет сети сосредоточиться на наиболее значимых признаках и снизить вычислительную сложность.

4. **Параметры объединения.** Обычно слой объединения не имеет обучаемых параметров. Он выполняет фиксированную операцию объединения на основе заданных размеров и метода объединения [5].

Полносвязный слой. Полносвязный слой (Fully Connected Layer) представляет собой слой, в котором каждый нейрон связан со всеми нейронами предыдущего слоя. В этом слое происходит объединение и обработка признаков, извлеченных из предыдущих сверточных слоев. Каждый нейрон полносвязного слоя принимает на вход вектор признаков и применяет веса и смещения для вычисления активации. Полносвязный слой выполняет преобразование признаков в пространство классов и выдает вероятности принадлежности изображения к различным классам. Этот слой является последним слоем в сверточной нейронной сети и определяет окончательную классификацию изображения.

Выходной слой. Выходной слой в сверточных нейронных сетях для классификации изображений представляет собой набор нейронов, каждый из

которых отвечает за определенный класс. Каждый нейрон выражает вероятность или оценку принадлежности изображения к соответствующему классу. Обычно используется функция активации softmax, которая преобразует выходы нейронов в вероятности, суммирующиеся до 1. Выходной слой позволяет нейронной сети принимать окончательное решение о классификации изображения на основе извлеченных признаков в предыдущих слоях нейронной сети.

Недостатки CNN. Сверточные нейронные сети обладают множеством преимуществ, но у них также есть определенные проблемы и недостатки:

- **Требовательность к данным.** Сверточные нейронные сети часто требуют большого количества размеченных данных для эффективного обучения. В случае недостатка данных или некачественной разметки возникает риск переобучения или недостаточного обобщения. Однако, существуют исследования по использованию CNN для обучения без размеченных данных, где модель сама находит скрытые структуры в наборе данных.

- **Интерпретируемость.** Выяснить, какие признаки и свойства именно влияют на принятие решений сверточной нейронной сетью, может быть сложной задачей. Это делает их интерпретацию менее прозрачной, особенно в случае сложных моделей.

- **Требовательность к вычислительным ресурсам.** Обучение и применение сверточных нейронных сетей может потребовать значительных вычислительных ресурсов, включая высокопроизводительные графические процессоры (GPU) или тензорные процессоры (TPU). В будущем могут быть разработаны новые подходы, позволяющие использовать аппаратные ресурсы более эффективно, что позволит применять эти на более широком спектре устройств.

Заключение. Системы классификации изображений на основе сверточных нейронных сетей на данный момент представляют собой мощный инструмент для обработки и анализа. Однако, интерпретация сверточных

нейронных сетей может быть сложной из-за их сложной структуры и внутренних состояний. Одна из перспективных областей исследования включает разработку новых методов глобальной и локальной интерпретации, которые позволят лучше понять влияние признаков и свойств на принятие решений моделью. Также важным направлением является разработка интерпретируемых архитектур, которые будут иметь встроенную способность к интерпретации. Кроме того, исследования в области методов объяснения моделей продолжают, чтобы понять принятие решений на основе внутренних параметров и структуры модели.

С учетом этих перспектив ожидается, что в будущем будет возможно более полно и точно интерпретировать решения, принимаемые сверточными нейронными сетями. Это поможет улучшить доверие и принятие решений на основе этих моделей в различных областях применения.

Библиографический список

1. Шолле, Ф. Глубокое обучение на Python. СПб.: Питер, 2018. С. 148–190.
2. Вейдман, С. В26 Глубокое обучение: легкая разработка проектов на Python. СПб.: Питер, 2021. С. 155–166.
3. Архитектуры нейросетей URL: <https://habr.com/ru/companies/oleg-bunin/articles/340184/> (дата обращения 13.02.2024)
4. Гафаров, Ф. Искусственные нейронные сети и приложения: учеб. пособие / Ф.М. Гафаров, А.Ф. Галимянов. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2018. – 121 с. С 48–52
5. Распознавание изображений на Python с помощью TensorFlow и Keras URL: <https://evileg.com/ru/post/619/> (дата обращения 13.02.2024)

Рецензент: д.т.н., проф. Арефьев И.Б.

© Ю. В. Коровяковская¹, А. Н. Модин¹, Д. И. Илесалиев²

¹ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», Российская Федерация

²Ташкентский государственный транспортный университет, Узбекистан

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ КОРИДОРОВ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Аннотация. Приведен обзор основных международных торговых стран-партнеров, рынка транспортных услуг России в современных условиях с целью выявления основных тенденций транспортной отрасли, а также анализ транспортных коридоров России и тенденции их развития.

Ключевые слова: международные транспортные коридоры (МТК), международное сотрудничество, международная торговля, страны-партнеры, международная логистика.

Введение. Несмотря на современное положение и внешние обстоятельства, Россия активно улучшает связи с разными странами. Среди ведущих партнеров особое внимание заслуживают Бразилия, Индия, Китай и Южная Африка. Также стоит отметить Казахстан и Беларусь, значимость которых очень велика. Сотрудничество России с этими странами не только продолжается в 2023 году, но и укрепляется в пределах таможенного и Евразийского экономических союзов. Плюс ко всему, РФ в полную силу занимается укреплением экономической интеграции с другими странами Содружества Независимых Государств [2].

Аналитическая часть. В 2023 году Россию и страны СНГ объединяют крепкие коммерческие связи и разнообразные соглашения, взаимовыгодные для всех союзников. Например, Казахстан, важный партнер России в рамках СНГ, занимает ключевое положение в различных секторах, включая добычу и переработку нефти и газа, промышленное производство и транспорт. Россия и Казахстан имеют обширные границы и транспортные артерии, играющие важную роль в обеспечении безопасности и основных маршрутов сообщения. Однако, у России нет общей границы с некоторыми странами Центральной Азии, такими как Узбекистан, Кыргызстан и Таджикистан, и транзитные

маршруты с ними проходят через Казахстан, поэтому крайне важно развивать транспортную инфраструктуру между Россией и Казахстаном. Узбекистан, как и вышеупомянутые страны, является значимым партнером среди ближайших соседей, крупные обмены в области энергетики, сельского хозяйства и туризма поддерживают активное взаимодействие между странами [2,3].

В 2023 году Россия продолжает развивать тесные коммерческие отношения с азиатскими странами. Монголия — это центральноазиатская страна с удобным транспортно-логистическим центром. Россия, сотрудничая и развивая свои отношения, расширяет торговлю на Восток по экономическому коридору Россия - Монголия – Китай, выходя на монгольские. Китайские рынки. Улан-Батор также может расширить поставки своей продукции на российские и китайские рынки. [5]

Китай играет ключевую роль в качестве незаменимого союзника Российской Федерации. Благодаря этой стране значительно увеличиваются объемы торговли, а экономическое сотрудничество имеет стратегическое значение. Взаимоотношения Китая и России в основном строятся в сферах промышленности, энергетики, машиностроения, сельского хозяйства и услуг.

Индия активно развивается в области экономики и является надежным партнером России. Их сотрудничество включает технологии, энергетику и оборону [2].

Россия успешно сотрудничает и налаживает новые связи с африканскими странами. С Египтом у России налажен товарообмен: основными поставками являются нефтегазовые и пищевые продукты, металлы, автомобильная продукция. Также Россия и Египет успешно сотрудничают в таких отраслях, как энергетика, сельское хозяйство. Южно-Африканская Республика (ЮАР) имеет крупнейшую экономику на африканском континенте и является важным компаньоном России в торговле. Основу коммерческих отношений составляет товарообмен углем, драгоценными металлами, средствами передвижения, оборудованием и химической продукцией. Алжир, Нигерия, Ангола — изготовители нефтегазовой продукции, металлов, оборудования, продуктов питания и с Россией их объединяют взаимоотношения основаны на обмене такими товарами. Россия также помогает в сферах сельского хозяйства и транспорта. Россия торгует и с другими странами Африки: Кения, Марокко, Тунис, Гана. Сотрудничество с африканскими странами занимает одно из

ведущих мест в развитии российской экономики и укреплении международных отношений [2].

В современных условиях развития международной торговли и экономических отношений невозможно без развития транспортной логистики и инфраструктуры. Россия активно инвестирует в развитие трех ключевых международных транспортных направлений: Север-Юг, Запад-Восток и Азово-Черноморский. За прошедший год по этим маршрутам было перевезено более 550 миллионов тонн разнообразных грузов, что превышает показатели 2021 года на 17%. Наибольший объем грузов принял Восточный коридор, обработав около 300 миллионов тонн в год. Тем не менее, эксперты считают, что потенциал этого направления еще далеко не исчерпан, и его дальнейший рост ограничивается недостаточно развитой транспортной инфраструктурой. В частности, пропускная способность железнодорожных магистралей (Транссиб и БАМ) находится на уровне 170 миллионов тонн в год. В декабре стало известно, что Президент России выдал указание правительству начать III этап расширения этих железнодорожных трасс. Первый этап начался в 2012 году и завершился только в прошлом году. Работы по второму этапу начались в 2021 году и идут согласно графику. Планируется увеличение пропускной способности Восточного коридора до 180 миллионов тонн в одну сторону.

Завершающий этап расширения БАМа и Транссиба предусматривает увеличение пропускной способности до 255 миллионов тонн к 2032 году. Это означает, что за период с 2012 по 2032 годы мощности вырастут в 2.5 раза, достигнув 158 миллионов тонн. Этот масштабный проект превосходит даже строительство БАМа в прошлом веке.

Стратегическое значение для России представляет Восточное направление в свете ее ориентации на страны Юго-Восточной Азии. В условиях переориентации логистических потоков направление транзита через Монголию в Китай и далее в другие страны Азии стало наиболее интересно и значимо для России. [8] В стратегию социально-экономического развития Сибирского федерального округа было включено формирование двух новых железнодорожных магистралей в КНР: из Кемеровской области и с юга Красноярского края. Первое направление - создание Северо-Сибирской железнодорожной магистрали (СевСиб). СевСиб должен пройти от Нижневартовска (ХМАО) до Белого Яра (Томская область), а также от

Таштагола (Кемеровская область) до Урумчи (Китай). Таким образом, под СевСибом теперь подразумевается транспортный коридор от побережья Северного Ледовитого океана до столицы Синьцзян-Уйгурского автономного района на западе КНР: он должен пройти через ХМАО, Томскую область и Кемеровскую область. Второе направление должно пройти через Туву, включив в себя перспективную линию Курагино - Кызыл. Далее железная дорога должна пройти на юг и перейти границу России и Монголии через погранпереход Цаган-Толгой - Арс-Сурь. В Монголии коридор разделяется на два. «Северный» маршрут идет на город Эрденет, примыкает к существующей Трансмонгольской железной дороге, которая через Улан-Батор и Замын-Уудэ выходит в Китай в город Эрлянь (Эрен-Хото), откуда имеется прямой выход на Пекин и Тяньцзинь. «Западный» маршрут второго коридора предполагает строительство линии от Арс-Сури через монгольский город Кобдо (Ховд) и китайский город Тайкешкен до Урумчи [6].



Рис. 1 Направления транспортных коридоров Россия-Монголия [7]

На сегодняшний день существующая в России сеть железных дорог по большей части имеет географию восток – запад. Государству в значительной мере не хватает железных дорог, которые связывали бы юг и север. Соответственно, развитие Северного морского пути и Арктики в целом невозможно без транспортной, и прежде всего железнодорожной, инфраструктуры, ведь развития портов без подъездных путей просто-напросто не будет. Сегодня «Белкомур», не считая Северного широтного хода, который несколько опережает нас с точки зрения развития, единственный из

существующих проектов, который позволяет увеличить грузовую базу. По нашим данным, после реализации проекта у нас будет более 7 млн тонн дополнительных новых грузов в год, АО «Институт экономики и развития транспорта» называет цифру примерно в 5 млн новых грузов. Причём здесь речь идёт только про северную часть «Белкомура» – от Березниковско-Соликамского узла до Архангельска. Если мы говорим о реализации проекта в полном объёме, то речь идёт о дополнительных грузах более 20 млн тонн. Помимо всего прочего, в связи с тем, что у нас явно не хватает магистралей по направлению юг – север, «Белкомур» во многом решит и политическую задачу, поскольку позволит переманить часть транзитных грузов из Средней Азии. Прежде всего речь идёт о Казахстане, где большое количество «запертых» грузов, у которых имеются проблемы с вывозом. Это угольные грузы, зерно, металл и так далее. В целом, если посчитать все эти грузы, это более 30 млн тонн в год. Сегодня мы просто теряем часть грузов, потому что Казахстан вынужден переориентировать их через Достык в Китай и дальше вывозить в сторону восточного или южного побережья Китая. Проект «Белкомур», помимо всего прочего, является проектом пространственного развития России, поскольку территория, по которой он пройдёт, сегодня практически не имеет вообще никаких транспортных артерий. Строительство железнодорожной магистрали позволит развивать территории, богатые природными ресурсами, прежде всего лесными, на севере. А если говорить о «Белкомуре» в целом, то мы сможем обеспечить транспортную доступность к 50% запасов российского титана, находящегося на территории Республики Коми, 30% запасов бокситов, 3–6 нефтегазовым месторождениям и так далее [11].

Для России важен международный транспортный коридор «Север-Юг», который проходит из Санкт-Петербурга через Москву, Махачкалу, Казахстан и Туркменистан в Иран. Коридор является альтернативой морскому пути, соединяющему Европу, страны Персидского залива и Индийского океана через Суэцкий канал. В районе Каспийского моря коридор расходится на несколько линий: Транскаспийскую (морскую) и сухопутные Западную (через Азербайджан) и Восточную (через Казахстан и Туркмению). В ближайшей перспективе груз, отправленный из Петербурга, достигнет иранского порта Бендер-Аббас, а затем, преодолевая Ормузский пролив, суда направятся в Персидский залив и завершат свой маршрут в порту Мумбаи в Индии. Общую

протяженность мультимодального маршрута от Санкт-Петербурга до порта Мумбаи 7,2 тысячи километров планируется преодолевать 12-15 дней. [2]

России и Ирану удалось достигнуть соглашения о сотрудничестве по финансированию проектирования, строительства и поставок товаров и услуг для создания железной дороги «Решт-Астара» в Иране, финансирование которой на 2/3 осуществлено Россией, а остальная часть - Баку и Тегераном. На текущий момент грузооборот по МТК «Север-Юг» составляет всего 19 миллионов тонн, но в будущем он может конкурировать с восточным направлением.



Рис. 2 Проект «Белкомур» [11]



Рис. 3 Участок Решт-Астара на территории Ирана [9]

В свою очередь, Азово-Черноморский международный транспортный коридор занимает свою нишу с объемом перевозок в 230 миллионов тонн через Новороссийский порт и гавани Азовского моря. Через Новороссийский порт и гавани Азовского моря Россия поставляет наибольшие объемы зерна, а также нефть, удобрения, металлы и другие полезные ископаемые.

По словам первого вице-премьера Андрея Белоусова, к 2030 году стоит задача довести объем грузооборота по МТК до 670 миллионов тонн и выше. Россия должна использовать свои географические преимущества – поэтому удобные транспортные коридоры являются жизненной необходимостью для самой большой в мире страны [10].

Заключение. Таким образом, современные условия, в которых находится Россия, ряд санкций и ограничений вынуждают искать новые логистические

решения в области международной торговли, сотрудничества, обмена. За счёт развития новых и модернизации уже существующих транспортных магистралей, маршрутов, коридоров, а также за счет привлечения новых взаимовыгодных стратегических и экономических партнёров.

Библиографический список

1 Транспортные коридоры России / [Электронный ресурс]. URL: https://dzen.ru/a/Y8_VfvNCvmI4upWS (дата обращения: 29.12.2023).

2 Основные торговые партнеры России / [Электронный ресурс]. URL: <https://vedinform.com/vsyo-obo-vsyou/osnovnye-torgovye-partnery-rossii.html> (дата обращения: 29.12.23).

3 Россия и ее партнеры успешно выстроили новые транспортные коридоры / [Электронный ресурс]. URL: <https://rg.ru/2023/05/18/gruzy-pojdut-na-iug.html> (дата обращения: 29.12.23).

4 Какую морскую линию выбрать для доставки? / [Электронный ресурс]. URL: <https://arslog.by/kakuyu-morskuyu-liniyu-vybrat-dlya-dosta/> (дата обращения: 04.01.2024).

5 Как Монголия активизирует экономические отношения с ДФО / [Электронный ресурс]. URL: <https://rg.ru/2022/06/02/reg-dfo/kak-mongoliia-aktiviziruet-ekonomicheskie-otnosheniia-s-dfo.html?ysclid=lr3jhdy2s105322534> (дата обращения: 07.01.2024).

6 Стратегия развития Сибири предусматривает строительство двух железных дорог в Китай / [Электронный ресурс]. URL: <https://www.interfax.ru/russia/927202> (дата обращения: 07.01.24).

7 Россия планирует протянуть в Китай еще две железные дороги. Масштабы стройки сопоставимы с БАМом / [Электронный ресурс]. URL: <https://rg.ru/2023/10/24/kashemir-vashemu-domu.html> (дата обращения: 07.01.2024).

8 Экономический коридор Китай — Монголия — Россия: инфраструктурный фокус / [Электронный ресурс]. URL: <https://russiancouncil.ru/analytics-and-comments/analytics/ekonomicheskij-koridor-kitay-mongoliya-rossiya-infrastrukturnyy-fokus/?ysclid=lr3ldcon7y720322707> (дата обращения: 07.01.2024).

9 Россия и Иран подписали соглашение по достройке ж/д участка Решт – Астана / [Электронный ресурс]. URL: <https://www.interfax.ru/russia/901822> (дата обращения: 07.01.24).

10 В 2023 году в России по международным коридорам перевезли 550 миллионов тонн грузов / [Электронный ресурс]. URL: <https://federalcity.ru/17490-v-2023-godu-v-rossii-pomezhdunarodnym-koridoram-perevezli-550-millionov-tonn-gruzov.html> (дата обращения: 07.01.24).

11 «Белкомур» - новый железнодорожный путь на север / [Электронный ресурс]. URL: <https://1520.ru/about/mass-media-about-us/335/> (дата обращения: 07.01.2024).

Рецензент: д.т.н., проф. И.Б. Арефьев

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ КОНТРОЛЬНО- ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

Аннотация. Данная работа посвящена расширению возможностей управления устройствами в среде для проведения автоматизированных испытаний и мониторинга и является развитием методики, описанной в [1]. Предлагается методика, предполагающая создание программного модуля организации взаимодействия с устройствами. На основе методики разработан алгоритм взаимодействия с устройствами. Решение облегчает управление устройствами, снимает потребность контроля над устройством с других компонентов системы, обеспечивает возможность удаленного мониторинга и проведения испытаний.

Ключевые слова: радиоэлектронное оборудование, контрольно-измерительная аппаратура, тестирование, автоматизированное тестирование, методика автоматизированного тестирования

Введение. Существует множество различных способов проведения испытаний радиоэлектронного оборудования [2, 5]. Один из методов автоматизированного, проведения испытаний - разработка специальной программы, выполняющей алгоритм действий для проведения проверок и определяющей результат испытания [3, 4]. В [1] предложена методика автоматизации тестов для проведения испытаний радиоэлектронной аппаратуры.

Обзор применения. В классическом решении [3] отсутствует возможность параллельного тестирования.

Например, нужно часто одновременно запускать несколько различных программ, для проведения испытания и мониторинга тех же устройств, чтобы наглядно видеть процесс проведения испытания. Данная проблема возникла

перед автором в процессе доработки методов для проведения автоматизированных испытаний.

Опишем метод одновременной работы нескольких процессов с одним устройством для расширения возможностей проведения испытаний. Таким образом, на основе поставленной цели можно поставить следующие задачи: анализ текущей информационной системы; формирование улучшенного метода для взаимодействия с устройствами; реализация алгоритма на основе этого метода; анализ текущей информационной системы.

Алгоритм работы с устройствами в данный момент следующий: драйвер открывает соответствующий порт через API предоставляемое универсальным драйвером, инкапсулирующим в себе всю работу с устройствами [6]; приложение использует драйвер для коммуникации с устройствами через методы read и write; по завершении выполнения алгоритмов приложение закрывает порты через драйвер. В данном методе занимать одно устройство может только одно приложение. В текущей информационной системе планируется несколько взаимосвязанных программ, как для проведения испытаний и мониторинга, так и для настройки самой системы. Среда для мониторинга должна представлять собой некоторую SCADA-подобную систему с мнемосхемами, на каждой из которых отображаются устройства, а системе для подготовки и проведения испытаний предполагается работать на основе следующей методики [7]:

1. Анализ схемотехниками нормативной технической документации (НТД), определяющей порядок и объем производимых проверок качества объекта контроля и контроль его функционирования. К числу такой НТД относятся технические условия (ТУ), программы и методики испытаний.

2. Формирование схемотехниками электронного представления НТД с добавлением дополнительной информации об аппаратной составляющей тестовой программы, такой как перечень используемой контрольно-измерительной аппаратуры, ее конфигурирование, подключение к объекту контроля.

3. Автоматическое формирование базовой версии тестовой программы, реализующая принцип «что делать» и представляющая собой программный проект для заданной среды разработки программ.

4. Доведение программистами базовой версии до состояния готовой программы для тестирования аппаратуры, реализующей принцип «как делать», путем уточнения и детализации сути выполняемых проверок, которые невозможно формализовать при выполнении этапа 2.

Отладка тестовой программы [1]. Данным программам необходимо иметь связанную кодовую базу из различных модулей. Единая кодовая база, автоматизированная генерация модулей и автоматизация проведения испытаний позволят переложить часть ответственности за разработку тестов с разработчиков на схемотехников, имеющих более целостное представление о необходимых проверках [1]. За счет пункта 1, а также благодаря уменьшению количества ручных операций, удастся уменьшить время на разработку ПО для автоматизированного тестового оборудования, уменьшить количество возможных ошибок и влияние человеческого фактора [8, 9], упростить подготовку к тестированию.

Метод взаимодействия с устройствами. Для решения данной проблемы предлагается следующий метод. Стандартная архитектура взаимодействия с устройствами заменяется на клиент-серверную, поэтому для управления устройствами необходимо разработать отдельное приложение-сервер, которое взаимодействует с другими приложениями посредством выполнения определенных запросов. Опишем улучшенный метод взаимодействия с устройствами. Приложение-клиент использует модули устройств, которые обращаются к соответствующим интерфейсам.

Сами модули не знают, какой интерфейс под ними и единообразно работают как напрямую с портами, так и через сервер. Виртуальный интерфейс, в свою очередь использует структуру, как у обычного интерфейса и знает, как работать с сервером, сериализовать данные, отправлять запросы и получать ответы.

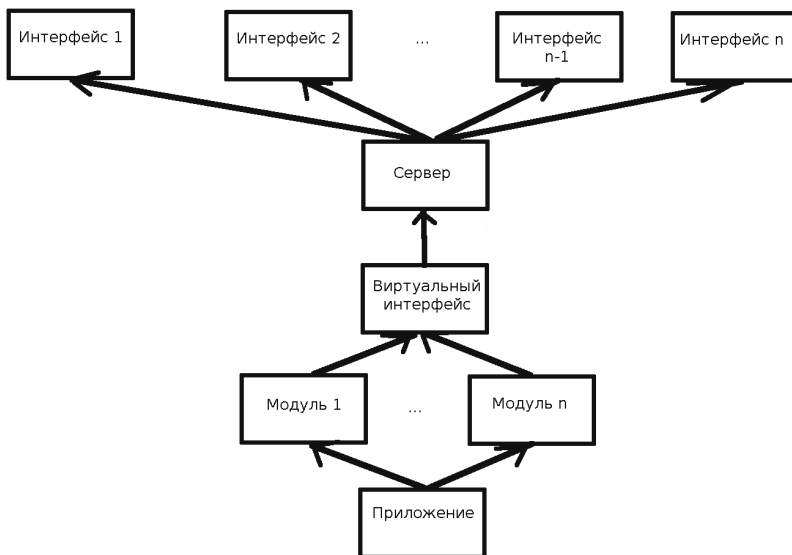


Рис. 1. Схема предлагаемой архитектуры

Сначала виртуальный интерфейс отправляет запрос на открытие порта приложению-серверу. Приложение-сервер открывает порт, если он закрыт, и возвращает данные для взаимосвязи с ним. После получения необходимых данных, приложение-клиент использует их для доступа к порту через приложение-сервер, выполняя чтение и запись в порт устройства. Приложение-сервер обладает монополией на порты, с которыми оно работает, поэтому клиенту нет необходимости их закрывать. Однако у такого подхода существуют недостатки.

С увеличением количества возможных клиентов и увеличением нагрузки на отдельные порты, скорость взаимодействия будет постепенно снижаться, из-за медленного и блокирующего взаимодействия с портами [10]. Это приведет к замедлению выполнения испытаний, увеличению интервалов между опросами устройств в среде мониторинга, а также к ошибкам таймаута.

Методика. В приложения используется стек TCP-IP. При запуске приложения инициализируется основной сервис по порту 10000. Он принимает информацию о доступных интерфейсах (для утилиты настройки портов) и

получает указания на открытие нового порта. Открытие порта запускает отдельный сервис ответственный за конкретный интерфейс и возвращает соответствующий порт клиенту. Если интерфейс уже открыт, то сервис просто возвращает номер серверного порта клиенту. Каждый сервис ответственный за интерфейс обрабатывает методы на чтение и запись. Такие сервисы блокируют работу параллельно выполняющихся сервисов - если один клиент ожидает ответа из интерфейса, другие ожидают, пока текущий клиент закончит взаимодействие. Для увеличения производительности чтения с интерфейса предлагается ввести кэширование запросов. Если несколько клиентов за определенный небольшой квант времени пытаются получить одни и те же данные, нужно делать всего один запрос в порт.

Заключение. Рассмотрены методы автоматизированной генерации тестов для проведения испытаний и решена проблема взаимодействия нескольких приложений с одним устройством в системе проведения испытаний и мониторинга.

Описан метод одновременной работы нескольких процессов с одним устройством для расширения возможностей проведения испытаний, проанализированы процессы действующей системы тестирования, сформирована методика взаимодействия с устройствами и на ее основе реализован алгоритм, подходящий для существующей системы.

Библиографический список

1. Крец, В. О. Методика автоматизации формирования контролируемых тестов для проверки радиоэлектронной аппаратуры / В.О. Крец, О.В. Кучма, А.В. Гурко // Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование (ИУСМКМ-2023) : Материалы XIV Международной научно-технической конференции в рамках IX Международного Научного форума ДНР, Донецк, 24–25 мая 2023 года. – Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2023. С. 238-242. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54993050> (Дата обращения 25.02.2024)
2. Автоматизированное построение тестов цифровых электронных модулей для комплекса тестового контроля и диагностики УТК-512 / Ю. Л. Степанов, В. М. Гришкин, А. А. Большаков [и др.] // Вопросы радиоэлектроники. 2012. Т. 1, № 1. С. 79-89. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17569543> (Дата обращения 04.01.2024)

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018661023 Российская Федерация. Программное обеспечение системы контроля цифровых, аналоговых и цифро-аналоговых радиоэлектронных устройств (АВАНТЕСТ - AVANTEST) : № 2018614744 : заявл. 14.05.2018: опубл. 31.08.2018 / М. А. Ким, Ю. С. Паина, А. В. Родионов [и др.]; заявитель Открытое акционерное общество «Авангард». URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39301624> (Дата обращения 04.01.2024)

4. Патент № 2619531 С1 Российская Федерация, МПК G06F 11/22, G05B 23/00. Способ формирования диагностических тестов : № 2015150682: заявл. 25.11.2015: опубл. 16.05.2017 / Ю.Л. Степанов, В.М. Гришкин, Г.С. Лопаткин, М.А. Горяева ; заявитель Открытое акционерное общество "Авангард". -URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38264296> (Дата обращения 25.02.2024)

5. Метод применения устройств тестового контроля в качестве сканера цифровых контрольно-диагностических тестов / Д. А. Папулин, А. Д. Смирнов, В. М. Гришкин, Ю. Л. Степанов // Процессы управления и устойчивость. – 2018. – Т. 5, № 1. – С. 287-291. – EDN YMVDZR. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36376041> (Дата обращения 04.01.2024)

6. Нестерев, М.Л. Исследование протоколов передачи информации для взаимодействия устройств в области промышленного Интернета вещей / М.Л. Нестерев, А.Б. Маховиков // Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса: Сборник научных трудов III Всероссийской научной конференции СПб, 05–06 марта 2020 года. СПб: Санкт-Петербургский горный университет, 2020. С. 1669-1677. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42878066> (дата обращения 25.02.2024)

7. Beloglazov I. I., Petrov P. A., Bazhin V. Y. The concept of digital twins for tech operator training simulator design for mining and processing industry Eurasian Mining. 2020. №2. pp. 50-54. <https://doi.org/10.17580/em.2020.02.12> (дата обращения 25.02.2024)

8. Beloglazov, Iia, and Kirill Krylov. 2022. "An Interval-Simplex Approach to Determine Technological Parameters from Experimental Data" Mathematics 10, no. 16: 2959. <https://doi.org/10.3390/math10162959> (дата обращения 25.02.2024)

9. Жуковский, В. Е. О методологии применения компьютерных тестов / Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса : Сборник научных трудов II Всероссийской научной конференции, СПб, 27–28 сентября 2018 года. СПб: СПГУ, 2018. С. 337-344. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36508566> (дата обращения 25.02.2024)

10. Koteleva, Natalia, Valentin Kuznetsov, and Natalia Vasilyeva. 2021. "A Simulator for Educating the Digital Technologies Skills in Industry. Part One. Dynamic Simulation of Technological Processes" Applied Sciences 11, no. 22: 10885. <https://doi.org/10.3390/app112210885>. (дата обращения 07.03.2024).

Рецензент: д.т.н., проф. И.Б. Арефьев

ИССЛЕДОВАНИЕ И ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМОВ ДЕИДЕНТИФИКАЦИИ ДАННЫХ ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ

Аннотация. Интернет вещей (IoT) становится неотъемлемой частью повседневной жизни. Однако наличие поддельных устройств Интернета вещей подвергло его неисчислимым рискам с серьезными последствиями. В этой статье предлагается исследование и программная реализация алгоритмов деидентификации данных Интернет вещей, включающие комплексный обзор технологий машинного обучения для идентификации устройств Интернета вещей, а также обнаружения скомпрометированных или фальсифицированных устройств с точки зрения агентов пассивного наблюдения или сетевых операторов. Применены различные технологии машинного обучения, которые включают в себя алгоритмы обучения, разработку функций трассировки сетевого трафика и беспроводных сигналов, непрерывное обучение и обнаружение аномалий.

Ключевые слова: интернет вещей, безопасность, безопасность физического уровня, деидентификация данных, идентификация злонамеренного передатчика, радиометрическая подпись, не криптографическая идентификация, идентификация физического уровня.

Введение. Интернет вещей (IoT) — это сеть многочисленных (обычно встроенных) датчиков и исполнительных механизмов, которые коллективно отвечают за контроль и/или мониторинг некоторого процесса или среды [1,2].

Интернет вещей в целом формируется так называемым «уровнем восприятия» (вышеупомянутые датчики и другое оборудование для создания данных, подключенное к сети IoT), подключенным к сетевому уровню (подключение к Интернету), который связывается со средним – уровнем программного обеспечения (облачные сервисы и т. д.) для передачи окончательных данных на уровень приложения (пользователя) [3,4].

Первым шагом в обеспечении безопасности Интернета вещей является обнаружение мошеннических устройств Интернета вещей и выявление законных устройств. Традиционные подходы используют криптографические механизмы для аутентификации и проверки личности законных устройств. Однако криптографические протоколы недоступны во многих системах. Таким образом, не криптографическая идентификация устройств Интернета вещей и обнаружение посторонних устройств становятся эффективными решениями для защиты существующих систем и обеспечат дополнительную защиту систем с криптографическими протоколами [5,6]. Не криптографические подходы требуют больше усилий и еще недостаточно исследованы.

Типичную цепочку атак на системы Интернета вещей можно представить 5 этапами [5,6]:

1) Проникновение. Исследования в [5] показывают, что с помощью подмены ARP (протокола разрешения адресов) злоумышленник может легко отслеживать текущий трафик, генерируемый подключенными устройствами IoT от более чем 20 производителей.

2) Шпионаж. На этом этапе злоумышленник будет наблюдать за текущей деятельностью. Как и в [7], более 50% протестированных популярных IoT-устройств умного дома содержат хотя бы один уязвимый порт.

3) Аналитика данных. Злоумышленник анализирует поведение и оценивает уязвимости Интернета вещей с разных точек зрения.

4) Планирование. На этом этапе противники осуществляют стратегическое планирование и ждут наилучшего момента, чтобы минимизировать свой риск и одновременно максимизировать выгоду.

5) Атака. На этом этапе действуют распространенные атаки.

Среди этих этапов на этапе проникновения сочетаются пассивные и превентивные атаки. Деидентификация является хорошей стратегией для сохранения полезности при использовании персональных данных и для снижения рисков их компрометации впоследствии их публикации. Типичный

классификатор с поддержкой глубокой нейронной сети показан на рис. 1. Как правило, он использует сверточные слои для извлечения скрытых функций и использует полностью связанные плотные слои для получения окончательных результатов.

Интуитивно понятно, что идентификатор устройства IoT с поддержкой глубокого обучения должен изучать характеристики новых устройств в течение своего жизненного цикла. Как правило, есть два способа достижения этой цели: трансферное обучение (TL) и непрерывное обучение (CL).

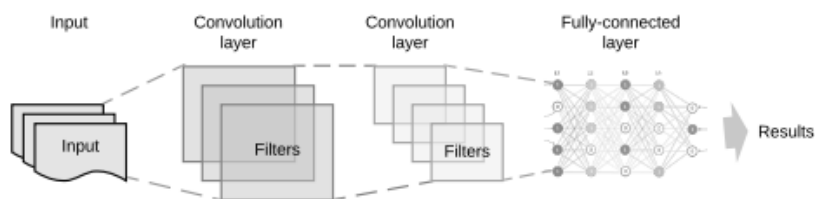


Рис. 1. Типичная архитектура классификаторов глубоких нейронных сетей [8]

При трансферном обучении нейронные сети предварительно обучаются в лаборатории, а затем настраиваются для развертывания с использованием практических данных [8]. При непрерывном обучении нейронные сети обучаются постепенно по мере поступления новых данных [8]. Непрерывное обучение не позволяет нейронным сетям забывать то, чему они научились на ранних этапах, по сравнению с трансферным обучением. Трансферное обучение полезно при развертывании новых систем деидентификации сигналов, а непрерывное обучение полезно при регулярных обновлениях и обслуживании программного обеспечения (рис. 2).

Как показано на рис. 3, рабочий процесс обнаружения и деидентификации устройств с возможностью обучения без учителя состоит из трех этапов:

а) Разработка функций сигналов или профилей поведения устройств IoT, включая выбор и сопоставление функций.

б) Моделирование скрытых пространств. На этом этапе выявляются центры кластеров, вероятностные распределения.

в) Сопоставление входного сигнала или профилей поведения с наиболее вероятными кластерами или отчетами об отклонениях.

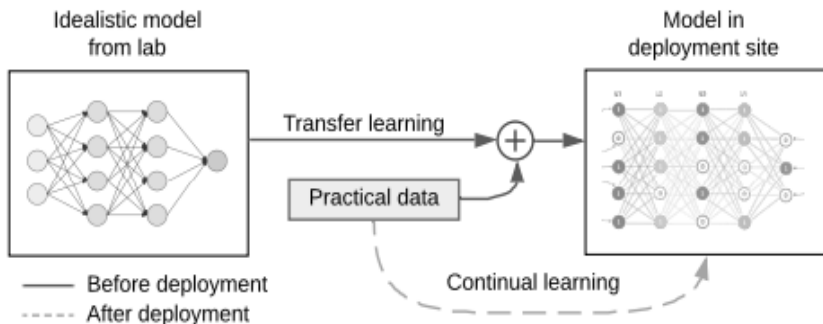


Рис. 2. Трансферное обучение и непрерывное обучение [8]

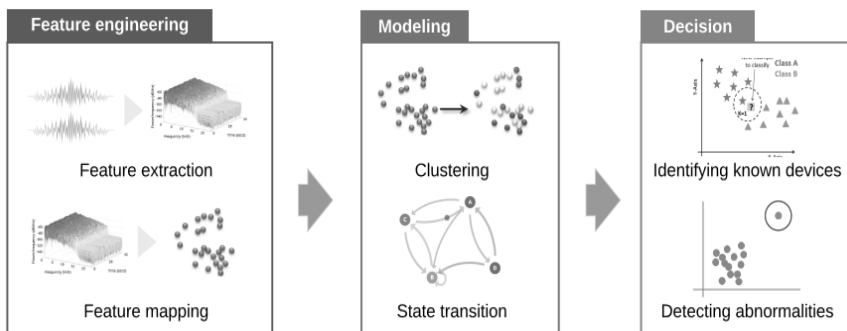


Рис. 3. Обнаружение и идентификация неконтролируемых устройств [6]

Заключение. Для деидентификации данных Интернет вещей для начала применим механизм анонимизации, чтобы определить конфиденциальность. Деидентификация может быть проведена с использованием алгоритма (рис. 4), в котором предполагается, что владелец устройства и устройство являются владельцем данных.

```

Input: Original dataset  $Z$ 
Output: Anonymised dataset  $\bar{Z}$ 
1:  $v \leftarrow \text{video\_capture}(V)$ 
2:  $v_g \leftarrow \text{video\_group}(v)$ 
3: for each frame  $f_i \in v_g$  do
4:    $f_{hsv} \leftarrow \text{covColor}(f_i, \text{COLOR\_RGB2HSV})$ 
5:    $f_{shsv} \leftarrow \text{split}(f_{hsv})$ 
6:   for each channel  $c \in \{\text{hue, saturatin, value}\}$  do
7:      $\text{threshld}(f_{shsv}[c], d_{th}[c], \text{low}[c], \text{upper}[c])$ 
8:   end for
9:    $f_{result} \leftarrow \text{bitwise\_and}(d_{th}[0], d_{th}[1], d_{th}[2])$ 
10: end for
11:  $\bar{V} \leftarrow \text{update}(v, \bar{v}_g)$ 

```

Рис. 4. Алгоритм деидентификации данных интернет вещей (анонимизация) [8]

Пусть s и v обозначают владельца данных и пользователя данных соответственно. Входные данные – это данные, созданные в Z и вывод \bar{Z} – это анонимизированные данные.

Алгоритмы обнаружения аномальных устройств развертываются на сетевом и прикладном уровнях. Алгоритмы обнаружения сначала собирают определенное количество данных о нормальной работе устройств для создания эталонных моделей (или сигнатур). Затем собираются эксплуатационные данные IoT-устройств и сравниваются с эталонными моделями, чтобы определить, появляются ли существенные отклонения.

По сравнению со схемами деидентификации конкретных устройств, ключевой идеей является обнаружение аномалий как с помощью подходов обучения без учителя, так и с обучением с учителем с использованием доверительных порогов.

Библиографический список

1. Алалван, А.Р.Д., Беляев, Ю.А., Смирнова, А.А. Российский рынок Интернета вещей // Экономика и бизнес: теория и практика. 2021. № 11. С. 6-9.

2. Афанасьева, О.В. Применение машинного зрения в процессе производства продукции предприятиями минерально-сырьевого комплекса / О. В. Афанасьева, Д. В.

Ромашин, М. П. Григорьева // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2022. – № 13. – С. 147-149. – DOI 10.26160/2309-8864-2022-13-147-149. – EDN CRSYGC.

3. Афанасьева, О.В. Использование методов системного анализа при оценке состояния оборудования / О.В. Афанасьева, А.И. Яковлев // Системный анализ в проектировании и управлении : сборник научных трудов XX Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 29 июня – 01 2016 года. Том Часть 2. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2016. С. 81-93.

4. Проблемы построения больших локальных сетей Интернета вещей / А. В. Арефьев, О. В. Афанасьева, Н. А. Вешев [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 10. – С. 261-267. – DOI 10.24412/2071-6168-2022-10-261-267. – EDN GEOOYM.

5. Городнова, Н.В. Метод оценки качества информационных потоков при формировании big data в цифровой экономике // Вопросы инновационной экономики. 2022. № 1. С. 607-624.

6. Городнова, Н.В. Индустриальный интернет вещей в России: сущность и перспективы // Вопросы инновационной экономики. 2022. Том 12. № 3. С. 1503-1522.

7. Yongxin Liu, Jian Wang, Jianqiang Li, Shuteng Niu, and Houbing Song Machine Learning for the Detection and Identification of Internet of Things (IoT) Devices: A Survey // IEEE internet of things journal. 2020. VOL.12. № 5.

8. Niu S., Wang J., Liu Y., and Song H. Transfer learning based dataefficient machine learning enabled classification // IEEE Intl Conf on Dependable, Autonomic and Secure Computing, Intl Conf on Pervasive Intelligence and Computing, Intl Conf on Cloud and Big Data Computing, Intl Conf on Cyber Science and Technology Congress (DASC/PiCom/CBDCCom/CyberSciTech). 2020. Pp. 620–626.

Рецензент: д.т.н., проф. В.Е. Трушников

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗНОСА ПРОМЫШЛЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Аннотация. Работа любого оборудования связана с естественным трением движущихся частей между собой и приводит к износу этих частей, выходу из строя, поломке всей системы. Решение задачи удлинения сроков эксплуатации оборудования, в частности зависит и от прогноза, так сказать вычисления наработки на отказ устройств. В работе представлен модельный эксперимент вычисления срока эксплуатации в условиях представляет естественного ухудшения характеристик оборудования за счет воздействия неблагоприятных факторов. Задача решается на примере шлифования образца. В ней учитываются факторы, скорость взаимного движения, взаимная абразивность элементов, допустимая глубина шлифования.

Ключевые слова: оборудование, износостойкость, машиностроение, эффективность, надежность, математическая модель, адекватность математической модели.

Введение. Прогноз износостойкости элементов промышленного оборудования позволяет повысить эффективность работы промышленного оборудования, снизить производственные накладные расходы. В [1-3] представлен анализ этапов развития горного инструмента, отмечено, что с каждым этапом совершенствуются исполнительные органы оборудования, горные машины и технологические процессы горного производства, повышается интенсивность ведения горных работ, выделены признаки качества, которые характерны для горнорабочего инструмента на разных этапах его развития. В [4-6] рассмотрены механизмы изнашивания оборудования, технологии изготовления и проведения приемо-сдаточных испытаний, в [7-9] рассмотрены характеристики, методы механической обработки стали.

Цель исследования - определить влияние режимов шлифования - глубины шлифования, скорости вращения стола и твердости шлифовального инструмента на результат шлифования стальных образцов - шероховатость обрабатываемой поверхности.

План работы следующий [10-11] :

- выбираем критерий Y и определить факторы и интервалы их варьирования;
- строим план проведения полного факторного эксперимента;
- определяем коэффициенты уравнения;
- проверяем значимость коэффициентов;
- вычисляем расчетные значений параметров оптимизации;
- определяем модель на адекватность;
- формируем рекомендации о влиянии режимов шлифования на результат.

Методика исследований. Выбираем критерий (Y). Пусть это будет результат шлифования образцов стали, а именно величина шероховатости ее поверхности.

Выбираема факторы, которые будут влиять на результат шлифования, напрмер x_1 – глубина шлифования, мкм/ход.; x_2 – скорость движения основания, м/мин.; x_3 – твердость абразива. Пусть эксперимент предусматривает одновременное изменение всех факторов на максимальное значение фактора и минимальном значении фактора.

Для определения кол-ва экспериментов используем формулу.

$$N = 2^n, \quad (1)$$

где N – количество экспериментов, n – число факторов эксперимента. Основание 2 – определено из условия – берем минимальное и максимальное значение каждого фактора и используем в экспериментах

Значения эксперимента для небольшого количества факторов можно размещать в таблице, то есть значения факторов и результатов их взаимодействий.

Для нашего эксперимента формула уравнения имеет следующий вид [5]:

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i * x_i + \sum_{\substack{j,i=1 \\ j < i}}^n b_{ji} * x_j * x_i, \quad (2)$$

b_0 – свободный член уравнения; b_i – коэффициент одиночного результата, b_{ji} – коэффициент парного результата, n – количество факторов, x_j и x_i – конкретные факторы.

Решением задачи построения аналитического уравнения модели являются коэффициенты b .

Коэффициент b_0 вычисляется так:

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^N * Y_{k \text{ эксп}}}{N}, \quad (4)$$

$Y_{k \text{ эксп}}$ – параметр, N – число опытов, i – номер фактора, k – номер эксперимента.

Вычисление коэффициентов b_i выполняется по формуле:

$$b_i = \frac{\sum_{i=1}^N x_i * Y_{k \text{ эксп}}}{N}, \quad (5)$$

где x_i – фактор эксперимента.

Коэффициенты b_{ji} вычисляется по формуле:

$$b_{ji} = \frac{\sum_{\substack{j,i=1 \\ j < i}}^N x_j * x_i * Y_{k \text{ эксп}}}{N},$$

где i и j – номера факторов эксперимента.

Проверка значимости коэффициентов. Проверка значимости коэффициентов выполняется по формуле:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{Y}_i - Y_i)^2}{m-1}, \quad (6)$$

где m – число повторных опытов.

Среднеквадратическое отклонение коэффициентов определяется по следующей формуле:

$$S_{bi} = \frac{S_y}{m}, \quad (7)$$

где m – количество членов в уравнении регрессии (кроме b_0).

Для оценки значимости коэффициентов вычисляют доверительный интервал для коэффициента:

$$\Delta b_i = \pm t S_{bi}, \quad (8)$$

$t = 4,3$ – критерий Стьюдента, значение критерия при 5%-ном уровне значимости и при количестве степеней свободы $f = 2$.

Доверительный интервал одинаков для всех коэффициентов. Определение значимости коэффициентов уравнения регрессии с помощью соотношения (8) удобно тем, что позволяет применить правило: коэффициент значим, если его абсолютная величина больше доверительного интервала:

$$\Delta b_i < b_{ji}, \quad (9)$$

Незначимые коэффициенты исключаются из модели. При этом если коэффициенты модели некоррелированы между собой (матрица моментов диагональная), то исключение незначимых коэффициентов не скажется на остальных коэффициентах.

В обратном случае оставшиеся коэффициенты пересчитываются заново, поскольку коэффициенты коррелированы друг с другом.

Проверка модели на адекватность. Техника проверки модели на адекватность разнообразна. Например, используем критерий Фишера. Рассчитаем его и сравним с табличным. Правило принятия решения таково, если расчетная величина больше табличной, то модель не адекватна, необходимо переходить к степенным функциям, если меньше табличной – работа завершена и модель – адекватна.

Выводы. Полученное решение позволяет прогнозировать возможное развитие событий. Так же оценка адекватности показывает, что использование

этого решения является близким к физическому реальному объекту. Также хорошо видно, какой из показателей, участвующих в моделировании сильнее влияет, а какой меньше влияет на результат. Так скорость движения стола шлифовального станка и глубина шлифования – оказывают более сильное влияние, а результат, а твердость абразивного инструмента значительно меньшее. Дальнейшее развитие исследования лежит в плоскости увеличения количества факторов и построения компьютерной модели для решения задачи прогнозирования.

Библиографический список

1. Модернизация алгоритма численного моделирования характеристик поверхности / Л. В. Быков, Н. С. Голиков, А. Д. Ежов [и др.] // 19-я Международная конференция «Авиация и космонавтика» : Тезисы 19-ой Международной конференции, Москва, 23–27 ноября 2020 года. – Москва, : Издательство "Перо", 2020. – С. 537-538. – EDN SZUWES. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44580992> (дата обращения: 08.03.2024)

2. К проблеме совершенствования рабочего инструмента горных выемочных машин / В. В. Габов, Д. А. Задков, В. С. Нгуен [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2022. – № 6-2. – С. 205-222. – DOI 10.25018/0236_1493_2022_62_0_205. – EDN APIDL. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49365078> (дата обращения: 08.03.2024)

3. Горные машины и комплексы. Режущий инструмент горных машин / А. А. Хорешок, Л. Е. Маметьев, А. М. Цехин [и др.] ; Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева. – Кемерово : Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 2018. – 286 с. – ISBN 978-5-906969-77-4. – EDN ZICDNS. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53927769> (дата обращения: 08.03.2024)

4. Исследование гидроабразивного износа рабочих ступеней скважинных электроцентробежных насосов, перекачивающих жидкости с высоким содержанием механических примесей / Д. И. Шишляников, С. А. Лавренко, В. Ю. Зверев [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2023. – № 7. – С. 5-20. – DOI 10.25018/0236_1493_2023_7_0_5. – EDN YYWONW. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54059165> (дата обращения: 08.03.2024)

5. Технологическое обеспечение качества эксплуатационных поверхностей заготовки из сталей аустенитного класса / В. В. Максаров, В. Д. Нгуен, А. Е. Ефимов, И. А. Бригаднов // *Металлообработка*. – 2023. – № 1(133). – С. 47-54. – DOI 10.25960/мо.2023.1.47. – EDN JADSCP. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50823378> (дата обращения: 08.03.2024)

6. Агеев, Н. Г. Моделирование процессов и объектов в металлургии: Учебное пособие / Агеев Н.Г., - 2-е изд., стер. - Москва :Флинта, Изд-во Урал. ун-та, 2017. - 108 с. ISBN 978-5-9765-3017-1. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/945372> (дата обращения: 08.03.2024). – Режим доступа: по подписке.

7. Федюкин, В. К. Методы оценки и управления качеством промышленной продукции : учебник для студентов вузов, обучающихся по экономическим специальностям / В. К. Федюкин, В. Д. Дурнев, В. Г. Фомин. – Москва : Издательство "Эксмо", 2000. – 320 с. – ISBN 5-88124-080-4. – EDN ZAPMLR. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37163307> (дата обращения: 08.03.2024)

8. Попеско, А. И. Износ технологических машин и оборудования при оценке их рыночной стоимости : Учебное пособие / А. И. Попеско, А. В. Ступин, С. А. Чесноков. – Москва : ОО "Российское общество оценщиков", 2002. – 241 с. – (Энциклопедия оценки). – ISBN 5-93027-010-4. – EDN UFUOHN. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24027358> (дата обращения: 08.03.2024)

9. Матвеева Елена Николаевна Моделирование способов компенсации физического и морального износа технологического оборудования // *Вестник КГУ*. 2011. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-sposobov-kompensatsii-fizicheskogo-i-moralnogo-iznosa-tehnologicheskogo-oborudovaniya> (дата обращения: 08.03.2024).

10. Хомяков В. С. Учет износов при оценке технологического оборудования // *Имущественные отношения в РФ*. 2003. №9. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/uchet-iznosov-pri-otsenke-tehnologicheskogo-oborudovaniya> (дата обращения: 08.03.2024).

11. Расчет режимов резания при шлифовании. <https://www.metalcutting.ru/content/raschet-rezhimov-rezaniya-pri-shlifovanii> (дата обращения: 08.03.2024)

Рецензент: д.т.н., проф. И.Б. Арефьев

©А. И. Лимонов, О. В. Афанасьева

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения», Российская Федерация

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ ФАКТОРНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ВОДЫ

Аннотация. Оценка качества воды представляет собой актуальную проблему современности. Вода является источником и жизни, деятельности человека и её загрязнение может привести к фатальным проблемам для человечества и окружающей среды в целом. В данной работе были проанализирована актуальность данной проблемы, параметры, характеризующие воду и рассмотрены работы демонстрирующие практическое применение факторного анализа для оценки качества воды.

Ключевые слова: оценка воды, параметры воды, факторный анализ.

Введение. Вода играет значительную роль в существовании жизни на Земле. Она обладает свойством растворять органические и неорганические вещества, что обеспечивает существование многих биохимических реакций и процессов, таких как: фотосинтез – преобразование энергии света в углевод и кислород; гидролиз – реакция разложения некоторого вещества с присоединением воды; поддержание структуры и температуры клетки. Вода помогает обеспечивать структуру клетки, являясь гидростатическим скелетом и приближительное постоянство её температуры. Помимо этого, вода также играет существенную роль и в жизни человека. Выделим некоторые из сфер жизни человека, на которые вода влияет [1]: логистическая (водоемы использовались для транспортировки грузов, людей в течении тысячелетий от переплавки бревен по реки до перевозки нефти и нефтяных продуктов); туристическая (водный туризм, отдых, включающий в себя парусный спорт и катание на лодке, играет существенную роль в экономике многих стран); сельское хозяйство (вода также широко используется и в агрокультуре при поливе культур, поение животных, приготовление корма и удобрений); здравоохранительная (важнейшая роль во-

ды заключается в поддержке жизни и здоровья человека). Как было описано выше, вода является катализатор многих жизненно необходимых процессов. Конкретно она помогает переваривать пищу, выводить вредные вещества из организма, доставлять питательные вещества клеткам, увлажнять кислород для дыхания и так далее.

На основании вышесказанного можно прийти к выводу, что, в действительности, играет неотъемлемую роль в биосфере, так и в жизнедеятельности человека. Однако в современном мире из-за урбанизации, индустриализации качество воды существенно ухудшилось, что может стать неотвратимой угрозой не только для человека, но и для жизни на Земле в целом [2]. Приведём примеры негативного влияния деятельности человека на качество воды: для увеличения урожайности культур в сельском хозяйстве используется высокая доля химических веществ, которые могут привести к коррозии почвы, которая в свою очередь приводит к загрязнению близлежащих водоёмов; в результате своей деятельности промышленные предприятия производят отбросы в виде сточных вод содержащие опасные химикаты, становящиеся угрозой для окружающей среды; бесконтрольное хранение мусора может также привести к снижению качеству воды. Токсичные соединения, появившиеся в результате таких свалок, попадают в подземные воды, откуда могут распространиться на другие водоёмы.

Факторный анализ: преимущества и ограничения. Первым шагом для решения данной проблемы заключается в оценке качества воды, что является сложной проблемой в результате ее многопараметрической и вероятностной природы [3,4]. Отсюда методы, традиционно используемые в естественных науках, как дифференциальные уравнения или исследования операции, не подходят [5,6]. В исследование качества воды имеется необходимость в статистических инструментах, позволяющих сократить число использованных параметров с сохранением точности для последующего моделирования, анализа и прогноза [7].

Факторный анализ – семейство статистических методов, дающее возможность исследователю уменьшить число анализируемых факторов, отбирая зна-

чимые и отбрасываю незначимые. Изначально, факторный анализ был разработан для нужд исследователей в психометрии для оценки интеллекта, с тех пор он был позаимствован и другими областями наук как социология, политология и экология.

Системы, которые изучает экология, характеризуются присущей им изменчивостью, многопараметральным происхождением и стохастической природой, что делает факторный анализ полезным инструментом при анализе почвы, воздуха и воды.

Обоснование оцениваемых параметров воды. Перед применением факторного анализа необходимо определить исследуемые параметры. Приведём те физико-химические параметры воды, которые чаще всего учитываются при оценке качества воды [8]:

1. Температура. Температура водоёма может повлиять на скорость химических реакций, роста и репродукции рыбы, уровень кислорода в воде, скорость фотосинтеза водными растениями. Существенные изменения в температуре воды может быть смертельно для организмов, живущих в водоёме. Человеческая деятельность, которая может повлиять на изменения температуры, включает в себя слив холодной воды и удаление затеняющей растительности с границ водоёма.

2. Водородный показатель рН. Водородный показатель рН даёт возможность оценить коррозионных свойств воды. Чем ниже значение рН чем выше проявляют себя коррозионные свойства воды. Высокие показатели рН могут свидетельствовать об уменьшенной скорости фотосинтеза, наличие чрезмерного уровня углекислого газа в воде.

3. Электрическая проводимость воды. Электрическая проводимость может дать представление о геологии территории, на которой водоём расположен. Значения электрической проводимости на территории с гранитными берегами обычно малы, в то время как значения проводимости с берегами с глинистой почвой высоки. Выбросы веществ в воду, также могут повлиять на значение проводимости. Высокие уровни электрической проводимости могут сигнализи-

ровать о неисправности работы системы канализационных стоков, из-за наличия нитратов и фосфатов, а низкие – о возможных утечках нефти.

4. Биологическое потребление кислорода. Биологическое потребление кислорода определяет число растворенного кислорода, потребляемое микроорганизмами. Высокое значение биологического потребления кислорода может значительно увеличивает скорость потребления растворенного кислорода в воде, что может привести к стрессу, удушению или даже смерти водной жизни. К увеличению данного показателя может привести мертвые растения и животные, стоки промышленных предприятий, неисправные септические системы. Биологическое потребление кислорода также высоко коррелировано с содержанием хлоридов в воде. Хлорид может вызвать подавление или смерть микроорганизмов, ответственных за разложение органических и неорганических веществ.

5. Сульфаты. Ионы сульфаты легко растворяются в воде, поэтому сульфаты обычно встречаются в природных водах. В некоторых случаях повышенное содержание сульфатов может свидетельствовать о наличии промышленных отходов, а также о наличии диоксида сульфатов в атмосфере при сжигании ископаемого топлива или при выделении во время металлургического обжига.

6. Общее число растворенных частиц и общее число взвешенных частиц. Взвешенные твердые частицы — это ил, взбаламученные донные отложения, разлагающаяся растительная масса или сточные воды. Взвешенные твердые частицы не проходят через фильтр, в то время как растворенные твердые частицы проходят. Под растворенными твердыми частицами могут пониматься ионы удобрений с полей или газонов, соль из городских стоков, органические вещества из станции очистки сточных вод. Высокий уровень растворенных твердых частиц, особенно солей, может повредить водным животным.

7. Фосфаты. Фосфаты является важным питательным веществом для водных растений и животных. Его высокая концентрация может привести к стремительному росту растений, низкому растворенному кислороду, что может привести к подавлению или смерти других водных организмов. Человеческая деятельность, приводящая к высокой концентрации фосфатов, включает в себя стоки с сельскохозяйственных территорий и неисправные септические систе-

мы. Рассмотренные параметры не составляют полный список всех существующих показателей воды, но они являются самым часто использованными в исследованиях качества воды. Другие параметры, вроде кальция, нитратов или магния, также могут быть включены в исследование в зависимости от поставленных целей и задач.

Практический опыт работы. Рассмотрим опыты применения факторного анализа параметров воды в работах российских и зарубежных специалистов:

1. В работе «факторный анализ динамики гидрохимических показателей» [9] были рассмотрены физико-химические данные проб воды, полученных из реки Малая Кокшага города Йошкар-Олы. Был применён метод факторного анализа корреляционного анализа, результатом которого стала таблица корреляционной матрицы, используя которую были выявлены пять показателей со слабыми факторными связями.

2. В работе «Оценка качества поверхностных вод с использованием факторного анализа» [10] продемонстрирована, как следует из названия, использование факторного анализа для качества воды реки Большой Мендерес, Турция. В работе данные были разделены на два водных режима – половодье и межени. Для каждого режима с помощью факторного анализа были выявлены три скрытых фактора, определена корреляция между ними и 11 анализируемыми химическими параметрами. В результате проведённой работы была создана модель на основе, которой можно не только определить качество воды, но и источник ухудшения.

3. В работе «Факторный анализ как инструмент для идентификации параметров индекса качества воды по реки Нил, Египет» [11] также является примером практического применения факторного анализа в оценке качества воды. Как и в предыдущей работе, были выявлены скрытые факторы для каждого режима, каждый скрытый фактор был определён, в зависимости от тех изначальных 11 параметров, с которыми они наиболее коррелированы. В результате было выявлено, что из 11 химических параметров три являются незначительными и могут быть отброшены без потери точности.

4. В работе «Индекс качества воды, используя многопараметрический факторный анализ» [12] была продемонстрирована не только возможность факторного анализа для уменьшения числа исследуемых параметров, но и построено уравнение для получения индекса качества воды. Пробы воды были взяты из реки Могиугасу, Бразилия. Факторный анализ был использован для определения трёх скрытых факторов. Первый фактор был взят как индекс качества воды, в виду его высокой изменчивости, и в результате было получено линейное уравнение, подставив значения параметров, в которое можно получить значения индекса качества воды.

5. В работе «Факторный анализ и динамика качества воды реки Сунгари» [13] был найден основной источник загрязнения реки Сунгари, Китай, применив факторный анализ. Для двух водных режима были определены скрытые факторы, используя которые было выявлено, что главными веществами загрязнения в половодье аммиак, а в межени – биоразлагаемые органические вещества и аммиак, на основе чего было выявлено, что главный источник загрязнения – сельскохозяйственная деятельность.

Исходя из опытов вышеописанных специалистов, можно утвердиться в мощности факторного анализа как инструмента для уменьшения числа исследуемых параметров и определения индекса качества воды [5,7].

Выводы. В результате проделанной работы были описаны самые часто использованные параметры: температура, водородный показатель pH, электрическая проводимость воды, биологическое потребление кислорода, сульфаты, общее число растворенных частиц и общее число взвешенных частиц, фосфаты.

Библиографический список

1. Калугин О. А. Вода как важнейший фактор глобальной экономики // Вестник РГГУ. Серия «Экономика. Управление. Право». 2010. №6 (49). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/voda-kak-vazhneyshiy-faktor-globalnoy-ekonomiki-1> (10.03.2024).
2. Hashem, M.S.; Qi, X. Treated Wastewater Irrigation-A Review. Water 2021, 13, 1527. <https://doi.org/10.3390/w13111527>
3. Применение спектрофотометрического метода для исследования содержания этилового спирта в жидкофазных средах / Е. Е. Майоров, О. В. Афанасьева, В. В. Курлов [и

др.] // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2023. Т. 66, № 6. С. 501-508. DOI 10.17586/0021-3454-2023-66-6-501-508. – EDN BHFTKI.

4. Рефрактометрические методы и средства контроля этанола, пропанола и их водных растворов / А.В. Арефьев, О.В. Афанасьева, А.В. Дагаев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2023. Т. 66, № 7. С. 594-601. DOI 10.17586/0021-3454-2023-66-7-594-601. – EDN UEWRJO.

5. Kaplunovsky, A.S. Factor analysis in environmental studies. HAIT J. Sci. Eng. В 2005.

6. Майоров, Е. Е. Реализация метода полного внутреннего отражения для получения оптических параметров продуктов пищевой промышленности / Е.Е. Майоров, О.В. Афанасьева, М.В. Соколовская // Приборы. 2023. № 2(272). С. 16-20. EDN UMHCEQ.

7. Experimental Study Results Processing Method for the Marine Diesel Engines Vibration Activity Caused by the Cylinder-Piston Group Operations / O. Afanaseva, O. Bezyukov, D. Pervukhin, D. Tukeyev // Inventions. 2023. Vol. 8, No. 3.P. 71. DOI 10.3390/inventions8030071.

8. Bhatelia, R., Jain, D. Water quality assessment of lake water: a review. *Sustain. Water Resour. Manag.* **2**, 161–173 (2016). <https://doi.org/10.1007/s40899-015-0014-7>

9. Евдокимова О.Ю. Факторный анализ динамики гидрохимических показателей // Фундаментальные исследования. 2012. № 11-2. С. 277-282; URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=30520> (дата обращения: 10.03.2024).

10. Boyacioglu H. Surface water quality assessment using factor analysis. *Water Sa.* 2006;32(3):389-93.

11. Yousry, Mohsen & El Gammal, Hussein. (2015). Factor Analysis as a Tool to Identify Water Quality Index Parameters along the Nile River, Egypt.

12. Coletti, Christiane & Testezlaf, Roberto & Ribeiro, Túlio & Souza, Renata & Pereira, Daniela. (2010). Water quality index using multivariate factorial analysis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.* **14**. 10.1590/S1415-43662010000500009.

13. Yu, S., Shang, J., Zhao, J. *et al.* Factor Analysis and Dynamics of Water Quality of the Songhua River, Northeast China. *Water, Air, & Soil Pollution* **144**, 159–169 (2003). <https://doi.org/10.1023/A:1022960300693>

Рецензент: д.т.н., проф. И.Б. Арефьев

© Л. Ю. Литовченко, Р. Б. Разяпов, И. А. Бригаднов
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы
Екатерины II», Российская Федерация

ТЕХНОЛОГИИ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ НА ИЗДЕЛИЯХ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация. Исследование направлено на применение автоматизированного подхода в процессе контроля поверхностных дефектов. В качестве тестовых данных используется набор MVТес AD. Эффективность в определении внешних дефектов показало трансферное обучение с применением предварительно обученной модели InceptionV3.

Ключевые слова: компьютерное зрение, машинное обучение, нейронные сети, обработка изображений, классификация, сегментация.

Введение. Гарантирование высокого уровня качества продукции в современной промышленности является важным элементом удовлетворения запросов потребителей и обеспечения конкурентоспособности компаний. Тем не менее, в ходе производственного процесса нередко возникают дефекты на поверхности изделий, которые могут отрицательно сказаться на их функциональных характеристиках и внешнем облике. В процессе ручного визуального контроля дефектов на поверхности продукции существует риск упущения некоторых дефектов или ошибочной идентификации [1].

Прогресс в области информационных технологий привел к ежедневному созданию огромных информационных объемов [2]. Современная индустрия активно использует технологии компьютерного зрения – раздел искусственного интеллекта, который придает компьютерам способность «видеть» и интерпретировать визуальные данные, подобно человеческому зрению.

В контексте обнаружения дефектов компьютерное зрение автоматизирует анализ визуальных данных, выявляет отклонения от стандартов и классифицирует поверхностные аномалии.

Методы машинного зрения анализируют параметры, такие как цвет, количество повреждений и форма, для выявления соответствующих факторов [3].

Автоматизированный подход повышает скорость контроля и уменьшает вероятность человеческих ошибок, улучшая надежность и эффективность контроля качества продукции.

Методы предварительной обработки. Предобработка изображений является важным этапом в процессе анализа визуальных данных. Этот этап включает в себя ряд техник, направленных на улучшение качества и читаемости изображений, что существенно влияет на последующие этапы обработки [4].

На первом этапе предобработки устраняются шумы и артефакты, возникающие из-за внешних факторов или особенностей съемки. Фильтры, такие как медианный и гауссов, используются для уменьшения шума, компенсации размытия и коррекции цветовых характеристик [5]. Медианный фильтр устраняет случайные артефакты, заменяя значения каждого пикселя медианным значением окружения. Фильтр гаусса усредняет пиксели с учетом весового коэффициента, улучшая общий вид изображения [6].

Далее, на этапе нормализации, изображение приводится к единому масштабу и контрасту для унификации данных. Повышение насыщенности может улучшить визуальное качество для человека и упростить автоматическую обработку, например, для алгоритмов, работающих с цветовыми пятнами.

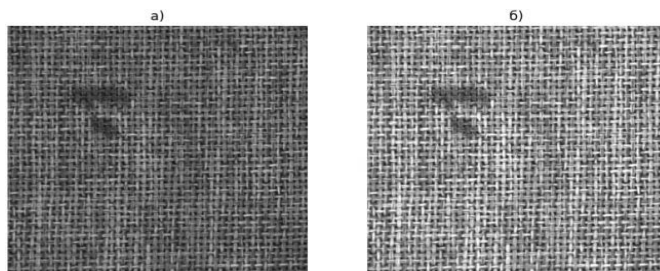


Рис. 1. Применение нелинейной коррекции насыщенности: (а) исходное изображение; (б) скорректированное изображение.

На последнем этапе предобработки осуществляется выделение контуров и границ объектов с использованием различных фильтров и операторов для более точного выделения. Оператор Собеля применяется с двумя ядрами для выделения горизонтальных и вертикальных градиентов, выявляя различия в ин-

тенсивности пикселей и формируя общий градиент [7]. Оператор Кэнни, обладающий высокой точностью, подходит для задач с важной детализацией. Он вычисляет градиент изображения, подавляя все значения, кроме локальных максимумов, что выделяет тонкие линии и контуры.

Границы определяются пороговой обработкой, где пиксели с градиентом выше верхнего порога считаются границами, а пиксели между верхним и нижним порогами подвергаются дополнительному анализу [7].

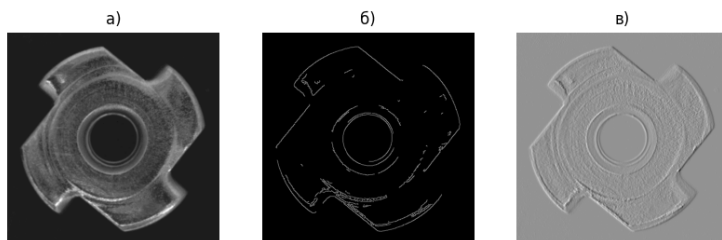


Рис. 2. Выделение контуров и границ объектов: (а) исходное изображение; (б) оператор Кэнни с порогами 100 и 200; (в) оператор Собеля с маской 3x3.

Методы классификации. Классификация представляет собой ключевую задачу в области машинного обучения, где целью является автоматическое присвоение объектов определенным категориям на основе их характеристик. В процессе обучения модель анализирует набор данных, выявляя связи между признаками и классами и становится способной классифицировать новые объекты.

В области обнаружения дефектов этот процесс включает создание модели, обученной на изображениях с различными дефектами. Модель может автоматически определять типы дефектов, их расположение и характер.

Современные методы обработки изображений активно используют методы машинного обучения, такие как SVM, Random Forest и k-NN. SVM применяется для бинарной и многоклассовой классификации, используя математические плоскости для различения классов и опорные векторы для построения гиперплоскости [1]. С появлением глубокого обучения выделяются сверточные

нейронные сети (CNN), которые автоматически извлекают признаки и улучшают точность классификации изображений [8].

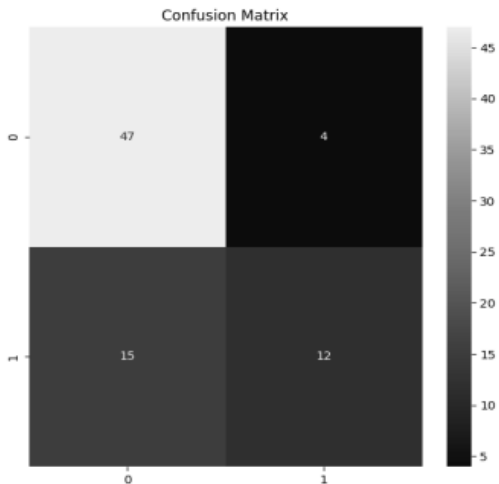


Рис.3. Матрица ошибок для метода SVM.

CNN эффективно анализируют иерархии признаков, начиная с простых краев и текстур и заканчивая сложными абстракциями, что делает их эффективными в задачах классификации, детекции объектов и сегментации.

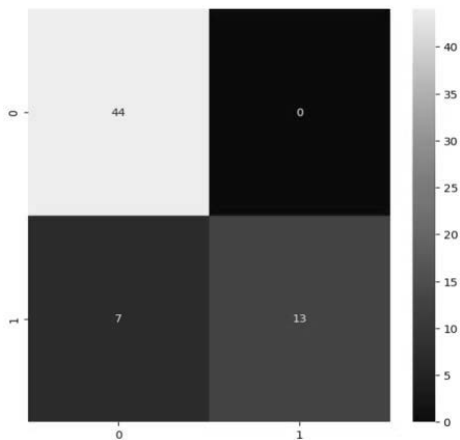


Рис. 4. Матрица ошибок для CNN.

В исследованиях используется трансферное обучение - метод в машинном обучении, где знания, полученные при решении одной задачи, применяются для улучшения производительности в решении другой подобной задачи.

Трансферное обучение позволяет использовать предварительно выученные признаки и веса модели для новых данных [9]. Это особенно полезно при ограниченном количестве размеченных данных. В качестве предварительно обученной модели применяется InceptionV3, обученная на большом наборе данных ImageNet.

Вторая матрица имеет более высокую точность, что говорит о лучшей способности модели CNN правильно классифицировать образцы. Она демонстрирует абсолютную точность без ложных положительных результатов.

Методы сегментации изображения. Сегментация изображений в области компьютерного зрения – важный этап, цель которого заключается в разделении изображения на более управляемые части. Методы сегментации включают пороговую сегментацию, сегментацию на основе регионов и семантическую сегментацию. Пороговая сегментация использует пороговые значения для разделения изображения, семантическая сегментация придает смысл каждому сегменту, присваивая им определенные классы [10].

Пороговая сегментация полезна для выделения дефектов. Правильно подобранный порог может выделить области с существенными изменениями интенсивности, что характерно для дефектов. Если интенсивность пикселя превышает порог, он относится к одному классу (например, дефектному), в противном случае — к другому [1].

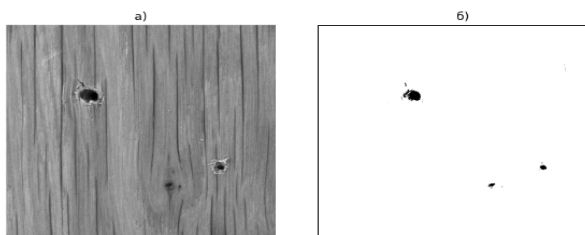


Рис. 5. Выделение дефектов с помощью пороговой сегментации: (а) исходное изображение; (б) сегментированное изображение.

Сегментация на основе регионов – метод разделения изображения на регионы с однородными свойствами, такими как цвет, текстура или яркость. Этот метод подходит для изображений с более сложной структурой, где объекты могут быть менее четко выделены, и для задач, требующих учета контекста окружающих пикселей [1].

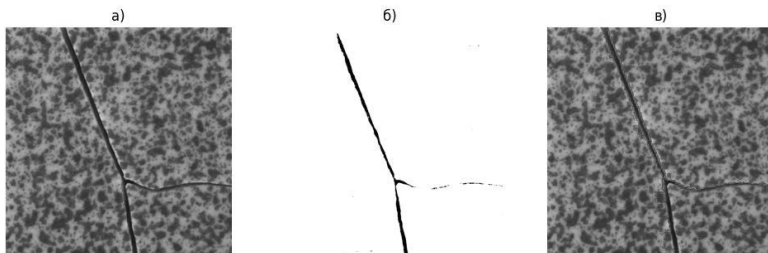


Рис. 6. Выделение дефектов с помощью сегментации на основе регионов: (а) исходное изображение; (б) маска сегментации; (в) сегментированное изображение.

Традиционная сегментация изображения, использующая пиксель в качестве единицы обработки, сталкивается с трудностями при выделении областей угля и пустых пород, особенно при схожести цветов фона и объекта, а также при наличии слабых краев и нечетких областей. Внедрение глубокого обучения, в частности сверточных нейронных сетей (CNN), привнесло улучшения в точности сегментации.

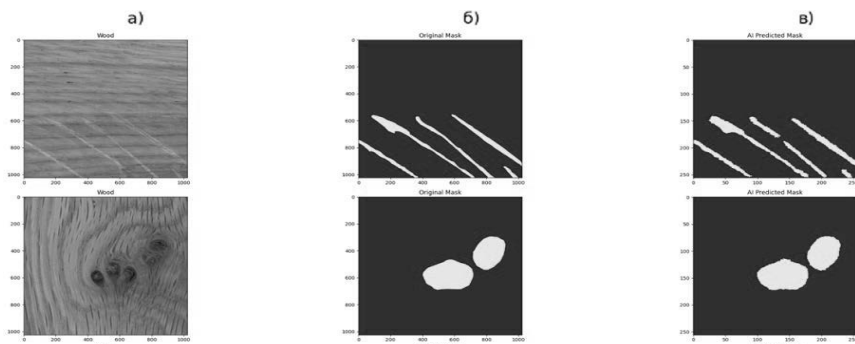


Рис. 7. Выделение дефектов с помощью CNN на тестовых данных: (а) исходное изображение; (б) маска сегментации; (в) предсказанная маска сегментации

Процесс сегментации с CNN включает обучение модели на разнообразных изображениях с дефектами различных типов и размеров. После обучения модель способна точно выделять и ограничивать дефектные области на новых изображениях, что автоматизирует процесс сегментации и обнаружения дефектов.

Заключение. В результате проведенного анализа были сделаны следующие выводы: традиционные методы обработки показали некоторую эффективность в обнаружении основных дефектов, однако их точность существенно уступает нейронным сетям. Нейронные сети проявили высокую адаптивность к изменяющимся условиям производства и новым типам дефектов. В то время как традиционные методы могут требовать частой перенастройки для новых сценариев, нейронные сети способны обучаться на основе предыдущих знаний.

Трансферное обучение улучшает обобщающие способности модели без увеличения ресурсов [11].

Внедрение методов трансферного обучения позволяет моделям адаптироваться к новым условиям и типам дефектов, обеспечивая устойчивость в различных производственных сценариях.

Библиографический список

1. Dr. Adrian Rosebrock. Practical Python and OpenCV: An Introductory, Example Driven Guide to Image Processing and Computer Vision/ Dr. Adrian Rosebrock // 2nd Edition. 2016. P.147

2. Маховиков, А. Б. Инструменты для обработки больших объемов информации и перспективы их использования в горнодобывающей промышленности / А. Б. Маховиков, А. С. Лутонин, С. Б. Крыльцов // Высокие технологии и инновации в науке : сборник избранных статей Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 27 ноября 2020 года. – Санкт-Петербург: Частное научно-образовательное учреждение дополнительного профессионального образования Гуманитарный национальный исследовательский институт «НАЦРАЗВИТИЕ», 2020. С. 164-169. DOI 10.37539/VT188.2020.93.31.022. – EDN BVAAHT.

3. Афанасьева, О. В. Применение машинного зрения в процессе производства продукции предприятиями минерально-сырьевого комплекса / О. В. Афанасьева, Д. В. Ромашин, М. П. Григорьева // Автоматизированное проектирование в машиностроении. 2022. № 13. С. 147-149. DOI 10.26160/2309-8864-2022-13-147-149. – EDN CRSYGC.

4.Иванова, И. В. Удаление шумов на изображениях при помощи автокодировщика / И. В. Иванова, П. А. Пальмин // Научные исследования в современном мире. Теория и практика : Сборник избранных статей Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 10 мая 2021 года. – СПб: Частное научно-образовательное учреждение дополнительного профессионального образования Гуманитарный национальный исследовательский институт «НАЦПРАЗВИТИЕ», 2021. – С. 74-78. – EDN XRZKBC.

5.Иванова, И. В. Фильтрация и редактирование изображений в Python / И. В. Иванова, П. А. Пальмин // Научные исследования в современном мире. Теория и практика : Сборник избранных статей Всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 10 мая 2021 года. – СПб: Частное научно-образовательное учреждение дополнительного профессионального образования Гуманитарный национальный исследовательский институт «НАЦПРАЗВИТИЕ», 2021. – С. 69-73. – EDN YRFYFV.

6. Milan Sonka, Image Processing, Analysis, and Machine Vision / Milan Sonka, Vaclav Hlavac, Roger Boyle // Cengage Learning, Fourth Edition – 2015 – P. 920

7. Бобков А. В. Системы распознавания образов : учебное пособие / А. В. Бобков. - Москва : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. - 187, [3] с.: ил.

8. Dey, S., Singh, A. K., Prasad, D. K. & McDonald-Maier, K. D. (2019). SoCodeCNN: Program Source Code for Visual CNN Classification Using Computer Vision Methodology. IEEE Access, 7, 157158-157172. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2949483>

8. Mahadevkar, S. V. et al. (2022). A Review on Machine Learning Styles in Computer Vision—Techniques and Future Directions. IEEE Access, 10, 107293-107329. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3209825>

8. Castellano, G., Vessio, G. (2022). A Deep Learning Approach to Clustering Visual Arts. International Journal of Computer Vision, 130(11), 2590–2605. <https://doi.org/10.1007/s11263-022-01664-y>

9. Литовченко, Л. Ю. Обработка и анализ изображений в задачах компьютерного зрения / Л. Ю. Литовченко, И. А. Бригаднов // Анализ и прогнозирование систем управления в промышленности, на транспорте и в логистике : XXIII Международная научно-практическая конференция молодых учёных, студентов и аспирантов, Санкт-Петербург, 18–20 апреля 2023 года. – Санкт-Петербург: ООО "Медиапапир", 2023. – С. 124-129. – EDN VJSJKQ.

Рецензент: к.т.н., доц. А.В. Гурко

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ СРЕДНЕТОННАЖНЫХ МОДУЛЕЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

Аннотация. В статье описывается перспектива внедрения в грузовые перевозки на железнодорожном транспорте среднетоннажного модуля. В отличие от крупнотоннажных контейнеров, погрузку и выгрузку пяти и десяти тонных модулей, можно осуществлять погрузочно-разгрузочными машинами грузоподъемностью до 10 тонн.

Ключевые слова: среднетоннажный модуль; грузовой терминал; погрузо-разгрузочная машина.

Введение. Сеть ОАО «РЖД» включает в себя более 570 грузовых станций, большинство из которых были построены в период плановой экономики. При изменении экономической ситуации в стране многие из них закрываются [1].

Однако некоторые из этих транспортных объектов играют важную роль в обеспечении жизнедеятельности многих населенных пунктов. Из-за износа большей части погрузочно-разгрузочных устройств и невозможности предоставления на их базе современных логистических услуг, потенциальные заказчики отдают предпочтение более гибкому автомобильному транспорту, развитие которого активно поддерживается строительством новых транспортно-логистических комплексов крупными операторами и компаниями [2-5].

Основной проблемой, мешающей росту контейнеризации на железнодорожном транспорте в Российской Федерации, является недостаток инфраструктуры для организации перевозок и работы с контейнерами.

Увеличение потребностей грузовладельцев требует объединения грузовых партий, которые по объему и весу бывают значительно меньше, чем универсальные крупнотоннажные контейнеры [6].

Для изменения ситуации «РЖД Логистика» и «РЖД Бизнес Актив» запустили регулярный контейнерный сервис из Подмосквья в Китай, ориентированный на небольшие партии товаров для B2B-торговли.

Грузовую базу сформирует малый и средний бизнес из Северо-Западного, Центрального и Поволжского федеральных округов. По словам генерального директора АО «Российский экспортный центр» Вероники Никишиной «Грузоотправители сегмента малого и среднего предпринимательства всегда сталкивались с проблемой доступа к контейнерной логистике из-за незначительного для полносоставных поездных отправок объёма товарных партий и высокой стоимости перевозки» [7].

В последнее время ситуация меняется. Контейнерные перевозки по железной дороге становятся всё более привлекательными для предпринимателей с небольшими партиями товаров:

- В прошлом году ОАО «РЖД» и «Почта России» запустили еженедельный почтовый контейнерный поезд (ПКП) «Россия» на маршруте Москва - Владивосток - Москва с остановками в 8 крупнейших городах и возможностью отцепки и прицепки платформ с контейнерами. Для перевозок сборных грузов от малого и среднего бизнеса ПКП «Россия» предоставляет сервис «Сотовый контейнер» - клиент может купить одно или несколько мест объёмом 1 куб. м и массой груза до 350 кг.

- В марте обработку контейнеров со сборными грузами начал терминал «Восточная стивидорная компания» (Группа «Дело») в порту Восточный. Они поступают на Less Container Load -склад и расформируются прямо в порту.

- В июне ОАО «РЖД» с «Почтой» запустили новый почтовый контейнерный поезд - из Подмосквья в Приморье. То же самое - перевозки

коммерческих сборных грузов с прицепками и отцепками вагонов на крупных станциях Транссиба.

- В июле «РЖД Логистика» объявила о расширении географии отправок сборных грузов из Китая, Индии и ОАЭ - морем через Владивосток с последующей доставкой по железной дороге или автотранспортом в регионы России (из Китая также есть прямые ж/д маршруты).

Однако недостаточное рассмотрение вопросов использования среднетоннажных модулей (СТМ) при перевозках в мировой контейнерно-транспортной системе приводит к снижению оборота контейнерных грузов.

Технология перевозки грузов в СТМ. Рынок перевозок тарно-штучных грузов железнодорожным транспортом характеризуется высоким уровнем концентрации и низкой конкуренцией, где ОАО «РЖД» может обладать значительной долей и занимать доминирующее положение. Передача парка среднетоннажных контейнеров компании ОАО «ТрансКонтейнер» от ОАО «РЖД» в количестве 130 тыс. штук с 1 января 2013 года, привел к перераспределению грузов с железнодорожного на автомобильный транспорт [7]. На современных платформах не предусмотрены крепления для перевозки 5 и 10-футовых контейнеров. Для решения этой проблемы предлагается использовать платформы-адаптеры.

Предлагается оборудовать грузовые станции местами для хранения, железнодорожными и автомобильными путями и погрузо-разгрузочными машинами способными экономически выгодно работать со среднетоннажными модулями.

Предлагается четыре схемы механизации среднетоннажных модулей (рис. 1-4) с применением козловым или мостовым кранов, вилочных погрузчиком грузоподъемностью 10 тонн, автомобилей-самопозрузчиком или ричстакеров.

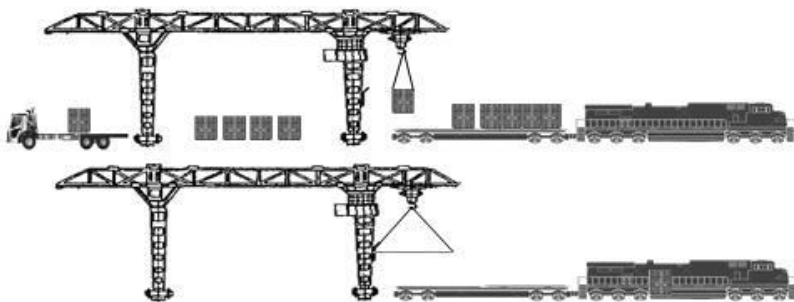


Рис. 1. Схема механизации среднетоннажных модулей с помощью козлового крана



Рис. 2. Схема механизации среднетоннажных модулей с помощью вилочного погрузчика грузоподъемностью 10 тонн

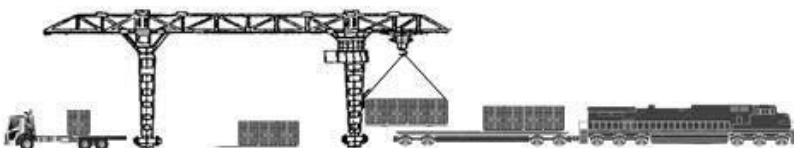


Рис. 3. Схема механизации среднетоннажных модулей 20-ти футовым комплектом с помощью козлового крана



Рис. 4. Схема механизации среднетоннажных модулей 20-ти футовым комплектом с помощью автомобилей-самогрузчиков или ричстакеров

Наиболее перспективной технологией работы с СТМ предполагается последняя, за счёт простой организации прямой перегрузкой. Для грузового двора это сокращает эксплуатационные расходы на погрузо-выгрузочные операции, позволяет при минимальных капитальных затратах закупить перегрузочную технику и оборудовать площадки для хранения. Другим преимуществом применяемой техники является возможность производить

грузовые операции на путях под контактным проводом благодаря захвату модулей снизу.

Выводы. ОАО «РЖД» осуществили тестовую отправку шести среднетоннажных модулей массой 5 и 10 тонн - из Подмоскovie в Амурскую область. Испытания провели еще в конце лета. Опытные образцы, а также съёмное оборудование для их крепления на фитинговых платформах (адаптеры) разработаны отраслевым институтом ВНИИЖТ [8].

Расположение грузовых дворов станций, где есть подъёмно-транспортные машины, способные работать с СТМ, позволяет при незначительных капитальных затратах очень быстро развить данную технологию по всей сети дорог, что приведет к увеличению объемов мелких отправок на железнодорожном транспорте.

Внедрение СТМ на железнодорожном транспорте способствует повышению конкурентоспособности, эффективному использованию инфраструктуры и вагонов. Это также оптимизирует временные и финансовые затраты для грузовладельцев на всех этапах перевозочного процесса и расширит доступность рынков сбыта [9,10]. Одновременно важно стремление к достижению оптимального баланса между тарифами, объемом и качеством транспортных услуг, повышению скорости перевозок и обеспечению предсказуемости сроков доставки.

Библиографический список

1. Особенности управления местной работой на железнодорожных участках, обслуживающих прямые отправительские маршруты / Г. И. Паламарчук, В. Н. Кузьменкова, А. А. Фомин, П. Ю. Либерман // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2023. Т. 20, № 2. С. 290-301.

2. Конограй, О.А. Перспективы конверсии международных транспортно-логистических потоков и потенциал Арктической транспортной инфраструктуры в транзите "Китай-Европа" / О. А. Конограй, А. А. Воронов // Экономика устойчивого развития. 2022. № 2(50). С. 190-193.

3. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022611798 Российская Федерация. Программа построения и расчета параметров интерактивной модели сетевого планирования и управления : № 2022611039 : заявл. 31.01.2022 : опубл. 01.02.2022 / О. В. Афанасьева, В. Д. Вихорев, Д. А. Первухин ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет». – EDN SFKUDZ.

4. Афанасьева, О.В. Разработка программы автоматизации решения задачи сетевого планирования и управления / О.В. Афанасьева, В.Д. Вихорев // Анализ и прогнозирование систем управления в промышленности, на транспорте и в логистике: Сборник трудов XXII Международной научно-практической конференции молодых ученых, студентов и аспирантов, СПб., 19–21 апреля 2022 г. / Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. СПб.: ООО "Медиапапир", 2022. С. 74-79.

5. Коровяковская, Ю. В. Организация грузовых перевозок с участием транспортно-логистических терминалов / Ю. В. Коровяковская // Актуальные проблемы управления перевозочным процессом : сборник научных трудов. – Санкт-Петербург : Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2006. С. 151-158.

6. Афанасьева, О.В. Моделирование производственной деятельности промышленного предприятия с учетом неопределенности / О.В. Афанасьева, М.Е. Чунц // Системный анализ в проектировании и управлении: сборник научных трудов XXII Международной научно-практической конференции, СПб., 22–24 мая 2018 года. Том Часть 2. – СПб.: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2018. С. 46-50.

7. Доставка стала экономной. ОАО «РЖД» выводит на новый уровень перевозки малых партий грузов – URL: <https://gudok.ru/content/freighttrans/1643106/> (дата обращения 10.02.2024)

8. Кобозева Н.Г. Актуальные задачи контейнеризации в России [Текст] / Н.Г. Кобозева // Актуальные проблемы управления перевозочным процессом: сборник научных трудов. - СПб.: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2010. - С. 78-85.

9. В России сконструировали адаптер для перевозки грузов в малых контейнерах – URL: <https://gudok.ru/incident/?ID=1644141> (дата обращения 10.02.2024)

10. Корельская, А.С. Исследование деятельности производственно - коммерческой компании с использованием методов имитационного моделирования / А.С. Корельская, О.В. Афанасьева // Russian Journal of Logistics & Transport Management. 2021. Т.6 (S). С.53-57.

Рецензент: д.т.н., проф. И.Б. Арефьев

© Н. В. Мальшев, А. А. Кирилова

ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I», Российская Федерация

ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ КАК АЛЬТЕРНАТИВЫ ТРАНССИБИРСКОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ МАГИСТРАЛИ

Аннотация. В статье рассматриваются логистические особенности двух крупных транспортных путей – железнодорожного в виде Транссибирской магистрали и водного в виде Северного морского пути. Анализируются основные проблемы, препятствующие развитию Северного морского пути. В статье описываются основные перспективы развития портов Северного морского пути и использования прибрежных территорий арктических регионов Российской Федерации.

Ключевые слова: логистика; международные транспортные коридоры; портовая инфраструктура.

Введение. За последнее время увеличивается интерес крупных экономик мира к наиболее эффективным транспортным путям. Более 1.5 миллиарда жителей Китая и порядка 3-х миллиардов жителей в тяготеющей к нему, вынуждают минимизировать транспортные издержки производителей товаров и услуг. Особенно в связи с инцидентом с контейнеровозом Ever Given, который сел на мель и перекрыл Суэцкий канал, подтвердившим необходимость развития логистических маршрутов в том числе в Арктике не только для северных стран, но и для всего мирового сообщества.

Для извлечения выгоды из этого и использования транзитного потенциала России в настоящее время согласно Паспорту федерального проекта «Развитие Северного морского пути» предполагается увеличить объем грузоперевозок в акватории Арктики до 82 млн тонн к 2025 году и 110 млн тонн к 2030 году при обеспечении суммарной портовой мощности 88 млн тонн и 115 млн тонн к

указанным периодам, соответственно В 2022 году объем грузоперевозок по Северному морскому пути составил 34 млн тонн, а портовые мощности переработали 36 млн тонн [1]. Однако для обеспечения возможности обслуживания увеличивающегося грузопотока необходимо значительно увеличить портовые мощности.

Альтернативой морскому транспортному маршруту между Азией и Европой, существующей уже сейчас на территории России, является транссибирский транспортный коридор.

Актуальность маршрута. С глобальным потеплением площадь Северного Ледовитого океана сокращается, толщина льда истончается, а площадь и степень плавучести льда летом значительно уменьшаются. В начале нынешнего столетия, в связи с ростом цен на топливо и растущим спросом стран Восточной Азии на природные ресурсы, Арктический морской маршрут привлек внимание всего мира, и коммерческая ценность арктического морского пути становилась все более очевидной. Теоретически, по сравнению с маршрутом через Суэцкий канал, Северный морской путь это не только сокращает расстояние и время в пути между Европой и Восточной Азией за счет снижения транспортных расходов. В среднем маршрут Далянь-Гамбург через Суэцкий канал занимает от 35 до 45 суток. Второе преимущество снижение политических рисков в чувствительных районах на этом пути, таких как Малаккский пролив и воды у берегов Сомали. Если Арктический морской маршрут будет открыт регулярно, это значительно изменит глобальную структуру морского судоходства [2].

С 2009 года более 300 международных транспортных судов прошли Северо-Восточным проходом в Арктике, накопив большой опыт и информацию о судоходстве.

Перспективы портовой инфраструктуры. Главным фактором, не позволяющим увеличить объем перевозок является недостаточное развитие

береговой инфраструктуры и полное отсутствие железнодорожной инфраструктуры на севере России [3].

Развитию портов Северного морского пути очень длительное время не уделялось должного внимания, в результате чего многие из них пришли в упадок. После распада Советского Союза объемы финансирования деятельности Северных портов резко упали.

Основными портами Северного морского пути являются: Владивосток, Петропавловск-Камчатский, Певек, Тикси, Хатанга, Диксон, Сабетта, Нарьян-Мар, Архангельск и Мурманск.

За последнее десятилетие по всей акватории Арктики проводятся работы по восстановлению, реконструкции и модернизации, действовавших ранее и по строительству новых портов и портовых сооружений. Также, создается логистический центр Северного морского пути мирового уровня в городе Мурманск. Однако эти работы связаны, с разработкой шельфовых и прибрежных месторождений полезных ископаемых в Арктике и их перевозкой покупателям и переработчикам [4].

Проблемы Северного морского пути. Падение цен на топливо, грузовые перевозки и природные ресурсы начиная с 2014 года, становится важной причиной сокращения транзитных перевозок по Северному морскому пути. Обычно расходы на топливо составляют наибольшую часть транспортных расходов, поэтому снижение цен на топливо напрямую приводит к снижению транспортных расходов по маршруту Суэцкого канала, снижая преимущества перевозок по Северному морскому пути.

Большая часть торговли товарами между странами Восточной Азии и Европы осуществляется в виде контейнеров. Глубина воды в некоторых районах Арктики ограничивает проход крупных контейнеровозов, а Северный морской путь подходит для контейнеровозов вместимостью менее 4000 TEU [5]. В настоящее время на рынке международных перевозок преобладают контейнеровозы больших размеров. Крупные контейнеровозы, такие как 8000

TEU, 10000 TEU и 14000 TEU, не могут проходить по Северному морскому пути [6].

К другим факторам, ограничивающим использование Северо-Восточного прохода в Арктике, относятся подробная информация о погоде, карты, ледовые условия и гидрология Арктического региона. На некоторых участках ледовые условия могут значительно измениться в течение дня или двух, что затрудняет точное прогнозирование заранее. Пока что Арктика остается странным и неизведанным миром. На данном этапе она будет доступна только в течение четырех месяцев. Теоретически суда ледового класса высокого класса могут путешествовать круглый год, но затраты и опасности перехода настолько велики, что судоходные линии редко работают в период с декабря по май.

Положение Транссибирской железнодорожной магистрали. Увеличение перевозок по Транссибирской магистрали приводит к росту объемов инвестиций, модернизации и развитию ее инфраструктуры, что позволяет уменьшить срок доставки, а также увеличить провозную и пропускную способности.

За последние годы грузооборот Транссибирской магистрали значительно увеличился из-за нескольких факторов:

1. Развитие экономики стран Азии в целом. Транссиб является одним из основных транспортных коридоров для доставки грузов из в том числе из Средней Азии в Европу.

2. Рост торговли между Китаем и Россией.

3. Улучшение инфраструктуры Транссиба.

4. Сокращение стоимости перевозки грузов по Транссибу.

Выводы. Развитие Северного морского пути для перевозок имеет проблемы, связанные с международными обязательствами. Основным из них является Конвенция ООН по морскому праву 1982 года, по которой Российская Федерация обязана дать доступ иностранным судам [7].

Также необходимо создать механизм возврата инвестиций в развитие инфраструктуры Северного морского пути, включая обеспечение портов-убежищ. Одновременно важно признание ледокольной проводки коммерческой деятельностью, что создаст приоритет для российских ледоколов в исключительной экономической зоне России. На данный момент отсутствует экономическое обоснование простаивания части портовых перегрузочных мощностей Мурманска в зимнее время, что обязательно приведет к значительному увеличению стоимости портовых операций.

Развитие Северного морского пути чаще всего рассматривают как самостоятельный российский проект. Однако, есть стороны, которые не менее России заинтересованы в реализации этого сложного проекта. Прежде всего, это Китай, но есть и Евросоюз. Нарастание транспортных издержек будет приводить к росту изолированности стран Евросоюза от азиатского промышленного ядра. Таким образом, важным стратегическим союзником в развитии и впоследствии одним из получателей выгод от реализации должны стать страны Евросоюза. Однако в условиях текущих санкций проект точно не будет реализован ввиду того, что многие крупные операторы прекратили транспортировку грузов из и в РФ (Maersk, CMA CGM, MSC, Nipag-Lloyd, Ocean Network Express, Yang Ming), а также введенных ранее ограничительных мер в виде необходимости получения специального разрешения на вхождение судна в акваторию Северного морского пути за 90 дней до планируемой даты [8].

Библиографический список

1. Паспорт Федерального проекта «Развитие Северного морского пути» [Электронный источник]: Режим доступа – https://ac.gov.ru/uploads/_Projects/PDF/КРМИ/3._Паспорт_федерального_проекта_«Развитие_Северного_морского_пути».pdf (Дата обращения: 06.02.2024 г.).

2. Конограй, О. А. Перспективы конверсии международных транспортно-логистических потоков и потенциал Арктической транспортной инфраструктуры в транзите "Китай-Европа" / О. А. Конограй, А. А. Воронов // Экономика устойчивого развития. – 2022. – № 2(50). – С. 190-193.

3. Особенности управления местной работой на железнодорожных участках, обслуживающих прямые отправительские маршруты / Г. И. Паламарчук, В. Н. Кузьменкова, А. А. Фомин, П. Ю. Либерман // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2023. – Т. 20, № 2. – С. 290-301.

4. Лазарев, В. А. Транзитный потенциал Северного морского пути / В. А. Лазарев, А. И. Фисенко // Морские интеллектуальные технологии. – 2020. – № 1-2(47). – С. 257-261.

5. Кобозева Н.Г. Актуальные задачи контейнеризации в России [Текст] / Н.Г. Кобозева // Актуальные проблемы управления перевозочным процессом: сборник научных трудов. - СПб.: Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2010. - С. 78-85.

6. Li Z. F., You X., Wang W. 2015, Economic analysis of the container shipping on the Arctic Northeast Route. Journal of Jimei University, no. 1, pp. 34–40

7. Палкина, Е. С. Анализ развития портовой инфраструктуры Северного морского пути / Е. С. Палкина, П. С. Тимошилова // Актуальные проблемы экономики и управления. – 2023. – № 1(12). – С. 476-482.

8. Маликова, Т. Е. Формирование понятийного аппарата "малая судоходная компания" / Т. Е. Маликова, Е. С. Тимошек // Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации: Материалы IV Национальной научно-технической конференции, Владивосток, 18 декабря 2020 года. – Владивосток: Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 2021. – С. 319-325.

Рецензент: д.т.н., проф. И.Б. Арэфьев

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАБОТЫ ПОГРАНПЕРЕХОДОВ КАК "УЗКИХ" МЕСТ МЕЖДУНАРОДНЫХ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Аннотация: в статье рассматривается проблематика улучшения работы пограничных переходов, которые являются критически важными "узкими" местами международных транспортно-логистических систем. Основное внимание уделяется анализу существующих препятствий и барьеров, замедляющих процесс перемещения грузов через границы, и предлагаются пути их решения.

Ключевые слова: пограничные переходы, транспортно-логистические системы, таможенное оформление, инфраструктурные ограничения, международная торговля, ускорение процессов, информационные технологии.

Введение. В современном мире, где границы между государствами становятся всё более прозрачными для потоков товаров и услуг, эффективность транспортно-логистических систем выходит на первый план как ключевой фактор экономического роста и развития международной торговли. В этом контексте пограничные переходы играют решающую роль, обеспечивая бесперебойность и скорость перемещения грузов между странами. Однако, несмотря на их значимость, пограничные переходы часто становятся "узкими местами", где процессы задерживаются из-за ряда организационных, технических и правовых проблем.

Повышенное внимание к этой проблематике обусловлено растущей потребностью в ускорении и оптимизации транспортных потоков, что, в свою очередь, требует комплексного анализа и разработки эффективных решений для совершенствования работы пограничных переходов. Проблема усугубляется разнообразием таможенных регламентаций, инфраструктурных ограничений

и необходимостью интеграции современных информационных технологий в процессы управления и контроля [1 с. 34].

Актуальность исследования подтверждается тем, что совершенствование работы пограничных переходов может значительно сократить время и стоимость транспортировки грузов, повысить прозрачность и предсказуемость поставок для бизнеса и, как следствие, способствовать росту торгового обмена между странами. Несмотря на значительное количество работ, посвящённых вопросам логистики и управления транспортными потоками, аспекты улучшения функционирования пограничных переходов требуют дополнительного и более глубокого изучения.

Основная часть. Целью данного исследования является анализ существующих проблем и разработка рекомендаций по оптимизации работы пограничных переходов в контексте международных транспортно-логистических систем. Для достижения поставленной цели в статье решаются следующие задачи: оценка текущего состояния и выявление основных проблем функционирования пограничных переходов; анализ международного опыта и лучших практик; разработка предложений по интеграции информационных технологий для упрощения таможенных процедур; изучение возможностей для улучшения инфраструктуры и повышения пропускной способности.

Исследование основывается на анализе научной литературы, нормативных документов, статистических данных, а также на проведении экспертных опросов и кейс-стади с участием представителей транспортного бизнеса, таможенных и пограничных служб. Важной частью работы является сравнительный анализ международного опыта, который позволит выделить наиболее эффективные практики и подходы, адаптируемые к условиям и особенностям различных стран [2 с. 18].

Стоит подчеркнуть, что успешное функционирование этих переходов требует комплексного и мультидисциплинарного подхода. Это обусловлено множеством факторов, влияющих на их работу, начиная от международных норм и законодательства до локальных особенностей инфраструктуры и операционных процессов.

Одним из ключевых аспектов, требующих внимания, является развитие и модернизация инфраструктуры пограничных переходов. На многих границах существующие объекты не способны обеспечить быстрое и эффективное перемещение товаров из-за устаревшей или недостаточной инфраструктуры. Проблемы могут включать в себя не только физические ограничения, такие как недостаточное количество пунктов пропуска или плохое состояние дорог, но и отсутствие современных технологических решений, таких как системы автоматического управления очередями или технологии быстрого сканирования грузов.

Другим важным фактором является оптимизация таможенных процедур. Сложные и длительные процессы таможенного оформления значительно замедляют движение грузов через границы, увеличивая как время, так и стоимость доставки. В этом контексте внедрение электронного декларирования, предварительного информирования и других цифровых инструментов может значительно ускорить и упростить таможенные процедуры, снижая затраты и повышая прозрачность процессов.

Не менее важна роль информационных технологий в обеспечении эффективного взаимодействия между всеми участниками транспортно-логистической цепочки. Развитие и интеграция современных ИТ-решений позволяют не только оптимизировать управление грузопотоками, но и обеспечивать более высокий уровень безопасности и контроля за перемещением товаров. Использование таких технологий, как блокчейн, Интернет вещей (IoT) и искусственный интеллект (AI), может кардинально изменить принципы и механизмы работы пограничных переходов, делая их более гибкими, надежными и эффективными.

Также важно учитывать международный опыт и практики в области управления и оптимизации работы пограничных переходов. Анализ успешных примеров из разных стран может предоставить ценные идеи и решения, адаптируемые к специфическим условиям и потребностям на национальном уровне. Взаимодействие и сотрудничество на международном уровне, включая обмен знаниями, технологиями и лучшими практиками, являются ключевыми для достижения прогресса в этой области [3 с. 140].

В текущей экономической ситуации, характеризующейся глобализацией и ростом межконтинентальных товарных потоков, разработка и реализация международных транспортных коридоров (МТК), проходящих через Россию, приобретает стратегическое значение. Эти коридоры открывают перед Россией новые экономические горизонты, позволяя стране предложить мировому сообществу, наряду с традиционными товарами, такими как нефть и газ, и инновационный продукт – экспорт услуг транзитного транспортирования. Россия демонстрирует готовность к предоставлению этих услуг на условиях взаимной выгоды.

Транзит через территорию России происходит в рамках единой таможенной территории с едиными правилами и законами, что значительно упрощает процесс. Экспорт транзитных услуг обещает стране прямые финансовые выгоды за счёт оплаты за транспортные и связанные с ними услуги. Кроме того, развитие транзита способствует привлечению инвестиций в улучшение транспортной инфраструктуры и внедрение новейших технологий и оборудования. Это важно для всех участников, существующих МТК, поскольку они заинтересованы в минимизации логистических издержек и обеспечении стабильности работы коридоров. Такие усилия, в свою очередь, способствуют развитию внутренних перевозок и наращиванию объемов внешней торговли, стимулируя рост тех регионов России, через которые проходят транзитные пути. Также транзит играет ключевую роль в укреплении позиций России на международной арене [4 с. 10].

На данный момент в России функционируют ключевые МТК, включая евроазиатские коридоры «Транссиб» и «Север – Юг», а также панъевропейские коридоры № 1, 2 и 9, Северный морской путь и коридоры, связывающие северо-восточный Китай с портами АТР через Приморский край. Каждый из этих коридоров имеет своё назначение и значение:

- Коридор «Север – Юг» соединяет страны Центральной и Восточной Европы, а также Скандинавии с Индией и Ираном через Россию;
- «Транссиб» представляет собой магистраль, связывающую Центральную Европу с Восточной Азией через российскую территорию;
- Северный морской путь является ключевым маршрутом вдоль северно-

го побережья России;

- Коридоры «Приморье-1» и «Приморье-2» обеспечивают связь северо-востока Китая с портами АТР через Приморский край. Панъевропейские транспортные коридоры № 1, 2 и 9 обеспечивают связь с Россией и странами Европы, укрепляя торговые и транспортные связи между регионами.

Развитие и поддержка этих МТК имеет стратегическое значение для России и её партнёров. Поэтому важно продолжать инвестировать в модернизацию инфраструктуры, внедрение новых технологий и совершенствование транспортных сервисов для обеспечения эффективной работы коридоров. Кроме того, необходимо активно развивать международное сотрудничество и согласованную политику с партнёрами по МТК для обеспечения их устойчивого функционирования и развития в долгосрочной перспективе [5 с. 48].

Таким образом, МТК на территории России играют ключевую роль в развитии международных транспортных связей, стимулируя экономический рост, инвестиции и сотрудничество между странами. Правильное управление и развитие этих коридоров способствует повышению конкурентоспособности России на мировой арене и способствует укреплению её роли в международной торговле и транспортных потоках.

В рамках системы международных транспортных коридоров (МТК) на территории России, панъевропейский транспортный коридор № 2 полностью интегрирован в коридор «Транссиб», в то время как участок панъевропейского коридора № 9 «Санкт-Петербург – Москва» включён в коридор «Север – Юг». Особое значение для России представляет девятый коридор («Балтийский мост»), второй коридор и Северный морской путь.

Длина девятого коридора составляет 2000 км и покрывает территорию площадью 1 млн км² с населением в 60 млн человек. Создание крупных портов в Санкт-Петербурге и его окрестностях ("Европейские ворота России") позволяет России сократить зависимость от балтийских стран в перевозке грузов и, соответственно, минимизировать потери средств. Также строится трансконтинентальный мост Восток – Запад в Санкт-Петербурге, который облегчит интермодальные перевозки [6 с. 66].

Второй коридор обеспечивает связь между Западом и Востоком, простираясь до Владивостока и Находки. Этот коридор значительно увеличит использование Транссибирской магистрали в качестве транзитного пути между странами АТР и Европой.

Северный морской путь, важнейшая магистраль в Арктике, соединяет порты Западной и Северной Европы с портами Северной Америки, Кореи, Японии и Китая. Развитие этого маршрута и его терминальная обработка грузов приобретают существенное значение для России [7 с. 21].

Участие России в развитии МТК стало одной из важнейших задач в сфере транспорта в последние годы. Эта задача имеет стратегическое значение для России, так как максимальное использование преимуществ географического положения страны и развитие экспорта транспортных услуг могут значительно повлиять на экономическую ситуацию в стране.

Сегодняшняя транспортная стратегия России, разработанная Минтрансом до 2030 года, предусматривает создание опорной транспортной сети, развитие приоритетных инфраструктурных проектов и стыковку национальных транспортных коридоров с международными маршрутами [8 с. 11].

Выводы. В заключение, изложенные выше аспекты подчеркивают важность и актуальность совершенствования работы пограничных переходов в контексте развития международных транспортно-логистических систем. Россия, являясь ключевым транзитным узлом на пересечении европейских и азиатских коридоров, обладает огромным потенциалом для укрепления своего экономического положения на мировой арене через оптимизацию и модернизацию транспортной инфраструктуры.

Развитие международных транспортных коридоров, таких как Транссиб, Северный морской путь и панъевропейские маршруты, становится стратегическим приоритетом для России. Эти коридоры не только способствуют увеличению объемов транзита через страну, но и стимулируют экономический рост, инвестиции и международное сотрудничество.

Кроме того, развитие МТК обеспечивает России возможность привлечения транзитных грузовых и пассажирских потоков, что способствует дальней-

шему укреплению её позиций в мировой хозяйственной системе. Следовательно, активное участие в разработке и реализации МТК является одним из важнейших стратегических направлений развития транспортного сектора России. [9 с. 17].

В целом, совершенствование работы пограничных переходов и развитие международных транспортных коридоров содействуют не только оптимизации логистических процессов, но и способствуют увеличению торговых объемов, росту экономики и укреплению международных связей. Это позволяет России использовать в полной мере свой геополитический потенциал и играть более значимую роль на мировой арене.

Библиографический список

1. Анализ существующих международных транспортных коридоров, проходящих через территории государств- членов: доклад Евразийской экономической комиссии. М., 2019.
 2. Вардомский Л.Б., Тураева М.О. Развитие транспортных коридоров постсоветского пространства в условиях современных геополитических и экономических вызовов (научный доклад). М.: Институт экономики РАН, 2018. 64 с.
 3. Ведута Е.Н. Государственные экономические стратегии. М.: Российская экономическая академия, 2008. 440 с.
 4. Винокуров Е.Ю., Лобырев В.Г., Тихомирова А.А., Цукарев Т.В. Транспортные коридоры Шелкового пути: потенциал роста грузопотоков через ЕАЭС. СПб., 2018. 74 с.
 5. Дадабаева З.А. Трансформация логистических рынков на евразийском пространстве в условиях внедрения цифровых технологий // Экономика и управление. 2018. № 8 (154). С. 29-36.
 6. Жинкин В. Коридор «Север-Юг» // Международный экспедитор. 2012. № 2.
 7. Кузнецов А., Титберия О. Транспорт России как часть мировой системы. // Морские порты России. 2012. № 5. С. 18-20.
 8. Левиков Г.А., Шермухамедов А.Т. Международные смешанные перевозки грузов. М., 2013. 141 с.
 9. Лукьянович Н.В., Котляров Н.Н., Левченко Л.В. Проблемы создания Единого транспортного пространства Евразийского экономического союза (ЕАЭС) // Мировая экономика и международные отношения. 2014. № 7(116).
- Рецензент: к.т.н., доц. Е. К. Коровяковский

© А. А. Простак, А. Е. Соколов, И. А. Бригаднов

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы
Екатерины II», Российская Федерация

ОБЗОР МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ ПРЕДСКАЗАТЕЛЬНОЙ АНАЛИТИКИ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА БОЛЬШИХ ДАННЫХ В ГЕОЛОГОРАЗВЕДКЕ

Аннотация: Данная работа посвящена обзору использования больших данных и их аналитики в геологоразведке. Нефтегазовая промышленность стала отраслью, которая интенсивно использует данные, благодаря недавнему появлению датчиков регистрации данных при добыче, бурении и разведке. Использование больших данных в нефтегазовой отрасли имеет множество применений, например: улучшение моделирования пластов, анализ микросейсмических и сейсмических данных. Применение аналитики больших данных требует использования данных высокого качества, а также всестороннего понимания решаемой проблемы.

Ключевые слова: большие данные, геологоразведка, предсказательная аналитика, машинное обучение, картирование полезных ископаемых.

Введение. В отраслях добычи и разведки газа и нефти ежедневно создаются огромные наборы данных благодаря последним технологическим нововведениям. Для нефтегазовых компаний серьёзной проблемой является управление этими наборами данных. У геологов и нефтяников может уходить большее половины рабочего времени на сбор и поиск данных. Большие данные относятся к новым технологиям обработки этих огромных наборов данных. В различных операциях переработки и разведки газа и нефти генерируются, а затем записываются эти наборы данных. При достаточно эффективной обработке они могут выявить важные соотношения, лежащие в основе сложных инженерных проблем. Создание систем данных позволит управлять уровнем производительности, оценивать риски и получать геолого-экономические оценки эффективности инвестиций в добычу полезных ископаемых [15].

В данной работе представлен обзор применения аналитики больших данных в добывающей и перерабатывающей нефтегазовой отрасли. Первая

часть содержит определение больших данных и обрабатывающий их инструментарий. Вторая часть работы состоит из примеров использования больших данных в нефтегазовой отрасли. Наконец, в последней части описаны главные проблемы аналитики больших данных в рассматриваемой отрасли.

Определение больших данных. Неорганизованные и насыщенные текстом данные и различные форматы данных, возникающие при взаимодействии людей и машин, являются составными компонентами больших данных. Из названия термина «большие данные» уже можно определить одну из характеристик этого метода аналитики – размер доступного набора данных. Помимо этой характеристики, существуют и другие, которые делают данные пригодными для инструментов аналитики больших данных.

Эти характеристики известны под названием «три V», что означает объем, разнообразие и скорость. Позже для лучшего определения были добавлены еще две характеристики – достоверность и ценность.

Объем является характеристикой количества информации или данных. Скорость обработки, передачи и генерации данных относятся к термину «скорость», как характеристике больших данных. С этой характеристикой связана проблема ограниченности доступных вычислительных ресурсов, которые могут не успевать обрабатывать все входящие данные на высокой скорости. Разнообразие является характеристикой, относящейся к различным типам данных, которые генерируются, хранятся и анализируются. Генерируемые данные могут иметь различные форматы (текст, изображения, аудио, видео) и размеры из-за того, что датчики и устройства регистрации различаются по типам. Эти данные можно разбить на три категории: неструктурированные (90% от всех данных), полуструктурированные и структурированные.

Достоверность является характеристикой, относящейся к полезности и качеству данных для целей принятия решений и анализа. Говоря о качестве, имеется в виду различие между «чистыми» и «грязными» данными. Последние могут существенно повлиять на точность и скорость анализа данных, очевидно, негативным образом.

Последней характеристикой больших данных является ценность. IT-инфраструктура, построенная для анализа больших данных, должна окупаться и иметь экономический смысл. Помимо описанных характеристик больших данных, также необходимо учитывать сложность проблемы, для которой проводится сбор данных.

Методология больших данных. При анализе огромных наборов данных необходимо использовать мощные инновационные технологии, сочетающие в себе точность и быстроту. Далее будут описаны некоторые из технологий и инструментов для анализа больших данных.

Apache Hadoop – это фреймворк, который использует распределенную обработку через огромные кластеры компьютеров. Благодаря Apache Hadoop вычисления можно масштабировать, так как в нем используется возможность параллельной обработки больших наборов данных. MongoDB – это нереляционная, ориентированная на документы технология баз данных. MongoDB основана на формате JSON (использует структуру «ключ-значение», или упорядоченный список значений). Нереляционная база данных может применяться для обработки мультимедиа, документов и социальных сетей (неструктурированных данных).

Обработка больших данных. Для извлечения ценной информации из собранных больших наборов данных, их необходимо проанализировать. Для этой цели может применяться ряд инструментов обработки, благодаря которым можно получить результаты и выводы из больших данных.

Язык программирования R. Производить статистическое моделирование или анализ больших объемов данных можно с помощью функций этого языка.

Все этапы исследования, от анализа и моделирования и до публикации могут быть реализованы с помощью языка R из-за возможности генерации высококачественных графических результатов.

Платформа Datameer. Использует Apache Hadoop для улучшения обработки данных, платформа программирования Datameer поставляется с удобным инструментарием импорта данных и визуализации результатов их анализа в удобном интерфейсе.

Большие данные в разведке и добыче нефти и газа. Аналитика больших данных используется во многих инженерных дисциплинах для различных приложений. Универсальность больших данных влияет и на нефтегазовую отрасль, особенно с развитием этой технологии в последнее время. Из-за того, что объём данных, которые генерируются и записываются в нефтегазовой отрасли, значительно увеличился, применение технологии больших данных в этой отрасли стало более заметным.

Огромный объём данных для анализа и обработки предоставили усовершенствованные устройства подсчета каналов, геофонов для мониторинга фронта жидкости, мест улавливания и секвестрации углерода, сейсмической съемки, инструменты MWD и LWD. Датчики температуры могут измерять такие величины, как температура жидкости, температура воздуха и температура твердого тела. Самыми популярными датчиками температуры в современной электронике являются термодпары, термометры сопротивления (RTD), термисторы и интегральные схемы (ИС) на основе полупроводников [1]. Алгоритмы машинного обучения могут использоваться для обнаружения аномалий при бурении скважин для нефти и газа [8], а также для задачи локализации участков повышенной подвижности в верхней части геологического разреза и в параметризации этой подвижности по сейсмической напряженности [18].

Моделирование систем прогнозирования и систем автоматического управления может быть расширено за счет использования гибридных суперкомпьютеров [16].

В результате использования ограниченного объёма данных с базовыми инструментами STEM (инструменты науки, технологий, инженерии и математики), будут выявлены ограниченные закономерности, с помощью которых не получится получить глубокое понимание результатов решаемой проблемы; более того, такие результаты могут повлечь значительную неопределенность. Необходимо рассмотреть возможность применения машинного обучения для метода синтеза изображений для создания реалистичных 3D-моделей цветных изображений Земли в видимом спектральном диапазоне, наблюдаемых с геостационарных орбит [11].

Большие данные в геологоразведке. Использование расширенных возможностей визуализации и мощных вычислительных компьютеров требуется для задач интерпретации сейсмических данных. Объём генерируемых сейсмическими устройствами данных значительно увеличился благодаря последним новшествам.

Анализ сейсмических данных, фактически, является одним из важнейших применений технологии больших данных в нефтегазовой отрасли. Для этого могут применяться инструменты машинного обучения, использующие огромные наборы записанных данных. Анализ больших данных в геологоразведке имеет два основных преимущества: нивелирование недостатков предвзятых субъективных моделей, созданных экспертами и выявление скрытых пространственных закономерностей [24].

Тенденции популярности методов по убыванию: нейронная сеть является наиболее применяемым методом, за которым следует метод опорных векторов, ансамбль, взвешенная по обратным расстояниям нейронная сеть и другие [5].

Для проведения многокомпонентного сейсмического анализа можно объединить анализ главных компонент (PCA) и самоорганизующиеся карты (SOM). Анализ можно разбить на 5 шагов. Первым делом нужно строго очертить область решаемой геологической проблемы и как можно более подробно описать её. После чего, для определения ключевых атрибутов по рассматриваемой проблеме используется анализ главных компонент (PCA).

Третий шаг (SOM) заключается в обучении инструмента прогнозирования (модели).

Далее для выявления важных геологических особенностей результаты анализа SOM дополнительно анализируются с помощью двухмерных карт. В финале происходит рассмотрение различных атрибутов и сценариев обучения с целью проведения анализа чувствительности обученной модели для уточнения результатов. В ходе интеллектуального прогнозирования геологоразведочных работ данные имеют не только простой уровень данных, но также включают в себя информационный уровень, уровень знаний и даже уровень принятия решений (к примеру, граф экспертных знаний, дерево сетевой структуры, и интеллектуальная модель прогнозирования).

Эти сети знаний и данных имеют ценность как источники данных для интеллектуальной разведки [14].

Интегрируя различные типы данных, эксперты в геологии имеют возможность использовать как модели машинного обучения, так и знания экспертов для проведения картирования в геологии [6]. Перспективной сферой исследования можно назвать использование методов машинного обучения для извлечения исчерпывающих атрибутов из сейсмических данных и применение этих данных для определения мощности угольных пластов [23]. Повысить точность прогнозов можно за счет включения баз данных, хранящихся в частном порядке из-за политики конфиденциальности корпораций, в отличие от хранилищ общего доступа, в которых отсутствует высокоточный и всеобъемлющий набор геохронологических данных [4]. Передовые процедуры моделирования перспектив и распознавания образов на основе машинного обучения могут использоваться для определения целей разведки [3].

Проблемы при использовании больших данных. В нефтегазовой отрасли, как и в любой другой, необходимо тратить значительные средства для управления записью, хранением и анализом данных при применении больших данных, что является одной из основных проблем.

В последнее время, благодаря технологическим усовершенствованиям, для решения проблем хранения данных и вычислений стали доступны облачные вычисления. Однако, чувствительные к задержкам приложения или приложения с непостоянным местоположением не позволяют использовать ограниченные и дорогостоящие возможности облачных вычислений.

Из-за нелинейных корреляций между геологическими объектами, а также из-за сложного распределения геоданных, некоторые требуемые допущения для методов машинного обучения сложно удовлетворить, например: условная независимость между входными объектами, и/или конкретное распределение данных, которые необходимы для создания несмещенных моделей [20].

Если применять модель перспективности полезных ископаемых, которая основана на данных с более изученных областей, она будет неэффективной при экстраполяции этой модели на регионы, где эти данные не существуют.

Это один из факторов, который приводит к смещению результатов картирования перспектив в сторону хорошо известных (и, вероятно, уже разработанных) территорий [7].

При интерпретации данных каротажа сложно определить размер и пространственное положение из-за их неопределенности [12]. Недостатками применения методов машинного обучения является «черный ящик» таких алгоритмов, а также производительность и время [2]. Проблемы могут возникнуть при интеграции данных гиперспектрального изображения с высоким разрешением в меньших масштабах [9]. При использовании больших объемов переменных и данных, релевантных и менее релевантных, хорошим инструментом может стать случайный лес [19]. Классификация случайного леса с использованием ограниченного набора обучающих данных, отобранных из необработанной информации об обнажениях, приводит к низкой точности классификации [13]. Для определения сетевых гиперпараметров не существует определенного правила. Затраты значительных вычислительных ресурсов являются следствием того, что надлежащая структура может быть достигнута только путем проб и ошибок [10].

Более значительные преимущества могут быть получены при объединении подходов в различных масштабах (масштаб бассейна, месторождения или площадки) [21]. Методы Weights-of-Evidence, основанные на данных, имеют недостаток в сравнении с алгоритмами машинного обучения, заключающийся в том, что для последних число обучающих выборок может быть меньше 20, что является значительным улучшением [25]. Байесовский подход к машинному обучению для извлечения статистических и пространственных закономерностей профилей недр почвы имеет некоторые потенциальные ограничения: условно независимое допущение может быть чрезмерно сильным; выделенные слои почвы в физическом пространстве могут быть менее понятными для практикующих инженеров [22].

При использовании скважинных данных для подготовки обучающей выборки для использования в классификации, может обнаружиться пробел в каротажных данных в верхней части скважин, что приведет к проблеме отсутствия классификаторов для самых мелких узлов [17].

Вопросы владения данными и знания персонала нефтяных компаний – еще одни из проблем использования больших данных в нефтесервисных компаниях. Ознакомление руководителей предприятий и сотрудников с технологией больших данных существенно облегчит внедрение этой технологии в нефтегазовой отрасли.

Заключение. В данной работе была дана оценка применения аналитики больших данных в нефтегазовой отрасли. Из термина «большие данные» понятна основная характеристика этого метода – объём доступного набора данных. Помимо характеристики объёма есть и другие, а именно: скорость, сложность, ценность, достоверность и разнообразие. В нефтегазовой отрасли метод больших данных приобрел большую популярность благодаря недавним новшествам в технологиях и методах записи данных и необходимости эффективных операций по добыче и разведке. Объём генерируемых данных в геологоразведочных работах значительно увеличился, чему поспособствовало недавнее усовершенствование сейсмических устройств.

Для анализа микросейсмических и сейсмических данных можно использовать такие платформы, как Apache Hadoop, или такие методы, как анализ РСА. Для эффективного применения больших данных все еще необходимо решить ряд некоторых серьезных проблем, что поможет реализовать интерес больших компаний в этой области. В основном проблемы касаются осведомленности о больших данных в нефтегазовой отрасли, отсутствия поддержки со стороны бизнеса, а также понимания сложности проблемы и качества данных.

Библиографический список

1. Abdullah, A., Aseel, Roy, R., & Sunil, P. (2023). Predictive big data analytics for drilling downhole problems: A review. *Energy Reports*, 9, 5863–5876. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2023.05.028>

2. Brandmeier, M., Cabrera Zamora, I. G., Nykänen, V., & Middleton, M. (2020). Boosting for mineral prospectivity modeling: A new GIS toolbox. *Natural Resources Research*, 29(1), 71–88. <https://doi.org/10.1007/s11053-019-09483-8>

3. Chudasama, B., Torppa, J., Nykänen, V., & Kinnunen, J. (2022). Target-scale prospectivity modeling for gold mineralization within the rajapalot au-co project area in northern fennoscandia

an shield, finland. part 2: Application of self-organizing maps and artificial neural networks for exploration targeting. *Ore Geology Reviews*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2022.104936>

4.Diaz-Rodriguez, J., Müller, R. D., & Chandra, R. (2021). Predicting the emplacement of cordilleran porphyry copper systems using a spatio-temporal machine learning model. *Ore Geology Reviews*, 137. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2021.104300>

5.Dumakor-Dupey, N. K., & Arya, S. (2021). Machine learning—a review of applications in mineral resource estimation. *Energies*, 14(14). <https://doi.org/10.3390/en14144079>

6.Ge, Y. -, Zhang, Z. -, Cheng, Q. -, & Wu, G. -. (2022). Geological mapping of basalt using stream sediment geochemical data: Case study of covered areas in jining, inner mongolia, china. *Journal of Geochemical Exploration*, 232. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2021.106888>

7.Hronsky, J. M. A., & Kreuzer, O. P. (2019). Applying spatial prospectivity mapping to exploration targeting: Fundamental practical issues and suggested solutions for the future. *Ore Geology Reviews*, 107, 647–653. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.03.016>

8.Islamov, S., Grigoriev, A., Beloglazov, I., Savchenkov, S., & Gudmestad, O. T. (2021). Research risk factors in monitoring well drilling—a case study using machine learning methods. *Symmetry*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/sym13071293>

9.Jackisch, R., Lorenz, S., Kirsch, M., Zimmermann, R., Tusa, L., Pirttijärvi, M., Gloaguen, R. (2020). Integrated geological and geophysical mapping of a carbonatite-hosting outcrop in silinjärvi, finland, using unmanned aerial systems. *Remote Sensing*, 12(18). <https://doi.org/10.3390/RS12182998>

10.Kaplan, U. E., & Topal, E. (2020). A new ore grade estimation using combine machine learning algorithms. *Minerals*, 10(10), 1-17. <https://doi.org/10.3390/min10100847>

11.Khokhlov, V., Lukin, V., & Khokhlov, S. (2022). Modelling full-colour images of earth: Simulation of radiation brightness field of Earth’s atmosphere and underlying surface. *Annals of GIS*. <https://doi.org/10.1080/19475683.2022.2064911>

12.Kim, M., & Shin, H. (2020). Machine learning-based prediction of the shale barrier size and spatial location using key features of SAGD production curves. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 191. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2020.107205>

14.Kuhn, S., Cracknell, M. J., & Reading, A. M. (2019). Lithological mapping in the central african copper belt using random forests and clustering: Strategies for optimised results. *Ore Geology Reviews*, 112. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.103015>

14.Li, S., Chen, J., & Liu, C. (2022). Overview on the development of intelligent methods for mineral resource prediction under the background of geological big data. *Minerals (Basel, Switzerland)*, 12(5), 616. <https://doi.org/10.3390/min12050616>

15.Litvinenko, V. S. (2020). Digital economy as a factor in the technological development of the mineral sector. *Natural Resources Research*, 29(3), 1521-1541. <https://doi.org/10.1007/s11053-019-09568-4>

16. Martirosyan, A. V., & Ilyushin, Y. V. (2022). Modeling of the natural objects' temperature field distribution using a supercomputer. *Informatics*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/informatics9030062>

17. Marzan, I., Martí, D., Lobo, A., Alcalde, J., Ruiz, M., Alvarez-Marron, J., & Carbonell, R. (2021). Joint interpretation of geophysical data: Applying machine learning to the modeling of an evaporitic sequence in villar de cañas (spain). *Engineering Geology*, 288. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2021.106126>

18. Movchan, I. B., Shaygallyamova, Z. I., Yakovleva, A. A., & Movchan, A. B. (2021). Increasing resolution of seismic hazard mapping on the example of the north of middle russian highland. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/app11115298>

19. Schnitzler, N., Ross, P. -, & Gloaguen, E. (2019). Using machine learning to estimate a key missing geochemical variable in mining exploration: Application of the random forest algorithm to multi-sensor core logging data. *Journal of Geochemical Exploration*, 205. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2019.106344>

20. Sun, T., Chen, F., Zhong, L., Liu, W., & Wang, Y. (2019). GIS-based mineral prospectivity mapping using machine learning methods: A case study from Tongling ore district, eastern China. *Ore Geology Reviews*, 109, 26–49. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2019.04.003>

21. Vikara, D., Remson, D., & Khanna, V. (2020). Machine learning-informed ensemble framework for evaluating shale gas production potential: Case study in the marcellus shale. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 84. <https://doi.org/10.1016/j.jngse.2020.103679>

22. Wang, H. (2020). Finding patterns in subsurface using bayesian machine learning approach. *Underground Space (China)*, 5(1), 84-92. <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2018.10.006>

23. Wu, Y., Wang, W., Zhu, G., & Wang, P. (2021). Application of seismic multiattribute machine learning to determine coal strata thickness. *Journal of Geophysics and Engineering*, 18(6), 834-844. <https://doi.org/10.1093/jge/gxab054>

24. Xiong, Y., Zuo, R., & Carranza, E. J. M. (2018). Mapping mineral prospectivity through big data analytics and a deep learning algorithm. *Ore Geology Reviews*, 102, 811–817. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2018.10.006>

25. Yeomans, C. M., Shail, R. K., Grebby, S., Nykänen, V., Middleton, M., & Lusty, P. A. J. (2020). A machine learning approach to tungsten prospectivity modelling using knowledge-driven feature extraction and model confidence. *Geoscience Frontiers*, 11(6), 2067-2081. <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.05.016>

Рецензент: к.т.н., доц. А.В. Гурко

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ

Аннотация: В статье исследуется метод комплексного обнаружения аварийных ситуаций (задымление, открытый огонь) и наличие защитного снаряжения (каска шахтерская) на рабочих в угольной шахте с помощью модели машинного обучения.

Ключевые слова: модель, нейронная сеть, распознавание объектов, машинное обучение, угольная шахта, задымление, открытый огонь, каска шахтерская.

Введение. Добыча угля сопровождается риском возникновения аварий и как следствие травмирования работников, а также нанесением вреда окружающей среде [1]. Для эффективного предотвращения аварий важным процессом является надежный текущий контроль ситуации пространства производственных объектов по заданным критериям, который должен помочь выявить опасности или нарушения производственной дисциплины, своевременно предупредить работников и оперативные службы [2,3]. Исследования показывают, что основной причиной аварий на угольных шахтах является человеческий фактор [4].

В настоящее время видеонаблюдение является распространенным способом повседневного контроля безопасного труда на угольной шахте. Данное решение имеет недостатки из-за задымленности и запыленности пространства угольных шахт, снижения внимательности персонала [5]. Поэтому использование автоматических систем наблюдения на основе искусственного интеллекта представляется перспективным решением.

Методы. Одной из причин возникновения чрезвычайных ситуаций это пренебрежение средствами индивидуальной защиты, а также неосторожность работников [6]. Первая задача, которая выбрана для решения является контроль

наличия элементов защиты или отсутствие шахтерской каски на рабочем. Данное снаряжение связано с безопасностью шахтеров в горных забоях, а их ношение требует контроля в режиме реального времени. В [7, 8] для решения аналогичной задачи применено трансферное обучение, то есть метод машинного обучения, при котором модель, предварительно обученная выполнению одной задачи, настраивается для выполнения новой, связанной с предыдущей.

Второй задачей, которая выбрана для решения является обнаружение задымления или наличие открытого огня. Пожар может начаться из-за некоторых непредсказуемых условий, таких как выбросы газа [9]. Датчики компьютерного зрения могут предоставить дополнительную информацию о направлении, росте и размере огня и дыма [10]. Но результат работы датчиков, в свою очередь, так же может зависеть от освещения и расстояния до объекта распознавания [11]. Для решения этой проблемы можно использовать видеокамеры с тепловизором [12] и соответствующие алгоритмы, основанные на глубоком нейронном обучении [13].

Глубокая нейронная сеть способна более эффективно выполнить определенные задачи с помощью обработки большого объема данных и выявить в них закономерности [14]. Кроме того, существует возможность модернизации существующие системы наблюдения, установленные в различных средах (например, на заводах и в общественных местах), с низкими затратами на внедрение. В этих системах процесс обнаружения движения может сопровождаться сегментацией объекта-кандидата с использованием информации о цвете [15,16], а также извлечением признаков, которые тесно связаны с методами уменьшения размерности, такими как анализ главных компонентов [17].

Способность пожарной системы обнаруживать огонь и дым зависит от угла обзора камеры и глубины конкретной сцены.

Таким образом, пожарная система, которая определяет области, как дыма, так и пламени, может значительно раньше обнаружить пожар, чем система, которая определяет только область дыма или область пламени [18]. Обнаружение объектов с помощью интеллектуального анализа данных неотделимо от наборов данных, и для обучения требуется большое количество образцов для достижения лучшего обобщения [19]. Следовательно, крайне необходимо было создать набор изображений для выявления и предупреждения о подземных аномальных условиях полностью механизированного забоя при разработке длинных забоев. В работе использован набор данных (датасет) изображений DsLMF+ [20] для распознавания защитного шлема шахтеров. Для распознавания пожаров и задымлений использован датасет fire-smoke-2 [21], модели машинного обучения для обнаружения объектов и сегментации изображений в реальном времени YOLOv8 [22].

Предварительная обработка является важным этапом перед сложным анализом изображений [23], поэтому разметка набора данных происходила совместно с квалифицированным персоналом. Программное обеспечение Labelimg использовалось для завершения аннотации меток наборов данных в формате YOLO [23], что делает его удобным для использования в популярных в настоящее время сетях обнаружения объектов серии YOLO.

Результаты исследования. Для исследования использовались два набора данных: один с изображениями рабочих в угольной шахте с шлемами на головах, другой - сценами пожара и дыма. Созданы метки классов: 0 - огонь, 1 - дым, 2 - наличие шлема на рабочем. Используя архитектуру YOLOv8, обучили модель для обнаружения дыма, огня и наличия шлема на рабочих в угольной шахте. Для этого объединили два датасета и добавили соответствующие метки классов. Обучение провели в течение 20 эпох, нацеленных на улучшение обобщающей способности модели, через процессы обратного распространения ошибки и оптимизации весовых коэффициентов.

В ходе обучения модели были получены следующие выходные результаты (рис. 1).

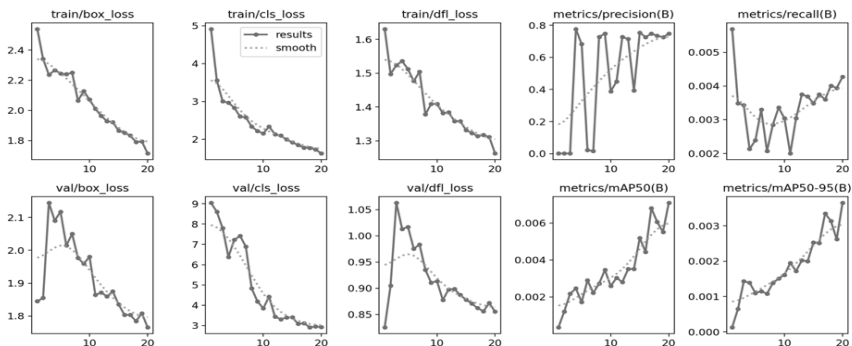


Рис.1. Результаты обучения.

Обсуждение. Анализ обучения модели YOLOv8 показывает, что в начальных эпохах наблюдается высокий уровень потерь из-за случайной инициализации весов. Однако к 20-ой эпохе потери снижаются с 2.5399 до 1.7145 по боксам, с 4.9157 до 1.6249 по классам и с 1.6306 до 1.2625 по параметрам деформаций. Это свидетельствует об улучшении способности модели к обнаружению объектов.

Точность модели в начале обучения низкая (0.00065) из-за большого числа ложноположительных предсказаний, однако к 20-ой эпохе увеличивается до 0.74848, что подтверждается эффективностью обнаружения объектов. Полнота также увеличивается, хотя в меньшей степени.

Модель демонстрирует стабильные потери на валидационном наборе данных, указывая на способность обобщения знаний на новые данные и отсутствие переобучения.

Управление скоростью обучения способствует более стабильной сходимости модели.

Результаты применения модели на тестовых данных (рис. 2 и 3) подтверждают точность обнаружения объектов интереса.



Рис. 2. Обнаружение шлема



Рис. 3. Обнаружение дыма и пожара.

Заключение. Таким образом, модель YOLOv8 успешно справляется с задачей обнаружения объектов интереса в условиях угольной шахты. Дальнейшие возможности для исследования включают:

- Улучшение точности и полноты. Проведение дополнительных экспериментов по тонкой настройке гиперпараметров, изменение архитектуры сети или использование других методов обучения для повышения точности и полноты модели. Увеличение объема данных для обучения для улучшения обобщающей способности модели, в том числе разнообразных сценариев и условий в угольной шахте.

- Адаптация модели для решения более широкого спектра задач в условиях шахт, таких как мониторинг безопасности, оценка состояния оборудования и другие аспекты производственной деятельности.

Библиографический список

1. Shi L. et al. A risk assessment method to quantitatively investigate the methane explosion in underground coal mine // *Process Safety and Environmental Protection*. Elsevier, 2017. Vol. 107. P. 317–333. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2017.02.023> (дата обращения: 11.02.2024)

2. Lundberg J., Rollenhagen C., Hollnagel E. What-You-Look-For-Is-What-You-Find – The consequences of underlying accident models in eight accident investigation manuals // *Saf Sci*. Elsevier, 2009. Vol. 47, № 10. P. 1297–1311. – URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2009.01.004> (дата обращения: 11.02.2024)

3. He Z. et al. A process mining approach to improve emergency rescue processes of fatal gas explosion accidents in Chinese coal mines, 2019. Vol. 111. P. 154–166. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.07.006> (дата обращения: 11.02.2024)
4. Sun H. et al. Study on negative pressure assisted hydrodynamic cavitation (NPA-HC) degradation of methylene blue in dye wastewater // *Chemical Engineering Research and Design*. Elsevier, 2022. Vol. 181. P. 1–13. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2022.03.003> (дата обращения: 11.02.2024)
5. Yang L., Du W., Zhao Y. A lightweight temporal attention-based convolution neural network for driver’s activity recognition in edge // *Computers and Electrical Engineering*. Pergamon, 2023. Vol. 110. P. 108861. – URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compeleceng.2023.108861> (дата обращения: 11.02.2024)
6. Rudakov M., Gridina E., Kretschmann J. Risk-based thinking as a basis for efficient occupational safety management in the mining industry // *Sustainability*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 2021. Vol. 13, № 2. P. 1–14. – URL: <https://doi.org/10.3390/su13020470> (дата обращения: 11.02.2024)
7. Gupta C., Varshney G. An improved authentication scheme for BLE devices with no I/O capabilities // *Comput Commun*. Elsevier, 2023. Vol. 200. P. 42–53. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2023.01.001> (дата обращения: 11.02.2024)
8. Yang W. et al. An open dataset for intelligent recognition and classification of abnormal condition in longwall mining // *Scientific Data* 2023 10:1. Nature Publishing Group, 2023. Vol. 10, № 1. P. 1–15. – URL: <http://dx.doi.org/10.1038/s41597-023-02322-9> (дата обращения: 11.02.2024)
9. Caton S.E. et al. Review of Pathways for Building Fire Spread in the Wildland Urban Interface Part I: Exposure Conditions, 2016 53:2. Springer, 2016. Vol. 53, № 2. P. 429–473. – URL: <http://dx.doi.org/10.1007/s10694-016-0601-7> (дата обращения: 11.02.2024)
10. Töreyn B.U. et al. Computer vision based method for real-time fire and flame detection // *Pattern Recognit Lett*. North-Holland, 2006. Vol. 27, № 1. P. 49–58. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.patrec.2005.06.015> (дата обращения: 11.02.2024)
11. Kulchitskiy, A. A., Mansurova, O. K., & Nikolaev, M. Y. (2023). Recognition of defects in hoisting ropes of metallurgical equipment by an optical method using neural networks. *Chernye Metally*, 2023(3), 81-88. – URL: doi:10.17580/chm.2023.03.13 (дата обращения: 11.02.2024)
12. Petrov, P. A., Shestakov, A. K., & Nikolaev, M. Y. (2023). Use of multifunctional crust breaker and machine vision system for acquisition and processing of aluminium reduction cell data. *Tsvetnye Metally*, 2023(4), 45-53. – URL: doi:10.17580/tsm.2023.04.06 (дата обращения: 11.02.2024)

13. Карасов, Д. А. Система визуального мониторинга высокотемпературных объектов / Д. А. Карасов, Ю. М. Кислицына, А. В. Гурко // Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование (ИУСМКМ-2023) : Материалы XIV Международной научно-технической конференции в рамках IX Международного Научного форума Донецкой Народной Республики, Донецк, 24–25 мая 2023 года. – Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2023. – С. 433-435. – EDN RNOEJO. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54993093>

14. Анализ деятельности промышленного предприятия с применением искусственного интеллекта [Electronic resource]. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45787360>. eISSN: 2313-7002 (дата обращения: 11.02.2024)

15. Chen T.H., Wu P.H., Chiou Y.C. An early fire-detection method based on image processing // Proceedings - International Conference, 2004. Vol. 3. P. 1707–1710. – URL: <http://dx.doi.org/10.1109/ICIP.2004.1421401> (дата обращения: 11.02.2024)

16. Chen T.H. et al. The smoke detection for early fire-alarming system base on video processing // Proceedings - 2006 International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, IИH-MSP 2006. 2006. P. 427–430. – URL: <http://dx.doi.org/10.1109/IИH-MSP.2006.265033> (дата обращения: 11.02.2024)

17. Romashev, A. O., Nikolaeva, N. V., & Gatiatullin, B. L. (2022). Adaptive approach formation using machine vision technology to determine the parameters of enrichment products deposition. Journal of Mining Institute, 256, 677-685. – URL: doi:10.31897/PMI.2022.77 (дата обращения: 11.02.2024)

18. Yu C., Mei Z., Zhang X. A Real-time Video Fire Flame and Smoke Detection Algorithm // Procedia Eng. No longer published by Elsevier, 2013. Vol. 62. P. 891–898. – URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2013.08.140>

19. Wang D.L. et al. Stability of a face guard in a large mining height working face // Int j simul model. 2021. Vol. 20. P. 547–558. – URL: <https://doi.org/10.2507/IJSIMM20-3-572> (дата обращения: 11.02.2024)

20. <https://figshare.com/s/1644c2e3d8295834ecf8> Электронный ресурс

21. <https://universe.roboflow.com/test-nhztk/fire-smoke-goam/dataset/2> Электронный ресурс (дата обращения: 11.02.2024)

22. – URL: <https://docs.ultralytics.com/ru> Электронный ресурс (дата обращения: 11.02.2024)

23. Фильтрация и редактирование изображений в python [Electronic resource]. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46199960> (дата обращения: 11.02.2024)

Рецензент: к.т.н., доц. О.В. Афанасьева

© Роголина А.Н., Станулис А.А., Кобозева Н.Г.

ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения
Императора Александра I», Российская Федерация

ГЕОТЕРМАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ОТОПЛЕНИЯ И ОХЛАЖДЕНИЯ: ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ

Аннотация. Цель проекта: проанализировать геотермальные системы отопления и охлаждения производственных помещений, позволяющие снизить затраты на энергоресурсы и уменьшить выбросы парниковых газов в атмосферу. Методы: в процессе выполнения работы использованы методы визуализации, сравнительного анализа, аналогии, обобщения. Результаты: в ходе проведения исследования были определены основные задачи внедрения и требования, предъявляемые к геотермальному отоплению и охлаждению.

Ключевые слова: геотермальные системы отопления, геотермальный теплообменник, тепловая установка.

Введение. Целью настоящего исследования является анализ и сравнение используемых геотермальных систем отопления и охлаждения производственных помещений. Производственные помещения отличаются от жилых размерами и объемами. При обогреве нежилых зданий не всегда возможно использование конвекционных систем охлаждения и отопления, которые распространены в жилых помещениях.

Большие размеры, сложная конфигурация, множество приборов, агрегатов и машин, большие технологические проёмы нарушают процесс конвекции, который основан на процессе подъема теплых слоев воздуха, при котором недопустимы даже малые вмешательства. Ключевыми требованиями к системе отопления и охлаждения являются автономность и надежность. С этой точки зрения актуальными являются современные разработки в сфере отопительных систем.

Основная часть. В основе работы систем геотермального отопления лежит разница между температурой воздуха на поверхности и температурой земли на глубине нескольких десятков метров, которая даже в зимнее время

составляет $+10 - +15^{\circ}\text{C}$. Помимо этого, при геотермальном отоплении не используются ископаемые, и, следовательно, не выделяются вредные газы, что делает его экологически чистым.

Отопление и охлаждение производственных помещений – это сложный технологический процесс. Работа такой системы зависит от двух основных факторов: большая площадь помещений и влияние процессов охлаждения и отопления на производственно-технологические процессы. Отопление больших помещений отличается высокой мощностью и большой надежностью, так как любые сбои приводят к большим материальным потерям [1].

Геотермальное отопление — это система с тепловой установкой в основе, которая в качестве источника использует бесплатное низкопотенциальное тепло земли, что позволяет уменьшить затраты на отопление до 80% по сравнению с ныне используемыми котлами. На данный момент времени мировой рынок тепловых насосов растёт. Ежегодные объёмы продаж, только на территории Европы, составляют более одного миллиона агрегатов, из них порядка 100 тыс. - геотермальные.

Принцип действия геотермального отопления заключается в том, что геотермальный теплообменник собирает тепло земли и дальше направляет его в тепловой насос, который преобразует его в высокотемпературное тепло, которое используется в системе отопления и для получения горячей воды. Затратив на работу 1 киловатт электроэнергии тепловой насос может перекачать 5 киловатт тепловой энергии из земли в зал супермаркета или склада (рис. 1).

Геотермальный теплообменник — это система полиэтиленовых труб, установленных под землёй. По трубам циркулирует теплоноситель, который собирает тепло земли (рис. 1). В условиях российского климата себя зарекомендовали геотермальные теплообменники двух типов: вертикального и горизонтального [2].

Система с применением геотермальных теплонасосов состоит из трех контуров.

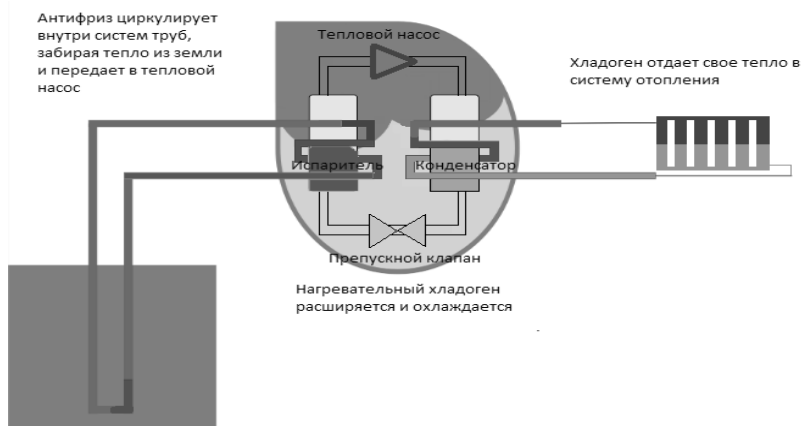


Рис. 1. Принцип работы теплового насоса [1]

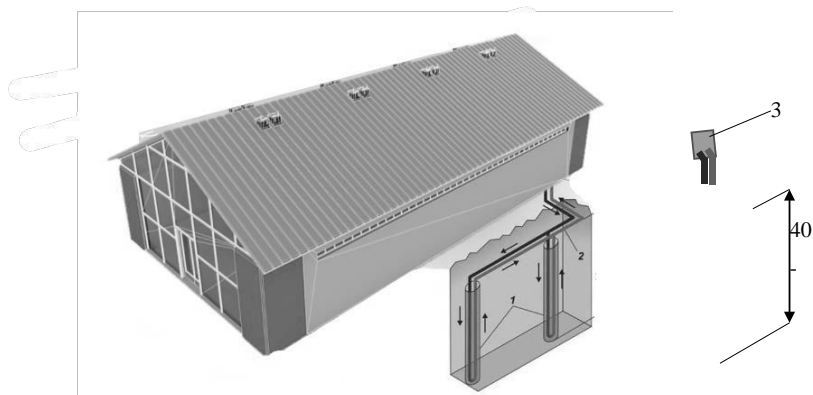


Рис. 2. Схема монтажа геотермального теплообменника: 1 – теплообменник в скважинах (система теплосбора); 2 – контур незамерзающего теплоносителя (тосол); 3 – тепловой насос

Внешний теплообменник — это замкнутая система труб с циркулирующим в них теплоносителем. Она поглощает низкотемпературную тепловую энергию. Внешний теплообменник размещается под землей или на дне водоемов.

В основном блоке теплонасоса встроен собственный замкнутый контур, по которому циркулирует хладагент, имеющий низкую температуру кипения. Контур проходит через испаритель, компрессор, конденсаторы и расширительный клапан.

Внутренний контур — это внутренняя система отопления и водоснабжения. Контуров взаимодействуют друг с другом по следующему принципу:

- теплоноситель внешнего теплообменника поглощает тепло окружающей среды и передает его теплоносителю второго контура;
- под действием этого тепла рабочая жидкость второго контура переходит в газообразное состояние и после сжатия компрессором сильно разогревается;
- потенциал тепловой энергии передается от второго к третьему контуру отопления, после чего рабочая жидкость во втором контуре конденсирует и процесс начинается повторно.

Летом система может работать на охлаждение, поддерживая комфортную (требуемую) температуру в помещениях. Разница лишь в том, что работа холодильника направлена на поглощение тепла внутри помещения и рассеивание его в окружающую среду. Геотермальные тепловые насосы выполняют противоположную работу, то есть забирают низкотемпературное тепло из внешних источников и используют его для выработки тепловой энергии необходимого объема [3].

Российский рынок тепловых насосов постепенно развивается. Одной из наиболее перспективных точек роста рынка является использование геотермальных систем отопления в коммерческих и инфраструктурных объектах с ограниченным доступом к коммунальным услугам (центральное отопление, газ, электричество). В связи с высокими тарифами на электроэнергию для юридических лиц и стремлением организаций повысить автоматизацию и автономность энергоснабжения зданий, использование геотермальных тепловых насосов в этом сегменте является оптимальным с экономической и эксплуатационной точек зрения.

Осенью 2020 года был реализован проект перевода здания супермаркета в Пермском крае на геотермальное отопление с использованием оборудования Thermex Energy. Исходные параметры объекта: здание площадью 1000 м² из сэндвич-панелей с утеплением, внутренняя система отопления — тёплые полы. Теплопотери здания при расчётной температуре – 35°С составляют 35 кВт.

На объекте была смонтирована система отопления на базе геотермального теплового насоса Thermex Energy Pr-35. Благодаря высокой температуре теплоносителя на входе в испаритель теплового насоса и низкой требуемой температуре воздуха в помещении (15°С) на данном объекте в моменте достигается высокое значение коэффициента COP — до 6,1 (Coefficient of Performance - обозначает отношение мощности обогрева к потребляемой мощности). Работы по установке геотермальной системы отопления включают три этапа.

1. На площадке проводятся буровые и монтажные работы.
2. Приобретается и доставляется оборудование и тепловой насос.
3. Монтируется внешний и внутренний контуры, соединяются через тепловой насос, затем проводятся пуско-наладочные работы.

Горизонтальный, вертикальный и подводный контуры имеют свои особенности монтажа. Горизонтальный трубчатый теплообменник укладывают ниже глубины промерзания. Если грунтовые воды пролегают высоко организуется песчаная подушка, предпринимаются меры, нивелирующие пучение, деформацию и выдавливание контура.

Длину горизонтального теплообменника определяют расчетом: 40 м труб на 1 кВт тепловой энергии. Для подобной системы может потребоваться участок до 2,5 соток. Вертикальный подземный контур почти на треть эффективнее горизонтального аналога. Глубину скважины рассчитывают из соотношения 10-30 м труб на 1 кВт (зависит от свойств пород). Если глубина получается слишком большой и экономически нецелесообразной, можно сделать несколько мелких скважин, дающих в сумме нужную мощность.

Система геотермального отопления, как и все остальные системы имеют свои положительные и отрицательные качества.

Преимущества:

- отопление является не только высокоэффективным, но еще и малозатратным;
- отмечается пожаробезопасность, так как сжигание топлива не происходит;
- длительный срок службы оборудования (в первую очередь, насоса);
- экологически чистый способ отопления без выделения токсинов и запаха;
- является многофункциональным, так как может давать и охлаждающий эффект.

В вопросе организации работы данного типа оборудования необходимо выделить один условный минус — крупные первичные затраты, которые понадобятся на установку системы. Также в качестве недостатка может выступать и ограниченность использования данного способа отопления. Например, в районах с крупной застройкой, трудно получить разрешение на проведение соответствующих видов земляных работ. В качестве единственного способа отопления геотермальное отопление можно использовать только, если в период отопительного сезона на улице температура не падает до заморозков. Поэтому оно подходит для промышленных помещений, где достаточно поддерживать уровень температуры не более 20 градусов [4].

Выводы. Систему, которая передает энергию от земли к отопительному оборудованию (насос, буферный бак), рекомендуется проверять дважды в год на предмет повреждений, появления ржавчины, коррозии, окислений. Осмотр проводится перед началом отопительного сезона и на этапе его завершения. Необходимо один раз в полгода проверять химический состав теплоносителя и его кислотность для того, чтобы ресурс выполнял свою функцию. Досмотр водяных фильтров и теплообменников аналогично рекомендуют проводить раз в шесть месяцев. Желательно перед и после отопительного сезона. Чтобы и далее сохранить отопление энергией земли в рабочем состоянии, при обнаружении закупорок и налета, обязательно проводят прочистку [6].

От чего зависит стоимость системы: от стоимости обустройства внешнего контура (горизонтальная или вертикальная укладка) – зависит от площади участка, ландшафта и особенностей грунта; от вида теплоносителя (незамерзающая жидкость или антифриз, фреон); от марки и страны-изготовителя теплового насоса и комплектующих; от глубины скважин; от гидрогеологических условий (наличие горных пород) [5,6].

В среднем установка геотермального отопления «под ключ» обходится в 1 млн. руб. для площади производственного помещения 700 м².

Геотермальное отопление по стоимости расходов в ценах 2023 года и удобству эксплуатации приравнивается к отоплению магистральным газом, при этом полностью взрывобезопасно и просто в установке и эксплуатации. Все остальные способы отопления либо существенно дороже, либо требуют больших ежедневных трудозатрат. Тенденции удорожания энергоносителей в обозримом будущем приведут к выравниванию российских цен с ценами для европейских потребителей.

Библиографический список

1. Брусицын В.А. Геотермальные системы отопления и охлаждения. М.: Издательство АСВ, 2009 г. - 192 с.
2. Гуриев Г.А., Николаев И.А. Инженерно-геологические проблемы разработки геотермальных пластов. Уфа: Университетская книга, 2005.
3. Ерёмкин, А.И. Тепловой режим зданий: учебное пособие / А.И. Ерёмкин, Т.И. Королева. – М.: Изд-во АСВ, 2000. – 368 с
4. СП 60.13330.2020. Свод правил. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. СНиП 41-01-2003.
5. Статья "Оценка экономической эффективности использования геотермальных систем в зданиях" / И.В. Петров и др. - В сборнике "Теплоэнергетика", 2017, №6, с. 48-55.
6. Тихомиров, К.В. Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция: учебник для вузов / К.В. Тихомиров, Э.С. Сергеевко. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1991. – 480 с.

Рецензент: к.т.н., доц. Е. К. Коровяковский

© М. А. Руснак

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы
Екатерины II», Российская Федерация

**СИСТЕМНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
СТРУКТУРНОГО ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ ИТ-КОМПАНИИ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДЕЛЕЙ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
(НА ПРИМЕРЕ ООО «ГАЗПРОНЕФТЬ – ЦИФРОВЫЕ РЕШЕНИЯ»)**

Аннотация: В статье рассматривается применение основных методов системного анализа для создания имитационной модели системы массового обслуживания. Синтезированная модель позволит описать процесс поступления заявок от пользователей в отдел технической поддержки и выявить эффективность обслуживания в подразделении. Множественный регрессионно-корреляционный анализ позволит выявить количественное влияние факторов на формирование потока событий в модели. Первоначальное определение факторов производится с помощью метода априорного анализа на основании экспертных оценок, выявленных в ходе опроса экспертов. Предоставлен график распределения факторов по степени влияния и алгоритм действия модели СМО.

Ключевые слова: системный анализ, регрессионный анализ, корреляционный анализ, априорное ранжирование, система массового обслуживания (СМО), техническая поддержка.

Введение. ИТ-компании являются поставщиками многих информационных продуктов, которые используют, как внутри самой компании, так и за её пределами, предоставляя доступ к разработанным системам своим партнёрам и клиентам. Доля использования информационных технологий в процессах предприятия растёт [1], что повышает количество обращений в отдел технической поддержки. Это может повысить время обслуживания заявок, что может негативно сказаться на репутации компании. В силу этого исследования проблем обработки заявки техподдержкой методами системного анализа поможет повысить эффективность работы отдела [2,3].

В отдел технической поддержки поступает множество заявок от пользователей различных информационных систем. Пользователь заполняет заявку, описывая и классифицируя возникшую проблему. Заявки попадают в систему технической поддержки и распределяются между сотрудниками. Многие из заявок обрабатываются быстро, но некоторые «зависают». Следует рассмотреть причины, по которым заявки могут быть не обработаны и выработать решения по сокращению времени обработки заявки и повышению эффективности работы сотрудников.

Предмет исследования: значимость факторов влияния на процессы компании можно оценить с помощью метода априорного ранжирования. На основе оценок (где самый значимый фактор занимает первое место), полученных в результате опроса экспертов, составляется таблица, в которой представлены ранги факторов. Согласованность мнений проверяется с помощью коэффициента конкордации. Если он близок к единице, то строится диаграмма рангов - график сумм рангов по каждому фактору и, согласно, например, критерию Линка-Уоллеса выбирается группа наиболее значимых факторов [4]. Далее эти факторы выражаются количественно, чтобы провести регрессионный анализ для выявления уравнение регрессии и узнать тесноту связи между факторами. Корреляционный анализ позволит исключить повторяющихся агентов и выявить наиболее важные [5,6] В результате исключения таких факторов составляется новое регрессионное уравнение, которое можно использовать для моделирования процесса обработки заявок [7,8].

Исследование. Результатом проводимой работы является составление алгоритма модели системы массового обслуживания для её синтеза в дальнейших исследованиях. Структура исследования представлена на рис. 1:

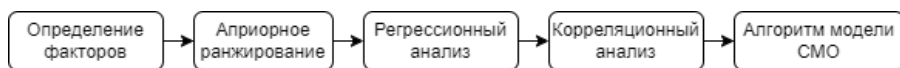


Рис. 1. Структура исследования

С помощью априорного ранжирования по критерию Линка-Уоллеса было выбрано три наиболее важных из восьми анализируемых причин, из-за которых решение по заявке, поступившей в отдел техподдержке, было отложено:

- 1) Отсутствие/Недостаток справочной информации;
- 2) Введение нового ПО;
- 3) Недостаточная квалификация сотрудников.

Расчёт регрессионной модели происходил в MS Excel с помощью встроенного инструмента анализа данных. Перед её синтезом был проведён корреляционный анализ (табл. 1), показавший, что ни один из факторов не дублирует другой.

Таблица 1. Корреляционная связь между факторами и результатом

	Время ожидания
В ож. рел. даты	0,58
Вып. копм. зад.	-0,27
Вып. в рамках проекта/гарант. поддержки	0,23
Инициатор перенес вып. работ на др. срок	0,03
Нет оборуд./лицензий	0,15
Ож. предост. сет. дост. на межсет. экр.	0,29
Передано внеш. исп.	0,79
Треб. согл. вып. работ заказ.	0,43
Время ожидания	1,00

Полученные результаты согласуется с данными, полученными с помощью метода априорного ранжирования: передачу внешнему исполнителю можно интерпретировать, как показатель недостаточной квалификации сотрудников, «в ожидании релизной даты» рассматривается, как несовершенство ПО, так как это означает, что проблема возникла в программе и в последующем обновление она будет исправлена. «Требуется согласование выполнения работ с заказчиком» говорит о недостаточном количестве сведений, предоставленных пользователем для решения проблемы.

Уравнение регрессии с восемью факторами является статистически значимым [9]. Различия между фактическими и расчётными минимально (рис. 2). Ошибка аппроксимации равна 5,57%.



Рис. 2. Графики значений

Полученные в ходе исследования данные будут использоваться в моделировании системы обработки заявок технической поддержки [10]. Алгоритм модели представлен на рис. 3:

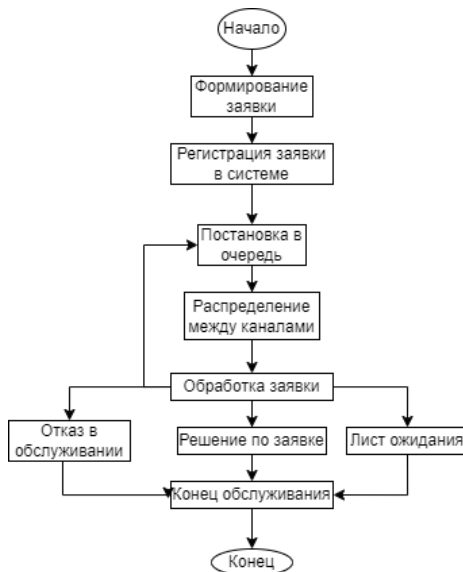


Рис. 3. Алгоритм модели СМО

Данная модель поможет найти ошибки в работе технического отдела и выработать рекомендации по увеличению эффективности его работы.

Заключение. Таким образом, методы системного анализа позволяют выявить количественную интерпретацию качественных навыков для реализации моделей прогнозирования, оптимизации и для других целей. Результатом использования этих методов в проведённом исследовании стала разработка алгоритма работы СМО. Полученные данные могут быть направлены на реализацию полученного алгоритма.

Библиографический список

1. Прохоров П.Э. Динамика цифровой трансформации организаций в Российской Федерации // Статистика и экономика. 2021. №4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dinamika-tsifrovoy-transformatsii-organizatsiy-v-rossiyskoj-federatsii> (дата обращения: 14.02.2024).

2. Афанасьева, О. В. Исследование направлений и моделей развития организации на основе информационно- статистического анализа (на примере Санкт- Петербургского государственного бюджетного учреждения дополнительного профессионального образования "Центр последипломного образования специалистов медицинского профиля") / О. В. Афанасьева, М. А. Вилинская // Системный анализ в проектировании и управлении : Сборник научных трудов XXI Международной научно-практической конференции: в 2-х томах, Санкт-Петербург, 29–30 июня 2017 года. Том 1. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2017. – С. 450-456. – EDN ZGGIWR.

3. Афанасьева, О. В. Анализ деятельности компании ООО "Высота" с использованием информационно-статистических методов / О. В. Афанасьева, А. В. Бандурова // Системный анализ в проектировании и управлении : Сборник научных трудов XXI Международной научно-практической конференции: в 2-х томах, Санкт-Петербург, 29–30 июня 2017 года. Vol. 2. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2017. – Р. 392-402. – EDN ZGGKLL.

4. Бакуменко Людмила Петровна Методика априорного ранжирования факторов качества жизни населения // Статистика и экономика. 2011. №1. URL:

<https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-apriornogo-ranzhированиya-faktorov-kachestva-zhizni-naseleniya> (дата обращения: 21.02.2024).

5. Швецов Ю.Г., Сабельфельд Т.В. Использование методов множественного корреляционно-регрессионного анализа для диагностики финансовой несостоятельности предприятий // Финансы и кредит. 2010. №25 (409). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-metodov-mnozhestvennogo-korrelyatsionno-regressionnogoanaliza-dlya-diagnosticsi-finansovoy-nesostoyatelnosti> (дата обращения: 21.02.2024).

6. Experimental Study Results Processing Method for the Marine Diesel Engines Vibration Activity Caused by the Cylinder-Piston Group Operations / O. Afanaseva, O. Bezyukov, D. Pervukhin, D. Tukeyev // Inventions. – 2023. – Vol. 8, No. 3. – P. 71. – DOI 10.3390/inventions8030071. – EDN PSWKQY.

7. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023660137 Российская Федерация. Программа имитационного моделирования многоканальной системы массового обслуживания с варьируемым числом каналов : № 2023619645 : заявл. 18.05.2023 : опубли. 18.05.2023 / В. Е. Титов, В. А. Навацкая, С. К. Нейрус, О. В. Афанасьева ; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения". – EDN SZAGDL.

8. Афанасьева, О. В. Анализ деятельности транспортной компании ООО "НОРД ГРУПП" как системы массового обслуживания / О. В. Афанасьева, Ю. Г. Иванов // Системный анализ в проектировании и управлении : Сборник научных трудов XIX Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 01–03 июля 2015 года. Том Часть 1. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого", 2015. – С. 304-310. – EDN UTBRMP.

9. Максимова Т.Г., Попова И.Н. Эконометрика: учебно-методическое пособие / Т.Г. Максимова, И.Н. Попова. – СПб.: Университет ИТМО, 2018. – 70 с.

10. Иванов Р.В., Маятин А.В., Михайленко А.Е. Моделирование процесса обработки заявок в службе технической поддержки сложных технических систем // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2007. №44. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/modelirovanie-protssessa-obrabotki-zayavok-v-sluzhbe-tehnicheskoy-podderzhki-slozhnyh-tehnicheskikh-sistem> (дата обращения: 21.02.2024).

Рецензент: д.т.н., проф. И.Б. Арефьев

© А. Е. Соколов, А. А. Простак, К. И. Кузьмин

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы
Екатерины II», Российская Федерация

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ И DATA MINING КАК СРЕДСТВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

Аннотация: Статья посвящена исследованию литературных источников по теме интеллектуализации производства, технологий Интернета Вещей и интеллектуального анализа данных в контексте их применения к ней. В статье рассматривается концепция Индустрии 4.0 и связанные с ней технологии, описывается обобщенное строение Интернета Вещей и его отличия от классических систем автоматизации, а также описывается классификация и свойства систем централизованного и децентрализованного интеллектуального анализа данных.

Ключевые слова: Индустрия 4.0, Интернет Вещей, интеллектуальный анализ данных, распределенный интеллектуальный анализ данных, интеллектуализация производства.

Введение. В настоящее время благодаря ускоренному темпу развития информационных технологий промышленность преобразуется, превращаясь в умное производство. Сочетание существующих возможностей производства с цифровыми технологиями позволяет получать качественные продукты за сравнительно небольшое время с оптимальным распределением ресурсов [1].

Умное производство подразумевает использование машин, получающих данные непосредственно из происходящих на производстве физических процессов и делающих решения на основе этих данных.

Так как в умном производстве таких машин может быть множество, и они могут выполнять разные операции на различных стадиях создания продукта, резко встает вопрос объединения всех этих источников данных, чтобы получить целостную картину производственного процесса, а также создания средств, благодаря которым можно обработать всю информацию, полученную от них.

Помочь в этом могут быть технологии Интернета Вещей, позволяющая соединить различные устройства в одну сеть, а также наладить между ними каналы связи и технология Data Mining, благодаря которой из полученных данных можно будет получить ценные знания для упрощения процесса принятия решений.

Индустрия 4.0 и связанные с ней технологии. Интеллектуализация производства включает в себе использование цифровых технологий, позволяющих предприятиям лучше распределять ресурсы между людьми и машинами как внутри заводов, так и по цепочке поставок с целью увеличения конкурентоспособности и эффективности [2]. Жесткая иерархическая структура производства заменяется многоуровневой и сервисно-ориентированной, в которой потоки данных не имеют ограничений по времени или пространству [3]. Наиболее точно эта концепция описывается термином «Индустрия 4.0», впервые сформулированном на Ганноверской промышленной выставке-ярмарке в 2011 году. Этот термин ссылается на три предыдущие промышленные революции, каждая из которых коренным образом изменила подход человечества к производству – от появления паровых машин и электрической энергии до изобретения компьютера с автоматизированными производственными машинами [4].

Индустрия 4.0 ставит перед собой цель повышения уровня автоматизации путем общей цифровизации производственных процессов и обеспечения устойчивой коммуникации между людьми и устройствами [5].

На предприятиях, работающих по стандарту Индустрии 4.0, производственный процесс от создания продукции до её выпуска контролируется при помощи умных устройств, соединенных между собой по сети Интернет и предоставляющих сведения о состоянии процессов в реальном времени. Достичь этого уровня автоматизации позволяют исследования и разработка следующих технологий [6]: киберфизические системы; облачные вычисления; граничные вычисления; интеллектуальный анализ данных (Data Mining); технологии коммуникации; блокчейн-технологии; машинное обучение; Интернет Вещей.

Киберфизические системы представляют собой вычислительные комплексы устройств, находящиеся в тесной связи с физическим миром и обладающие возможностями получать и обрабатывать данные, передаваемые

по сети, а также использовать эти данные для изменения происходящих на производстве процессов [7]. Облачные и граничные вычисления можно определить, как предоставление вычислительной мощности сегментам сети по требованию. Обе технологии позволяют обрабатывать полученную информацию и строить сетевую инфраструктуру, состоящую из сравнительно небольшого числа дорогих устройств с вычислительной мощностью и большого числа недорогих устройств, генерирующих данные и отправляющих их по сети [8]. В процессе умного производства все устройства, датчики и киберфизические системы генерируют огромное количество информации, называемой большими данными. Сложность обработки больших данных состоит в том, что ввиду их размера их нельзя получать, хранить, передавать и анализировать стандартными вычислительными средствами за приемлемое время. Однако, анализ больших данных в реальном времени позволяет предприятиям найти проблемы в процессе производства, понять их причину и влияние, а также найти решение этих проблем [9].

Технологии коммуникации занимают важное место в концепции Индустрии 4.0. В условиях, когда большая часть производственных устройств соединена между собой с помощью сети Интернет, необходимо использовать такие технологии коммуникации, чтобы они обеспечивали высокую пропускную способность, защищенность и меньший расход заряда батарей [10].

Блокчейн – это связанная структура данных, представляющая из себя блок, хранящий собственную хэш-сумму и хэш-сумму предыдущего блока, что в результате обеспечивает целостность и защищенность передаваемой информации. Впервые данная технология была использована для хранения информации о транзакциях на платформе криптовалюты Биткоин. В силу того, что вся информация в блоке закодирована и хранится у каждого из участников транзакции и любые её изменения легко обнаружимы, технология блокчейна может использоваться для повышения безопасности сетевой архитектуры предприятия [11].

Машинное обучение – это оперируемые на данных методы, созданные с целью выполнения нетривиальных задач, которые включают в себя классификацию, оптимизацию, прогнозирование, редукцию и визуальную информатику. Эти методы «обучаются» за счет решения сходных задач, что

делает каждое последующее их исполнение более эффективным и ценным [12].

Интернет Вещей. Термин «Интернет Вещей» (IoT) появился в 1999 г. и последующее время его концепция многократно менялась благодаря развитию сетевых технологий. Она состоит в объединении умных устройств, называемых «вещами», в сети. Умные устройства получают, хранят и обрабатывают информацию с последующей её передачей пользователям. IoT применяется во многих сферах деятельности человека – от умных домов и городов до здравоохранения и умного производства [13]. От классических систем автоматизации IoT отличает ряд особенностей [14]:

1. Динамичность и адаптивность: устройства Интернета Вещей должны адаптироваться к меняющимся условиям операционной среды и совершать действия в зависимости от текущего состояния, запроса пользователя или изменений среды.

2. Самонастройка: устройства должны обладать возможностью автоматически подключаться к сети и друг к другу, а также получать обновления программного обеспечения.

3. Интероперабельные протоколы коммуникации: в силу того, что IoT должен объединять множество устройств с разными архитектурами и передаваемыми данными, то эти устройства должны работать по общим протоколам.

4. Уникальная идентификация. Одна из ключевых особенностей IoT.

5. Интеграция в информационную сеть - все устройства IoT соединены в сеть, которая позволяет им обмениваться информацией.

6. Контекстная осведомленность: информация, получаемая от датчиков, позволяет устройствам получить сведения об окружающей их среде (контексте).

7. Возможность умного принятия решений: устройства IoT сотрудничают между собой и используют полученную датчиками информацию для принятия решения и влияния на физический процесс.

IoT можно разделить на функциональные блоки, играющие различные роли в его экосистеме [15]:

- Блок устройств. Устройства должны обладать функциями восприятия, приведения в действие и взаимодействия с другими устройствами.

Функции восприятия осуществляются умными датчиками, возможности которых позволяют отслеживать сложные производственные системы [16].

- Блок коммуникации. Устройства должны быть соединены между собой при помощи, как правило, беспроводных технологий передачи данных.
- Блок сервисов. Переданная от устройств информация хранится в Облаке, которая затем обрабатывается либо внутри Облака, либо на граничных узлах сети, и к ней пользователь может получить доступ при помощи сервисов.
- Блок менеджмента. Предоставляет функции управления ИОТ.
- Блок безопасности. Данный функциональный блок защищает систему ИОТ, предоставляя такие функции как аутентификация, авторизация, приватность, целостность сообщений и защита данных.

Появлению ИОТ способствовало изобретение двух технологий – радиочастотной идентификации и беспроводных сенсорных сетей [17]. Радиочастотная идентификация (Radio Frequency Identification) позволяет устройствам ИОТ обнаруживать и идентифицировать другие умные вещи. Система радиочастотной идентификации состоит из тега и ридера. Тег содержит в себе чип, прикрепленный к устройству и служит его идентификатором, а ридер, в свою очередь, считывает идентификатор и отправляет его другим устройствам посредством радиоволн [19]. Для Индустрии 4.0 ИОТ представляет позволяет связать между собой все необходимые технологии и аспекты для достижения интеллектуализации производства. Сеть умных устройств позволяет координировать действия автоматизированных машин для улучшения эффективности, продуктивности и возможности дистанционного внесения изменений в систему [19].

Централизованный и распределенный Data Mining. Data Mining, представляет совокупность технологий, методов и техник, позволяющую обнаружить ценные и возможные для практического применения знания в зачастую больших объемах данных [20].

Data Mining и области его применения постоянно расширяются.

Среди них можно выделить бизнес-сектор, маркетинг и сферу продаж, био-информатику, климатологию, банковское и финансовое дело, электронную коммерцию, судебно-медицинскую экспертизу и криминальные расследования, государственные реестры и многое другое.

В выделенных сферах деятельности каждая из них имеет дело с обработкой и применением в их работе методов Data Mining даст выгодные преимущества [21]. Data Mining является частью процесса обнаружения знаний в базах данных (Knowledge Discovery in Databases). Сам процесс обнаружения состоит из следующих этапов – выбор данных, их предобработка с их последующей трансформацией, если это необходимо, самого процесса Data Mining и интерпретации полученных результатов.

«Большие данные» (Big Data), представляют собой такие наборы данных, которые нельзя обработать стандартными методами и техниками [19]. Данные легче создавать, чем их анализировать, и многие устройства IoT подчиняются этому правилу: они способны генерировать большие объемы информации в сравнительно небольшие сроки. В случае, когда в сети находится множество таких устройств, данные, создаваемые ими, будут автоматически считаться «большими» и иметь все присущие им черты. На пересечении двух технологий, появились новые техники Data Mining, которые могут быть условно разделены на 4 категории, две из которых основаны на расположении их выполнения, а другие две на режиме их работы [20]:

1. Классификация по расположению выполнения:

- Бортовые техники Data Mining (Onboard). Алгоритмы бортовых техник создаются для беспроводных сенсорных сетей и небольших устройств с вычислительными способностями и выполняются на них. Смысл бортовых техник состоит в возможности создания умных устройств, способных не только получать информацию из окружающего мира, но и интерпретировать события в нем и реагировать на них.

- Облачные техники Data Mining (Cloud-based). В сравнении с бортовыми техниками, в облачных техниках существует граница между получением информации от вещей и её обработкой.

- Полученные от устройств данные сохраняются в хранилищах и могут быть использованы для долгосрочного анализа. Работа вещей сфокусирована на процессе сбора, что позволяет создавать расширяемые и географически удаленные сети с меньшими затратами, чем при бортовом подходе.

2. Классификация по режиму работы:

- Стриминговые техники Data Mining (Streaming). Задействуются на активной информации в областях, где важна её обработка в реальном времени и присутствует высокая скорость её генерации.

- Пакетные техники Data Mining (Batch). В отличие от стриминговых, пакетные техники применяются на сохраненной заранее информации. В силу того, что в них нет необходимости обрабатывать данные в реальном времени, эти техники по определению можно считать облачными. Однако, при применении интеллектуального анализа данных к технологии ИОТ исходя из существующей классификации техник можно заметить, что традиционный подход к Data Mining, в котором данные собираются в централизованное хранилище, может не сработать из-за слишком большой нагрузки на сеть при передаче данных или слишком больших затратах на размер хранилища [21]. Для аналогичных ситуаций, когда хранить данные в одном месте является затратным и нецелесообразным, появилась технология, называемая распределенным Data Mining (Distributed Data Mining или DDM). Архитектура систем распределенного Data Mining отличается от традиционной тем, что она включает в себя несколько узлов обработки и хранения, каждый из которых обладает независимыми вычислительными мощностями и пространством для хранения информации.

Системы распределенного Data Mining обладают следующими свойствами [21]:

- Расширяемость. Алгоритмы и техники, задействованные системой не должны зависеть ни от объема обрабатываемой информации, ни от размера сети, в которой они выполняются;

- Доступность обработки узлами в любое время;

- Асинхронность. Алгоритмы и техники, должны работать независимо друг от друга и свести процесс синхронизации результатов между всеми узлами к необходимому минимуму во избежание нагрузок на сеть и пространство.

- Децентрализация хранения и обработки данных.

- Отказоустойчивость сети. Узлы обработки и хранения должны корректно реагировать на выход из строя или выключение своих соседей без вреда для данных и результатов обработки.

Все эти свойства способны принести существенную ценность к каждому классу техник Data Mining для IoT. В случае бортовых и стриминговых техник асинхронные алгоритмы DDM позволят анализировать данные без их долгосрочного накопления. Для облачных и пакетных техник DDM позволит создать расширяемую сеть, способную обрабатывать большие данные на нескольких узлах одновременно.

Помимо архитектуры распределенный Data Mining отличается от традиционного ещё и принципами своей работы. Если в традиционном варианте широко известны техники такие, как классификация, кластеризация, ассоциативные правила, последовательный анализ шаблонов и многие другие задействуются на одном наборе данных в хранилище, то в распределенном варианте они асинхронно выполняются на различных узлах на различных наборах данных. Для преодоления этих сложностей ученым сообществом было использовано два подхода: локальные алгоритмы и модель вычислений Newscast [25].

Заключение. В настоящее время происходит процесс интеллектуализации производств с целью повысить их эффективность и качество продукции. Интеллектуализация производства достижима при использовании информационных технологий, направленных на сбор, передачу и обработку информации о физических процессах. Использование IoT в промышленности позволяет связать между собой все источники информации о происходящих физических процессах и построить целостную картину производства, однако его устройства чаще всего генерируют большие данные, которые тяжело или невозможно обработать стандартными инструментами.

Техники и алгоритмы Data Mining позволяют получить из устройств IoT ценную информацию, которую можно использовать в процессе принятия решений. Таким образом, сочетание технологии IoT и интеллектуального анализа данных, в том числе и распределенного, позволит производствам достичь стандартов Индустрии 4.0.

Библиографический список

1.Калиничева, В. А. "DHARMA system" - управление производством с использованием нейросетевых технологий // Техника и технологии машиностроения: материалы VII

Международной научно-технической конференции, Омск, 21–23 мая 2018 года. – Омск: Омский государственный технический университет, 2018. – С. 4-8.

2.Cali M. Smart manufacturing technology. Applied Sciences (Switzerland), 2021, 11(17). <https://doi.org/10.3390/app11178202>

3.Овчинникова, И. М. Развитие цифровой экономики в нефтегазовой сфере // Устойчивое развитие цифровой экономики, промышленности и инновационных систем: Сборник трудов научно-практической конференции с зарубежным участием, Санкт-Петербург, 20–21 ноября 2020 года / Под редакцией Д. Г. Родионова, А. В. Бабкина. – Санкт-Петербург: ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2020. – С. 129-134. – <https://doi.org/10.18720/IEP/2020.7/37>.

4.You Z., Feng L. Integration of Industry 4.0 Related Technologies in Construction Industry: A Framework of Cyber-Physical System. IEEE Access, 2020, 8, 122908-122922. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.300720640>

5.Malik B.H., Zainab Z., Mushtaq H., Yousaf A., Latif S., Zubair H., Malik S., Sehar P. Investigating technologies in decision based internet of things, internet of everything and cloud computing for smart city., 2019, 10(1), 580-587. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2019.0100173>

6.Qi Q., Tao F. Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0: 360 Degree Comparison. IEEE Access, 2018, 6, 3585-3593. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2793265>

7.Sasiain J., Sanz A., Astorga J., Jacob E. Towards flexible integration of 5G and IIoT technologies in industry 4.0: A practical use case. Applied Sciences (Switzerland), 2020, 10(21), 1-20. <https://doi.org/10.3390/app10217670>

8.Banerjee M., Lee J., Choo K.-K.R. A blockchain future for internet of things security: a position paper. *Digital Communications and Networks*, 4(3), 2018, 149-160. <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2017.10.006>

9.Жуковский, Ю. Л. Техническая диагностика и прогнозирование состояния электромеханического оборудования на основе технологии "промышленного IIoT. – 2017. – Т. 1. – С. 33-39.

10.Ray P.P. A survey on Internet of Things architectures. Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences, 2018, 30(3), 291-319. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2016.10.003>

11.Nagajayanthi B. Decades of Internet of Things Towards Twenty-first Century: A Research-Based Introspective. Wireless Personal Communications, 2022, 123(4), 3661-3697. <https://doi.org/10.1007/s11277-021-09308-z>

12.Schutze A., Helwig N., Schneider T. Sensors 4.0 - Smart sensors and measurement technology enable Industry 4.0. Journal of Sensors and Sensor Systems, 2018, 7(1), 359-371. <https://doi.org/10.5194/jsss-7-359-2018>

13.Lombardi M., Pascale F., Santaniello D. Internet of things: A general overview between architectures, protocols and applications., 2021, 12(2), 1-21. <https://doi.org/10.3390/info12020087>

14. Yusoff Z.Y.M., Ishak M.K., Alezabi K.A. (2021). The role of RFID in green IoT: A survey on technologies, challenges and a way forward. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems*, 6(1), 17-35. <https://doi.org/10.25046/aj060103>

15. Majid M., Habib S., Javed A.R., Rizwan M., Srivastava G., Gadekallu T.R., Lin J.C.-W. Applications of Wireless Sensor Networks and Internet of Things Frameworks in the Industry Revolution 4.0: A Systematic Literature Review. *Sensors*, 2022, 22(6). <https://doi.org/10.3390/s22062087>

16. Малыхина, А. М., Анкудинов И. Г. Методы интеллектуального анализа данных // Информатика, управляющие системы, математическое и компьютерное моделирование (ИУСМКМ-2023): Материалы XIV МНБТК в рамках IX Международного Научного форума ДНР, Донецк, 24–25 мая 2023 года. – Донецк: Донецкий НТУ, 2023. – С. 243-248.

17. Маховиков, А. Б., Лутонин А. С., Крыльцов С. Б. Инструменты для обработки больших объемов информации и перспективы их использования в горнодобывающей промышленности // Высокие технологии и инновации в науке: сборник избранных статей Международной научной конференции, Санкт-Петербург, 27 ноября 2020 года. – СПб: Частное научно-образовательное учреждение дополнительного профессионального образования Гуманитарный национальный исследовательский институт «НАЦРАЗВИТИЕ», 2020. – С. 164-169. – <https://doi.org/10.37539/VT188.2020.93.31.022>.

18. Garcia C., Alvarez-Fernandez E. (2022). What Is (Not) Big Data Based on Its 7Vs Challenges: A Survey, *Big Data Cogn. Comput*, 6(4), 158. <https://doi.org/10.3390/bdcc6040158>

19. Lainjo B., Tmouche H. The Dynamics and Implications of the Internet of Things on Data Mining, *International Journal of Information Systems and Informatics*, 2023, 4 (2), 2746-1378. <https://doi.org/10.47747/ijisi.v4i2.1168>

20. Rekha Sunny T, Sabu M. Thampi. Survey on Distributed Data Mining in P2P Networks, 2012. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1205.3231>

21. Marcozzi A., Mazzini G. Exploring Peer-To-Peer Data Mining, *The Sixth International Conference on Computer Science, Engineering and Information Technology*, 2016, 165–174. <https://doi.org/10.5121/csit.2016.60613>

Рецензент: к.т.н., доц. А.В. Гурко

АНАЛИЗ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ ТЕПЛООБМЕННИКА В ПРОЦЕССЕ СЖИЖЕНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА

Аннотация. В работе осуществляется обзор последних исследований, направленных на моделирование теплообменников, которые используются для получения сжиженного природного газа. По результатам анализа формируется предпочтительная конфигурация и направление дальнейшего проектирования.

Ключевые слова: сжиженный природный газ, теплообменник, математическая модель, моделирование смеси, система контроля и управления.

Введение. В настоящее время природный газ (ПГ) выступает в качестве одного из ключевых низкоуглеродистых энергетических ресурсов в России и мире за счёт обладания высокой эффективностью сгорания, а также вариативности в его транспортировке. Традиционный метод поставки ПГ предполагает прокладку трубопровода от места постоянной добычи или производства непосредственно до потребителя. Его удобство заключается в том, что передача больших объёмов газа происходит с минимальными потерями, а сам процесс быстр и круглогодичен ввиду наличия полной автоматизации. Однако данный способ не всегда может быть возможен и экономически рентабелен по причине того, что большинство потенциальных месторождений располагается в удалённых и труднодоступных для прокладки местах, например, на Арктическом шельфе [1,2]. В связи с этим возникает необходимость в создании и развитии направления, подразумевающего реализацию сообщения ПГ на транспорте по морю или суше, для которого газ требуется интенсивно охладить с удалением примесей до состояния сжиженного природного газа (СПГ) [3].

Технологическая цепочка транспортировки СПГ предполагает различные этапы работы с ним, в том числе: производство, хранение и поддержание охлаждённого состояния повторной газификацией, погрузка, непосредственно перемещение на транспорте, разгрузка и регазификация. При этом, как отмечается в работе Цзяо Ю. и др. «Анализ и перспективы обеспечения безопасности цепочки поставок СПГ» [4], наибольшее количество ситуаций, влекущих за собой дорогостоящие аварии, происходит непосредственно в моменте обработки ПГ, чего можно избежать, если вовремя организовать оптимизацию процесса сжижения СПГ и автоматизированный контроль за его поведением. Так, по результатам предыдущей работы было установлено, что наибольшей важностью среди устройств, обеспечивающих получение СПГ и нуждающихся в внедрении систем управления вне зависимости от типа применяемого холодильного цикла сжижения, является теплообменник. Это обусловлено тем, что именно в нём происходит основное охлаждение и конденсация потока продукта, сопровождаемые потерями энергии, которые, в свою очередь, зависят от его эффективности и надежности и критически влияют на эксплуатационные расходы устройства, определяя качество производства. Помимо этого, при некачественной очистке или частичном отказе от неё, ввиду дороговизны и необходимости внедрения дополнительного оборудования, в теплообменнике способны образовываться кристаллизованные затвердевания тяжелых примесей, содержащихся в ПГ, если их концентрация в потоке превышает предел растворимости. Вызванная тем самым закупорка труб может привести к снижению теплопередачи или стать причиной полной остановки линии сжижения для ручного растворения твёрдой фазы.

Для обнаружения точек потенциального возникновения осаждения твердых слоев внутри теплообменника и заблаговременного предотвращения критической ситуации предлагается синтезировать распределённую систему управления состоянием теплообменника [5,6], для создания которой требуется определить необходимый математический аппарат, регулируемые величины и способы воздействия на них, чтобы сформировать математическую модель

объекта. Исходя из этого, цель данной статьи заключается в анализе существующих моделей и методов исследования теплообменников за последнее время с выявлением предпочтительной конфигурации для дальнейшей работы.

Анализ моделей теплообменника для получения СПГ. На сегодняшний день пластинчато-ребристые теплообменники выделяются среди других разновидностей моделей благодаря приемлемости их характеристик тепловой эффективности из-за увеличенной удельной поверхности теплопередачи, удобства конструкции для средне- и крупнотоннажных производств СПГ ввиду возможности работать с несколькими потоками различных температур и давлений, а также гибкости в создании новых образцов. Основной проблемой данных теплообменников является склонность к засорению из-за небольшой величины проточных каналов и, как следствие, требовательность к фильтрации сырья при невозможности осуществления механической очистки непосредственно внутри устройства. Перспективность их применения особенно прослеживается в установках с регенераторами, например, для осушки и вымораживания углекислого газа, чтобы снизить разность температур потоков и улучшить условия самоочищения [7].

В то же время, большинство исследований, сопровождаемых разработкой математической модели, направлено на изучение проблем спиральновитых теплообменников, которые, в отличие от вышеназванных, в меньшей степени подвержены закупориванию, но в той же мере активно применяются в процессе получения СПГ, однако более затратны в производстве, а также имеют сложности в вопросе теплопередачи двухфазного потока вне труб, по которым осуществляется его движение [8]. При этом, полученные для них данные, могут использоваться и в отношении пластинчато-ребристых, например, в вопросах корреляции результатов с учётом нестабильности потока, описывающей ситуацию, когда несколько скоростей потока могут привести к перепаду давления в канале, и разделению фаз, способных к осаждению [9].

Наиболее полный обзор реализаций моделей теплообменников данного типа представлен в работе И. Архарова и др. [10]. В ней авторами отмечается, что, поскольку ПГ является зеотропной или незеотропной смесью, т.е. совокупностью жидких компонентов, имеющих различные теплофизические параметры, модели конденсации с чистой жидкостью для него неприменимы, а температура и концентрация компонентов паровой фазы на границе и в сердцевине могут кардинально различаться. Несмотря на это, в рассматриваемых ими исследованиях по данной тематике моделирование основывается на чистой жидкости, однако с добавлением корреляции для учета эффектов смешивания. Такие модели могут иметь хорошую сходимость с экспериментальными данными, но являются неуниверсальными.

В связи с этим, можно полагать, что для разработок достоверных и универсальных методов расчета требуются корректировки моделей теплопередачи и дополнительные данные сторонних экспериментов по изучению конденсации внутри теплообменников СПГ. Другим направлением с поддержкой имитационного моделирования является разделение теплообменника на параллельные модули, что позволяет перераспределять расход для теплых потоков в соответствии с критериями контроля и может использоваться для управления ими за счёт внедрения многопараметрического регулятора [11]. Уровни давления при этом, состав и расход хладагента получаются в виде оптимизированного решения, в котором используется составная кривая температуры нагрева. В качестве способа определения гидродинамических параметров, а также параметров теплопередачи и фазового перехода, в соответствии с работой А. Заргуши и др. [12], можно говорить о возможности применения уравнений тепломассопереноса, основанных на модели смеси, которая включает в себя уравнение состояния Пенга-Робинсона для мгновенных расчетов, также предлагаем в патенте И.В. Немова [13], что наиболее близко к необходимому, но не описывает внешние воздействия и влияние контура системы. Данная модель доказывает, что применение подхода с использованием пористых сред приемлемо для изучения таких рабочих

параметров, как: скорость, перепад давления, температура и фазовый переход. Указанные характеристики могут быть использованы в качестве управляемых величин в разрабатываемой модели.

Заключение. В результате проведённого анализа было выявлено, что по данной предметной области существует огромный пласт исследований, направленных на оптимизационное моделирование отдельных частей процессов в пластинчато-ребристых и спиральновитых теплообменниках. Однако, рассмотрение параметров тепломассообмена для них на данный момент не позволяет спроектировать математическую модель в полноценном понимании, поскольку неравномерность распределения и перепада давления характеризуется до сих пор только эмпирическими соотношениями и не выражается в формульном эквиваленте.

Это объясняется тем, что коммерческие программы моделирования CFD обрабатывают процессы, происходящие в теплообменниках, упрощенным способом, часто используя сосредоточенные составные потоки, постоянные значения теплопередачи, предположения о том, что обеспечивается требуемое охлаждение и т.п. В то же время сама установка детально не моделируется в виде пространственной распределённости, за исключением модели с применением уравнения состояния Пенга-Робинсона, а значит, для дальнейшей работы будет требоваться дополнительное исследование, нацеленное на поиск альтернатив потоковых математических моделей в смежных областях, чтобы развить существующую.

Библиографический список

1. Cherepovitsyn A.E., Lipina S.A., Evseeva O.O. Innovative approach to the development of mineral raw materials of the Arctic zone of the Russian Federation // Journal of Mining Institute. 2018. Vol. 232. p. 438. doi:10.31897/PMI.2018.4.438
2. Kozmenko S.Y., Masloboev V.A., Matviishin D.A. Justification of economic benefits of Arctic lng transportation by sea // Journal of Mining Institute. 2018. Vol. 233. p. 554. doi: 10.31897/PMI.2018.5.554

3. Tsvetkov P. S., Fedoseev S. V. Analysis of project organization specifics in small-scale lng production // Journal of Mining Institute. 2021. Vol. 246, no 1. pp. 678-686. doi:10.31897/PMI.2020.6.10.

4. Jiao Y., Wang Z., Liu J., Li X., Chen R., Chen W. Backtracking and prospect on LNG supply chain safety // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. 2021. Vol. 71. 104433. doi:10.1016/j.jlp.2021.104433.

5. Afanasev P.M., Bezyukov O.K., Ilyushina A.N., Pastukhova E.V. Development of a system for controlling the temperature field of the columns and pipelines of raw gas transportation // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2023. Vol. 18, no 4. pp. 421–434. doi:10.59018/022362

6. Ильюшин Ю.В. Математическое моделирование систем с распределенными параметрами / Ю.В. Ильюшин, Т.В. Кухарова, О.В. Афанасьева. – Санкт-Петербург : ООО "Медиапапир", 2022. – 108 с. – ISBN 978-5-00110-275-5. – EDN ERTKHW

7. Zheng W., Jiang Y., Cai W., Li F., Wang Y. Numerical investigation on the distribution characteristics of gas-liquid flow at the entrance of LNG plate-fin heat exchangers // Cryogenics. 2021. 113. 103227. doi:10.1016/j.cryogenics.2020.103227

8. Afanasev P.M. Simulation of Liquid Fuel Spills Combustion Dynamics Based on Computational Fluid Dynamics Using Modern Application Programs // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 459, no 2. 022034. doi:10.1088/1755-1315/459/2/022034

9. Шариков Ю.В., Маркус А.А. Математическое моделирование тепловых потоков в трубопроводах и трубчатых объектах // Записки Горного института. 2013. Т. 202. С. 235.

10. Arkharov I., Kolesnikov A., Krotov A. etc. Heat transfer in structure of LNG spiral-wound heat exchanger. A review of models for heat transfer coefficient for condensation of hydrocarbon mixture in horizontal tube // Journal of Enhanced Heat Transfer. 2018. Vol. 25, no 2. pp. 109-120. doi:10.1615/JEnhHeatTransf.2018026396

11. Skaugen G., Gjøvåg G.A., Nekså P., Wahl, P.E. Use of sophisticated heat exchanger simulation models for investigation of possible design and operational pitfalls in LNG processes // Journal of Natural Gas Science and Engineering. 2010. Vol. 2, no 5. pp. 235–243. doi:10.1016/j.jngse.2010.10.003

12. Zargoushi A., Talebi F., Hosseini S.H. CFD modeling of industrial cold box with plate-fin heat exchanger: Focusing on phase change phenomenon // International Journal of Heat and Mass Transfer. 2019. Vol. 147. 118936. doi:10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.118936

13. Пат. 2640976C1 Российская Федерация, МПК F25J 1/00. Способ управления процессом сжижения природного газа / Немов И. В.; заявитель и патентообладатель "Сахалин Энерджи Инвестмент Компани Лтд." № 2017116094; заявл. 05.05.17; опубл. 12.01.18, Бюл. № 2. – 15 с.

Рецензент: к.т.н., доц. Т.В. Кухарова

© Т. Ф. Туляков

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы
Екатерины II», Российская Федерация

РАЗВИТИЕ РОБОТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ: ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ И РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ РОБОТОТЕХНИКИ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ПРОЦЕССА ТЕХНИЧЕСКОГО ОСМОТРА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

Аннотация. В данном исследовании произведен анализ развития роботизированных систем для улучшения процесса технического осмотра линий электропередач. Рассмотрены методы внедрения технологий и решений в области робототехники с использованием моделей машинного обучения, включая модель ARIMA. Исследование демонстрирует потенциал прогнозирования развития робототехнических устройств на основе современных методов анализа данных, что подчеркивает значимость автоматизации и роботизации процессов.

Ключевые слова: робототехнические устройства, линии электропередач, прогнозные модели, машинное обучение, прогнозирование.

Введение. Робототехнические устройства (РТУ) играют все более важную роль в оптимизации различных отраслей и секторов, и область технического осмотра и мониторинга линий электропередач (ЛЭП) не является исключением. С развитием технологий разработка роботизированных систем для технического контроля линий электропередач стала важным направлением исследований и разработок [1].

Традиционный метод проверки линий электропередач предполагает отправку людей, которые поднимаются на опоры и визуально осматривают линии на предмет каких-либо признаков повреждений или износа [2]. Этот процесс не только трудоемкий, но и опасный, поскольку подвергает работников опасным условиям труда. Однако с использованием роботизированных систем

этот процесс можно автоматизировать и осуществлять более эффективно, снижая риск для работников. Роботизированные устройства служат для оперативного обслуживания линий электропередач сверхвысокого напряжения с несколькими ответвлениями, которые могут помочь или даже заменить ручную работу и решить проблему обслуживания линии под напряжением в случае суровых погодных условий, и это имеет важное теоретическое значение и практическое значение для повышения эффективности, снижения трудоемкости и максимального повышения безопасности эксплуатации [3]. На данный момент наиболее часто используются в процессе технического осмотра ЛЭП подвесные мобильные роботы и беспилотные летательные аппараты, т.к. являются наиболее практичными и легкими с точки зрения эксплуатации РТУ, в отличии от автовышки с манипулятором, т.к. данный вариант является трудоёмким и экономически неэффективным [4].

Использование методов машинного обучения для прогнозирования развития робототехнических устройств для технического осмотра линий электропередач. Для анализа спроса на применение роботизированных устройств для технического обследования линий электропередач были получены статистические данные о востребованности РТУ для технического осмотра ЛЭП за период январь 2022 г. – декабрь 2024 г., сформирован динамический ряд (рис. 1).

Дата	Процент предприятий, внедривших РТУ для ТО ЛЭП
2022-01-31	4
2022-02-28	3
2022-03-31	5
2022-04-30	8
2022-05-31	6
2022-06-30	4
2022-07-31	4
2022-08-31	3
2022-09-30	6
2022-10-31	2
2022-11-30	9
2022-12-31	4
2023-01-31	7
2023-02-28	4
2023-03-31	6
2023-04-30	6
2023-05-31	5
2023-06-30	8
2023-07-31	4
2023-08-31	9
2023-09-30	2
2023-10-31	3
2023-11-30	2
2023-12-31	9

Рис. 1. Данные о востребованности РТУ для технического осмотра ЛЭП

По статистическим данным была произведена визуализация (рисунок 2), из которых можно сделать вывод, что у ряда есть некоторые тренды и колебания.

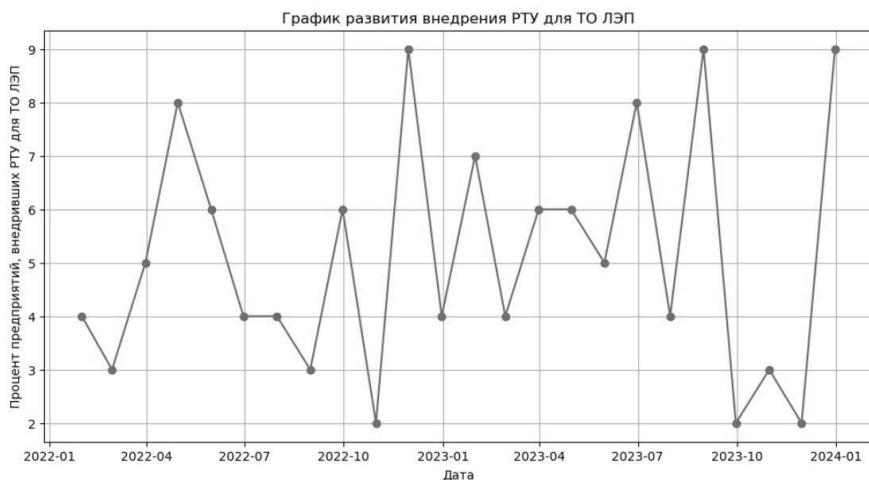


Рис. 2. График развития внедрения РТУ для ТО ЛЭП на предприятиях

После проведенного анализа исходных данных было выявлено, что динамика использования РТУ характеризуется систематичностью [1]. Для более полного понимания характера тенденции производилось ее моделирование.

Следующим этапом в ходе исследования заключалось в выборе модели обучения для прогнозирования. Была выбрана модель ARIMA [5]. ARIMA (Autoregressive Integrated Moving Average) - это статистическая модель, которая используется для анализа и прогнозирования временных рядов.

В ходе обучения модели были выявлены следующие шаги:

1. Подготовка данных
2. Определение параметров модели
3. Проверка модели на адекватность
4. Прогнозирование

В ходе обучения модели на языке Python были получены следующие данные (рисноу 3):

Пример кода:

```
# Обучение модели ARIMA
```

```
model = ARIMA(df['Процент предприятий, внедривших РТУ для ТО ЛЭП'], order=(1, 1, 1))
```

```
model_fit = model.fit()
```

```
=====
SARIMAX Results
=====
Dep. Variable:    Процент предприятий, внедривших РТУ для ТО ЛЭП    No. Observations:    24
Model:            ARIMA(1, 1, 1)    Log Likelihood        -52.050
Date:             Sun, 10 Mar 2024    AIC                   110.100
Time:             14:11:38    BIC                   113.506
Sample:           01-31-2022    HQIC                  110.956
                - 12-31-2023
Covariance Type:    opg
=====
                coef    std err          z      P>|z|    [0.025    0.975]
-----
ar.L1            -0.3141     0.202    -1.555    0.120    -0.710     0.082
ma.L1            -0.9998     82.279    -0.012    0.990   -162.263    160.263
sigma2           4.5849     377.014     0.012    0.990   -734.349    743.519
=====
Ljung-Box (L1) (Q):    0.01    Jarque-Bera (JB):    0.86
Prob(Q):              0.94    Prob(JB):            0.65
Heteroskedasticity (H): 2.15    Skew:                -0.11
Prob(H) (two-sided):  0.30    Kurtosis:            2.08
=====
```

Рис. 3. Результаты обучения модели

После обучения модели были выбраны метрики для проверки обученной модели на адекватность. MSE (Mean Squared Error) и MAE (Mean Absolute Error) являются метриками для оценки точности модели [6].

MSE измеряет среднее значение квадратов ошибок между прогнозами и фактическими значениями. Чем меньше значение MSE, тем лучше качество модели [7].

MAE, с другой стороны, измеряет среднее значение абсолютных различий между прогнозами и фактическими значениями [8]. Это показатель того, насколько сильно модель ошибается в своих оценках.

Пример кода:

```
mse = mean_squared_error(df['Процент предприятий, внедривших РТУ для  
ТО ЛЭП'][-12:], forecast)
```

```
mae = mean_absolute_error(df['Процент предприятий, внедривших РТУ для  
ТО ЛЭП'][-12:], forecast)
```

Результат:

MSE: 6.4532670803965475

MAE: 2.223037137516475

После проверки на адекватность модели было произведено прогнозирование процента предприятий, внедривших в свое производство РТУ на следующие 12 месяцев (рис. 4) [9]. Из графика видно, что развитие робототехнических устройств не стоит на месте, а с каждым следующим периодом идет на увеличение.

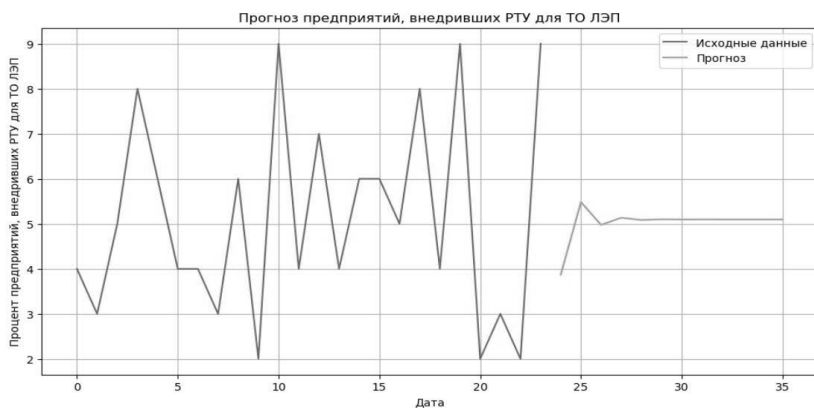


Рис. 4. Прогноз предприятий, внедривших РТУ для технического осмотра ЛЭП

Прогнозирование развития роботизированных устройств для технического осмотра линий электропередач с использованием моделей ARIMA может дать ценную информацию о будущих тенденциях и достижениях в этой сфере [10]. Используя данные временных рядов и методы моделирования, можно делать точные прогнозы роста и совершенствования

роботизированных устройств [11,12]. Это может помочь профессионалам отрасли, исследователям и политикам принимать обоснованные решения, эффективно распределять ресурсы и опережать технологические достижения в этой области.

Заключение. Развитие роботизированных систем открывает большие перспективы для совершенствования процесса технического осмотра линий электропередач. С развитием технологий и автоматизации роботизированные решения становятся все более сложными и эффективными, что позволяет проводить более безопасные и точные проверки. Прогнозируя внедрение этих устройств, можно ожидать повышения надежности, экономичности и производительности при обслуживании и мониторинге линий электропередач.

Прогнозирование внедрения данных систем может привести к возможности оперативного и точного мониторинга состояния линий электропередач, улучшая процесс технического обследования и сокращая риски аварийных ситуаций.

Библиографический список

1. Ereemeeva, A.M., Ilyushin, Y.V. Automation of the control system for drying grain crops of the technological process for obtaining biodiesel fuels. *Scientific Reports*. 13, 14956 (2023). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-41962-0>.

2. Ilyushin, Y.V.; Kapostey, E.I. Developing a Comprehensive Mathematical Model for Aluminium Production in a Soderberg Electrolyser. *Energies* 2023, 16, 6313. <https://doi.org/10.3390/en16176313>.

3. Polekhina, V.S., Shestopalov, M.Y., Ilyushin, Y.Y. Identification of Magnetic Field Strength Realisation as a Necessary Solution for High-Quality Metal Synthesis (2022) *Proceedings of the 2022 Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering, ElConRus 2022*, pp. 831-833. DOI: 10.1109/ElConRus54750.2022.9755649.

4. Afanaseva, O., Neyrus, S., Navatskaya, V., Perezhogina, A. (2023). Risk Assessment of Investment Projects Using the Simulation Decomposition Method. In: Zokirjon ugli, K.S., Muratov, A., Ignateva, S. (eds) *Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agricul-*

ture in the Far East (AFE-2022). AFE 2023. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 706. Springer, Cham. P.776-785. https://doi.org/10.1007/978-3-031-36960-5_88.

5. Afanasev, P.M., Bezyukov, O.K., Ilyushina, A.N., Pastukhova, E.V. Development of a system for controlling the temperature field of the columns and pipelines of raw gas transportation. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2023, 18(4), pp. 421–434.

6. Martirosyan, A.V.; Martirosyan, K.V.; Chernyshev, A.B. Investigation of Popov's Lines' Limiting Position to Ensure the Process Control Systems' Absolute Stability. In Proceedings of the 2023 XXVI International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM), Saint Petersburg, Russia, 24–26 May 2023; pp. 69–72. <https://doi.org/10.1109/SCM58628.2023.10159089>.

7. Afanaseva, O., Tulyakov, T., Romashin, D., Panova, A. (2023). Development of a Robotic Complex for the Manufacture of Parts Used in Civil Engineering. Engineering Research Transcripts, 3, 51–58. DOI: https://doi.org/10.55084/grinrey/ERT/978-81-964105-0-6_6.

8. Zhukovskiy, Y.; Tsvetkov, P.; Buldysko, A.; Malkova, Y.; Stoianova, A.; Koshenkova, A. Scenario Modeling of Sustainable Development of Energy Supply in the Arctic. Resources 2021, 10, 124. <https://doi.org/10.3390/resources10120124>

9. Moiseev, A. A. (2002). Fluctuation method for measuring the productivity of oil wells separately for water, oil and gas. Journal of Mining Institute, 150(2), 92-94. Retrieved from <https://pmi.spmi.ru/index.php/pmi/article/view/9486>

10. Munasyrov, R.A., Idrisova, Y.V., Masalimov, K.A. et al. Real-Time Diagnostics of Metal-Cutting Machines by Means of Recurrent LSTM Neural Networks. Russ. Engin. Res. 40, 416–421 (2020). <https://doi.org/10.3103/S1068798X20050160>

11. Zhukov, V.; Butsanets, A.; Sherban, S.; Igonin, V. Monitoring Systems of Ship Power Plants During Operation. In Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport, Proceedings of the International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2018, Voronezh, Samara, Russia, 10–13 December 2018; Advances in Intelligent Systems and Computing; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2020; Volume 982, pp. 419–428. https://doi.org/10.1007/978-3-030-19756-8_40.

12. Афанасьева, О. В. Применение машинного зрения в процессе производства продукции предприятиями минерально-сырьевого комплекса / О. В. Афанасьева, Д. В. Ромашин, М. П. Григорьева // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2022. – № 13. – С. 147-149. – DOI 10.26160/2309-8864-2022-13-147-149. – EDN CRSYGC.

Рецензент: к.т.н., доц. О.В. Афанасьева

© С. Н. Федосеева, Е. Е. Майоров

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения», Российская Федерация

СТРУКТУРА ДОКУМЕНТА VISION ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ НА ПРИМЕРЕ МОБИЛЬНОГО ПРИЛОЖЕНИЯ НАУЧНОГО ФОРУМА

Аннотация. В статье описан метод составления документации при проектировании информационных систем, в частности документа Vision. Рассмотрен пример документирования на основе проектирования мобильного приложения научного форума. Документ Vision играет ключевую роль в процессе разработки информационных систем, определяя общее видение проекта и его цели.

Ключевые слова: документация, проектирование, Vision, глоссарий, бизнес-проблема, заинтересованные стороны, потребности, информационная система, позиционирование.

Введение. В настоящее время разработка информационных систем становится все более важной и востребованной задачей во многих областях деятельности [1,2]. Ключевым моментом в успешной реализации проекта является четкое определение его общего видения, целей и стратегии развития [3,4]. Для этого служит документ Vision (с англ. «видение»), который играет роль направляющего для команды разработки к общим целям и результатам. Данная статья описывает структуру и вариант спецификации документа Vision на примере мобильного приложения для научного форума. Подробно рассмотрены разделы документа с оценкой значимости и вклада в процесс разработки информационной системы. Особое внимание уделено анализу бизнес-проблем, определению целевой аудитории, описанию требований заинтересованных сторон. Статья позволит более эффективно применять документацию при проектировании информационных систем и использовать документ Vision в своих проектах для удовлетворения вовлеченных сторон.

Структура документа. Документ Vision является ключевым инструментом в процессе разработки информационных систем, который помогает определить общее видение и цели проекта. Структура документа Vision может варьироваться в зависимости от конкретных требований проекта и предпочтений команды разработки. Однако, обычно он содержит основные компоненты, описанные ниже, чтобы обеспечить понимание целей проекта и направления его развития.

1. Введение. Данный документ описывает общий контекст документа. Глава введения направлена на описание необходимости создания документации информационной системы. Документ фокусируется на возможностях, предоставляемых пользователям системы, а также на требованиях к системе, и почему эти требования существуют. Подробнее о том, как информационная система выполняет свои функции, необходимо указывать в Спецификации вариантов использования (англ. The use case specification) и дополнительной спецификации (англ. Supplementary specification) [5,6]. В этом документе описывается концепция предлагаемой системы научного форума ГУАП «Семинар». Информационная система «Семинар» позволяет пользователям публиковать статьи на научном форуме, получать помощь от редакторов форума, оставлять комментарии редакторам, а также просматривать ранее опубликованные статьи по разделам, вести свой личный аккаунт, добавлять статьи в «Избранное» и комментировать статьи. Целью документа о видении системы «Семинар» является обеспечение взаимодействия между заинтересованными сторонами, разработчика, представителями университета и пользователями приложения. Также целью создания является составление полноценной документации разрабатываемого проекта.

Описание области применения. В данном документе изложено видение информационной системы научного форума «Семинар». Документ используется при разработке и проектировании вышеупомянутой системы.

Определения понятий и разрешенных сокращений должны соответствовать стандартным, используемым в сфере информационных технологий. Подробности необходимо описать в отдельном документе

«Глоссарий» [7,8]. Все необходимые ссылки на дополнительную документацию, включая глоссарий, спецификацию требования, спецификацию вариантов использования и дополнительную спецификацию [9,10]. Этот документ содержит заявления о позиционировании информационной системы, анализ заинтересованных сторон, взаимодействующих с информационной системой, анализ пользователей системы и список функций, которые должна предоставлять система. Эти функции получены на основе входных данных, полученных от заинтересованных сторон.

2. Описание бизнес-проблемы и позиционирование. Позиционирование системы начинается с описания бизнес-возможностей, которые она может предоставить (табл.1).

Таблица 1 – Постановка задачи

Проблема	<p>Низкий уровень заинтересованности молодежи в обучении</p> <ul style="list-style-type: none"> - ограниченность информационных сервисов для проведения рекламной кампании со школьниками - отсутствие полноценного мобильного приложения университета для взаимодействия с абитуриентами - существующая система маркетинга не позволяет абитуриентам в полной мере попробовать осуществить самостоятельную научную деятельность - существующая система не привлекает научно заинтересованных абитуриентов, что сказывается уровне образования выпускников университета и статистике по уровню обучения
Влияет на	Объем и качество приемной кампании университета
Эффект от которой	Необходимость дополнить существующую систему маркетинга университета для обозначения научной значимости обучения и повышении заинтересованности абитуриентов в обучении и научной деятельности
Успешное решение	Разработка мобильного приложения научного форума «Семинар» для проведения научного маркетинга перед приемной кампанией университета, в пользование абитуриентам, школьникам и студентам университета для осуществления научной деятельности

В настоящее время, информационное решение, такое как научный форум «Семинар» может решить ряд задач маркетинга университета. Данная система может решить одну из важнейших проблем – набор абитуриентов в новом учебном году. Постановка задачи заключается в описании актуальной бизнес-проблемы, определение области влияния бизнес-проблемы, возможных исходов и рисков. Описание эффекта проблемы, необходимости изменения

существующих структур и бизнес-процессов, и, как вывод, описание успешного решения, которое, зачастую, заключается в разработке проектируемой информационной системы. Постановку задачи можно представить в удобном табличном формате для выяснения изначальных причин решения создания информационной системы и скрытых целей [11,12].

Заявление о позиции продукта или позиционирование необходимо для обозначения актуальности информационной системы и определения как продукта (табл.2).

Таблица 2 – Позиционирование продукта

Для	Приемной кампании университета
который	Нуждается в проектировании и разработке нового информационного сервиса для маркетинга и повышения заинтересованности абитуриентов и школьников для поступления в ВУЗ и в научной деятельности
Научный форум «Семинар»	— это мобильное приложение, представляющее собой научное сообщество для написания и публикации статей
который	Не имеет аналогов в университетах, а также предоставляет возможность будущим абитуриентам заниматься научной деятельностью в университете до поступления
В отличии от	Ограничения в проведении только очных научных форумов школьников, которые: <ul style="list-style-type: none"> - требуют затрат на проезд и проживание в Санкт-Петербурге - требуют принужденного кураторства школьных преподавателей - Содержат риск ограничения в поездках школьника со стороны родителей - Имеют четкую дату проведения и участия, что не дает возможность участвовать другим желающим, имеющим на данное время другую деятельность - не предоставляют возможность дистанционного участия - не учитывают возможность участия с наличием страха очного выступления

Описание начинается с определения бизнес-структуры, для которой разрабатывается программное решение, проблемы данной организации или отдела, общее описание предлагаемой информационной системы, актуальность главные функции, преимущества перед аналогами, конкурентами и перед предыдущим вариантом решения бизнес-проблемы, если он имелся. Как завершение позиционирования необходимо сформулировать конечное предложение. Заявление об образе товара можно также представить в формате таблицы [13].

Заключение. Рассмотрение структуры документа Vision на примере мобильного приложения для научного форума позволило углубленно изучить основные аспекты, необходимые для успешного развития информационной системы. Проведен анализ введения, цели и области применения проекта, а также определены основные понятия и бизнес-проблема, которую предстоит решить.

Постановка задачи и позиционирование продукта дают возможность в дальнейшем четко сформулировать направления развития и стратегии проекта, а также определить заинтересованные стороны и конечных пользователей. Изучение ключевых потребностей пользователей, а также анализ альтернатив и конкуренции, дают основы для лучшего понимания ожидания пользователей и рыночного окружения.

Систематический подход к разработке документа Vision, опираясь на основные указанные разделы позволяет разработчикам и заказчикам наиболее полно и точно определить стратегические цели и требования к разрабатываемой информационной системе. Это в свою очередь способствует созданию продукта, который будет наиболее соответствовать потребностям пользователей и успешно конкурировать на рынке.

Таким образом, структура документа Vision является важным инструментом в процессе разработки информационных систем, который помогает обеспечить успешное достижение поставленных целей и задач проекта.

Библиографический список

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023617323 Российская Федерация. Программа оценки надёжности системы с использованием показателей отказов и восстановления : № 2023616602 : заявл. 07.04.2023: опубл. 07.04.2023 / О.В. Афанасьева, Л.А. Ведров, А.В. Дагаев, В.Е. Титов; заявитель Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения».

2. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2022616978 Российская Федерация. Программа расчёта коэффициентов критериального уравнения для оценки виброскорости дизеля, вызванной перекалкой поршня в тепловом зазоре между

зеркалом втулки цилиндра и тронком поршня : № 2022614437 : заявл. 24.03.2022 : опубл. 18.04.2022 / О. В. Афанасьева, В. Д. Вихорев ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет». – EDN MIKBLP.

3. Проблемы построения больших локальных сетей Интернета вещей / А. В. Арефьев, О. В. Афанасьева, Н. А. Вешев [и др.] // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2022. – № 10. – С. 261-267. – DOI 10.24412/2071-6168-2022-10-261-267.

4. O'Connor R., Rout T. Mobile application development: The fundamentals, continuous integration, and deployment. CRC Press, 2019. 336 p.

5. Соммервиль Б., Лоури М. Управление требованиями к программному обеспечению. Москва: Издательство "Техносфера", 2013. 384 с.

6. Богачев Д.В. Разработка мобильных приложений под управлением операционной системы Android. Москва: Издательство "Питер", 2017. 352 с.

7. Петров А.Н. Проектирование мобильных приложений. Москва: Издательство "БХВ-Петербург", 2015. 256 с.

8. IEEE Std 830-1998. IEEE Recommended Practice for Software Requirements Specifications. Стандарт IEEE, 1998.

9. Рождественский Ю.А., Боровских И.С., Хренов С.С. Разработка мобильных приложений на платформе Android. Москва: Издательство "Лань", 2014. 256 с.

10. ISO/IEC/IEEE 29148:2018. Systems and software engineering - Life cycle processes - Requirements engineering. Международная организация по стандартизации, 2018 г.

11. Романов, Е. Л. Программная инженерия: учебное пособие / Е.Л. Романов. Новосибирск: НГТУ, 2017. 395 с. Текст: электронный// Лань : электронно-библиотечная система: <https://e.lanbook.com/book/118221> (дата обращения: 10.02.2024).

12. Фаулер М., Скотт К. Управление требованиями к программному обеспечению. Санкт-Петербург: Издательство "Символ-Плюс", 2016. 400 с.

13. Тивьяева, И. В. Локализация, перевод сопроводительной документации к программному обеспечению и подготовка технических переводчиков / И.В. Тивьяева, Н.С. Сеничкина // Вестник Тульского государственного университета. Серия: Лингвистика и лингводидактика. 2016. № 1. С. 209-218.

Рецензент: д.т.н., проф. И.Б. Арефьев

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЗАДАЧ

Аннотация. Междисциплинарный подход к управлению предполагает объединение знаний и инструментов из различных научных областей для создания единой методологии, направленной на повышение эффективности управления ресурсами в различных системах. Учитывая влияние внешних дестабилизирующих факторов на экономические системы в современном глобальном ландшафте, все большее внимание уделяется разработке инструментов моделирования и оптимизации экономических систем с упором на организационную структуру и управление ресурсами. Цель данного обзора - выявить существующие пробелы в научной литературе по моделированию и оптимизации экономических систем с использованием теории массового обслуживания.

Ключевые слова: моделирование; производительность и эффективность экономических систем; теория массового обслуживания; сложные сети; оптимизация.

Введение. Моделирование - ценный инструмент для принятия решений в менеджменте, использующий математические инструменты для определения наилучших решений в проблемных ситуациях [1,2]. Междисциплинарный подход к управлению объединяет знания из различных областей для повышения эффективности управления ресурсами в различных системах [3,4]. Глобальные преобразования усиливают внимание к экономическим системам, подверженным влиянию внешних факторов, подчеркивая необходимость оптимизации потоков в глобальных цепочках поставок. В России наблюдается значительное изменение маршрутов импорта, что сказывается на пунктах пересечения границы и приводит к заторам и очередям на дорогах. Эти проблемы выходят за рамки макроэкономических систем и распространяются на системы мезо- и микроуровня.

Источники и методы. Основной подход, использованный в данном исследовании, заключался в анализе научной литературы, посвященной данной теме. В ходе исследования использовались такие источники, как Scopus, Web of Science, Science Direct, журналы Springer и официальный сайт издательства MDPI. Методология исследования состояла из трех основных этапов:

1. Поиск и обзор соответствующих научных работ;
2. Организация различных приложений теории массового обслуживания в рамках оптимизации экономических систем с учетом таких аспектов, как распределение ресурсов и организационная структура управления;
3. Выявление пробелов в существующей литературе для дальнейшего изучения исследователями.

Аналитический обзор современного состояния научных исследований. Системы массового обслуживания встречаются в различных отраслях и могут включать в себя производственные системы, ИТ-системы, системы управления заказами и продажами, закупки, склады, транспорт, организационные структуры, контрольно-пропускные пункты и многое другое. Основными понятиями теории массового обслуживания являются запросы и каналы обслуживания, а критериями оценки - интенсивность потока неудовлетворенных или удовлетворенных запросов, вероятность возникновения различных состояний системы (таких как отказ в обслуживании, очередь, время простоя системы) и продолжительность обслуживания.

Большое количество научных исследований посвящено техническим устройствам, серверам и информационным системам, которые занимают центральное место в моделях массового обслуживания, анализирующих поведение экономических систем в процессах и очередях. Область исследований включает в себя мобильные сети, системы управления заказами, ресурсоемкость каналов обслуживания, банковские системы и работу почтовых отделений. Эти системы являются дискретными, их параметры меняются по мере поступления клиентов. Модели управления ресурсоемкостью можно разделить на односерверные ($M/M/1$) и многосерверные, причем односерверные

модели служат основой для изучения более сложных многосерверных систем. Однако современные экономические системы, нацеленные на высокую производительность, качество обслуживания и прибыль, обычно включают в себя многоканальные системы, что делает многосерверные модели обслуживания более популярными и широко изученными в литературе. [5-8]

Теория массового обслуживания применяется при оптимизации систем мобильной связи для обработки больших объемов запросов на передачу информации, требующих эффективной организации. В этом сценарии входящий поток иллюстрируется марковским процессом. Исследования посвящены моделированию обслуживания пользователей в мобильных сетях [8-10]. Например, модель системы Макаевой и др. учитывает вероятность задержек и сбоев в работе сети 5G, а также ретрансляцию данных. Они описывают систему повторных вызовов в рамках категорий теории массового обслуживания с помощью непрерывного цепного процесса Маркова [9]:

$$X(t) = (N_m(t), N_u(t), Q_1(t), Q_2(t)), t \geq 0,$$

$$\chi = \{(n_m, n_u, q_1, q_2): n_m \geq 0, n_u \geq 0, 0 \leq q_1 \leq C_1, 0 \leq q_2 \leq C_2, bn_m + n_u \leq C, n_m + q_2 \leq N\},$$

где χ - пространство состояний; $N_m(t)$ - количество активных расширенных широкополосных мобильных сессий; $N_u(t)$ - количество активных сессий URLLC (сверхнадежная связь с низкой задержкой); $Q_1(t)$ - количество ожидающих расширенных широкополосных мобильных сессий; $Q_2(t)$ - количество прерванных сессий; C_i - емкость буфера 1 (для хранения ожидающих сессий) и буфера 2 (для хранения прерванных сессий); N - количество блоков ресурсов.

Многосерверные модели используются в различных областях, таких как обработка заказов и управление запасами. Шаджин и др. предлагают подход, позволяющий оптимизировать количество необходимых серверов, минимизируя общие затраты.

Одним из ключевых преимуществ их метода является признание взаимосвязанной природы заказов, уровней запасов и производственной

деятельности. Было установлено, что когда вероятность выполнения заказа клиента составляет 50 %, оптимальное количество серверов остается стабильным, что приводит к снижению общих затрат на управление заказами. Эта система изображается с помощью непрерывной цепи Маркова [12]:

$$\Omega = \{N(t), I(t), C(t), J(t), t \geq 0\},$$

где $N(t)$ - количество клиентов в системе; $I(t)$ - количество товаров на складе; $J(t)$ - фаза производства (производство включено/выключено); $C(t)$ - компонент, принимающий значение «0», когда производство «выключено», и значение «1», когда производство «включено».

Некоторые многосерверные системы обслуживания клиентов включают в себя плановое обслуживание и обновления для обеспечения непрерывной работы системы (так называемые «каникулы» - период, в течение которого сервер недоступен для обслуживания) [13-16]. Джеганатан и др. исследуют систему обслуживания с «отпусками» серверов в контексте управления складскими заказами [15]. В их исследовании подчеркивается, что серверы автономно принимают решение об уходе в отпуск (вызванный отсутствием достаточного количества клиентов) независимо от других серверов. Практическая значимость их исследования заключается в оценке стоимости многосерверной системы с переменным числом серверов. Кроме того, Джеганатан и его команда разработали модель массового обслуживания с двухуровневой системой обслуживания: младшие и старшие серверы. Такая схема применяется, когда младшие серверы не имеют необходимых данных для решения проблемы, что побуждает их обратиться за помощью к старшему серверу [17].

Проблема оптимального распределения серверных ресурсов широко распространена. Р. Янг и др. провели исследование, в котором рассмотрели три сценария оптимального распределения ресурсов. В первом сценарии центры обслуживания работают независимо друг от друга, во втором - ресурсы распределяются между центрами при инициировании новой задачи. В третьем сценарии ресурсы перераспределяются в процессе выполнения задачи. Исследователи заметили закономерность: оптимальное количество серверных

ресурсов максимально в первом сценарии и минимально в третьем [17]. Панкратова и др. представляют метод определения оптимального уровня ресурсов для k -го канала системы в контексте разнообразных ресурсо-ориентированных систем массового обслуживания [18]:

$$V_k^{opt} = a_k + r\sqrt{K_{kk}},$$

где a - математическое ожидание; r - радиус гиперэллипсоида, обусловленный вероятностью потери клиентов; K_k - состояние цепи Маркова.

Между тем авторы предлагают средство для систем массового обслуживания с неограниченной серверной мощностью. Тем не менее, остается вопрос о кибербезопасности, финансовых инвестициях и энергоэффективности такого решения для крупных промышленных компаний. Учитывая, что промышленная система состоит из взаимосвязанных компонентов и операций, связанных между собой товарами, энергией, данными, финансовыми и сервисными процессами, которые приводят к производству промышленных товаров.

Несмотря на привлекательность систем массового обслуживания с бесконечной серверной емкостью, до сих пор остается неопределенность в отношении кибербезопасности, финансовых инвестиций и последствий энергоэффективности такого решения для крупных промышленных компаний. По сути, промышленная система включает в себя взаимосвязанные компоненты и операции, связанные товарами, энергией, данными и финансовыми операциями, которые поддерживают производство промышленных товаров.

Обсуждение. Проведенный анализ показывает, что большинство моделей массового обслуживания, используемых для оптимизации экономических систем и ресурсообеспечения, сфокусированы на моделировании цепей Маркова. Со временем произошел переход от моделирования базовых систем к разработке сложных сетей массового обслуживания.

Обзор литературы показал, что при оптимизации экономических систем необходимо тщательно оценивать различные ключевые факторы, такие как прибыль, затраты (включая энергию, материалы и трудозатраты), производственные мощности и другие. Использование многокритериального

подхода имеет решающее значение для эффективного применения теории массового обслуживания при оптимизации экономических систем. Решив эту задачу, мы сможем повысить эффективность автоматизации бизнес-процессов и создать высокоэффективную цифровую корпоративную платформу.

Выводы. Исследования систем массового обслуживания выявили определенные недостатки, в том числе игнорирование принципов системного анализа (таких как единство элементов, связность и иерархия) при моделировании взаимосвязанных функциональных подсистем в рамках экономической системы, например промышленного предприятия. Расчеты оптимального потребления ресурсов должны учитывать широкий спектр решений, а не только ограниченные альтернативы. Недостаточно глубоко исследованы причинно-следственные связи между внедрением теории массового обслуживания в практические процессы и уровнем конкурентоспособности организаций. Кроме того, существует дефицит исследований, посвященных разработке эффективной организационной структуры на основе принципов систем массового обслуживания.

Библиографический список

1. Ильюшин, Ю. В. Моделирование систем : Учебное пособие для студентов направления подготовки 27.03.04 «Управление в технических системах» / Ю. В. Ильюшин, Т. В. Кухарова, О. В. Афанасьева. – Санкт-Петербург : ООО "Медиапапир", 2022. – 104 с. – ISBN 978-5-00110-276-2. – EDN ACYQC.
2. Tulyakov, T. F. Systematic study for the construction of a robotic technology complex based on a mechatronic lathe for the manufacture of a Flange-type part / T. F. Tulyakov, O. V. Afanasieva // , 06–07 октября 2022 года, 2023. – P. 97-98. – EDN FDNZSQ.
3. Experimental Study Results Processing Method for the Marine Diesel Engines Vibration Activity Caused by the Cylinder-Piston Group Operations / O. Afanaseva, O. Bezyukov, D. Pervukhin, D. Tukeev // Inventions. – 2023. – Vol. 8, No. 3. – P. 71. – DOI 10.3390/inventions8030071. – EDN PSWKQY.
4. Афанасьева, О. В. Идентификация пространственно-распределенных вибрационных полей судовых энергетических установок / О. В. Афанасьева, И. М. Новожилов // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. – 2022. – № 3. – С. Civelek, I.; Biller, B.; Scheller-Wolf, A. Impact of dependence on single-server queueing systems. Eur. J. Oper. Res. 2021, 290, 1031–1045.

5. Kondrashova, E. Optimization of Controlled Queueing Systems: The Case of Car Wash Services. *Transp. Res. Procedia* 2021, 54, 662–671.
6. Krishnamoorthy, A.; Joshua, A.N.; Kozyrev, D. Analysis of a Batch Arrival, Batch Service Queueing-Inventory System with Processing of Inventory While on Vacation. *Mathematics* 2021, 9, 419.
7. Singh, S.K.; Acharya, S.K.; Cruz, F.R.B.; Quinino, R.C. Estimation of traffic intensity from queue length data in a deterministic single server queueing system. *J. Comput. Appl. Math.* 2021, 398, 113693.
8. Makeeva, E.; Kochetkova, I.; Alkanhel, R. Retrial Queueing System for Analyzing Impact of Priority Ultra-Reliable Low-Latency Communication Transmission on Enhanced Mobile Broadband Quality of Service Degradation in 5G Networks. *Mathematics* 2023, 11, 3925.
9. Al-Begain, K.; Dudin, A.; Kazimirsky, A.; Yerima, S. Investigation of the M2/G2/1/∞, N queue with restricted admission of priority customers and its application to HSDPA mobile systems. *Comput. Netw.* 2009, 53, 1186–1201.
10. Van Do, T. A new computational algorithm for retrial queues to cellular mobile systems with guard channels. *Comput. Ind. Eng.* 2010, 59, 865–872.
11. Shajin, D.; Krishnamoorthy, A.; Melikov, A.Z.; Sztrik, J. Multi-Server Queueing Production Inventory System with Emergency Replenishment. *Mathematics* 2022, 10, 3839.
12. Fiems, D.; Bruneel, H. Discrete-time queueing systems with Markovian preemptive vacations. *Math. Comput. Model.* 2013, 57, 782–792.
13. Palmer, G.I.; Harper, P.R.; Knight, V.A. Modelling deadlock in open restricted queueing networks. *Eur. J. Oper. Res.* 2018, 266, 609–621.
14. Jeganathan, K.; Harikrishnan, T.; Prasanna Lakshmi, K.; Nagarajan, D. A multi-server retrial queueing-inventory system with asynchronous multiple vacations. *Decis. Anal. J.* 2023, 9, 100333.
15. Saravanan, V.; Poongothai, V.; Godhandaraman, P. Performance analysis of a multi server retrial queueing system with unreliable server, discouragement and vacation model. *Math. Comput. Simul.* 2023, 214, 204–226.
16. Jeganathan, K.; Harikrishnan, T.; Lakshmanan, K.; Melikov, A.; Sztrik, J. Modeling of Junior Servers Approaching a Senior Server in the Retrial Queueing-Inventory System. *Mathematics* 2023, 11, 4581.
17. Yang, R.; Bhulai, S.; van der Mei, R. Optimal resource allocation for multiqueue systems with a shared server pool. *Queueing Syst.* 2011, 68, 133–163.
18. Pankratova, E.; Moiseeva, S.; Farkhadov, M. Infinite-Server Resource Queueing Systems with Different Types of MarkovModulated Poisson Process and Renewal Arrivals. *Mathematics* 2022, 10, 2962.

Рецензент: д.т.н., проф. В.Е. Трушников

© А. С. Хатрусов

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы
Екатерины II», Российская Федерация

АНАЛИЗ ВНЕДРЕНИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ РЕШЕНИИ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОГО КОМПЛЕКСА

Аннотация. Исследование направлено на выявление путей совершенствования управления сырьевой логистикой в минерально-сырьевом комплексе с использованием современных методов искусственного интеллекта (ИИ). В работе рассматриваются основные проблемы и вызовы транспортно-логистической системы этой отрасли, а также предлагаются конкретные методы ИИ, применимые для оптимизации логистических процессов.

Ключевые слова: сырьевая логистика, искусственный интеллект, транспортная логистика, минерально-сырьевой комплекс, цепочка поставок.

Введение. Минерально-сырьевой комплекс – это ключевая составляющая экономики многих стран, которые обладают богатыми природными ресурсами [1]. Его эффективность и конкурентоспособность зависит от многих факторов. Одним из них является уровень организации сырьевой логистики [2]. В этом разделе логистики рассматриваются ресурсно-сырьевые потоки, на основе которых выстраивается главная логистическая концепция минерально-сырьевых комплексов – цепочка поставок [3]. Эффективная организация этой цепочки необходима для обеспечения бесперебойной работы, как промышленных предприятий, так и минерально-сырьевых комплексов в целом. Важно понимать, что логистическая система предприятия минерально-сырьевых комплексов оценивается не только по технологическим операциям, но и по используемым в процессе производства ресурсам [4]. При этом необходимо проводить комплексную оценку всех существующих и

используемых ресурсов с помощью современных технологий и методик. Однако к настоящему времени многие предприятия при выборе системы транспортировки грузов зачастую ориентируются лишь на собственный опыт работы или опыт других предприятий [5].

Целью исследования является разработка предложений использования методов ИИ, позволяющих эффективно решать задачи минерально-сырьевой логистики. Основная задача – анализ научной литературы по теме исследования. Предполагается, что эффективное использование цифровых технологий в транспортной логистике минерально-сырьевого комплекса позволит улучшить качество управления транспортными потоками и значительно снизить издержки промышленных предприятий.

Методология. Для проведения анализа возможного внедрения технологий ИИ в сырьевую логистику минерально-сырьевого комплекса, в первую очередь, необходимо определить систему, которой, согласно теории систем, можно будет управлять [6]. Общенаучные методы анализа и синтеза информации применяются для проведения исследования научной литературы. Поскольку отмечается недооценивание роли логистики в минерально-сырьевом комплексе [7], представляется необходимым изучить проблемы и вызовы сырьевой логистики и, используя метод аналогий, сопоставить с методами ИИ, применяющимися для решения аналогичных задач в других сферах.

Результаты. Логистика минерально-сырьевого комплекса представляет собой сложную систему, включающую в себя организацию поставок, оценку рисков, транспортировку и складирование. Простейшая цепь поставок включает в себя следующее: проведение геологоразведочных работ – добыча – обогащение – реализация потребителю. Вызовы, с которыми сталкивается сырьевая логистика, подробно описаны в работе Ефременковой Т.Е. [8]. Во-первых, рост производства и потребления минерально-сырьевых продуктов увеличивает объем грузоперевозок, требующий эффективного планирования и управления транспортными потоками. Во-вторых, заказчики

ориентируются на быструю и надежную доставку товаров. В связи с этим, логистические операции должны быть оптимизированы для обеспечения своевременной поставки с соблюдением высоких стандартов качества и сохранности. В-третьих, в условиях конкуренции и растущих затрат необходимо постоянно совершенствовать логистические процессы и стремиться к сокращению логистических издержек (транспортные расходы, складские расходы и затраты на управление запасами). Кроме того, следует учитывать специфику горной отрасли, ведь управлять разветвленными транспортными сетями и обеспечивать безопасность и надежность транспортировки минеральных ресурсов, особенно в условиях повышенного риска, связанного с работой в удаленных и труднодоступных районах страны, очень сложно. Решение перечисленных задач может быть найдено с применением методов ИИ, которые сейчас активно применяются во многих сферах, где организована транспортная логистика.

Так, например, ИИ позволяет моделировать движение городского общественного транспорта в мегаполисах, рассчитывать оптимальные маршруты движения в различных транспортных системах [9, 10]. Кроме этого, примеры успешных практик внедрения цифровых технологий в транспортную логистику можно найти в различных отраслях, включая розничную торговлю, автомобильную промышленность, электронную коммерцию и экономическую безопасность [11]. ИИ позволяет проводить анализ и прогнозирование транспортных потоков с высокой точностью [12]. Имея данные о дорожных условиях, расписании доставки и транспортных средствах, можно прогнозировать потоки движения транспорта [13]. Анализ литературы доказывает, что внимание уделяется транспортной логистике многих сфер жизни, но не логистике в минерально-сырьевом комплексе.

В транспортной логистике минерально-сырьевого комплекса применение различных методов ИИ открывает большие перспективы. Рассмотрим подробнее сами методы и их возможное применение в данном контексте.

1. *Генетические алгоритмы.* Эти методы оптимизации могут использоваться для нахождения оптимальных маршрутов доставки сырья с учетом различных параметров, например, расстояния, времени и стоимости. Они способны адаптироваться к изменяющимся условиям и находить наилучшие решения.

2. *Алгоритмы глубокого обучения.* Такие методы машинного обучения позволяют анализировать большие объемы данных и прогнозировать оптимальные маршруты. Они, схоже с генетическими алгоритмами, учитывают множество переменных, погодные условия, дорожную инфраструктуру, трафик и др. для предсказания наилучших маршрутов.

3. *Методы кластеризации.* Они позволяют группировать данные в различные кластеры и определять наиболее эффективные маршруты для каждого транспортного средства в каждом кластере. Это позволяет учитывать особенности различных месторождений и условия на дорогах.

4. *Искусственные нейронные сети.* Методы ИНС могут быть обучены на основе данных о транспортировке сырья и условиях дорог для предсказания оптимальных маршрутов и управления транспортными потоками. Нейронные сети способны улавливать сложные нелинейные зависимости и предсказывать изменения в логистической цепочке.

Обсуждение. Применение методов ИИ в контексте сырьевой логистики крайне актуально в наше время и не ограничивается методами, перечисленными выше. В исследовании [14] отмечается, что к 2022 году применение цифровых технологий (ИИ, машинного обучения) позволило увеличить производительность перевозок на 12% и производительность парка горных машин за счёт оптимизации на 10-15%. Это свидетельствует о важности будущих разработок и внедрения новых технологий в сырьевую логистику.

Заключение. Так, в ходе исследования было доказано, что эффективное использование цифровых технологий в транспортной логистике минерально-сырьевого комплекса имеет серьёзный потенциал для значительного улучшения

управления и контроля над транспортными потоками. Цифровые технологии способствуют улучшению качества и эффективности управления логистикой и позволяют снижать издержки промышленных предприятий. Исследование доказало, что в сырьевой логистике методы ИИ тоже применяются.

Библиографический список

1. Пашкевич Н. В. Россия на мировых рынках минерального сырья: запасы, добыча, экспорт / Н. В. Пашкевич, Л. И. Исеева, А. А. Федченко // Записки Горного института. – 2014. – Т. 208. – С. 60–64.

2. Братских Д. С. Разработка модели управления цепочкой поставок нефтегазовой отрасли с использованием Блокчейн / Д. С. Братских, Н. В. Ромашева // Сборник тезисов докладов VIII Международная конференции Менеджмент, Экономика, Этика, Технология – МЕЕТ-2022. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский Горный университет, 2022. – С. 121–122.

3. Панышин С. А. Обоснование методологии логистики в различных видах деятельности / С. А. Панышин, А. М. Платонов. // Весенние дни науки : сборник докладов Международной конференции студентов и молодых ученых (Екатеринбург, 21–23 апреля 2022 г.). – Екатеринбург : УрФУ, 2022. – С. 674–679.

4. Нифонтов А. И. Методы оценки экономической эффективности логистической системы и управления уровнем логистических затрат / А. И. Нифонтов, О. П. Черникова, Ю. П. Кушнеров. – DOI 10.21306/2500-3372-2019-4-2-239-245 // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Политические, социологические и экономические науки. – 2019. – Т. 4. – № 2. – С. 239–245.

5. Ефимова И. Ю. Управление транспортными потоками медного месторождения с использованием имитационного моделирования на основе программы arena / И. Ю. Ефимова, Е. Н. Гусева, С. А. Варфоломеева, Т.Н. Повитухин // Фундаментальные исследования. – 2019. – № 3. – С. 35–40.

6. Плоткин Б. К. Формирование и развитие теории минеральносырьевой логистики / Б. К. Плоткин, М. М. Хайкин. – DOI 10.18454/rmi.2017.1.139 // Записки Горного института. – 2017. – Т. 223. – С. 139–146.

7. Будишевский В. А. Транспортно-складская логистика горных предприятий / В. А. Будишевский, Л. Н. Ширин. – Днепропетровск : Национальный горный ун-т, 2010. – 433 с.

8. Ефременкова Т. Е. Логистика в нефтегазовой отрасли / Т. Е. Ефременкова, М. В. Стародуб // Материалы X Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». – Саратов : Общество с ограниченной ответственностью «Евразийская научно-промышленная палата», 2018. – С. 119-120. – EDN WEEFYN.

9. Shalaev A. N. Application of ant algorithms as a basis for the creation of an intelligent system for solving problems of transport logistics / A. N. Shalaev, K. A. Aksyonov // CriMiCo 2014 - 2014 24th International Crimean Conference Microwave and Telecommunication Technology, Conference Proceedings. – 2014. – С. 338–339.

10. Batarlienè N. Solutions to the Problem of Freight Transport Flows in Urban Logistics / N. Batarlienè, D. Bazaras. – DOI 10.3390/app13074214 // Applied Sciences (Switzerland). – 2023. – Т. 13. – № 7

11. Круглова И. А. Использование технологий интернета вещей и искусственного интеллекта как инструментов повышения экономической безопасности на транспорте / И. А. Круглова, А. Д. Кривонос. – DOI 10.18334/epp.13.8.118481 // Journal of Economics, Entrepreneurship and Law. – 2023. – Т. 13. – № 8. – С. 2909–2926.

12. Nazarova V. Modern tools for modeling the development of urban public transport in megacities / V. Nazarova, N. Arifjanova, B. Kenjaeva. – DOI 10.32743/UniTech.2023.115.10.16135 // Universum:Technical sciences. – 2023. – Т. 115. – № 10

13. Arifjanova N. Application of artificial intelligence to optimize transport routes / N. Arifjanova. – DOI 10.32743/UniTech.2023.110.5.15404 // Universum:Technical sciences. – 2023. – Т. 110. – № 5

14. Мацко Н. А. Цифровизация горной промышленности и состояние минерально-сырьевой базы / Н. А. Мацко, М. Ю. Харитонов. – DOI 10.24866/2311-2271/2022-3/37-47 // Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление. – 2023. – Т. 103. – № 3. – С. 37–47.

Рецензент: д.т.н., проф. В.Е. Трушников

© Д. Н.Холева
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы
Екатерины II», Российская Федерация

АНАЛИЗ МЕТОДОВ И МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ ПОЛЕМ УСТРОЙСТВ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕРВИЧНОГО АЛЮМИНИЯ

Аннотация. Данная работа посвящена литературному обзору источников, связанных с тематикой получения первичного алюминия. Цель исследования – описание методов и моделей управления электромагнитным полем устройств получения первичного алюминия в России и мире с целью определения необходимости разработки и внедрения системы автоматического управления, на разработку которой направлена дальнейшая работа автора.

Ключевые слова: производство алюминия, электролизер Содерберга, МГД-стабильность, электролиз алюминия, электромагнитное поле.

Введение. В настоящее время алюминиевая промышленность является активно развивающейся отраслью. В связи с этим огромное количество научных трудов посвящено теме улучшения и оптимизации технологического получения первичного алюминия. Например, Бородкина В. В., Рыжкова О. В., Улас Ю. В. в своей статье «Перспективы развития алюминиевого производства в России» [1] говорят о том, что Россия выделяется среди других стран своим огромным потенциалом роста и развития.

Подробное описание процесса получения алюминия представлено в работе Новожилова И. М., Капостей Е. И., Ильюшиной А. Н. «Методологический анализ технологического процесса получения первичного алюминия» [2]. Авторы подробно описывают метод получения алюминия, возможности его автоматизации. Кроме того, Новожилов И. М., Беляевский О. А. в публикации «Разработка информационной системы мониторинга электромагнитных полей электролизера Содерберга» [4] говорят о том, что

мониторинг и контроль электромагнитного поля имеет важнейшее значение в производстве алюминия.

Анализ литературных источников. В статье Кухаровой, Т. В., Ильюшина, Ю. В. и Асадулаги, М. -. М. «Исследование температурного поля электролизного цеха ОА-300М металлургического производства» [3] авторы исследовали вопросы повышения экономической эффективности электролизера Содерберга. В данной работе было проведено математическое моделирование температурных полей с использованием пространственно распределенной математической модели и проведены экспериментальные исследования.

В статье Шестакова А. К., Петрова П. А. и Николаева М. Ю. «Автоматическая система обнаружения видимых выбросов в электролизном цехе алюминиевого завода на основе технического зрения и нейронной сети» [4] была разработана автоматическая система мониторинга видимых выбросов загрязняющих веществ в атмосфере электролизного цеха. Разработка представляет собой систему технического зрения на основе сверточной нейронной сети.

В статье «Анализ содержания полиароматических углеводородов в газовой и твердой фазах в промышленных выбросах производства алюминия» [5] авторов Тараниной О. А., Бурката В. С. и Волкодаевой М. В. рассмотрены одни из источников полициклических ароматических углеводородов (ПАУ).

Авторы Кризский В. Н., Викторов С. В. и Лунтовская Ю. А. в статье «Моделирование переходного сопротивления изоляции магистрального трубопровода по данным измерений модуля вектора магнитной индукции» [6] построили математическую модель обратной задачи определения переходного сопротивления на границе «грунт / труба».

Авторы Пягай И. Н., Шайдуллина А. А. и другие в своей статье «Производство аморфного диоксида кремния, полученного из промышленных отходов фторида алюминия, и рассмотрение возможности его использования в качестве носителей катализатора $Al_2O_3-SiO_2$ » [7] описали и привели

результаты исследования по разработке методологии получения чистого аморфного диоксида кремния.

Теоретическое исследование решения проблемы. На основании проанализированных источников можно выделить несколько проблем, связанных с получением первичного алюминия. Первой из них является диагностика состояния анодного штыря. Об этом говорят Потапов А. И., Кульчицкий А. А., Смородинский Я. Г., Смирнов А. Г. в своей работе «Оценка погрешности системы контроля геометрии токопроводящих стержней для электролизеров с самообжигающимся анодом» [8]. В этой работе авторы разрабатывают систему, способную отслеживать положение анодных штырей с точностью до 1 мм. Также стоит упомянуть проблемы, связанные с экологическим влиянием металлургического производства на окружающую среду. В частности, этот аспект рассматривается в работе Тимкина И. А., Малышкина А. В., Шелковникова А. А. «Перспективные направления утилизации отходов алюминиевого производства» [9]. Завершающим пунктом является описание МГД-стабильности устройств получения алюминия. Это описывается в работах Савенковой Н. П., Мокина А. Ю., Удовиченко Н. С., Пьяных А. А. «Математическое моделирование МГД-стабильности алюминиевого электролизера» [10]. Авторы представляют математическую модель магнитной гидродинамики.

Международный и отечественный опыт решения проблемы. Из всех описанных выше проблем, основной выделяется именно та, что связана с определением МГД-стабильности электролизера. Ведь именно эти уравнения будут лежать в основе системы управления электромагнитным полем устройств получения первичного алюминия. Таким образом, стоит подробнее рассмотреть работы, связанные с этим вопросом. Одной из таких является работа Радионова Е. Ю., Третьякова Я. А., Немчиновой Н. В. «Влияние положения анодной рамы на магнитогидродинамические параметры электролизера С-8БМЭ» [11]. В ней авторы смогли рассчитать запас магнитогидродинамической стабильности электролизера типа С-8БМЭ.

Одной из последних публикаций по этой теме является работа Соловского А. С., Титова Е. В. «Совершенствование способа контроля электромагнитной обстановки с применением комбинированного метода дозиметрии электромагнитных полей» [12]. Авторы предлагают вариант контроля электромагнитной обстановки.

Заключение. Существует множество современных решений проблем, возникающих при производстве алюминия. Многие авторы делают акцент именно на электромагнитные поля. Так, Калмыков А. В. в диссертации «Математическое моделирование влияния процессов тепломассопереноса на МГД-стабильность алюминиевого электролизёра» [13] делает акцент именно на этой теме. Так же стоит упомянуть Немчинову Н. В., Радионова Е. Ю., Сомова В. В. – авторов работы «Исследование влияния формы рабочего пространства на МГД-параметры работы электролизера при производстве алюминия» [14], подробно описавших влияние параметров устройства на МГД-параметры.

Так, существует ряд статей, описывающих различные аспекты электромагнитных полей электролизера, на основании которых возможна разработка автоматизированной системы управления электромагнитным полем устройств получения первичного алюминия.

Библиографический список

1. Бородкина В.В., Рыжкова О.В., Улас Ю.В. Перспективы развития алюминиевого производства в России // *Фундаментальные исследования*. 2018. № 12-1. С. 72-77.
2. Новожилов И. М., Капостей Е. И., Ильюшина А. Н. Методологический анализ технологического процесса получения первичного алюминия // *Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ*. 2023. Т. 16, № 8. С. 14-27.
3. Kukharova, T. V., Ilyushin, Y. V., & Asadulagi, M. -. M. Investigation of the OA-300M electrolysis cell temperature field of metallurgical production // *Energies*. 2022. Vol. 15(23).
4. Shestakov, A. K., Petrov, P. A., & Nikolaev, M. Y. Automatic system for detecting visible emissions in a potroom of aluminum plant based on technical vision and a neural network // *Metallurgist*. 2023.
5. Taranina, O. A., Burkat, V. S., & Volkodaeva, M. V. Analysis of the concentration of gas-phase and solid-phase polyaromatic hydrocarbons in industrial emissions from aluminum production // *Metallurgist*. 2020. Vol. 63(11-12), pp. 1227-1236.

6. Krizsky, V. N., Viktorov, S. V., & Luntovskaya, Y. A. Modeling the transient resistance of trunk pipeline insulation based on measurements of the magnetic induction vector modulus // *Mathematical Models and Computer Simulations*. 2023. Vol. 15(2), pp. 312-322.

7. Pyagay, I. N., Shaidulina, A. A., Konoplin, R. R., Artyushevskiy, D. I., Gorshneva, E. A., & Sutyaginsky, M. A. Production of amorphous silicon dioxide derived from aluminum fluoride industrial waste and consideration of the possibility of its use as Al₂O₃-SiO₂ catalyst supports // *Catalysts*. 2022. Vol. 12(2).

8. Потапов А. И., Кульчицкий А. А., Смородинский Я. Г., Смирнов А. Г. Оценка погрешности системы контроля геометрии токопроводящих стержней для электролизеров с самообжигающимся анодом // *Дефектоскопия*. – 2020. – № 3. – С. 58-64. – DOI 10.31857/S0130308220030070.

9. Тимкин И. А., Малышкин А. В., Шелковников А. А. Перспективные направления утилизации отходов алюминиевого производства // *Современные наукоемкие технологии*. 2019. № 2. С. 143-147.

10. Савенкова Н. П., Мокин А. Ю., Удовиченко Н. С., Пьяных А. А. Математическое моделирование МГД-стабильности алюминиевого электролизера // *Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии*. – 2020. – Т. 13, № 2. – С. 243-253. – DOI 10.17516/1999-494X-0211.

11. Радионов Е. Ю., Третьяков Я. А., Немчинова Н. В. Влияние положения анодной рамы на магнитогидродинамические параметры электролизера С-8БМЭ // *Технология металлов*. 2018. № 4. С. 31-38.

12. Соловской А. С., Титов Е. В. Совершенствование способа контроля электромагнитной обстановки с применением комбинированного метода дозиметрии электромагнитных полей // *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2023. № 5(103). С. 182-186.

13. Калмыков, А. В. Математическое моделирование влияния процессов тепломассопереноса на МГД-стабильность алюминиевого электролизера: специальность 05.13.18 "Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ": автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / Калмыков Алексей Вадимович. Москва, 2017. 22 с.

14. Немчинова Н. В., Радионов Е. Ю., Сомов В. В. Исследование влияния формы рабочего пространства на МГД-параметры работы электролизера при производстве алюминия // *Вестник Иркутского государственного технического университета*. 2019. Т. 23, № 1(144). С. 169-178.

Рецензент: к.т.н., доц. Т.В. Кухарова

© В. Хэлинь, Е. К. Коровяковский

ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей
сообщения Императора Александра I», Российская Федерация

ПУТИ РАЗВИТИЯ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ МАЛЫХ И СРЕДНИХ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Аннотация. На примере цифровой трансформации малых и средних логистических предприятий в данной статье обсуждается важность, проблемы и подходы к цифровой трансформации малых и средних логистических предприятий, а также ставится цель представить предложения по цифровой трансформации и развитию малых и средних логистических предприятий. Благодаря цифровой трансформации малые и средние предприятия могут повысить эффективность логистики и сократить затраты, повысить уровень обслуживания и удовлетворить потребности клиентов, а также повысить свою конкурентоспособность. В данной статье анализируются проблемы, с которыми сталкиваются малые и средние логистические предприятия в процессе цифровой трансформации, такие как недостаточные инвестиции в технологии и нехватка кадров, жесткая рыночная конкуренция и давление на прибыль, недостаточное понимание информатизации и цифровизации, а также трудности внедрения. Повышая уровень информатизации логистики, способствуя интеллектуальной трансформации логистики, внедряя инновационные бизнес-модели логистики и развивая цифровые таланты, мы можем добиться цифровой трансформации и развития.

Ключевые слова: малые и средние логистические предприятия, цифровая трансформация, путь развития, интеллектуальная транспортная система

Введение. С развитием Интернета, электронной коммерции, экономики совместного пользования и других новых технологий и новых форм бизнеса логистическая отрасль сталкивается с беспрецедентными возможностями и вызовами. Рассмотрение возможностей использования цифровой среды в инновационном развитии транспортной отрасли в контексте работы Министерства транспорта и связи "Цифровой транспорт и логистика" является частью государственной программы "Цифровая экономика Российской Федерации", задачей которой является создание и развитие единого мультимодального цифрово-

го транспортно-логистического пространства. Задача - создать и развить единое мультимодальное цифровое транспортно-логистическое пространство. Предпосылками для изучения данного вопроса является Национальная стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2024 года, предложенная Президентом Российской Федерации, в основе которой лежит транспортная инфраструктура по видам транспорта, обеспечение связности регионов, необходимость поэтапной модернизации, кадровое обеспечение, технологическое обеспечение транспорта, цифровизация, интеграция экосистемы цифровых сервисов, применимых ко всем видам транспорта и используемых для всех видов транспорта и для всех целей. Применяется ко всем видам транспорта, а также "единое окно" для всего государственного и корпоративного транспорта [1]. В таких условиях актуальной проблемой становится то, как малые и средние логистические предприятия могут адаптироваться к изменениям на рынке, повысить свою конкурентоспособность и добиться устойчивого развития. Цифровая трансформация — это эффективный способ для малых и средних логистических предприятий справиться с изменениями во внешней среде, повысить уровень внутреннего управления и создать новые точки роста стоимости. В данной статье мы рассмотрим развитие цифровой трансформации малых и средних логистических предприятий в следующих аспектах: во-первых, объясним важность цифровой трансформации малых и средних логистических предприятий; во-вторых, проанализируем проблемы, с которыми сталкиваются малые и средние логистические предприятия в процессе развития цифровой трансформации; в-третьих, предложим путь развития цифровой трансформации малых и средних логистических предприятий.

1. Важность цифровой трансформации и развития для малых и средних логистических предприятий. Область логистики включает в себя процессы, связанные с оптимизацией доставки товаров по линии товарного потока. Доставка товаров от производителя к потребителю в сети товарных потоков [2]. Благодаря цифровой трансформации малых и средних предприятий мы можем

реализовать информатизацию, автоматизацию и интеллект предприятий и тем самым повысить эффективность их логистических процессов. С помощью Интернета вещей, больших данных, искусственного интеллекта и других технологий предприятия могут добиться мониторинга логистического процесса в режиме реального времени, своевременно узнавать о состоянии обращения товаров, улучшить способность контролировать логистический процесс, сократить ручное управление и ошибки, а также снизить управленческие и временные издержки. Кроме того, цифровая трансформация может помочь предприятиям оптимизировать структуру логистической сети, повысить коэффициент использования и эффективность распределения логистических ресурсов, а также снизить транспортные расходы и стоимость запасов. Например, благодаря использованию анализа больших данных и моделей прогнозирования предприятия могут принимать разумные меры по оптимизации транспортных маршрутов и составлению расписания движения транспортных средств в соответствии с рыночным спросом и условиями поставок, чтобы избежать пустых или перегруженных транспортных средств. Благодаря использованию Интернета вещей и интеллектуальных складских систем предприятия могут добиться точного управления запасами, сократить отставание и потери, а также повысить оборачиваемость запасов.

В процессе цифровой трансформации с помощью больших данных, алгоритмического анализа и других технологий малые и средние логистические предприятия получают возможность своевременно понимать потребности и поведение клиентов, чтобы предоставлять им персонализированные логистические услуги. Кроме того, цифровая трансформация может помочь малым и средним логистическим предприятиям повысить эффективность обслуживания и снизить операционные расходы [3]. Используя цифровые платформы и инструменты, малые и средние логистические предприятия могут оптимизировать свои логистические сети и распределение ресурсов, повысить скорость и точность транспортировки и распределения, а также сократить растрату челове-

ских и материальных ресурсов. Цифровая трансформация также может повысить инновационность и конкурентоспособность МСП.

2. Проблемы цифровой трансформации малых и средних логистических предприятий

2.1. Недостаточные технические вложения и нехватка талантов. В процессе цифровой трансформации и развития малые и средние логистические предприятия сталкиваются с двойной проблемой - недостаточными техническими инвестициями и нехваткой талантов. С одной стороны, малые и средние логистические предприятия, как правило, не имеют достаточной финансовой и технической поддержки, что затрудняет применение Интернета, Интернета вещей, искусственного интеллекта и других новых технологий для улучшения управления транспортом и уровня обслуживания. С другой стороны, малые и средние логистические предприятия также сталкиваются с нехваткой профессиональных талантов, и трудно привлечь и вырастить таланты с цифровым мышлением и способностями, чтобы повысить инновационные способности и конкурентоспособность предприятий. Цифровая трансформация требует не только поддержки технологий, но и поддержки талантов [4].

2.2. Рыночная конкуренция. Малые и средние логистические предприятия сталкиваются с жесткой конкуренцией со стороны крупных логистических платформ, платформ электронной коммерции, транснациональных логистических компаний и т. д. Эти конкуренты обычно обладают более мощным финансовым потенциалом, технологическим потенциалом и влиянием бренда, и им сложно добиться устойчивой рентабельности.

2.3. Ошибочные представления об информатизации и цифровизации. При проведении цифровой трансформации у малых и средних логистических предприятий часто возникают когнитивные заблуждения, такие как простое приравнивание информатизации к оцифровке, различные пути и стратегии оцифровки на разных предприятиях, необходимость комплексных и систематических изменений для цифровой трансформации, что приводит к неясным це-

лям, необоснованным программам и незначительным результатам цифровой трансформации. Например, некоторые малые и средние логистические предприятия считают, что информационные технологии сводятся к покупке и использованию некоторого программного и аппаратного обеспечения, игнорируя при этом суть информационных технологий - использование информационных технологий для повышения операционной эффективности и уровня управления [5]. В то же время при внедрении цифровой трансформации малые и средние логистические предприятия сталкиваются с трудностями в области качества и очистки данных, координации и модернизации исходных систем, а также корректировки организационной структуры и культуры, что влияет на процесс и эффект цифровой трансформации. Данные - основа цифровой трансформации, но данные многих МСП неполны, неточны и непоследовательны, что требует большой работы по их очистке и проверке. Кроме того, исходные системы малых и средних логистических предприятий часто фрагментированы и устарели, их необходимо интегрировать и обновить, чтобы обеспечить обмен и поток данных.

3. Метод развития цифровой трансформации для малых и средних логистических предприятий. На сегодняшний день в России признана важность цифровизации логистики. ИТ поддерживают координацию систем, а также производственных, торговых и экономических процессов, с целью достижения формирования цифровой логистики для движения товаров и материальных потоков [6, 7]. Логистические данные являются основой и ядром логистической деятельности и ключевым элементом цифровой трансформации малых и средних логистических предприятий. С помощью логистической информационной системы малые и средние логистические предприятия могут достичь комплексного освоения логистических ресурсов, повысить эффективность и точность принятия логистических решений, а также снизить риск невыполнения логистических операций на грузовых терминалах [8,9]. Например, с помощью логистической информационной системы малые и средние логистические предпри-

ятия могут отслеживать местоположение, состояние, количество и другую информацию о товарах в режиме реального времени, чтобы повысить безопасность и отслеживаемость товаров; они могут динамически регулировать маршруты, режимы, время и другие параметры транспортировки в соответствии с потребностями клиентов и изменениями на рынке, чтобы повысить гибкость и эффективность перевозок; они могут использовать технологии анализа и добычи данных для выявления проблем и точек улучшения логистического процесса, а также выдвигать разумные предложения и меры, чтобы снизить риск логистической операции. Поэтому малые и средние логистические предприятия активно инвестируют в создание логистической информационной системы, чтобы повысить уровень логистических информационных технологий и заложить прочный фундамент для цифровой трансформации.

Заключение. Логистические услуги являются незаменимой сферой деятельности, и в условиях формирования цифровой экономики транспортно-логистическая отрасль трансформируется на основе внедрения цифровых технологий в организацию деятельности логистических служб. Вопросы цифровой трансформации и развития малых и средних логистических предприятий рассматриваются как на теоретическом, так и на практическом уровнях, с целью предоставления малым и средним логистическим предприятиям предложений и рекомендаций по цифровой трансформации и развитию. Благодаря цифровой трансформации малые и средние логистические предприятия могут повысить эффективность логистики и снизить затраты, улучшить уровень обслуживания и удовлетворить потребности клиентов, а также повысить конкурентоспособность и инновационность.

Библиографический список

1. Цифровая трансформация транспортной инфраструктуры – основа реализации ведомственного проекта «Цифровой транспорт и логистика»/ Пугачев И.Н., Куликов Ю.И. // В

сборнике: Планирование и моделирование перевозок. Материалы V Международной онлайн-конференции по науке и практике. Москва, 2020. С. 142-149.

2. Дыбская В.В. Цифровые технологии в логистике и управлении цепочками поставок: аналитический обзор / под общ. и науч.ред. В.В.Дыбская // Изд. дом Высшей школы экономики, 2020. 190 с.

3. Левин Б., Миротин Л. Институт логистики и цепей поставок, система снабжения. Логистика, 2016, том 7(116), С. 116. 34-36.

4. Чжоу Фу. Цифровая трансформация логистических предприятий. China Storage and Transportation, 2022(04). С.176-178.

5. Dong Xusong. Оценка стоимости инвестиционных проектов логистических предприятий в контексте цифровой трансформации - на основе усовершенствованной модели реальных опционов. Logistics Technology, 2023, 42(07). С.40-47.

6. Карапетянц И.В., Толстых Т.О., Шкарупета Е.В. Трансформация логистических процессов в цифровой экономике // РЕГИОН: системы, экономика, управление. 2017. № 3 (38). С. 104–110.

7. Марусин А.В., Аблязов Т.Х. Перспективы цифровой трансформации логистики. Журнал Алтайского университета экономики и права. 2019, № 4-2. Рр. 240-244.

8. Коровяковская Ю. В. Грузовой терминал как элемент транспортно-логистической системы / Ю. В. Коровяковская // Шаг в будущее (Неделя науки - 2004): материалы науч.-техн. конф. / под ред. д.т.н. В.В. Сапожникова, д.т.н. Л.Н. Павлова. – СПб.: ПГУПС, 2004. С. 122-125.

9. Коровяковская Ю. В. Организация грузовых перевозок с участием транспортно-логистических терминалов / Ю. В. Коровяковская // Актуальные проблемы управления перевозочным процессом: сборник научных трудов. СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, 2006. С. 151-158.

Рецензент: д.т.н., проф. Арефьев И.Б.

© В. В. Чирцов

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы
Екатерины II», Российская Федерация

ОЦЕНКА ЗНАЧИМОСТИ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ СТРУКТУРНОГО ПОДРАЗДЕЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ, С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА

Аннотация. В данной работе рассмотрено применение методов кластерного анализа для исследования значимости факторов, влияющих на эффективность работы научно-технического отдела, являющегося структурным подразделением промышленного предприятия. На основании анализа факторов сделаны выводы о наиболее важных показателях системы для лица принимающего решения и представлен вариант по повышению эффективности работы отдела.

Ключевые слова: кластерный анализ, структурное подразделение, анализ, исследование, системный анализ, кластер.

Введение. Для эффективного принятия решения, которое внесет изменения, необходимое для развития предприятия, лицу, принимающему решения необходимо иметь наибольшее количество информации об объекте, причем информация должны быть достоверной и актуальной, на которое направлено данное решение [1, 2].

В рамках данного исследования ставится цели провести анализ структурного подразделения, выявив наиболее важные параметры влияющие на эффективность работы отдела.

Для обеспечения максимальной эффективности работы отделов, требуется проведения полного анализа работы, для выявления ключевых факторов, которые требуется улучшить, для повышения эффективность работы структурного подразделения [3, 4, 5].

Исследование. Основной задачей научно-технического отдела, исследуемого в работе, в рамках проектов является разработка технического задания, являющегося инструкцией к выполнению для отделов исполнителей. Без технического задания другие отделы не могут начать работу над проектом. Исходя из вышесказанного, необходимо обеспечить максимальную эффективность научно-технического отдела [6].

Однако модель работы научно-технического отдела на данный момент не представляет из себя эффективную систему, в связи с чем важно выявить ключевые факторы, которые следует улучшить для повышения эффективности работы отдела [7,8].

На рис. 1 представлены исходные данные в среде Statgraphics, к которым для проведения кластерного анализа был применен метод Варда с разбиением на 4 кластера [9,10].

	у	x1	x2	x3	x4	x5
	Numeric	Numeric	Numeric	Numeric	Numeric	Numeric
1	12	2	4,3	2	2	5
2	13	1	4,5	2	2	6
3	11	2	4,7	3	2	5
4	13	2	4,7	3	2	7
5	12	3	4,2	3	2	8
6	4,5	2	4,2	4	10	7
7	4	2	4,5	4	10	6
8	5,5	2	4,5	4	10	10
9	8,5	2	4,7	4	10	13
10	6	2	4,5	4	10	10
11	7	2	4,6	4	10	11
12	10	2	4,2	5	6	8
13	8	2	4	5	6	5
14	9	1	4,2	5	6	4
15	8	1	4,1	5	6	3
16	10,5	1	4,4	7	4	6
17	11,5	2	4,1	7	4	7
18	9,5	1	4,1	7	4	4
19	10	1	4,1	7	4	5
20	9,5	3	4,3	7	4	6

Рис. 1. Исходные данные

Исходные данные включают в себя: у – количество затраченных дней на работу; x1 – количество сотрудников, работающих над проектом; x2 – заработная плата сотрудников в десятках тысяч рублей; x3 – качество оборудования, на котором производится работа над проектом; x4 – качество программного обеспечения, при работе над проектом; x5 – объем работы в листах.

На основании данного метода было получено разбиение на кластеры, представленное на рис. 2.

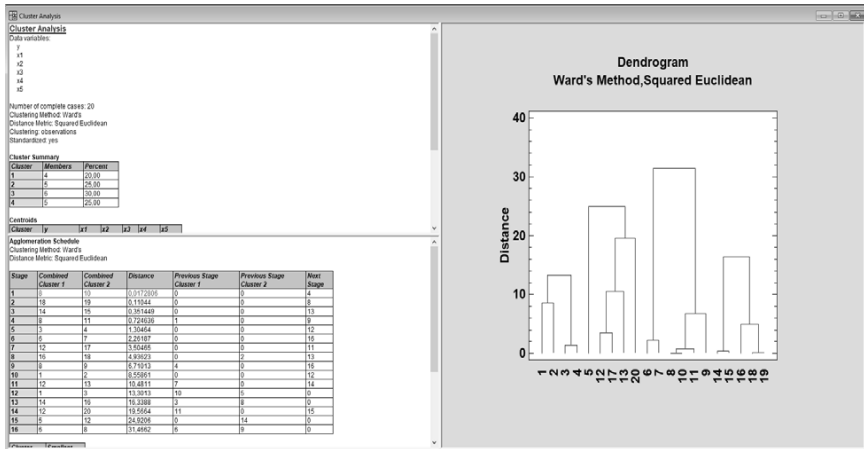


Рисунок 2 –Разбиение на кластеры

При анализе полученных кластеров было выявлено, что данное разбиение является оптимальным.

Таким образом распределение по кластерам следующее: 1[1;2;3;4], 2[5;12;13;17;20], 3[6;7;8;9;10;11] и 4[14;15;16;18;19].

Рассмотрим особенности кластеров. Наиболее характерным признаком для кластеров является соотношение скорости работы и объема работы.

Для первого кластера соотношение равно: от 1,86 до 2,40.

Для второго кластера: от 1,25 до 1,64.

Для третьего кластера: от 0,55 до 0,64.

Для третьего кластера: от 1,75 до 2,67.

Однако так же кластеры близки по объёму скорости выполнения работы, в целом. Так, части 4 и 1 кластера отличаются в том числе по этому параметру.

Следует отметить, что наилучшее соотношение является в 3 кластере, что позволяет сформировать гипотезу о наибольшей значимости программного обеспечения для эффективности работы отдела.

Заключение. Таким образом было получено, что ключевым фактором, который влияет на эффективность работы структурного подразделения исследуемого предприятия, является качество программного обеспечения.

Кластерный анализ позволяет провести анализ и ключевых факторов, оказывающих влияние на работу структурного подразделения на основании ранее полученных статистических данных, что позволяет утверждать о стратегической важности применения данного метода при исследовании промышленного предприятия.

В рамках рекомендаций для данного предприятия предлагается: улучшить качество программного обеспечения.

Библиографический список

1. Основы системного анализа и управления [Электронный ресурс]: учебник / О.В. Афанасьева [и др.]. - Электрон. текстовые дан. - СПб. : Горн. ун-т, 2017. 552 с. http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=402&task=set_static_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<.>I=65%2E9%D1%8F73%2F%D0%9E%2D75%2D746663175<.>

2. Scott W.G. Organization Theory: An overview and an appraisal // Organizations: Structure and Behaviour / J. A. Litterer (Ed). New York: Wiley, 1963. P. 13–26.

3. Первухин Д.А. Теория и методы прогнозирования / Д.А. Первухин, О.В. Афанасьева - СПб.: изд-во ООО «СатисЪ», 2014, 139 с.

4. Первухин Д.А. Теория принятия решений (дополнительные главы): Учебн. пособие. СПб.: изд-во СЗТУ, 2009, 209 с.

5. Афанасьева О.В. Исследование эффективности работы отдела технической поддержки ООО «Инженерные системы» методами системного анализа/ О.В. Афанасьева, А.И. Яковлев // Глобализация и интеграция традиционной и инновационной науки в современном

мире: сб. науч. статей по итогам международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 23-24 сентября 2016г.. СПб.:КУЛЬТ ИНФОРМ-ПРЕСС, 2016, с.83-87.

6. Чирцов В.В. Оценка эффективности работы научно-технического отдела с использованием регрессионного анализа // Анализ и прогнозирование систем управления в промышленности, на транспорте и в логистике, 2022. 271-276с.

7. Горлушкина Н.Н. Системный анализ и моделирование информационных процессов и систем: Учебн. Пособие. СПб: Университет ИТМО, 2016, 120 с.

8. Афанасьева О.В. Системное моделирование (учебно-методический комплекс для студентов бакалавриата направления 27.03.03) / О.В. Афанасьева, Д.А. Первухин // СПб.: изд-во Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2015, 155 с.

9. Голубков Е.П. Использование системного анализа в отраслевом планировании. М.: Экономика, 1977, 136 с.

10. Безруков А.И. Математическое и имитационное моделирование: учеб. пособие / А. И. Безруков, О. Н. Алексенцева. — М. : ИНФРА-М, 2017. — 227 с. 25.

Рецензент: д.т.н., проф. В.Е. Трушников

© Ю. А. Шабалина

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы
Екатерины II», Российская Федерация

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СИСТЕМНОГО АНАЛИЗА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПАНИИ ООО «ПРОТЕХ ИНЖИНИРИНГ»

Аннотация. В данной работе проведён анализ деятельности отдела предприятия ООО «ПроТех Инжиниринг» с использованием методов системного анализа. Исследование происходило с применением метода априорного ранжирования факторов, диаграммы Исикавы и многомерного корреляционно-регрессионного анализа. В статье выработаны рекомендации по повышению эффективности и оптимизации работы компании.

Ключевые слова: диаграмма Исикавы, метод априорного ранжирования факторов, многомерный корреляционно-регрессионный анализ, прогнозная модель, имитационное моделирование, эффективность.

Ведение. В настоящее время предприятия минерально-сырьевого комплекса являются важной экономической составляющей России. Руководства компаний данной отрасли стремятся повысить эффективность производств, периодически проводя оценку эффективности, что можно сделать с позиции системного анализа. Существуют разные подходы к исследованию сложных процессов, например установление эмпирических зависимостей, построение аналитических выражений, создание имитационных моделей и т.д.

Рассмотрим компанию минерально-сырьевого комплекса ООО «ПроТех Инжиниринг» с позиции системного анализа, а именно дадим оценку эффективности функционирования подразделения этой компании. Деятельность компании связана с проектированием объектов добычи и переработки минерального сырья [1,2]. Основная задача ООО «ПроТех Инжиниринг» заключается в разработке проектных решений увеличивающих

эффективность производственных мощностей, и как следствие увеличение прибыли. Объектом исследования выбран научно-исследовательский отдел «ПроТех Инжиниринг», в дальнейшем НИЦ ПТИ. В данной работе исследовано увеличение договоров заключённых с компанией, а также выработаны рекомендации по улучшению эффективности работы предприятия.

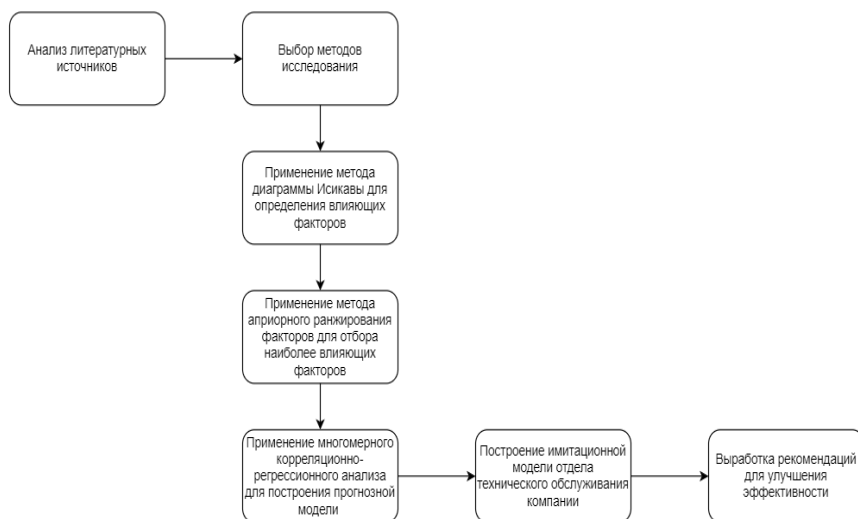


Рис. 1. Схема проведённого исследования

Блок-схема описывающая план проведённого исследования представлена на рис. 1. На основе проведённого анализа литературных источников были выбраны следующие методы системного анализа. Метод представления диаграммой Исикавы способствует визуальному представлению проблемы и причин влияющих на неё. Также метод помогает проанализировать причинно-следственную связь возникновения проблемы. Применение метода априорного ранжирования факторов [3] обуславливается использованием оценок экспертов в исследуемой области, что позволяет глубже погрузиться в проблему. Многомерный корреляционно-регрессионный анализ факторов позволит

исключить из исследования коррелируемые факторы и на основе этого построить прогнозную модель.

Для исследования причин влияющих на количество заключённых с компаний договоров была построена диаграмма Иискавы [4] представленная на рис. 2.

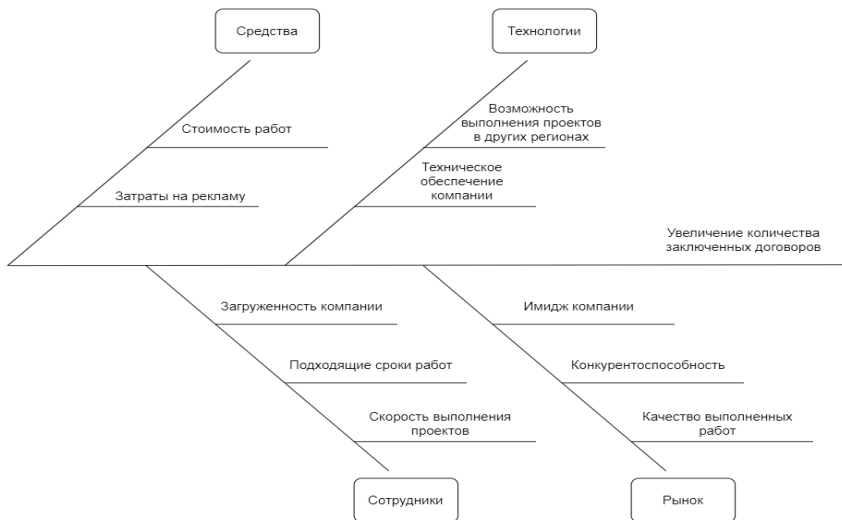


Рис. 2. Диаграмма Иискавы

На основе причин, представленных диаграммой Иискавы на рисунке 2 был использован метод априорного ранжирования факторов. Пять экспертов проанализировали и выставили свои оценки восьми факторам, представленным в табл. 1.

Из проведённых расчётов, графически отображённых на рисунке 3, следует вывод о том, что факторы x_1, x_3, x_4, x_6, x_5 больше влияют на исследуемую проблему увеличения числа заключенных с организацией договоров.

Результаты анализа использованных методов показал, что скорость выполнения проектов является фактором, с помощью которого можно повысить эффективность компании.

Таблица 1. Исследуемые факторы для метода априорного ранжирования.

№	Наименование параметра
x_1	Скорость выполнения работ
x_2	Возможность работы в других регионах
x_3	Стоимость работ
x_4	Высокие стандарты качества выполненных работ
x_5	Подходящие для заказчика сроки выполнения работ
x_6	Техническое обеспечение компании
x_7	Загруженность компании
x_8	Количество предложений от конкурирующих организаций

Рассмотрим фактор скорости выполнения проектов как среднее время, затраченное на разработку проекта.

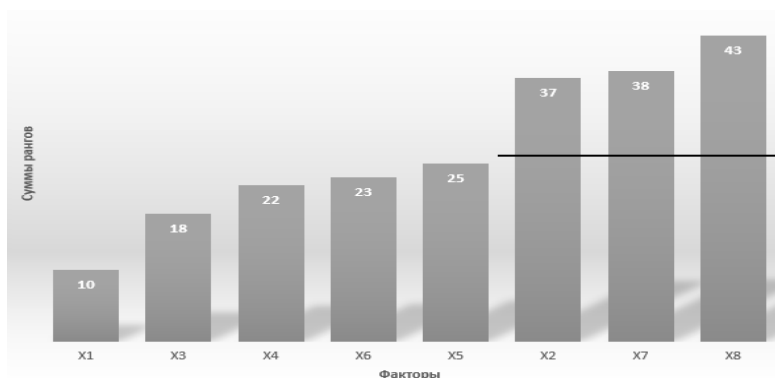


Рис. 3. Результаты метода априорного ранжирования факторов

С помощью данных о среднем количестве рабочих часов, которое затрачено на создание одного проекта в компании «ПроТех Инжиниринг» с 2011 по 2023 год. Были определены наиболее долгосрочные в процессе проектирования факторы, представленные в таблице 2, что влияет на время, в среднем затраченное на разработку проекта.

Таблица 2. Исследуемые факторы для многомерного корреляционно-регрессионного анализа.

№	Наименование параметра
x_1	Количество сотрудников в отделе
x_2	Время, затраченное на сбор и анализ исходных данных
x_3	Время, затраченное на лабораторные исследования
x_4	Время, затраченное на проведение испытаний физико-математических свойств
x_5	Время, затраченное на разработку плана развития горных работ
x_6	Время, затраченное на моделирование
x_7	Ошибки персонала (человеческий фактор)
x_8	Количество случаев, в которых необходим ремонт, наладка и устранение сбоев оборудования

В ходе проведения многомерного корреляционно-регрессионного анализа [5] было выявлено, что факторы x_3 и x_7 являются коррелируемыми, поэтому было принято решение исключить фактор x_7 из рассмотрения. Также была подсчитана средняя ошибка аппроксимации равная 0,88%, что говорит о высоком качестве полученной прогнозной модели:

$$Y = 0,07 - 0,16x_1 - 0,07x_2 + 0,96x_3 - 0,23x_4 + 0,26x_5 + 0,16x_6 - 0,009x_8$$

Выводы. Моделирование играет важную роль в понимании деятельности процесса, оно позволяет представить процесс до его реализации. В целях повышения точности прогноза в качестве системы массового обслуживания [6] рассмотрим технический отдел, где ключевой рассматриваемый фактор x_8 из таблицы 2. Построение имитационной модели технического отдела НИЦ ПТИ поможет спрогнозировать количество внештатных ситуаций и принять решение по оптимизации данного отдела.

Для улучшения эффективности работы отдела также необходимо создание общей базы данных. Это позволит сократить время на сбор данных по этапам проекта, ведение документации и обобщение в единый отчет. Сбор данных в единую базу позволит получить любого рода информацию по каждому из ведущих проектов за короткое время, а ограничение доступа позволит только отдельно группе лиц вносить изменения, не ограничивая

доступность информации сотрудникам. Таким образом, анализ, проведенный при помощи методов системного анализа, помог выявить причины, влияющие на количество заключенных с компанией договоров и представить соответствующие рекомендации.

Библиографический список

1. Mikhail Afanasyev, Dmitry Pervukhin, Dmitry Kotov, Hadi Davardoost, Anna Smolenchuk. System Modeling in Solving Mineral Complex Logistic Problems with the Anylogic Software Environment. *Transportation Research Procedia*, Volume 68, 2023, Pages 483-491.

2. Ильюшин, Ю. В. Разработка системы управления технологическим процессом добычи высокопарафинистой нефти : специальность 05.13.06 "Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (по отраслям)" : диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Ильюшин Юрий Валерьевич, 2021. – 275 с.

3. Чалая Е.Р., Афанасьева О.В. Ранжирование рисков методом экспертных оценок с помощью шкалы попарных сравнений // В сборнике: Анализ и прогнозирование систем управления в промышленности, на транспорте и в логистике. Сборник трудов XXII Международной научно-практической конференции молодых ученых, студентов и аспирантов. Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. 2022. С. 264-270.

4. Павлова А.С. Диаграмма Исикавы как метод анализа проблем компании. В сборнике: Вестник магистратуры. № 4-4(91). Самарский государственный экономический университет. 2019.

5. Путило С.Ю. Многомерный корреляционно-регрессионный анализ работы структурного подразделения предприятия по транспортировке природного газа / Путило С.Ю., Афанасьева О.В. // В сборнике: Анализ и прогнозирование систем управления в промышленности, на транспорте и в логистике. Сборник трудов XXII Международной научно-практической конференции молодых ученых, студентов и аспирантов. Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I. 2022. С. 208-214.

6. Титов В.Е. Программа имитационного моделирования многоканальной системы массового обслуживания с варьируемым числом каналов / Титов В.Е., Навацкая В.А., Нейрус С.К., Афанасьева О.В. // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023660137, 18.05.2023. Заявка № 2023619645 от 18.05.2023.

Рецензент: д.т.н., проф. В.Е. Трушников

© К.И. Шведин, А.В. Хомов, Н.И. Камшилин

АО «Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Российская Федерация

ЦИФРОВАЯ ЛОГИСТИЧЕСКАЯ ПЛАТФОРМА ДЛЯ СРЕДНЕТОННАЖНЫХ ПЕРЕВОЗОК

Аннотация. Представлены предложения создания цифровой логистической платформы для перевозок грузов в среднетоннажных модулях. Приведены примеры отечественных и зарубежных цифровых логистических платформ.

Ключевые слова. контейнер, среднетоннажный модуль, контейнер-платформа, цифровая логистическая платформа.

Введение. В 2021 году по заказу Центральной дирекции по управлению терминально-складским комплексом ОАО «РЖД» ВНИИЖТ разработал технико-экономическое обоснование создания сервиса по перевозке груза в новой среднетоннажной таре. В 2023 году институтом совместно с промышленным партнером были созданы опытные образцы среднетоннажных модулей грузоподъемностью 5 и 10 тонн и контейнер-адаптер для их крепления на фитинговых платформах и проведены первые испытания (рис. 1) [1].



Рис. 1. Среднетоннажные модули на контейнер-адаптере,
фото с сайта <https://xn--1520-u4d3ahgsb9pe.xn--p1ai/new/9481/>

В декабре с ТЛЦ «Белый Раст» (Московская область) в составе контейнерного поезда организована опытная перевозка назначением до станции Белогорск (Амурская область). Платформа, на которой стояли четыре пятитонных и два 10-тонных контейнера, загруженные предметами домашнего обихода, бакалеей и другой продукцией, не требующей специальных условий перевозок, прибыла на станцию назначения в установленный срок.

В 2024 году планируется проведение сертификации и стандартизации нового оборудования, разработка нового ГОСТа, а затем запуск нового сервиса.

В отличие от перевозки 3-х и 5-ти тонных железнодорожных контейнеров в полувагонах, которая осуществлялась на сети железных дорог до 2013 года. Новые среднетоннажные грузовые единицы планируются перевозить на фитинговых платформах, что позволяет организовать их доставку в контейнерных поездах через контейнерные терминалы (рис. 2).



Рис. 2. Перевозка в полувагоне среднетоннажных контейнеров, списанных в 2013 году, и перевозка на фитинговой платформе среднетоннажных модулей с контейнер-адаптером в 2023 году.

В современном мире есть много цифровых платформ, которые навсегда изменили целые отрасли. Например, в области пассажирских перевозок BlaBlaCar, Yandex Taxi, Uber. В розничной торговле – Avito, Ozon, Aliexpress, Wildberries. С 2015 года по 2020 год число цифровых платформ выросло с 50 до 150 [2].

Грузовые перевозки чаще всего управляются прогнозными логистическими моделями, а обслуживаются транспортно-логистическими центрами. Например, для 14 логистических сетей в Германии имеется более 900 грузовых терминалов, которые используются для перегруза. На рис. 3 представлен пример транспортно-экспедиционной сети с ее возможными связями между 40 логистическими центрами (основные маршруты слева; маршруты местной дистрибуции справа) [3].

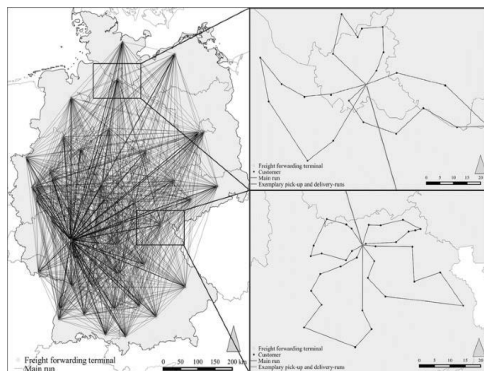


Рис. 3. Сеть транспортно-логистических центров (слева -основные маршруты, справа – маршруты дистрибуции).

Каждый, из представленных на рисунке 3 транспортно-логистических центров, имеет свои особенности, свою тарифную политику, свои правила. Но интегрированные в цифровую платформу, связали все перевозки в единую логистическую сеть. В настоящее время функционируют несколько цифровых

логистических платформ: SAMGODS (Швеция), SMILE (Голландия), EUNET (Великобритания), SLAM (Европа) и др.

Среди отечественных платформ следует отметить Express Isource, который является цифровым сервисом для грузовых автомобильных перевозок. «Возможности Express Isource позволяют не только оптимизировать стоимость перевозок, но и сократить сроки поставок. Формирование заказа занимает не более 10 минут, а подача машины в 97% случаев происходит в течение 48 часов с момента заявки» [4]. Цифровая платформа Express Isource позволяет, кроме магистрального транспорта, найти специализированную технику – грузовые подъемники, тралы, автобусы, самосвалы. Особенно это стало востребовано для доставки на «последней мили» [5].

В 2017 году Почта России на всей территории страны внедрила цифровую логистическую платформу, которая ежедневно анализирует около миллиарда вариантов маршрута, выбирая самые оптимальные с точки зрения стоимости и сроков доставки. Математическая модель использует все виды транспорта для планирования пересылки почтовых отправлений [6].

В 2017 году в рамках программы «Цифровая железная дорога» ОАО «РЖД» ввело в промышленную эксплуатацию электронную торговую площадку «Грузовые перевозки» (ЭТП ГП). Новая цифровая платформа предоставила возможность грузовладельцам заказывать и оплачивать перевозки в вагонах различных собственников. Оператором цифровой логистической платформы является дочернее общество ОАО «РЖД» ООО «Цифровая логистика» и среди поставщиков услуг ЭТП ГП можно найти стивидорные компании, перевозчиков, терминально-складских операторов и операторов подвижного состава [7] (рис. 4).

Алгоритм работы ЭТП ГП представлен на рис. 5. Обращение клиента, заполнение, согласование и оформление всех документов происходит электронно [8]. В настоящее время 9 тысяч клиентов зарегистрировано на ЭТП ГП и ежемесячно оформляется более 20 тысяч отправок.

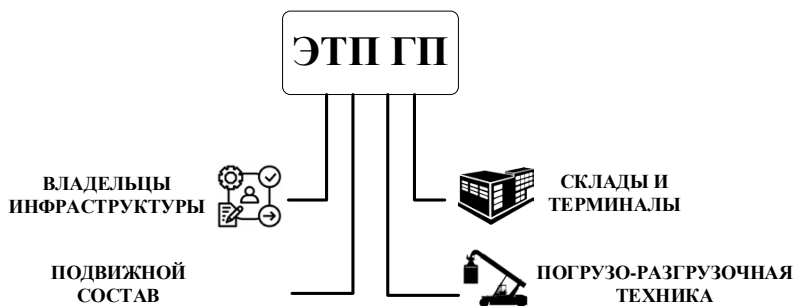


Рис.4. Схема использования электронной торговой площадки «Грузовые перевозки»

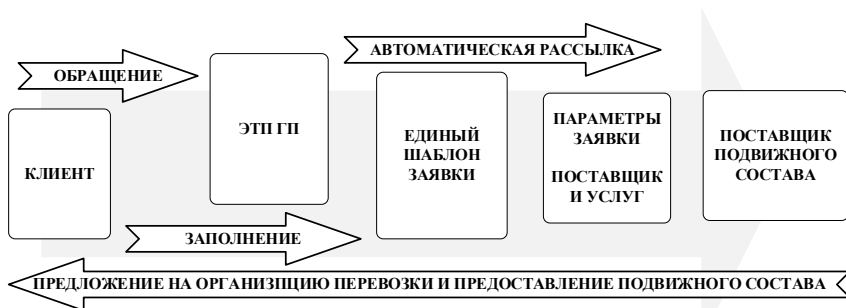


Рис. 5. Алгоритм ЭТП «Грузовые перевозки»

Кроме основных услуг по предоставлению подвижного состава, ЭТП ГП может оказывать такие дополнительные услуги, как складское хранение на местах общего (необщего) пользования железнодорожных станций и погрузочно-разгрузочные работы с контейнерами и иными грузами в местах общего пользования.

Кроме ЭТП ГП, сервис железнодорожных перевозок осуществляют ЭТП RailCommerce («Биржа вагонов») и цифровая логистическая платформа мультимодальных перевозок EZDOK [9].

Для реализации сервиса перевозки мелких партий грузов в среднетоннажных контейнерах следует в перечень поставщиков терминально-складских услуг включить максимальное количество терминалов, работающих

с двадцатифутовыми контейнерами. На 1 января 2020 года на сети железных дорог производили погрузку-выгрузку контейнеров на путях общего пользования 205 терминалов и 535 терминалов – на путях необщего пользования [10]. ПАО «Трансконтейнер» в основном отправляет контейнера только на свои 40 сухопутных терминалов, которыми владеет вместе со своими дочерними компаниями. К 2026 году ПАО «Трансконтейнер» планирует увеличить мощность своих терминалов в 2,2 раза и превысить 1 млн ДФЭ [11]. Работа только со своими терминалами порождает проблему, «которая стала особенно явной на фоне роста объемов контейнерных перевозок — это снижение оборачиваемости контейнеров при увеличении цены на перевозку и порожнего пробега, что снижает качество услуг. Это приводит к замедлению операций, накоплению непорожних контейнеров, что тоже влияет на дефицит порожних контейнеров» [12].

Первоначально сервис перевозки грузов в среднетоннажной таре предназначался для доставки «от двери к двери». Поэтому без услуги автомобильного транспорта не обойтись. Цифровую логистическую платформу для перевозки среднетоннажных модулей необходимо интегрировать не только с грузовыми терминалами всех форм собственности, но и с агрегаторами автомобильных грузовых перевозок. Несмотря на запреты перевозок в ЕС и приостановки поставок импортных комплектующих, рынок грузовых автомобильных перевозок, составляющий Р5,2 трлн в 2022 году, может увеличиться к 2030 году на 40 % [13]. Рост автомобильных грузовых перевозок невозможен без развития цифровых логистических платформ. В настоящее время автомобильных агрегаторов более, чем достаточно. Вследствие этого цифровой рынок автомобильных перевозок сильно фрагментирован. В 2022 году Яндекс анонсировал запуск цифровой платформы «Яндекс. Магистраль», которая соединит грузоотправителей, экспедиторов и дальнбойщиков. На основании других проектов Яндекс, платформу можно считать перспективной. Так как облачная платформа «Яндекс. Магистраль» предназначена, кроме

перевозок между городами, внутригородской доставки до грузополучателя, то эта инновационная система может является партнером для цифровой платформы железнодорожной перевозки среднетоннажных модулей.

Кроме автоматизации множества операций (формирование заявок, согласование заказов, поиск оптимального маршрута и поставщика, оформления финансовых документов) в сервисе перевозки среднетоннажных модулей планируется создание управляющего диспетчерского центра на примере цифровой инфраструктуры Control Tower [14]. Информация, поступающая в реальном времени, позволит диспетчерам Control Tower оперативно реагировать на исключительные операции и принимать эффективные решения по управлению материальными и информационными потоками. Интеграция облачной цифровой платформы с Control Tower позволит достигнуть автономности (рисунок 6) и обеспечить «уменьшение складских запасов в среднем на 56%; сокращение страховых запасов на 10–55%; сокращение дефицита материальных ресурсов на 15–90%; сокращение логистических затрат в среднем на 54%» [15].

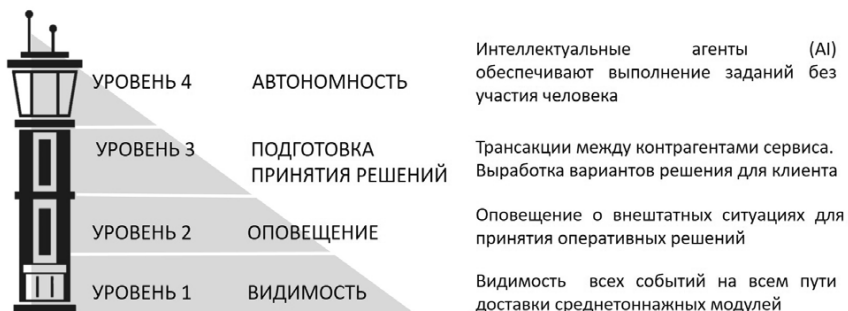


Рис. 6. Уровни эволюции диспетчерского центра Control Tower на основе цифровой логистической платформы

Предлагаемый сервис перевозки грузов в среднетоннажных модулях на основе цифровой логистической платформы, интегрированной в экосистему цифровых двойников, позволит удовлетворить потребности грузоотправителей

в перевозке среднетоннажных партий груза и сократить объем использования крупнотоннажных контейнеров для перевозки сборных грузов. Холдинг ОАО «РЖД» ориентирован на привлечение инвестиций в новый сервис и развитие малого и среднего предпринимательства, а также коллаборации с уже действующим бизнесом.

Библиографический список

1. [Электронный ресурс] ВНИИЖТ разрабатывает тару для грузов МСП / Gudok.ru № 151 (27731). Дата обращения: 23.08.2023
<https://gudok.ru/newspaper/?ID=1644189&archive=2023.08.23>
2. [Электронный ресурс] Как цифровые платформы меняют нашу жизнь
<https://guru.nes.ru/dialogi/kak-czifrovyye-platfomyi-menyayut-nashu-zhizn.html> Дата обращения: 23.08.2023
3. [Электронный ресурс] Consideration of transport logistics hubs in freight transport demand models <https://etr.springeropen.com/articles/10.1007/s12544-015-0181-5> Дата обращения: 11.01.2024
4. [Электронный ресурс] Express Isource уберизировал перевозки и стал лучшим
<https://companies.rbc.ru/news/8XebxpZqVi/express-isource-uberiziroval-perevozki-i-stal-luchshim/> Дата обращения: 11.01.2024
5. [Электронный ресурс] Express задаёт стандарты перевозок «последней мили»
<https://www.isource.ru/news/express-zadayet-standarty-perevozok-posledney-mili.html> Дата обращения: 11.01.2024
6. [Электронный ресурс] Математическая модель на страже логистики: как работает «Почта России» <https://trends.rbc.ru/trends/industry/61b7212c9a794736b7d3e811?from=copy> Дата обращения: 02.02.2024
7. [Электронный ресурс] «РЖД» совершенствует ЭТП «Грузовые перевозки» для клиентов и поставщиков
<https://ural.aif.ru/society/rzhd-sovershenstvuet-etp-gruzovye-perevozki-dlya-klientov-i-postavshchikov> Дата обращения: 11.01.2024
8. Алгоритм работы электронной торговой площадки «Грузовые перевозки» / К. Е. Гордеев, Е. И. Игнатьева, Ю. О. Гуд, В. А. Оленевич // Наука сегодня: проблемы и перспективы развития : Материалы международной научно-практической конференции,

Вологда, 25 ноября 2020 года. – Вологда: Общество с ограниченной ответственностью "Маркер", 2020. – С. 9-11. – EDN LEYCUJ.

9. Щелков, Н. С. Цифровые платформы в отрасли грузовых железнодорожных перевозок России / Н. С. Щелков, М. В. Рукинов // Финансы и бизнес. – 2022. – Т. 18, № 1. – С. 73-84. – EDN FJJZMG.

10.[Электронный ресурс] Перспективы контейнерных перевозок на сети ОАО "РЖД" с учетом развития мультимодальных транспортно-логистических центров <https://transport-strategy.org/f/perspektivy kontejnernih perevozok na seti oao rzhhd s uchetom razvitiya multi modalnyh transportno-logisticheskikh centrov.pdf> Дата обращения: 15.01.2024

11.[Электронный ресурс] «Трансконтейнер» планирует построить терминалы в Подмоскowie, Кузбассе и Приморье <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2023/09/12/994600-transkonteiner-planiruet-postroiti-terminali-v-podmoskove-kuzbasse-i-primorie> Дата обращения: 17.01.2024

12.[Электронный ресурс] Бучанова, Я. А. Проблемы контейнерной железнодорожной логистики в 2022 году и варианты их решения / Я. А. Бучанова, И. С. Ключников. Молодой ученый. — 2023. — № 5 (452). — С. 20-22. — URL: <https://moluch.ru/archive/452/99707/> дата обращения: 05.02.2024.

13.[Электронный ресурс] Уберизация грузовых автоперевозок: обзор российских игроков <https://habr.com/ru/articles/753026/> дата обращения: 05.02.2024.

14. Дыбская, В. В. Применение цифровой технологии control tower в управлении цепями поставок / В. В. Дыбская, В. И. Сергеев, И. В. Сергеев // Логистика vs COVID-19: последствия, риски, новые возможности роста : Материалы международной научно-практической конференции. XVI Южно-Российский логистический форум, Ростов-на-Дону, 29–30 октября 2020 года. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный экономический университет "РИНХ", 2020. – С. 53-58. – EDN EVIBMC.

15. Сергеев, И. Мониторинг цепей поставок с использованием технологии "Control Tower" / И. Сергеев // Логистика. – 2019. – № 5(150). – С. 28-33. – EDN AMNVDD.

Рецензент: к.э.н., доц. Е.А. Фурсова

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ ПРИ УВЕЛИЧЕНИИ НЕФТЕОТДАЧИ ПЛАСТОВ

Аннотация. Нефтяная отрасль является одной из самых рассматриваемых областей, изучаемых человеком на протяжении уже многих десятилетий. Последние технические достижения способствуют созданию систем управления, позволяющих эффективно управлять процессом разработки. Однако, для того чтобы создать эффективную систему разработки, необходимо проанализировать методы добычи флюида, возможные способы увеличения нефтеотдачи, а также актуальность выбранной темы исследования.

Данный обзор сочетает в себе анализ существующих методов построения систем управления и увеличения коэффициентов нефтеотдачи пластов, а также проблем, возникающих при их реализации.

Ключевые слова. Нефтяное месторождение, математическое моделирование, автоматизированные системы управления, методы увеличения нефтеотдачи.

Введение. В наше время человек окружен огромным количеством самых различных отраслей производства. Среди всех отраслей нефтяная промышленность является одной из самых востребованных и стремительно развивающихся. Это обусловлено всевозможным применением продуктов нефтепереработки практически во всех сферах жизнедеятельности.

В связи с этим возникает необходимость не только в изменении и улучшении уже существующих способов разработки нефтяных месторождений, но также и в разработке и внедрении новых систем управления технологическим процессом [1].

Анализ существующих исследований. Увеличение нефтеотдачи является одной из самых востребованных задач, стоящих перед исследователями. Как правило, этот процесс представляет собой добычу

флюида с применением дополнительных веществ, закачиваемых в пласт (при этом эти вещества обычно не присутствуют в пласте изначально). Выделяют три фазы добычи: первичную – добыча флюида с помощью естественного пластового режима, вторичную – закачка воды, либо же газа для поддержания заданного пластового давления, и третичную – метод, применяемый после вторичной добычи при необходимости. При этом, важно понимать, что не всегда возможно ограничиться лишь одной отдельной фазой. Рассмотрим основные методы, которые позволяют добиться увеличения коэффициентов нефтеотдачи.

В настоящее время набирает популярность химическая технология повышения нефтеотдачи (Chemical enhanced oil recovery). Такой способ увеличения коэффициентов нефтедобычи относится к третичному методу, и подробно описан в работе «Моделирование полимерно-химического повышения нефтеотдачи пластов на месторождении Чавал». Первоочередно CEOR был разработан для использования на месторождениях, которые уже были значительно истощены, но сейчас его используют также и при разработке новых месторождений по всему миру, так как среди всех третичных методов подобная технология является одной из наиболее эффективной и востребованной для добычи нефти из труднодоступных залежей [2].

Еще одним методом, относящихся к третичной фазе, является метод увеличения нефтеотдачи ультразвуком. Такой метод был разработан в связи с тем, что использование некоторых уже известных методов вызывает отложение парафина непосредственно около ствола скважины, что в дальнейшем снижает ее дебит. Именно поэтому исследователи при поддержке нефтяных компаний разрабатывают «нетрадиционные» третичные методы. Метод увеличения нефтеотдачи с помощью ультразвука описан в статье «Об использовании ультразвуковой технологии повышения нефтеотдачи пластов (EOR)». Преимуществом рассматриваемого метода является, во-первых, его дешевизна (ультразвуковое устройство стоит порядка 5 миллионов, что практически в 3

раза дешевле, чем установки, используемые при химических методах увеличения нефтеотдачи). Во-вторых, такие установки потребляют меньшее количество энергии и позволяют наглядно наблюдать за распространением ультразвуковой волны, фокусируясь только на заданных участках [3].

Для повышения коэффициента нефтеотдачи с помощью гидроразрыва пласта необходимо не только создавать наиболее эффективную сеть разрывов, но и улучшать способность впитывания флюида для разрыва пласта. В работе «Интегрированные методы гидроразрыва пласта для повышения нефтеотдачи пластов из плотных пород» рассмотрены комплексные технологии высокоэффективного стимулирования сети трещин и Enhanced Oil Recovery. Было предложено, во-первых, осуществлять гидроразрыв пласта временными закупоривающими агентами, что позволит формировать более плотную сетку скважин, а во-вторых, необходимо поддерживать индуцированные трещины микроразмерными проппантами. Такой способ по данным исследования позволяет вводить большее количество жидкости в трещины горизонта во время ГРП и тем самым позволяет добиться максимизации добычи [4].

В последнее время человечество начало все больше и больше заботиться об экологической ситуации в мире. Именно поэтому люди начали уделять особое внимание жидкости, необходимой для гидроразрыва пласта. В работе «Термостойкая, чистая и безвредная для окружающей среды система гидроразрыва пласта, и оценка производительности плотного песчаника» рассматривается использование так называемой чистой жидкости. В процессе исследования было доказано, что нужно использовать жидкости с определенной вязкостью, так как их использование способно увеличить эффективность ГРП, снизить риски попадания жидкости в сам продуктивный пласт, а также будет более эффективно сказываться на образовании более широких трещин. При этом неправильный гидроразрыв может повлечь за собой загрязнение грунтовых вод, а также микроземные землетрясения. В тоже время новая жидкость должна предотвращать такие проблемы, так как она обладает

достаточной вязкостью, чтобы переносить расклинивающий агент и способна в довольно небольшое время стекать обратно после гидравлического разрыва, не оставляя при этом частичек трещин и не нанося вреда нефтяному горизонту. В результате исследований было доказано, что термостойкая система жидкости для гидравлического разрыва с четвертичной аммониевой солью позволила улучшить результаты ГРП, так как ее вязкость с изменением температуры остается стабильной и обладает хорошими характеристиками сопротивления сдвигу. При этом, что в наше время является одним из важнейших факторов, степень повреждения горизонта в разы меньше, чем у других жидкостей для гидроразрыва на водных основах [5].

В работе «Многомасштабный анализ чувствительности параметров гидроразрыва пласта на основе метода безразмерного анализа» авторы говорят о том, что для успешного гидроразрыва необходимо изучать механические свойства резервуара, параметры жидкости для гидроразрыва, а также операции гидроразрыва пласта. Особое внимание необходимо уделять и проектированию гидроразрыва для того, чтобы была возможность процесс распространения трещин и точно оценить эффект разрыва [6].

Исследования показывают, что мировой спрос на потребление энергии продолжает расти ежегодно. При этом нефтяные и газовые источники энергии всегда были доминирующим видом. Так, по расчётам исследователей в 2035 году эти продукты будут составлять примерно 75% от общего объема поставок энергии. Поэтому необходимо поддерживать разработку усовершенствованных методов увеличения нефтеотдачи. Одним из таких методов, который начал изучаться совсем недавно, является микробиологическое повышение нефтеотдачи пластов (MEOR). Данный метод основан на введении микроорганизмов (в частности бактерий) вместе с питательными веществами в нефтяной горизонт для эффективности роста микроорганизмов, которые в дальнейшем будут воздействовать на физические и химические свойства сырой нефти и условия залежи, что в конечном итоге при разработке нефтяного

месторождения сможет сыграть очень важную роль. В работе «Использование микроорганизмов для извлечения нефти из неподатливых нефтяных пластов: текущее состояние знаний, технологические достижения и перспективы на будущее» авторы говорят о том, что нефтедобывающие компании рассматривают данный метод в качестве технологии, которая будет способна увеличивать нефтеотдачу продуктивных горизонтов эффективно и предсказуемо [7].

Заключение. В связи с тем, что объемы добываемой нефти с каждым годом только увеличиваются, а запасы сырья стремительно сокращаются, возникает необходимость разработки эффективных методов, позволяющих увеличить нефтеотдачу на разрабатываемых месторождениях, а также позволяющих возвращать в эффективную разработку месторождения, которые, на первый взгляд, уже полностью истощены. При этом, разрабатываемые режимы добычи должны быть оптимальными, иначе сырье, находящееся в продуктивных пластах, будет извлечено не полностью и такие методы будут являться неэффективными.

Опираясь на проведенный анализ литературных источников, можно сделать следующие выводы:

1. нефтяная отрасль все еще остается важнейшим источником энергии, топлива и других предметов жизни человека, и поэтому требует к себе особого внимания;
2. количество потребляемого сырья постоянно возрастает, и поэтому необходимо разрабатывать эффективные методы увеличения нефтеотдачи;
3. данные методы должны быть эффективны и наносить минимальный ущерб экологии нашей планеты, ведь люди очень обеспокоены экологической ситуацией;
4. также, необходимо учитывать и экономическую составляющую, ведь разработка месторождений должна быть экономически рентабельна.

Библиографический список

1. Ильюшин, Ю. В. Математическое моделирование систем с распределенными параметрами / Ю. В. Ильюшин, Т. В. Кухарова, О. В. Афанасьева. – Санкт-Петербург : ООО "Медиапапр", 2022. – 108 с. – ISBN 978-5-00110-275-5. – EDN ERTKHW.
2. Berger, M., Picchioni, F., & Druetta, P. (2022). Simulation of Polymer Chemical Enhanced Oil Recovery in Ghawar Field. *Energies*, 15(19). <https://doi.org/10.3390/en15197232>
3. Meribout, M. (2018). On Using Ultrasonic-assisted Enhanced Oil Recovery (EOR): Recent Practical Achievements and Future Prospects. *IEEE Access*, 6, 51110–51118. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2018.2859774>
4. Zhou, F., Su, H., Liang, X., Meng, L., Yuan, L., Li, X., & Liang, T. (2019). Integrated hydraulic fracturing techniques to enhance oil recovery from tight rocks. *Petroleum Exploration and Development*, 46(5), 1065–1072. [https://doi.org/10.1016/S1876-3804\(19\)60263-6](https://doi.org/10.1016/S1876-3804(19)60263-6)
5. Wang, M., Cheng, H., Wei, J., Zhang, K., Cadasse, D., & Qin, Q. (2022). High-Temperature-Resistant, Clean, and Environmental-Friendly Fracturing Fluid System and Performance Evaluation of Tight Sandstone. *Journal of Environmental and Public Health*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/5833491>
6. Luo, H., Xie, J., Huang, L., Wu, J., Shi, X., Bai, Y., Fu, H., & Pan, B. (2022). Multiscale Sensitivity Analysis of Hydraulic Fracturing Parameters Based on Dimensionless Analysis Method. *Lithosphere*, 2022(SpecialIss). <https://doi.org/10.2113/2022/9708300>
7. Nikolova, C., & Gutierrez, T. (2020). Use of Microorganisms in the Recovery of Oil From Recalcitrant Oil Reservoirs: Current State of Knowledge, Technological Advances and Future Perspectives. *Frontiers in Microbiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02996>

Рецензент: к.т.н., доц. Т.В. Кухарова

© О. В. Шишкина, А. В. Гурко

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы
Екатерины II», Российская Федерация

РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Аннотация. В статье исследуется роль цифровой трансформации и распределенных технологий, таких как блокчейн, в повышении эффективности и безопасности горного производства. Проблемы, связанные с ограниченными ресурсами, снижением качества руды и растущими ожиданиями общества, требуют экономической диверсификации и инновационных подходов. Внедрение цифровых технологий в горнодобывающей отрасли позволяет оптимизировать процессы и развивать альтернативные источники энергии, улучшая экологическую ситуацию и обеспечивая устойчивость производства. Вторая часть статьи обсуждает систему децентрализованной интеллектуальной сети электрической энергии, основанную на мультиагентной модели и блокчейн технологии. Исследование предлагает новые подходы к управлению ресурсами и торговле электроэнергией, способствуя устойчивому развитию горнодобывающей отрасли и повышению ее конкурентоспособности.

Ключевые слова: Управление спросом, цифровая платформа, «зеленые» сертификаты, реет-to-реет, блокчейн, цифровая энергетика, цифровые технологии, ВИЭ (возобновляемые источники энергии).

Введение. Горное производство является важной отраслью, связанной с множеством факторов, таких как экономика, политика и кадровый потенциал. Ограниченные ресурсы, цены и другие факторы рынка требуют экономической диверсификации для устойчивого развития. Предполагается рост спроса на полезные ископаемые и энергию, но снижение качества руды и увеличение затрат на ее доступ, при этом ожидания общества от горнодобывающих компаний также растут [1, 2].

Существует необходимость в развитии и использовании новых цифровых технологий для улучшения эффективности и безопасности горного производства [3]. Внедрение цифровых технологий может стать ключевым фактором в инновационном преобразовании отрасли и повышении ее конкурентоспособности.

Кроме того, перед горнодобывающими компаниями стоят вызовы в эффективном управлении энергетическими ресурсами. Одной из альтернативных стратегий является использование децентрализованных систем генерации электроэнергии на основе возобновляемых и традиционных источников. Это позволяет улучшить качество электроэнергии и управление ее распределением [7, 8].

Современные технологии предоставляют больше информации о машинах, персонале, энергии и ресурсах в режиме реального времени. Электроэнергия является основным источником для горных предприятий, но имеет уникальные особенности. Децентрализованные технологии позволяют эффективно производить, хранить и распределять электроэнергию, обеспечивая связь между производителем и потребителем. Это требует эффективного и безопасного управления с использованием цифровых технологий и интернета [6, 7].

Методы. Неэластичный спрос на электроэнергию и отсутствие регулирования рынка приводят к неэффективному использованию ресурсов и дополнительным затратам на пиковую генерацию. Существующие системы распределения позволяют изменять график потребления с помощью ограничений и стимулов для потребителей. Увеличение генерирующей мощности ограничено пропускной способностью. Есть много потенциальных потребителей с нулевым потреблением в часы пик, таких как промышленные предприятия, офисы, банки и сервисные компании [8].

Горные предприятия могут прийти к декорбанизации путем приобретения "зеленых" сертификатов у производителей электроэнергии. Горные

предприятия являются важными экспортерами продукции. Однако, высокая стоимость или недоступность сертификатов на энергию из возобновляемых источников могут ограничить их конкурентные возможности в ближайшие 10-15 лет. В связи с этим, горнодобывающие компании всё больше рассматривают возможность строительства собственных генерирующих мощностей на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), особенно в условиях континентального климата с крайне низкими зимними и высокими летними температурами. Дополнительное снижение углеродных выбросов может быть достигнуто с помощью цифровых технологий и управления спросом на энергию. Поэтому важно учесть не только производимую энергию из возобновляемых источников, но и энергию, которая была неупотреблена или передана благодаря управлению спросом [9, 10].

Результаты. Появление цифровых платформ приводит к увеличению производства, повышению производительности и сокращению человеческого влияния в различных отраслях. В энергетической отрасли, с ростом потребления электроэнергии, платформы анализируют рыночную конъюнктуру и данные о запасах, что влияет на регулирование спроса и цен. Цифровые технологии внедряются для изменения профиля потребления, снижения потерь, управления мощностью сети и интеграции распределенной генерации. Управление надежностью и качеством энергоснабжения также улучшается. Технология блокчейн может обеспечить прозрачное взаимодействие и эффективное управление энергопотреблением через распределенную базу данных [11].

Распределенная обработка данных. Система децентрализованной интеллектуальной сети электрической энергии основана на объектно-ориентированной парадигме. Каждый объект в системе выполняет свои функции и обменивается информацией с другими объектами.

Основными задачами разрабатываемой системы являются – поддержание баланса между спросом на ресурс и предложением, контроль потребного

количества электроэнергии и уровня нагрузки, учет и оптимизация выбросов продуктов переработки, возникающих при производстве электроэнергии и уменьшение потерь энергии. Технология распределенной обработки данных с децентрализацией управления может быть использована в качестве основы для сетевой платформы, где используются смарт-контракты в качестве сигналов о стоимости и инициаторов транзакций между потребителем и производителем.

Современная технология, реализующая такую систему взаимоотношений, называется – «блокчейн».

Заключение. Цифровизация горнодобывающей отрасли позволит решить проблемы эффективно и экономично, а использование мультиагентных системных технологий, например, блокчейн, поможет оптимизировать процессы и развить альтернативную энергетику, улучшить экологическую ситуацию и обеспечить устойчивость производства.

Библиографический список

1. Ponomarenko T., Nevskaya M., Jonek-Kowalska I. Mineral resource depletion assessment: Alternatives, problems, results // Sustainability. 2021, vol. 13, pp.1–15. DOI: 10.3390/su13020862.
2. Kazanin O. I., Sidorenko A.A., Meshkov A.A. Reproduction of the longwall panels: Modern requirements for the technology and organization of the development operations at coal mines // Eurasian mining. 2020, no. 2, pp. 19–23. DOI: 10.17580/em.2020.02.05
3. Litvinenko V. S. Digital Economy as a Factor in the Technological Development of the Mineral Sector. Natural Resources Research. 2020, vol. 29, no. 3, pp. 1521–1541. DOI: 10.1007/s11053-019-09568-4.
4. Сафиуллин Р. Н., Афанасьев А. С., Резниченко В. В. Концепция развития систем мониторинга и управления интеллектуальных технических комплексов // Записки Горного института. — 2019. — Т. 237. — С. 322–330. DOI: 10.31897/pmi.2019.3.322.
5. Beloglazov I. I., Petrov P. A., Bazhin V. Y. The concept of digital twins for tech operator training simulator design for mining and processing industry // Eurasian Mining. 2020, no. 2, pp. 50–54. DOI: 10.17580/em.2020.02.12

6. Ge X., Su S., Yu H., Chen G., Lu X. Smart mine construction based on knowledge engineering and internet of things // *Int. J. Perform. Eng.* 2018, vol. 14, no. 5, pp. 1060– 1068. DOI: 10.23940/ijpe.18.05.p25.10601068..

7. Shushpanov I., Suslov K., Ilyushin P., Sidorov D.N. Towards the Flexible Distribution Networks Design Using the Reliability Performance Metric // *Energies.* 2021, vol. 14, no. 19, pp. 1–25. DOI: 10.3390/en14196193.

8. Andoni M., Robu V., Flynn D., Abram S., Geach D., Jenkins D., Mccallum P., Peacock A. Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities // *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2019. vol. 100, pp. 143– 174. DOI: 10.1016/j.rser.2018.10.014.

9. Клюев Р. В., Босиков И. И., Гаврина О. А. Повышение эффективности релейной защиты на горно-обогатительном комбинате // *Записки Горного института.* — 2021. — Т. 248. — С. 300–311. DOI: 10.31897/PMI.2021.2.14

10. Петров В. Л., Кузнецов Н. М., Морозов И. Н. Управление спросом на электроэнергию в горнопромышленном секторе на основе интеллектуальных электроэнергетических систем // *Горный информационно-аналитический бюллетень.* — 2022. — № 2. — С. 169–180. DOI: 10.25018/0236_1493_2022_2_0_169

11. Зиновьева О. М., Кузнецов Д. С., Меркулова А. М., Смирнова Н. А. Цифровизация систем управления промышленной безопасностью в горном деле // *Горный информационно-аналитический бюллетень.* — 2021. — № 2–1. — С. 113–123. DOI: 10.25018/0236-1493-2021-21—0-113—123.

Рецензент: д.т.н., проф. И.Б. Арефьев

М. А. Ахангари , М. М. Гейдари Асл

ВЛИЯНИЕ ОРГАНА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ ОБЛАСТИ ЗНАНИЙ НА КРИТИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ УСПЕХА НЕФТЕГАЗОВЫХ ПРОЕКТОВ ИРАНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОЖЕСТВЕННОГО РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА И МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРУКТУРНЫМИ УРАВНЕНИЯМИ

Аннотация. Целью данного исследования является информирование менеджеров проектов и организаций о том, как стандарты и области знаний управления проектами (PMBOK) влияют на критические факторы успеха (CSF) нефтегазового сектора. Демографические данные, данные PMBOK и основные факторы успеха собираются с использованием двух уже существующих анкет опроса (PIP и PMPQ). И множественный регрессионный анализ, и моделирование структурными уравнениями (SEM) показывают благоприятную связь между переменными. Регрессия показала, что управление интеграцией является лучшей областью знаний CSF, за которой следует управление ресурсами и рисками. Обновленный коэффициент пути SEM составил 0,583, что является значительным эффектом. В SEM наиболее эффективной областью знаний было управление содержанием (0,818 и 0,756), за ним следовали управление коммуникациями и управление рисками (0,818 и 0,756).

Ключевые слова: управление проектами, критические факторы успеха, области знаний PMBOK, множественный регрессионный анализ, моделирование структурными уравнениями.

Я. А. Бланко, Л. М. Г. Пухадас, Э. К. Мартинес, Э. К. Мартинес

КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КОНТРАКТАМИ В УНИВЕРСИТЕТЕ МОА «ДОКТОР. АНТОНИО НУСЕС ХИМЕНЕС»

Аннотация. В работе представлена разработка компьютерной системы, основанной на методологии гибкой разработки экстремального программирования (XP), позволяющей ускорить процесс управления контрактами в Университете Моа.

Ключевые слова: компьютерная система, процесс найма, методология XP, архитектура программного обеспечения, управление информацией.

Ф. Д. Кабальеро

ЦИФРОВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ В ЗДРАВООХРАНЕНИИ: ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННЫХ МЕДИЦИНСКИХ КАРТ

Аннотация. В этой работе предлагается использовать методологию Agile XP в сочетании с инструментами бесплатного программного обеспечения для разработки инновационного ИТ-решения, ориентированного на здравоохранение в муниципалитете Моа, Куба.

Ключевые слова: цифровая трансформация в здравоохранении; электронная медицинская карта; Voosttrap-фреймворк; Джава; Методология XP.

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ ФОНДОВ ДЛЯ МЕЛКИХ ПЛАТЕЖЕЙ В МЕХАНИЧЕСКОЙ НИКЕЛЕВОЙ КОМПАНИИ (EMNI) «COMANDANTE GUSTAVO MACHIN HOED DE BESHE»

Аннотация. Для разработки данного исследования использовалась методология анализа и проектирования программного обеспечения «Водопад», единый язык моделирования (UML) для представления системы, а также Microsoft Excel для ее реализации.

Ключевые слова: Информационные системы, Методы сбора информации, Жизненный цикл информационных систем, Анализ и Проектирование программного обеспечения, Мелкие бизнес-платежи.

С. М. Хосейни, К. Салахшур, С. Халилзадебонаб

СИСТЕМАТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ СУРОГАТНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕФТЯНОГО РЕЗЕРВУАРА

Аннотация. Нагнетательные скважины часто заливают пласты водой для увеличения нефтеотдачи. Для контроля добычи нефти во время заводнения необходимо определить оптимальную скорость закачки воды. Даже при наличии мощных процессоров численное моделирование резервуара с тысячами блоков сетки требует времени. Однако неадекватная информация о параметрах модели делает экономическую оптимизацию на основе модели нефтяного пласта непредсказуемой. Стандартная идентификация предполагает, что шум может управлять неопределенностью модели. Использование моделей, оцененных с помощью традиционной процедуры идентификации, в методах робастного управления и их применение затруднительно. В этом исследовании используется частотное моделирование для поиска суррогатной модели заводнения для надежного контроля. Суррогатная модель использовалась для моделирования динамики пласта в симуляторе пласта после проверки сигнала возбуждения. Затем мы сделали закачку и добычу пласта экономической производственной функцией. После идентификации системы скорость закачки и экономическая производственная функция являются оптимальными. Этот подход применяется к модели коллектора EGG, известного международного нефтяного пласта с несколькими входами и выходами, и дает эффективные результаты для реализации нескольких реализаций проницаемости коллектора.

Ключевые слова: системный подход, нефтяное месторождение, экономические показатели, суррогатная модель.

МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ДЛЯ ПРОФЕССИОНАЛОВ САМОСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ

Аннотация. В ходе настоящего исследования удалось установить теоретические основы объекта и его поля; что позволило разработать методическое пособие по профессиональному самосовершенствованию учителя при помощи ИКТ в среде виртуального преподавания и обучения.

Ключевые слова: EVEA: виртуальная среда преподавания и обучения, самосовершенствование.

Д. А. Ситкова

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ЗНАЧИМОСТИ ФАКТОРОВ АВАРИЙНОСТИ НА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ГРС

Аннотация. Аналитический подход к решению проблемы позволяет учесть влияние факторов. В статье представлены результаты расчета методом априорного ранжирования факторов для выявления значимости факторов аварий на автоматизированных газораспределительных станциях (ГРС) и возможности их предотвращения. Важность исследования заключается в определении причин аварий с целью их изучения и минимизации потерь на предприятиях, использующих автоматизированные ГРС для транспортировки и распределения газа.

Ключевые слова: газ, природный газ, голубое топливо, ранжирование факторов, анализ.

Р. М. Afanasyev, А. А. Chicherinda

APPLICATION OF SIMULATION MODELING METHODS FOR THE RESEARCH OF COMPLEX PROCESSES

Abstract. Development of new products, services or technologies requires careful analysis and testing. Simulation modeling provides an opportunity to "test" innovations even at the stage of design, significantly reducing the time and resources needed to implement innovations. Examples of the application of simulation modeling methods for the study of complex processes are considered in the article.

Keywords: simulation model, modeling, software tools.

М. P. Afanasyev, B. S. Voronin, E. A. Kharitonov

ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF MODERNIZING FISHING VESSELS BY REPLACING THE MAIN POWER UNIT WITH A HYBRID

Abstract. This article presents the results of a study of approaches and solutions related to the development and use of hybrid propulsion systems on fishing vessels. The advantages of replacing traditional propulsion systems with more environmentally friendly solutions, such as hybrid systems consisting of diesel engines and electric motor generators, are considered.

Keywords: hybrid propulsion systems, design, development.

**ANALYSIS OF THE ADVANTAGES OF IMPLEMENTING DIESEL-ELECTRIC
POWER UNITS INTO PASSENGER RIVER FLEET**

Abstract. In the context of increasing requirements for environmental friendliness and efficiency of vehicles, special attention is paid to the modernization of passenger river vessels. One of the ways to increase the efficiency of their operation is to replace traditional power plants with diesel-electric systems. The article outlines an approach to a comprehensive assessment of the effectiveness of such a replacement.

Key words: diesel-electric power plant, passenger river vessel, modernization, efficiency.

O. V. Afanaseva, A. S. Khattrusov

**APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TO SOLVING PROBLEMS OF
MONITORING AND DIAGNOSTICS OF TECHNICAL SYSTEMS**

Abstract. The work explores the use of artificial intelligence (AI) for diagnosing technical systems in order to increase efficiency and reliability. The challenges and problems of introducing AI into production systems are considered, and the use of neural networks for analyzing technical condition is proposed. The introduction of modern technologies opens up new opportunities for automated fault detection. This helps reduce production system downtime and operating costs.

Keywords: artificial intelligence, diagnostics, monitoring, ship engines, neural networks, efficiency, reliability, safety.

A.S. Baskakova

**SYSTEM STUDY OF THE ACTIVITIES OF A STRUCTURAL DIVISION OF AN
ENTERPRISE FOR THE PRODUCTION OF EQUIPMENT FOR THE MINING IN-
DUSTRY USING PERFORMANCE INDICATORS**

Abstract. The article discusses the main methods of using system analysis to study the problems of logistics systems. The developed methodology will make it possible to describe the process of failures in the product movement system during production and delivery as a set of factors influencing this system, as well as determine the degree of influence of each predictor and build a forecast. The impact of factors on the system is described using multifactor correlation and regression analysis and a priori ranking based on expert assessments obtained from the survey. Graphs of the distribution of predictors by degree of influence are provided, and a linear model with informative factors is constructed that describes the process of failures in the enterprise's logistics system.

Keywords: system analysis, regression analysis, correlation analysis, a priori ranking, linear model

L.T.Belik, A.V.Gurko

MODELING OF SMALL INDUSTRIAL FORMS FOR EXTREME ENVIRONMENTAL CONDITIONS

Abstract. The work examines the task of constructing structures suitable for comfortable living and working in the conditions of the Far North. An approach is proposed for using computer modeling based on the analytical dependencies of blocks of frame products for the construction of skeletal structures and structures using construction 3D printers.

Key words: arctic region, mining complex, environment, sustainable development, innovative technologies.

N. A. Bogdanova

JUSTIFICATION OF DIRECTIONS FOR DEVELOPMENT OF A VEHICLE PRODUCTION ENTERPRISE USING FORECAST MODELS (BASED ON THE EXAMPLE OF PJSC «NEFAZ»)

Abstract. The article discusses one of the options for studying the performance of an automobile manufacturing company using the example of PJSC «NEFAZ». The work uses such methods of system analysis as forecasting, expert assessment methods, multiple regression-correlation analysis, and simulation modeling.

Keywords: correlation and regression analysis, forecasting, expert assessment, automotive industry, transport, buses.

I. V. Boykova, V. L. Yampolsky

ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF USING DIGITAL TWINS IN THE MINERAL RESOURCES INDUSTRY

Abstract. The study examines the general concept of a digital twin, the scope of its application and the scope of possible application specifically in the mineral resources industry. Emerging problems associated with the study/implementation of technology were also studied, and possible solutions to them were proposed. As a result, a conclusion was drawn about the significance of the technology and the possibilities of its application in the mineral resources industry.

Keywords: digital twin, mining, virtual model, oil production optimization, innovation, logistics, forecasting.

I. V. Brovchenko, A.V. Gurko

**COMPUTER SIMULATION OF AUGER ACTUATORS OF COMBINES FOR
SEALED COAL MINES**

Abstract. The paper discusses mathematical modeling methods that are used to optimize the designs and operating modes of the working bodies of mining excavation machines. The theoretical foundations underlying the modeling are outlined, as well as practical aspects of using models to improve the efficiency and reliability of machines. The achievements and limitations of existing methodologies are discussed, and directions for future research in the design and operation of cutting tools are suggested. The emphasis is on the use of computer modeling to analyze the loads arising during the interaction of the cutter with the rock mass, and the study of the processes of wear and destruction of the cutting element.

Keywords: cutter, executive body, excavation machine, efficiency, wear resistance, reliability, mathematical modeling.

M.A. Vishnyakova

**METHODS OF RESEARCH ON THE ACTIVITIES OF AN
INDUSTRIAL ENTERPRISE USING SYSTEM ANALYSIS**

Abstract. This article presents the methods of researching the activities of the industrial enterprise for the production of concrete LLC StarorusStroyBeton, the results of the study using methods of a priori ranking, multidimensional correlation and regression analysis and the construction of predictive models. The article describes plans to build a simulation model of a queuing system for analyzing the work of the concrete delivery department at an industrial enterprise.

Keywords: Manufacturing, Production, Regression analysis, Factor analysis, Forecasting, Mathematical modeling, Concrete, Simulation modeling.

A.S. Volkova

**RESEARCH OF THE ACTIVITY OF A STRUCTURAL DIVISION OF AN INDUS-
TRIAL ENTERPRISE IN THE CHEMICAL INDUSTRY USING SYSTEM ANALYSIS
METHODS**

Abstract. To study processes and phenomena, it is necessary to use methods that make it possible to establish the dependence of the process under study on various factors. Currently, systems analysis methods have found application in all areas of human activity. Models of complex processes make it possible to establish dependencies, determine the degree of influence of various circumstances, and determine criteria for assessing the state of the system.

Key words: system analysis, a priori ranking of factors, correlation and regression analysis, technological process, solvent purification, printing industry.

**RESEARCH OF THE ACTIVITIES OF A CHEMICAL INDUSTRY ENTERPRISE
USING SYSTEM ANALYSIS METHODS**

Abstract. In this work, using systems analysis methods, the activities of a chemical industry enterprise were investigated. The purpose of the study is to evaluate and develop recommendations to improve the efficiency of the enterprise. To achieve the goal, the following tasks were completed: a predictive assessment of the enterprise performance indicator was carried out; Using multivariate correlation and regression analysis, the factors influencing this indicator were analyzed; a simulation model of the work of a structural unit of the enterprise was developed and analyzed. The relevance of the study is justified by the possibility of applying its results in practice in order to optimize and increase the efficiency of the enterprise.

Keywords: analysis, factors, enterprise, process, modeling

M.P. Grigoreva

**ANALYSIS OF THE WORK OF THE HUMAN RESOURCES DEPARTMENT OF
THE NORTH-WEST THERMAL POWER PLANT AS A QUEUING SYSTEM**

Abstract. Nowadays, simulation modeling is widely used in many fields. Due to it, it is possible to recreate various operating conditions of the system. This research method is of particular importance in the case when it is impossible or difficult to conduct experiments on real objects. This article analyzes the work of the human resources department of the branch of JSC «Inter RAO – Electric Power Plants» – the North-West Thermal Power Plant named after A. G. Boris. The study implements a simulation model of the department as a queuing system using GPSS World software. After conducting various experiments and analyzing the data obtained, the optimal number of employees was determined for maximum efficiency of the department. In addition, the article discusses the prospects for using the developed model and ways of its further improvement.

Keywords: simulation model, modeling, queuing system, optimization, GPSS World.

G. S. Gulliev, E. S. Yudnikova

**ANALYSIS OF THE STATE OF EXPORT-IMPORT CARGO TRANSPORTATION
IN THE RUSSIAN FEDERATION AND THE PROBLEMS OF THEIR ORGANIZA-
TION IN LOGISTICS COMPANIES ENGAGED IN IMPORT AND EXPORT**

Abstract. The article presents an analysis of the difficulties in organizing cargo transportation faced by logistics companies specializing in the export and import of goods from Europe, including customs clearance, managing interactions with suppliers, uncertainty in delivery and quality control that arise during export and import. The article also offers solutions to improve logistics operations, including the integration of digital technologies, the development of flexible supply strategies, improved customs procedures and the development of partnerships.. The analysis of problems and proposed solutions provides useful information for logistics companies that seek to optimize their operations in global trade, ensuring a more efficient and sustainable supply of goods.

Keywords: logistics, export, import, customs procedures, supply management, digital technologies, international trade.

A SYSTEM STUDY OF A CONSULTING DEPARTMENT OF AN IT COMPANY USING PROGRAMMING LANGUAGE PYTHON

Abstract. This work presents the results of a multidimensional correlation-regression analysis of performance indicators of an IT company's consulting department with using programming language Python. The study allowed to identify significant factors affecting the efficiency of the unit's work, as well as to assess the strength of the relationship between these factors and performance indicators. The obtained results can be used to optimize the activities of the IT company's consulting unit and improve its efficiency.

Key words: regression analysis, performance indicators, business process optimization, statistical analysis, efficiency improvement, Python.

D. I. Demchenko, R. D. Krushinov

MULTIDIMENSIONAL CORRELATION - REGRESSION ANALYSIS OF CHEMICAL INDICATORS OF FUEL

Abstract. The article explores a method for analyzing the physical and chemical composition of fuel produced by mixing several components in appropriate proportions. The developed method will allow optimizing the process of mixing hydrocarbon fuel components, increasing its efficiency and environmental friendliness, by reducing the amount of unnecessary impurities. The goal is achieved through the use of linear programming methods, the method of expert assessments, as well as multivariate correlation and regression analysis.

Key words: analysis, system analysis, chemistry, fuel, energy, fuel and energy complex.

V.D. Dyachenko, V.L.Yampolsky

STUDY OF THE THERMAL INSULATION CHARACTERISTICS OF ISO-CONTAINER FOR THE TRANSPORTATION OF LIQUID HELIUM USING MATHEMATICAL MODELING

Abstract. The study is dedicated to the analysis of thermal insulation characteristics during the transportation of liquid helium using mathematical modeling. The results of modeling show the best thermal conductivity coefficient, which gives the minimum heat losses.

Keywords: liquid helium, thermal insulation, 3D modeling, thermal calculations, multilayer insulation, mathematical modeling.

Eliseev V. A., Kobozeva N.G.

INFLUENCE OF FREEZING PROCESS ON CHANGES IN FOOD QUALITY

Abstract. Purpose: To become familiar with the importance of preserving the nutritional value of food and ways to prevent losses during long-term storage. Compare modern freezing methods. Methods: Analysis of the quality of food products before and after the freezing process. Study of the relationship between temperature and freezing time on changes in the physicochemical properties of the product. Results: The effects of freezing on different categories of food products were determined. Practical significance: Analysis of the conditions for freezing and storing frozen food products makes it possible to correctly select the freezing method and storage temperatures for a particular product.

Key words: Freezing, storage, crystal formation, tissue deformation, food products.

THE METHODOLOGY FOR IDENTIFYING THE STAGES OF A COMPLEX SYSTEM'S LIFE CYCLE

Abstract. the article reveals the concept of the "life cycle" of a complex system, proposes a methodology for system analysis of the stages of the life cycle of an automated control system, formalizes the main stages of the life cycle.

Keywords: system analysis, life cycle, automated control systems, expert systems, neural networks.

K. A. Karimulin, E.E. Majorov

PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF STELLAR SENSORS FOR SPACE-CRAFT ORIENTATION

Abstract. The star tracker is a critical component in the spacecraft's attitude control system. In this regard, ensuring its reliability, accuracy and functionality is of paramount importance during its creation. The article examines the role, history, operating principle and problems associated with the operation of star sensors, and also discusses the directions of their development.

Keywords: star sensor, astro sensor, space orientation, prospects for the development of star sensors.

A. A. Kislitsyn, E. K. Koroviakovskii

INTERNATIONAL TRANSPORT CORRIDOR SELECTION BASED ON TRIANGULATION

Abstract. Purpose: Development of an algorithm for transport corridor selection based on triangulation. Methods: general scientific methods, including statistical methods (description, analysis, systematisation, deduction). Result: the scheme of transport corridor selection based on triangulation is developed.

Keywords: container transportations, triangulation, fitting platform, container terminal, container, international transport corridor, sanctions, accelerated container train.

T.A. Klygin

RESEARCH OF OPTIMAL CLUSTERIZATION METHODS

Abstract. Determining the most suitable clusters can be considered as a categorization problem, which has led to the development of numerous clustering methods in various studies. Each method offers a solution to one or more categorization problems when analyzing data sets with varying numbers of test clusters. The strengths and weaknesses of each method complement each other in solving these categorization problems. The purpose of this article is to discuss the effectiveness of cluster methods in identifying the best clusters, focusing on criteria that pose barriers to the categorization process. The results of this analysis should serve as the basis for the creation of a new and improved clustering method through potential combinatorial optimization.

Keywords: cluster, performance, review, optimal cluster approach.

ANALYTICAL REVIEW OF RADIATIVE COOLING AND ITS APPLICATION IN THE COLD CHAIN

Abstract. Objective: Consider the possibility of using radiative cooling in a cold chain, since radiative cooling is one of the effective ways to reduce the consumption of exhaustible energy resources, because a significant part of the world's electricity generated, approximately 17%, is spent on air conditioning. This technology allows you to optimize energy consumption during storage and transportation of perishable goods. Methods: An analysis of passive radiation cooling systems was carried out, the principle diagram of an installation with radiation cooling was considered, moreover, various types of radiative cooling radiators and the materials used in their manufacture were described. Results: During the work, information about the radiative cooling system and the potential for use in a continuous refrigeration chain was structured. The main factors influencing the efficiency of radiative cooling, such as weather conditions and materials used in the production of radiative cooling systems, are analyzed. The need for further study of the potential for radiative cooling has been identified. Practical significance: The possibility of using radiation cooling systems in a continuous refrigeration chain is considered, which will reduce operating costs when storing and transporting perishable goods. Installation of these systems will reduce the consumption of exhaustible energy resources, such as oil products and gas, and energy consumption will also be reduced, since energy is required only for the pumps of the hydraulic circuit. This solution minimizes the negative impact on the environment.

Keywords: Radiative cooling, cold chain, air conditioning, energy saving, infrared window.

D.A. Kolmakova

LIFE CYCLE OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE FOR SPECIAL TRANSPORTATION IN THE OIL PRODUCTION INDUSTRY

Abstract. Not only oil production equipment takes part in oil production, but also service equipment. Downtime of such equipment entails colossal losses, so it is important to monitor the life cycle of engines and take timely measures to prevent breakdowns. The development of new programs that use new technologies for recording and tracking data will increase the life cycle of the engine and reduce the cost of equipment [1].

Keywords: internal combustion engine, life cycle, technical condition.

N. V. Koltsun, A. V. Gurko

IMPLEMENTATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE MINING SECTOR

Abstract. The problems and opportunities of using systems with elements of artificial intelligence (AI) in the mining industry are considered. The technical problems of integrating AI with outdated systems and the lack of skills in working with systems equipped with artificial intelligence elements among workers in the mining industry are considered.

Keywords: artificial intelligence, mining, data, algorithms, predictive maintenance, automation.

I. Yu. Konorev

IMAGE CLASSIFICATION METHOD BASED ON CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK

Abstract. Image classification is one of the most important tasks in the field of computer vision. It consists of automatically recognizing and classifying objects in an image. This task has wide application in various fields. This paper presents an image classification method based on a convolutional neural network.

Keywords: image classification, convolutional neural networks, computer vision, neural networks.

Yu.V. Korovyakovskaya, A. N. Modin, D. I. Ilesaliev

STRATEGY FOR THE DEVELOPMENT OF TRANSPORT CORRIDORS IN RUSSIA IN MODERN CONDITIONS

Abstract. The article provides an overview of the main international trading partner countries, the Russian transport services market in modern conditions in order to identify the main trends in the transport industry, as well as an analysis of Russian transport corridors and trends in their development.

Keywords: international transport corridors (ITC), international cooperation, international trade, partner countries, international logistics.

V. O. Krets, A.V. Gurko

AUTOMATED TESTING OF INSTRUMENTATION EQUIPMENT

Abstract. This work is devoted to expanding the capabilities of device management in an environment for automated testing and monitoring and is a development of the methodology described in [1]. To solve this problem, a method was developed that proposed creating a separate application for interacting with device interfaces. Based on this method, algorithms for interaction with devices were developed. The result of the work was a method that facilitates the management of devices, removes the responsibility for controlling them from other system components, and also provides the possibility of remote monitoring and testing.

Keywords: Automated testing, testing of radio-electronic equipment, automated testing methodology.

RESEARCH AND SOFTWARE IMPLEMENTATION OF INTERNET OF THINGS DATA IDENTIFICATION ALGORITHMS

Abstract. The Internet of Things (IoT) is becoming an integral part of everyday life. However, the presence of fake IoT devices has exposed it to incalculable risks with serious consequences. This article proposes a study and software implementation of Internet of Things data identification algorithms, including a comprehensive review of machine learning technologies for identifying Internet of Things devices, as well as detecting compromised or falsified devices from the point of view of passive surveillance agents or network operators. Various machine learning technologies have been applied, which include learning algorithms, the development of network traffic and wireless signal tracing functions, continuous learning and anomaly detection.

Keywords: Internet of Things, security, physical layer security, data identification, malicious transmitter identification, radiometric signature, non-cryptographic identification, physical layer identification.

O. V. Kuchma, A.V. Gurko

MATHEMATICAL MODELING OF WEAR OF INDUSTRIAL EQUIPMENT

Abstract. Physical wear is a natural process of deterioration of equipment characteristics during its operation under the influence of factors: friction, corrosion, aging of materials, vibration, quality of service. An increase in physical wear leads to an increase in the likelihood of emergency equipment failures and leads to a decrease in the remaining service life of the equipment.

Keywords: mining tool, improvement, cutter, executive body, mining machine, efficiency, wear resistance, reliability, mathematical modeling, mathematical model, checking the mathematical model.

A.I. Limonov, O.V. Afanaseva

RESEARCH OF THE POSSIBILITIES OF APPLYING FACTOR ANALYSIS METHODS TO ASSESS WATER QUALITY

Abstract. Assessing water quality is a pressing problem of our time. Water is the source of life and human activity, and its pollution can lead to fatal problems for humanity and the environment as a whole. In this work, the relevance of this problem, the parameters characterizing water were analyzed, and works demonstrating the practical application of factor analysis for assessing water quality were reviewed.

Keywords: water assessment, water parameters, factor analysis

L.Yu. Litovchenko, R.B. Razyapov, I.A. Brigadnov

COMPUTER VISION TECHNOLOGIES FOR DETECTING DEFECTS ON PRODUCTS MADE OF VARIOUS MATERIALS

Abstract. The research is aimed at applying an automated approach to the control of surface defects. The MVTec AD set is used as test data. Transfer training using a pre-trained InceptionV3 model showed effectiveness in determining external defects.

Keywords: computer vision, machine learning, neural networks, image processing, classification, segmentation.

N. V. Malyshev

PROSPECTS FOR THE INTRODUCTION OF MEDIUM-TONNAGE MODULES IN RAILWAY TRANSPORT

Abstract. The article describes the prospect of introducing a medium-tonnage module into freight transportation by rail. Unlike large-capacity containers, loading and unloading of five and ten ton modules can be carried out by loading and unloading machines with a lifting capacity of up to 10 tons.

Keywords: Medium-tonnage module; cargo terminal; loading and unloading machine.

N. V. Malyshev, A. A. Kirillova

PROSPECTS AND PROBLEMS OF THE DEVELOPMENT OF THE NORTHERN SEA ROUTE AS AN ALTERNATIVE TO THE TRANS-SIBERIAN RAILWAY

Abstract. The article examines the logistical features of two major transport routes – the railway in the form of the Trans-Siberian Railway and the waterway in the form of the Northern Sea Route. The main problems hindering the development of the Northern Sea Route are analyzed. The article describes the main prospects for the development of the ports of the Northern Sea Route and the use of coastal territories of the Arctic regions of the Russian Federation.

Keywords: logistics; international transport corridors; port infrastructure.

W. Meilun, A. A. Voronov

IMPROVING THE WORK OF BORDER CROSSINGS AS "BOTTLENECKS" OF INTERNATIONAL TRANSPORT AND LOGISTICS SYSTEMS

Abstract. this article explores the challenges of improving the operation of border crossings, which are critical "bottlenecks" in international transport and logistics systems. It focuses on analyzing existing obstacles and barriers that slow down the process of moving goods across borders and proposes solutions to overcome these issues.

Key Words: border crossings, transport and logistics systems, customs clearance, infrastructural limitations, international trade, process acceleration, information technologies.

A.A. Prostak, A.E. Sokolov, I.A. Brigadnov

**REVIEW OF PREDICTIVE ANALYTICS MODELS AND METHODS
BASED ON BIG DATA ANALYSIS IN GEOLOGICAL EXPLORATION**

Abstract. This work is devoted to an overview of the use of big data and its analytics in geological exploration. The oil and gas industry has become a data-intensive industry with the recent advent of data logging sensors in production, drilling and exploration. The use of big data in the oil and gas industry has many applications, such as improved reservoir modeling, microseismic and seismic data analysis. The application of big data analytics requires the use of high-quality data, as well as a comprehensive understanding of the problem being solved.

Keywords: big data, geological exploration, predictive analytics, machine learning, mineral mapping.

R.B. Razyapov, L.Yu. Litovchenko, A.V. Gurko

**APPLICATION OF NEURAL NETWORKS TO INCREASE PRODUCTION SAFETY
IN COAL MINES**

Abstract. The article examines a method for comprehensive detection of emergency situations (smoke, open fire) and the presence of protective equipment (miner's helmet) on workers in a coal mine using a machine learning model.

Keywords: model, neural network, object recognition, machine learning, coal mine, smoke, open fire, miner's helmet.

A.N. Rogulina, A. A. Stanulis, A. A. Stanulis

**GEOHERMAL HEATING AND COOLING SYSTEMS: AN INNOVATIVE AP-
PROACH TO ENERGY SAVING**

Abstract. Goal: analyze geothermal heating and cooling systems for industrial premises, which reduce energy costs and reduce greenhouse gas emissions into the atmosphere. Methods: in the process of performing the work, methods of visualization, comparative analysis, analogy, and generalization were used. Results: during the study, the main implementation tasks and requirements for geothermal heating were identified.

Keywords: geothermal heating systems, geothermal heat exchanger, thermal installation.

SYSTEM STUDY OF A STRUCTURAL DIVISION OF AN IT COMPANY USING QUESTION SERVICE MODELS (BASED ON THE EXAMPLE OF GAZPRONEFT – DIGITAL SOLUTIONS LLC)

Abstract. The article discusses the use of basic methods of system analysis to create a simulation model of a queuing system. The synthesized model will describe the process of receiving requests from users to the technical support department and identify the effectiveness of service in the department. Multiple regression-correlation analysis will reveal the quantitative influence of factors on the formation of the flow of events in the model. The initial identification of factors is made using the method of a priori analysis based on expert assessments identified during a survey of experts. A graph of the distribution of factors by degree of influence and an algorithm for the operation of the QS model are provided.

Keywords: system analysis, regression analysis, correlation analysis, a priori ranking, queuing system (QS), technical support.

A.E. Sokolov, A.A. Prostack, K.I. Kuzmin

RESEARCH OF THE INTERNET OF THINGS AND DATA MINING TECHNOLOGIES AS MEANS OF PRODUCTION INTELLECTUALIZATION

Abstract. The paper is dedicated to the study of literary sources on the topic of production intellectualization, Internet of Things and Data Mining technologies in the context of their application to it. The article discusses the concept of Industry 4.0 and related technologies, describes the generalized structure of the Internet of Things and its differences from classical automation systems, as well as describes the classification and properties of centralized and decentralized intelligent data analysis systems.

Keywords: Industry 4.0, Internet of Things, Data Mining, Distributed Data Mining, production intellectualization.

Ya.S. Stepuhin

ANALYSIS OF METHODS AND CONTROLLING STATE MODELS FOR THE HEAT EXCHANGER IN THE PROCESS OF NATURAL GAS LIQUEFACTION

Abstract. The paper provides an overview of the latest research aimed at modeling heat exchangers that are used to produce liquefied natural gas. Based on the results of the analysis the preferred configuration and the direction of further design are formed.

Keywords: liquefied natural gas, heat exchanger, mathematical model, mixture modeling, monitoring and control system.

T.F. Tulyakov

DEVELOPMENT OF ROBOTIC SYSTEMS: FORECASTING THE IMPLEMENTATION OF TECHNOLOGIES AND SOLUTIONS IN THE FIELD OF ROBOTICS TO IMPROVE THE PROCESS OF TECHNICAL INSPECTION OF POWER LINES

Abstract. This study analyzes the development of robotic systems to improve the process of technical inspection of power lines. Methods for introducing technologies and solutions in the field of robotics using machine-learning models, including the ARIMA model, are considered. The study demonstrates the potential of predicting the development of robotic devices based on modern data analysis methods, which emphasizes the importance of automation and robotization of processes.

Key words: robotic devices, power lines, predictive models, machine learning, forecasting.

S. N. Fedoseeva, E.E. Majorov

STRUCTURE OF A VISION INFORMATION SYSTEM DOCUMENT BY THE EXAMPLE OF A SCIENTIFIC FORUM MOBILE APPLICATION

Abstract. The article describes a method for drawing up documentation when designing information systems, in particular the Vision document. An example of documentation based on the design of a mobile application for a scientific forum is considered. The Vision document plays a key role in the information systems development process, defining the overall vision of the project and its goals.

Keywords: documentation, design, Vision, glossary, business problem, stakeholders, needs, information system, positioning.

A. S. Feskov

USING QUEUE THEORY IN ECONOMIC SYSTEMS TO OPTIMIZE TASKS

Abstract. An interdisciplinary approach to management involves combining knowledge and tools from various scientific fields to create a unified methodology aimed at improving the efficiency of resource management in various systems. Given the impact of external destabilizing factors on economic systems in the modern global landscape, increasing attention is being paid to the development of tools for modeling and optimizing economic systems, with an emphasis on organizational structure and resource management. The purpose of this review is to identify existing gaps in the scientific literature on modeling and optimization of economic systems using queuing theory.

Keywords: modeling; productivity and efficiency of economic systems; queuing theory; complex networks; optimization.

A. S. Khattrusov

ANALYSIS OF THE IMPLEMENTATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN SOLVING TRANSPORTATION AND LOGISTICS PROBLEMS OF THE MINERAL RESOURCES COMPLEX

Abstract. The study is aimed at identifying ways to improve the management of raw materials logistics in the mineral resource complex using modern artificial intelligence (AI) methods. The work examines the main problems and challenges of the transport and logistics system of this industry, and also proposes specific AI methods applicable to optimize logistics processes.

Keywords: raw materials logistics, artificial intelligence, transport logistics, mineral resources complex, supply chain.

D. N. Kholeva

ANALYSIS OF METHODS AND MODELS FOR CONTROLLING THE ELECTRO-MAGNETIC FIELD OF DEVICES FOR PRODUCING PRIMARY ALUMINUM

Abstract. This work is devoted to a literature review of sources related to the production of primary aluminum. The purpose of the study is to describe methods and models for controlling the electromagnetic field of primary aluminum production devices in Russia and the world in order to determine the need to develop and implement an automatic control system, the development of which is the focus of the author's further work.

Keywords: aluminum production, Soderberg electrolyzer, MHD stability, aluminum electrolysis, electromagnetic field.

W. Heling, Evgenii K. Koroviakovskii

WAYS OF DEVELOPMENT OF DIGITAL TRANSFORMATION OF SMALL AND MEDIUM LOGISTICS ENTERPRISES

Abstract. Taking the digital transformation of small and medium-sized logistics enterprises as an example, this paper discusses the importance, problems and approaches to the digital transformation of small and medium-sized logistics enterprises, and aims to provide opinions and suggestions on the digital transformation and development of small and medium-sized logistics enterprises. Through digital transformation, SMEs can improve logistics efficiency and reduce costs, improve service level and customer satisfaction, and enhance competitiveness and innovation capability. This paper analyzes the challenges faced by small and medium-sized logistics enterprises in the digital transformation process, such as insufficient technology investment and lack of human resources, fierce market competition and profit pressure, misunderstanding of informatization and digitalization, and implementation difficulties, and puts forward suggestions. By enhancing logistics informatization, promoting intelligent logistics transformation, adopting innovative logistics business models and developing digital talents, we can achieve digital transformation and development.

Keywords: small and medium-sized logistics enterprises, digital transformation, development path, intelligent transportation system.

V. V. Chirtsov

ASSESSING THE SIGNIFICANCE OF FACTORS INFLUENCING THE PERFORMANCE OF A STRUCTURAL UNIT OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE USING CLUSTER ANALYSIS METHODS

Abstract. This paper examines the use of cluster analysis methods to study the significance of factors influencing the efficiency of the scientific and technical department, which is a structural unit of an industrial enterprise. Based on the analysis of factors, conclusions were drawn about the most important indicators of the system for the decision maker and an option was presented to improve the efficiency of the department.

Keywords: cluster analysis, structural unit, analysis, research, system analysis, cluster.

Yu. A. Shabalina

APPLICATION OF SYSTEM ANALYSIS METHODS IN STUDYING THE EFFECTIVENESS OF PROTECH ENGINEERING LLC COMPANY

Abstract. In this work, an analysis of the activities of the department of the enterprise ProTech Engineering LLC was carried out using systems analysis methods. The study was carried out using the method of aprionic ranking of factors, Ishikawa diagram and multivariate correlation and regression analysis. The article develops recommendations for increasing efficiency and optimizing the company's work.

Keywords: Ishikawa diagram, method of a priori ranking of factors, multivariate correlation and regression analysis, forecast model, simulation modeling, efficiency.

K.I. Shvedin, A.V. Khomov, N.I. Kamshilin

DIGITAL LOGISTICS PLATFORM FOR MEDIUM DUTY TRANSPORTATION

Abstract. Proposals for creating a digital logistics platform for transporting goods in medium-tonnage modules are presented. Examples of domestic and foreign digital logistics platforms are given.

Keywords: container, medium-tonnage module, platform container, digital logistics platform.

**ANALYTICAL STUDIES OF MODERN APPROACHES TO INCREASED
OIL RECOVERY**

Abstract. The petroleum industry is one of the most considered areas studied by man for many decades. Recent technological advances are facilitating the creation of management systems that allow the development process to be effectively managed. However, in order to create an effective development system, it is necessary to analyze fluid production methods, possible ways to increase oil recovery, as well as the relevance of the chosen research topic.

This review combines an analysis of existing methods for constructing control systems and increasing oil recovery factors, as well as problems that arise during their implementation.

Keywords: oil field, mathematical modeling, automated control systems, methods for increasing oil recovery.

**DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT DATA PROCESSING SYSTEM FOR
POWER DISTRIBUTION MANAGEMENT**

Abstract. The article explores the role of digital transformation and distributed technologies such as blockchain in improving the efficiency and safety of mining. Problems related to limited resources, declining ore quality and growing expectations of society require economic diversification and innovative approaches. The introduction of digital technologies in the mining industry makes it possible to optimize processes and develop alternative energy sources, improving the environmental situation and ensuring the sustainability of production. The second part of the article discusses the system of a decentralized intelligent electric energy network based on a multi-agent model and blockchain technology. . The study suggests new approaches to resource management and electricity trading, contributing to the sustainable development of the mining industry and increasing its competitiveness.

Keywords: Demand management, digital platform, green certificates, peer-to-peer, blockchain, digital energy, digital technologies, RES (renewable energy sources).

АВТОРЫ СТАТЕЙ

Ahangari Mohammad Amin - M.S. student, Department of Energy Economics & Management, Petroleum University of Technology, Tehran, Iran
Blanco Yadira Arguelles - Master in Higher Education, Computer Science Engineer, Coordinator of the Computer Engineering Degree At The University of Moa «Dr. Antonio Núñez Jiménez», Cuba
Caballero Ferial Daykenis - Master in Applied Mathematics and Informatics for Administration, Assistant teacher, Department of Computer Science, Moa University «Dr. Antonio Núñez Jimenez», Cuba
García Pujadas Lourdes María - Doctor of Sciences Economist Engineer, Professor, Department of Computer Science, University of Moa «Dr. Antonio Núñez Jiménez», Cuba
Heydari Asl Mohammed Mahdi - M.S. Student, Department of Engineering, University of Federico II, Naples , Italy
Hoseini Seyed Morteza - M.S. Student, Depart. of Instrumentation and Automation Engineering, Petroleum University of Technology, Ahwaz, Iran.
Izquierdo Lao José Manuel – teacher, Doctor in Pedagogical Sciences, University of Oriente, Cuba
Khalilzadehbonab Sina - M.S. Student, Departmenet of Mechanical and Process Engineering, Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern, Germany
Martinez Elieski Cruz - electrical engineer, Master in Electrome Chanics, Professor, University of Moa «Dr. Antonio Núñez Jiménez», Cuba
Martinez Ernesto Cruz - Metallurgical Engineer, Professor, University of Moa «Dr. Antonio Núñez Jiménez», Cuba
Montero O’farrill José Luis - Doctor in Educational Sciences, Head of Department, University of Moa «Dr. Antonio Núñez Jiménez», Cuba
Pardo Gómez María Elena – teacher, Doctor in Pedagogical Sciences, University of Oriente, Cuba
Romero Rodríguez Yadira - Vice-Dean for Training, Master's Degree in Higher Education, University of Moa «Dr. Antonio Núñez Jiménez», Cuba
Salahshoor Karim - Professor, Department of Instrumentation and Industrial Automation, Petroleum University of Technology, Ahwaz, Iran
Sitkova Daria Albertovna – студентка, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Virgili Llamas Liannet Delia - Bachelor's degree in Accounting and Finance, Master's student in Higher Education, Teacher, Department of Mathematics, Moa University «Dr. Antonio Núñez Jimenez», Cuba
Афанасьев Михаил Петрович – доцент ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова», Российская Федерация
Афанасьев Павел Михайлович – аспирант, ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова», Российская Федерация
Афанасьева Ольга Владимировна – доцент, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Баскакова Анастасия Сергеевна – студентка, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Белик Лилия Трофимовна – студент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Богданова Наталья Александровна – студентка, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация

Бойкова Ирина Владимировна - студентка, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Бригаднов Игорь Альбертович – профессор, д-р физ.-мат. наук, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Бровченко Иван Витальевич – студент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Вишнякова Марина Алексеевна – студентка, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Волкова Анастасия Сергеевна – студентка, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Воронин Богдан Сергеевич – студент, ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова», Российская Федерация
Воронов Александр Александрович – д-р эконом. наук, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», Российская Федерация
Готовцева Анастасия Сергеевна – студентка, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Григорьева Мария Павловна – студентка, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Гулиев Гули Шафирович – студент, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», Российская Федерация
Гурко Андрей Владимирович – доцент, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Демидов Антон Александрович – студент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Демченко Дмитрий Игоревич – студент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Дьяченко Виктория Денисовна - студентка, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Елисеев Всеволод Александрович - студент, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», Российская Федерация
Ермаков Вячеслав Сергеевич – студент, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», Российская Федерация
Железнов Эдуард Геннадьевич – аспирант, ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова», Российская Федерация
Илесалиев Дауренбек Ихтиярович. - д.т.н., профессор, Ташкентский государственный транспортный университет, Узбекистан
Камшилин Никита Игоревич - АО «Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Российская Федерация
Каримулин Кирилл Алексеевич – студент, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», Российская Федерация
Каторгин Никита Александрович – студент ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова», Российская Федерация

Кирилова Анастасия Артемовна – студентка, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», Российская Федерация
Кислицын Анатолий Александрович – аспирант, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», Российская Федерация
Клыгин Тимофей Анатольевич – студент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Кобозева Нона Гивиевна - старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», Российская Федерация
Колмакова Дарья Андреевна - студентка, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Колцун Никита Валерьевич - студент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Коноров Игорь Юрьевич - студент, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», Российская Федерация
Константинова Светлана Валерьевна - студентка, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», Российская Федерация
Коровяковская Юлия Владимировна - канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», Российская Федерация
Коровяковский Евгений Константинович – доцент, канд. техн. наук, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», Российская Федерация
Крец Владислав Олегович – студент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Крушинов Роман Дмитриевич – студент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Кузьмин Константин Иванович – к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Курилов Глеб Олегович - студент, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», Российская Федерация
Кучма Олеся Вячеславовна – студентка, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Лимонов Анатолий Игоревич - студент, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», Российская Федерация
Литовченко Лидия Юрьевна – студентка, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Майоров Евгений Константинович – доцент, канд. техн. наук, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», Российская Федерация

Мальшев Николай Валерьевич - канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры «Логистика и коммерческая работа», ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», Российская Федерация
Модин А.Н. – студент, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», Российская Федерация
Мэйлуь Ван - – студент, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», Российская Федерация
Простак Александр Александрович – студент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Разяпов Радмир Борисович - студент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Рогулина Александра Николаевна – студентка, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», Российская Федерация
Руснак Маргарита Андреевна – студентка, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Соколов Александр Евгеньевич – студент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Станулис Анастасия Александровна – студентка, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», Российская Федерация
Степухин Ярослав Сергеевич – студент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Туляков Тимур Фаритович – студент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Федосеева Софья Николаевна - студентка, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», Российская Федерация
Феськов Алексей Сергеевич - студент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Харитонов Егор Алексеевич – студент, ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова», Российская Федерация
Хатрусов Александр Сергеевич – студент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Холева Дарья Николаевна - студентка, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Хомов Андрей Владимирович - АО «Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), г. Москва
Хэлинь Ван – аспирант, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», Российская Федерация
Чирцов Веслав Вячеславович – студент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Чичерида Арина Алексеевна - студентка, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Шабалина Юлия Александровна - студентка, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Шведин Константин Иванович - АО «Всероссийский научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), г. Москва

Шишкина Анастасия Васильевна - студентка, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Шишкина Ольга Владимировна - студентка, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация
Цымай Юлия Валериевна – аспирантка, ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова»
Юдникова Елена Сергеевна – профессор, д-р эконом. наук, ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», Российская Федерация
Ямпольский Владимир Леонидович – канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II», Российская Федерация

Научное издание

**АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ,
НА ТРАНСПОРТЕ И В ЛОГИСТИКЕ**

**Труды
XXIV Международной научно-практической конференции
молодых ученых, студентов
и аспирантов**

Санкт-Петербург, 23–25 апреля 2024 г.

Подписано в печать 15.04.2024. Формат 60×84/16.

Печать цифровая.

Усл. печ. л. 25,23. Тираж 150. Заказ 061.

Выпущено ООО «Медиапапир»

с готового оригинал-макета, предоставленного заказчиком.
194021, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 28, литера А,
помещ. 3-н, ком. 184, 185, 188, 192, 193, 194. Тел.: (812) 987-75-26
mediapapir@gmail.com www.mediapapir.com www.mediapapir.ru