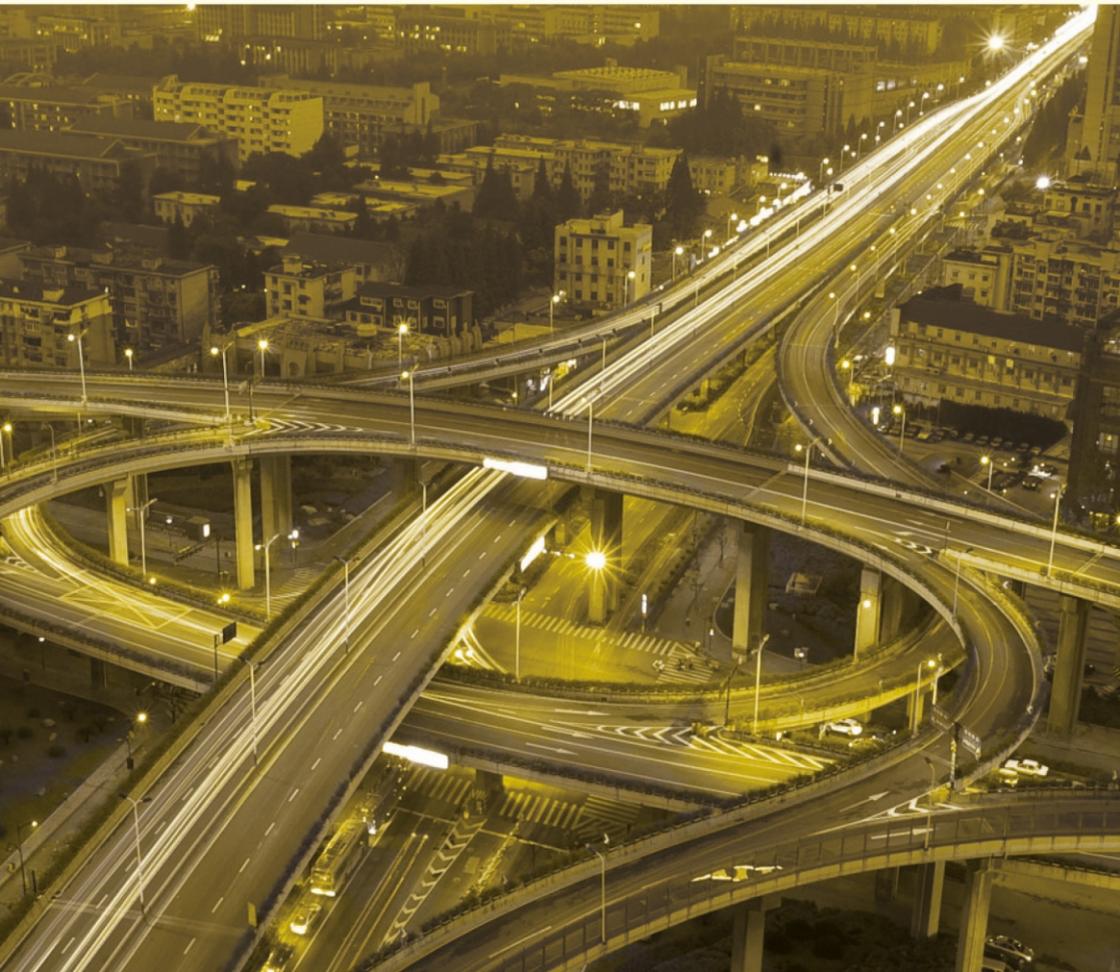


ISSN 2227-930X (online)

International Journal of Advanced Studies

Transport and Information Technologies
VOLUME 12, NUMBER 3, 2022



International Journal of Advanced Studies

Том 12, № 3
2022

Vol. 12, No. 3
2022

Transport and Information Technologies
IJAS:T&IT

Главный редактор

А.В. Остроух д.т.н., профессор кафедры «Автоматизированные системы управления» (Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Российская Федерация)

Editor-in-Chief

Andrey V. Ostroukh Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department 'Automated Control Systems' (Moscow Automobile And Road Construction State Technical University, Moscow, Russian Federation)

Шеф-редактор - Максимов Я.А.

Выпускающие редакторы - Доценко Д.В., Максимова Н.А.

Корректор - Зливко С.Д.

Компьютерная верстка, дизайн - Орлов Р.В.

Технический редактор, администратор сайта - Бяков Ю.В.

Ответственный секретарь - Коробцева К.А.

International Journal of Advanced Studies

Transport and Information Technologies

IJAS:T&IT

Специализированный научно-технический рецензируемый журнал
Peer-reviewed specialized science and technology journal

Периодичность. 4 номера в год / Periodicity. 4 issues per year

Том 12, № 3, 2022 / Vol. 12, No 3, 2021

<p>Учредитель и издатель: ООО Научно-инновационный центр</p> <p>Журнал основан в 2011 году Зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций Свидетельство о регистрации ЭЛ № ФС 77 - 63681 от 10.11.2015</p> <p>Журнал входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, выпускаемых в РФ, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук</p> <p>Индексирование и реферирование: РИНЦ Ulrich's Periodicals Directory Google Scholar DOAJ BASE WorldCat OpenAIRE ЭБС IPRbooks ЭБС Znanium ЭБС Лань</p> <p>Адрес редакции, издателя и для корреспонденции: Россия, 660127, Красноярский край, г. Красноярск, ул. 9 Мая, 5 к. 192 E-mail: ijas@ijournal-as.com http://ijournal-as.com/ +7 (923) 358-10-20</p> <p>Подписной индекс в каталоге «СИБ-Пресса» – 63681</p>	<p>Founder and publisher: Science and Innovation Center Publishing House</p> <p>Founded 2011 The edition is registered by the Federal Service of Intercommunication and Mass Media Control Mass media registration certificate EL № FS 77 - 63681, issued November 10, 2015.</p> <p>International Journal of Advanced Studies: Transport and Information Technologies is included in the List of leading peer-reviewed scientific journals and publications issued in the Russian Federation, which should publish main scientific results of doctor's and candidate's theses</p> <p>Indexing and Abstracting: RSCI Ulrich's Periodicals Directory Google Scholar DOAJ BASE WorldCat OpenAIRE IPRbooks Znanium Lan'</p> <p>Editorial Board Office: 9 Maya St., 5/192, Krasnoyarsk, 660127, Russian Federation E-mail: ijas@ijournal-as.com http://ijournal-as.com/ +7 (923) 358-10-20</p> <p>Subscription index in the General catalog «SIB-Press» – 63681</p>
---	--

Свободная цена

© Научно-инновационный центр, 2022

Editorial Board Members

Sunil Kumar Yadav, M.Sc. (Mathematics), Ph.D. (Differential Geometry), Assistant Professor (Alwar Institute of Engineering & Technology, India).

Yong Lee, Ph. D., Professor, School of Computer Science and Technology (Harbin Institute of Technology (HIT), China).

Tatiana V. Avdeenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Automated Control Systems, Leading Researcher (Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russian Federation).

Vitaly N. Vasilenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Technology (Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russian Federation).

Alexey V. Voropay, Candidate of Technical Sciences (PhD), Associate Professor, Department «Machine Parts and Theory of Machines and Mechanisms» (Kharkov National Automobile and Highway University, Kharkov, Ukraine).

Vladimir A. Dresvyannikov, Doctor of Economics, Assistant Professor, Professor of the Department of Management and Marketing (Penza Branch of the Financial University under the Government of the Russian Federation, Penza, Russian Federation).

Elena V. Erokhina, Doctor of Economics, Professor of Economics and Organization of Production (Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga, Russian Federation).

Sultan V. Zhankaziev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Vice-Rector for Research (Moscow Automobile And Road Construction State Technical University, Moscow, Russian Federation).

Nikolay S. Zakharov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Automotive and Technological Machines Service (Tyumen Industrial University, Tyumen, Russian Federation).

Sergey V. Kosyakov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Software for Computer Systems (Ivanovo State Energy University named after V.I. Lenin, Ivanovo, Russian Federation).

Andrey V. Kochetkov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Expertise and Risk Assessment (Russian Road Research Institute, Moscow, Russian Federation).

Mikhail N. Krasnyanskiy, Doctor of Technical Sciences, Rector (Tambov State Technical University, Tambov, Russian Federation).

Aleksey L. Manakov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department "Technology of Transport Engineering and Machine Operation", Rector (Siberian Transport University, Novosibirsk, Russian Federation).

Boris Yu. Serbinovskiy, Doctor of Economics, Professor of the Department of Systems Analysis and Management of the Faculty of High Technologies (Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation).

Boris S. Sergeev, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department "Electric Machines" (Ural State Transport University, Yekaterinburg, Russian Federation).

Habibulla Turanov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department "Stations, Knots and Cargo Work" (Ural State Transport University, Yekaterinburg, Russian Federation).

Ilya A. Khodashinsky, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Complex Information Security of Electronic Computing Systems (Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russian Federation).

Vyacheslav P. Shuvalov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Discrete Communications and Metrology (Siberian State University of Telecommunications and Informatics, Novosibirsk, Russian Federation).

Nikolai N. Yakunin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Motor Transport (Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation).

Члены редакционной коллегии

Sunil Kumar Yadav, M.Sc. (Mathematics), Ph.D. (Differential Geometry), Assistant Professor (Alwar Institute of Engineering & Technology, India).

Yong Lee, Ph. D., Professor, School of Computer Science and Technology (Harbin Institute of Technology (HIT), China).

Авдеенко Татьяна Владимировна, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры АСУ, вед. науч. сотрудник НОЦ ИИТБ (Новосибирский государственный технический университет, Новосибирск, Российская Федерация).

Василенко Виталий Николаевич, доктор технических наук, профессор, декан Технологического факультета (Воронежский государственный университет инженерных технологий, Воронеж, Российская Федерация).

Воропай Алексей Валерьевич, кандидат технических наук (PhD), доцент, доцент кафедры Деталей машин и ТММ (Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, Украина).

Дресвянников Владимир Александрович, доктор экономических наук, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Менеджмент и маркетинг» (Пензенский филиал Финансового университета при Правительстве РФ, Пенза, Российская Федерация).

Ерохина Елена Вячеславовна, доктор экономических наук, профессор кафедры экономики и организации производства (Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, Российская Федерация).

Жанказиев Султан Владимирович, доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе (Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), Москва, Российская Федерация).

Захаров Николай Степанович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой сервиса автомобилей и технологических машин (Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация).

Косяков Сергей Витальевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой программного обеспечения компьютерных систем (ФГБОУ ВО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина", Иваново, Российская Федерация).

Кочетков Андрей Викторович, доктор технических наук, профессор, начальник отдела экспертизы и оценки риска (ФАУ «РОСДОРНИИ», г. Москва, Российская Федерация).

Краснянский Михаил Николаевич, доктор технических наук, ректор (Тамбовский государственный технический университет, Тамбов, Российская Федерация).

Манаков Алексей Леонидович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Технология транспортного машиностроения и эксплуатация машин», ректор (федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения»), г. Новосибирск, Российская Федерация).

Сербиновский Борис Юрьевич, доктор экономических наук, кандидат технических наук, профессор кафедры системного анализа и управления факультета высоких технологий (Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация).

Сергеев Борис Сергеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры "Электрические машины" (ФГБОУ ВО Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Российская Федерация).

Туранов Хабибулла Туранович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры "Станции, узлы и грузовая работа" (ФГБОУ ВО Уральский государственный университет путей сообщения, Екатеринбург, Российская Федерация).

Ходашинский Илья Александрович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры комплексной информационной безопасности электронно-вычислительных систем (Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Российская Федерация).

Шувалов Вячеслав Петрович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Передачи дискретных сообщений и метрологии (Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Новосибирск, Российская Федерация).

Якунин Николай Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой автомобильного транспорта (Оренбургский государственный университет, Оренбург, Российская Федерация).

DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-3-7-21**UDC 626.73.021.5**

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE PASSAGE OF HEAVY TRAINS ON THE THROUGHPUT AND CARRYING CAPACITY OF RAILWAY SECTIONS WITH ELECTRIC TRAIN TRACTION

***V.V. Shirokova, N.A. Kuzmina,
T.A. Odudenko, G.V. Sankova***

The criterion for the effectiveness of the organization of heavy traffic on the sections of the Russian railway network is the presence of large correspondences of bulk goods presented by the consignor for transportation. An obstacle to the development of a promising cargo traffic are areas with limited throughput and carrying capacity, the overcoming of which is the organization of heavy traffic. All countries that have railways, at a certain stage of development, face capacity constraints. Summarizing the world experience, we can conclude that the priority in the development of increasing volumes of “heavy cargo” is increasing the weight norms of freight trains. The problem of passing heavy trains for Russian Railways is urgent, because the capacity of some sections has exhausted itself completely. The very timely appearance of heavy traffic becomes one of the options for solving the problem of increasing the carrying capacity of sections and directions and, as a result, creating a reserve of carrying capacity. In this article, a study of the influence of their movement on the carrying capacity and carrying capacity has been carried out.

Aim. *To consider the effectiveness of the formation and passage of heavy trains. The influence of the organization of the movement of such trains on the throughput and carrying capacity of railway sections.*

Methods. *To solve the problem, graphic and analytical methods of mathematical modeling, scientific methods of collecting and processing statistical data, modern achievements in terms of general principles and methods of risk management was used.*

Results. *The authors have developed a formula for determining the rate of removal of freight trains. The analysis of the influence of the values of the inter-train intervals of freight trains and heavy trains on the removal rate is given.*

Practical relevance. *As the main alternative to increasing the size of traffic on the main cargo-intensive directions, with a shortage of traffic capacity, it is proposed to use the technology of heavy traffic. In modern market conditions, an increase in the weight and length of a freight train is one of the main reserves for increasing throughput and carrying capacity. By passing heavy trains, we get an increase in carrying capacity. In the article, we prove the consistency of these measures. The increase in carrying and carrying capacity is considered in the context of increasing unified weight standards.*

Keywords: *throughput; carrying capacity; removal rate; inter-train interval; freight train; heavy freight train*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОПУСКА ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ ПОЕЗДОВ НА ПРОПУСКНУЮ И ПРОВОЗНУЮ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЧАСТКОВ ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГЕ

***В.В. Широкова, Н.А. Кузьмина,
Т.А. Одуденко, Г.В. Санькова***

Критерием эффективности организации тяжеловесного движения на участках сети железных дорог России является наличие крупных корреспонденций массовых грузов, предъявляемых грузоотправителем к перевозке. Препятствием к освоению перспективного грузопотока становятся участки с ограниченной пропускной и провозной способностями, преодолением которого выступает организация тяжеловесного движения. Все страны, которые имеют железные дороги, на определенном этапе развития сталкиваются с ограничениями пропускной способности. Обобщая мировой опыт можно сделать вывод, что приоритетом

в освоении возрастающих объемов «тяжелых грузов» становится повышение весовых норм грузовых поездов. Проблема пропуска тяжеловесных поездов для Российских железных дорог является актуальной, вследствие того, что пропускные способности некоторых участков исчерпали себя полностью. Весьма своевременное появление тяжеловесного движения становится одним из вариантов решения проблемы повышения провозных способностей участков и направлений и, как следствие, создание резерва пропускной способности. В данной статье выполнено исследование влияния их движения на пропускную и провозную способности.

Ключевые слова: пропускная способность; провозная способность; коэффициент съема; межпоездной интервал; грузовой поезд; тяжеловесный грузовой поезд

The organization of heavy traffic on railways is aimed at increasing the carrying capacity of cargo-strained directions, which limit the development of promising volumes of fuel and energy cargo transportation from places of origin to places of consumption [1]. However, is it so? Is it possible to assume that only an increase in the length and mass of trains will be sufficient to achieve the efficiency of freight transportation?

The development of heavy-weight traffic with the participation of professionals of various fields on the problems of the wheel, rail and their interaction, which are fundamental for railway transport operating under conditions of high axial loads, train masses and load stress is presented in the research of William J. Harris (The USA), James Lundgren (The USA), Harry Tournay (RSA), Willem Ebersöhn (RSA) [2].

The problem of organizing a heavyweight movement was studied by Martins. R., S. Costa R. J., Roney M, Zhixiu Geng [3; 4; 5].

Therefore, according to DR. Abhyuday, heavy traffic means the organization of work of freight trains with a large axial load, weight and length. [6]

Many pluses, advantages, progressive components of the heavy-weight movement can be found in Russian literature.

The rules of technical operation of the railways of the Russian Federation determine that a heavy train is a freight train whose mass exceeds the mass norm established by the train schedule for the corresponding series of train locomotives by 100 tons or more [7], i.e.

$$Q_h > Q_n + 100. \quad (1)$$

Considering the movement of heavy trains on the traffic schedule, it should note that when they skipped, freight trains of the established mass and length norms removed. This is primarily due to the different size of the inter-train intervals with which freight trains and heavy trains follow (Fig. 1 and 2).

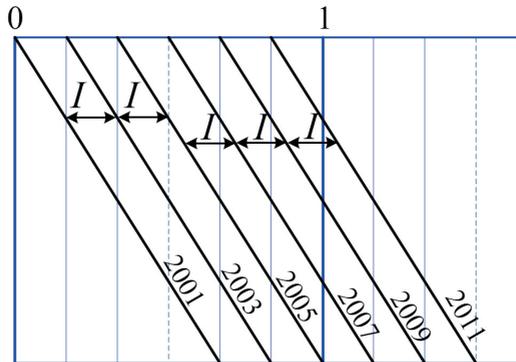


Fig. 1. The passage of freight trains of the established mass on the site in the absence of heaviness

Figure 2 shows that when heavy trains pass at different intervals, the number of missed freight trains of the specified mass also changes. If the intervals are equal (10 min), the total number of freight trains does not change – Fig.2 (a), but a heavy replaced by the freight train. At an interval of 12 minutes (Fig.2.b) 1.2 trains are removed from the schedule, at an interval of 15 minutes – 2 trains (Fig.2.c), 20 minutes - 3 trains(Fig.2.d).

In other words, the greater the difference between the intervals, the more freight trains removed from the schedule. Thus, we can say that when heavy trains skipped, there is a removal of freight trains. It is regulate by the removal coefficient, the value of which can be determined

by the formula proposed by the authors: $\varepsilon_h = \frac{2L_h}{I} - 1$, but not less than one, where L_h is the inter-train interval for heavy trains, min; “ I ” is the calculated inter-train interval for the remaining freight trains.

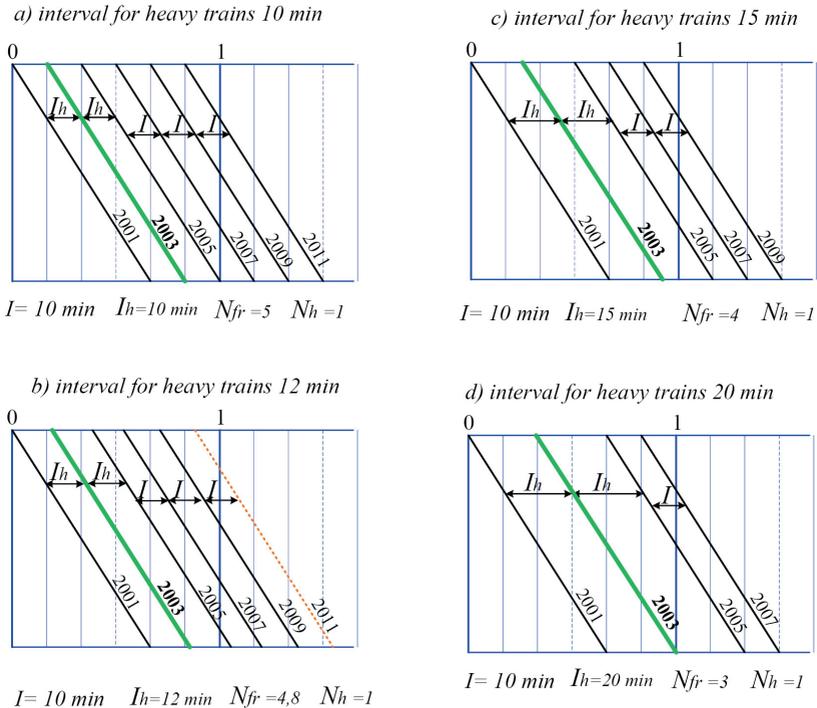


Fig. 2. Passage of heavy freight trains along the section

To see how the carrying capacity will change, you can perform a simple calculation using Figures 1 and 2 and the accepted estimated train weights of 6300 and 8300 tons. The ratio of net and gross weight is 0.75.

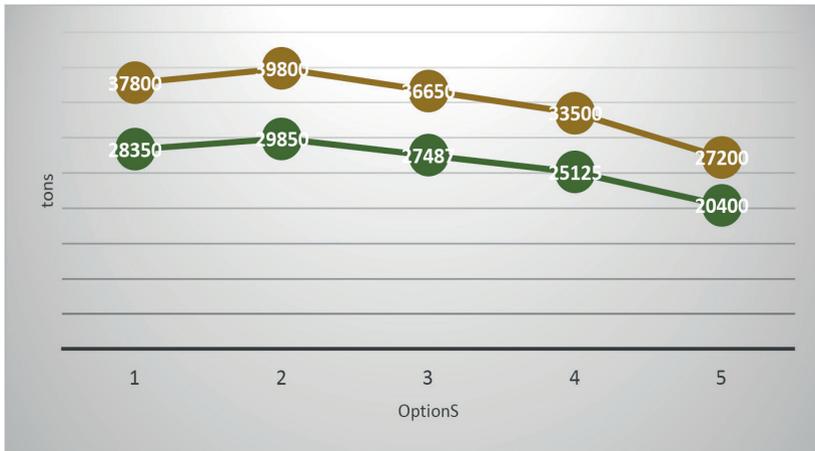
Table 1.

Calculation of transported tons of cargo depending on the interval

Option	Number of freight trains	Number of heavy trains	6300	8300	Gross tons transported	Tons of cargo transported
1	6	0	37800	0	37800	28350
2	5	1	31500	8300	39800	29850

End of a table

3	4,8	1	28350	8300	36650	27487
4	4	1	25200	8300	33500	25125
5	3	1	18900	8300	27200	20400



■ - tons of cargo transported ■ - gross tons transported

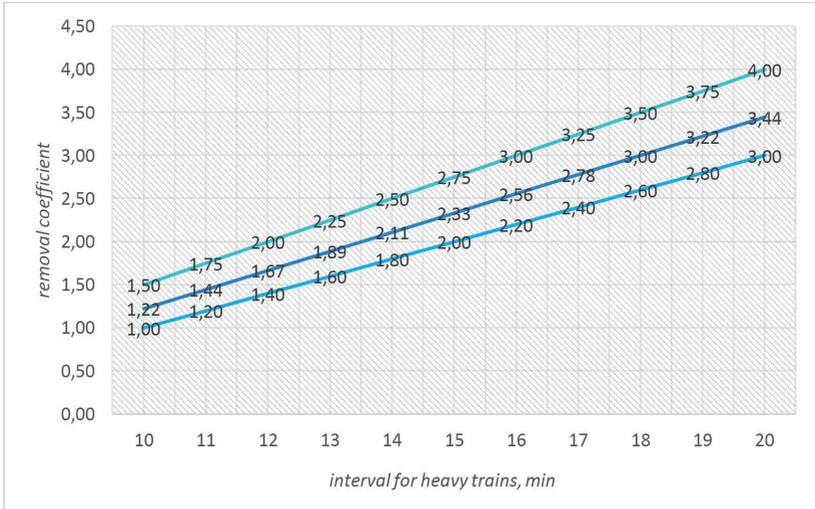
Fig. 3. Graph of the dependence of transported tons of cargo on the inter-train intervals of heavy trains

Thus, with a slight difference in intervals (10 and 12 minutes), an increase in the volume of transported cargo is observed, but with an increase in the gap between the inter-train intervals (10 and 15, 10 and 20) for the same period, the number of gross and net tons transported decreases.

Considering the influence of the values of the inter-train intervals of freight trains and heavy trains on the removal coefficient, the following dependence can be observed (Fig. 4). When the interval between freight trains decreases, the value of the removal coefficient increases.

When calculating the cash carrying capacity of double-track sections equipped with automatic locking, it can be unequivocally stated that when heavy trains pass, it increases.

To see the effect of the number of heavy trains passed, let us turn to the formula for calculating the carrying capacity (C). [1].



- The removal coefficient for the inter-train interval of freight trains 10 min
- The removal coefficient for the inter-train interval of freight trains 9 min
- The removal coefficient for the inter-train interval of freight trains 8 min

Fig. 4. Dependence of the removal coefficient of heavy trains on inter-train intervals

$$C = \frac{365 \cdot Q_{gr} \cdot \varphi}{10^6} \cdot \left[\frac{(1440 - t_{tech} \cdot \alpha_{r/a} - N_r^{pass} - N_r^{acc} - N_r^{comb} - N_r^h)}{I} \right], \quad (3)$$

where: t_{tech} – technological “window”, min; α_r – reliability coefficient, taking into account failures of technical means; I – inter-train interval (schedule period), min. Q_{gr} – the mass of the train composition gross, t; φ – the ratio of the mass of the train composition net and gross, $N_r^{pass}, N_r^{fast}, N_r^{acc}, N_r^{comb}, N_r^h$ – the total number of freight trains removed from the schedule of passenger, fast, accelerated freight, combined and heavy trains.

Number of freight trains to be removing is determined by:

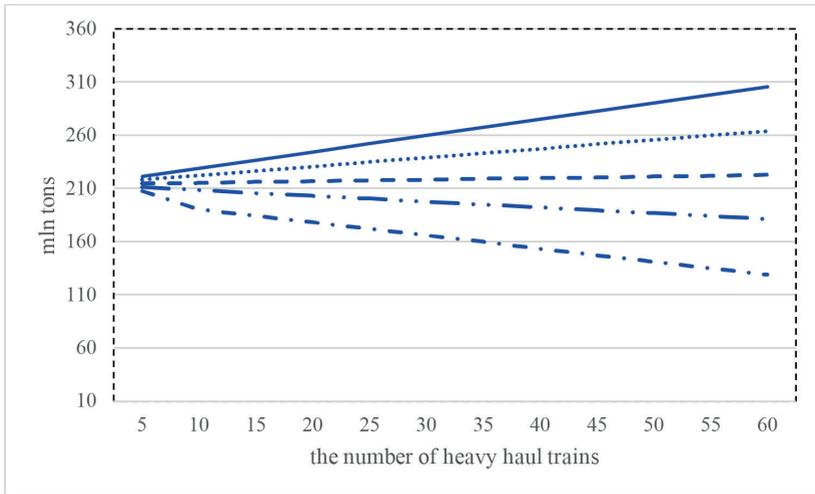
$$N_r^{pass(fast)} = \varepsilon_{pass(fast)} \cdot N_{pass(fast)}, \quad (4)$$

$$N_r^{comb(acc)} = (\varepsilon_{comb(acc)} - 1) \cdot N_{comb(acc)}, \quad (5)$$

$$N_r^h = (\varepsilon_h - 1) \cdot N_h. \quad (6)$$

Where $\varepsilon_{pass(fast)}$, $\varepsilon_{comb(acc)}$, ε_h – are the coefficients of removal by passenger (fast of passengers); combined (accelerated freight); heavy trains; $N_{pass(fast)}$, $N_{comb(acc)}$, N_h – the amount of passenger (fast), combined (accelerated), heavy trains.

The graph of the dependence of the available carrying capacity on the amount of heavy trains passed shown in Fig. 5.



— 12 min; ... 14 min; ---- 16 min; _ . . 18 min; - . - 20 min
Fig. 5. Schedule of changes in the available carrying capacity depending on the number of heavy trains and the inter-train interval between them

From the presented graph, it can be concluded that:

1. With a slight gap between intervals (0-3 min) and an increase in the number of heavy trains, there is an increase in the available carrying capacity.
2. With the difference between the intervals of 4-5 minutes and an increase in the number of heavy trains, there is no significant change in the carrying capacity.
3. With a significant gap in inter-train intervals (6 minutes or more) for heavy and freight trains, there is a decrease in carrying capacity.

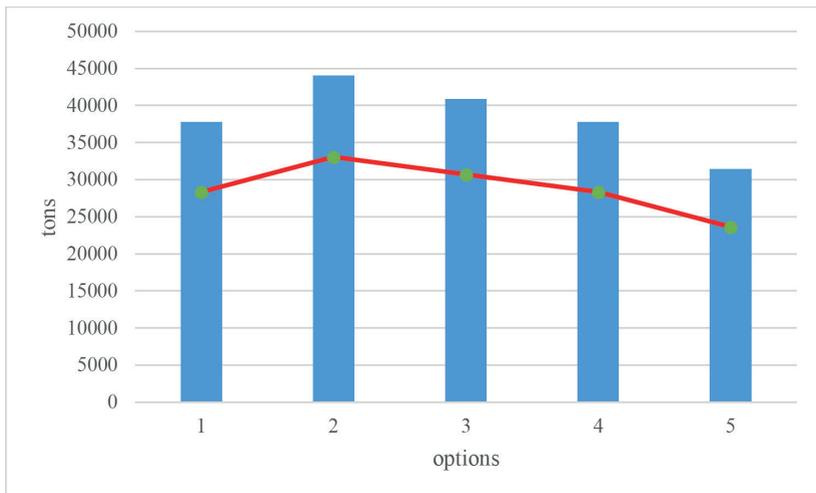
If connected trains with intervals of movement are considered as heavy trains, as for heavy trains, then the results will change (Table 2).

Table 2.

Calculation of transported tons of cargo depending on the interval

Option	Number of freight trains	Number of heavy trains	6300	12600	Gross tons transported	Cargo tons transported
1	6	0	37800	0	37800	28350
2	5	1	31500	12600	44100	33075
3	4,5	1	28350	12600	40950	30712
4	4	1	25200	12600	37800	28350
5	3	1	18900	12600	31500	23625

Considering the dependence graph (Figure 6), a similar picture is observed: the greater the difference between the intervals, the lower the carrying capacity. However, for connected trains, the difference should be more than 5 minutes.



■ Cross tons transported
 — Cargo tons transported

Fig. 6. Dependence of the carrying capacity on the interval value for connected trains

Increasing the mass of trains is not only one of the most effective measures to increase the carrying capacity of railways, but also an important means of improving the operational performance of their work

and reducing the cost of transportation. The mass of the train determines the requirements for the technical equipment of railways, primarily for the power of locomotives, the length of station tracks, power supply devices for electric traction, shunting facilities, etc.

Thus, the establishment of a rational mass of trains on railways is an important and complex technical and economic problem, closely related to the increase in the carrying capacity of railways, but affecting a much wider range of issues related to their work. Its choice can be considered for a given type and power of the locomotive or for cases when the power of the locomotive is unknown, i.e. it must be set simultaneously with the determination of the mass of the train.

The development of heavy traffic is one of the tools that will increase the carrying capacity of the direction, create a reserve of capacity on the network of JSC “Russian Railways”.

Conclusion

1. To increase the carrying capacity, it is necessary to reduce the difference between the inter-train intervals of freight and heavy trains
2. With a significant difference between the intervals, the number of heavy trains should not be more than 10-15 per day
3. To reduce the removal coefficient, it is necessary to reduce the difference between the intervals

Undoubtedly, the development of heavy traffic will strengthen the capacity of the Russian railway network [8, 9]. In the conditions of increasing the volume of transshipment, it is possible to increase the number of heavy trains with the appropriate infrastructure. Thus, only with the introduction of 25% of heavy trains, excluding capital investments, the annual additional income increases by 15%. Therefore, it can be argued that such an organization of train traffic is economically profitable and justified. The additional volume of traffic received at the same time will reduce the cost of train-km, and train stops. The studies presented by the authors confirm the validity of this statement. At the same time, in connection with the organization of the constant circulation of trains of increased weight and length, there are issues that

need to be resolved [10]. The analysis of the Russian literature shows that there are both supporters and opponents of the heavyweight movement [11]. But as practice shows, the increase in the efficiency of the transportation process, including “by increasing the weight and length of freight trains, provides an increase in the carrying capacity of the railway network in conditions of limited investment resources in the medium term” [12].

References

1. Kuz'mina N.A. *Sbornik nauchnykh trudov Evraziyskogo Nauchnogo Obedineniya*, 2020, no. 1(59), pp. 45-50.
2. Harris W.J., Zakharov S.M. et al. *Obobshchenie peredovogo opyta tyazhelovesnogo dvizheniya* [Generalization of the advanced experience of heavy haul traffic: issues of wheel and rail interaction]. M.: Intekst, 2002, 408 p.
3. Martins. R. S. Costa R. J. Wheel and Rail Performance at Carajas Railway. Guidelines to Best Practices for Heavy Haul Operations: Wheel and Rail Interface Issues, IHHA, Virginia Beach, USA, 2001, pp. 4.25-4.27.
4. Roney M Maintaining Technical Leadership in Today's Business Environment. *Proceedings of 7th IHHA Conference*. Brisbane, Australia, 2001, pp. 1-2.
5. Zhixiu Geng. Heavy-haul Transportation Technologies on Datong-Qinhuangdao Railway. China Railway Publishing House, Beijing, 2009. 539 p.
6. Abhyuday D.R. Cost reduction policies and driving behaviour. Ir train drivers influencing diesel traction energy consumption. *Novye tendentsii razvitiya v upravlenii protsessami perevozok, avtomatike i infokommunikatsiyakh: Tr. Vseros. nauch.-prakt. konf. uchenykh transp. vuzov, inzhenernykh rabotnikov i predstaviteley akademicheskoy nauki s mezhdunarodnym uchastiem (Khabarovsk, 29 sentyabrya 2017 g.)* [New development trends in the management of transportation processes, automation and infocommunications: Tr. Vseros. scientific-practical. conf. scientists transp. universities, engineering workers

- and representatives of academic science with international participation (Khabarovsk, September 29, 2017)] / ed. A.I. Godyaev. Khabarovsk: Izd-vo DVGUPS, 2017, pp. 19–35.
7. Rules for the technical operation of the railways of the Russian Federation. URL: <https://company.rzd.ru>
 8. “Program for the development of heavy-haul traffic on the railway network of Russian Railways”. URL: <http://www.rzd-expo.ru/images/Events-2019/27ts/01.pdf>
 9. Development strategy of the Russian Railways holding for the period up to 2030 (basic provisions). URL: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?-STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6396
 10. Klimova E. V. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta putey soobshcheniya*, 2017, no. 4 (43), pp. 66–73.
 11. Gil'manov A.I., Zalogova O.I. *Molodaya nauka Sibiri*, 2018, no. 1. <http://mnv.irgups.ru/toma/11-2018>
 12. Ushkova E. *RZhD PARTNER*, 2018, no. 9(373), pp. 59-61.

Список литературы

1. Кузьмина Н.А. Исследование влияния движения поездов повышенной массы и длины как элемента увеличения эффективности перевозочного процесса // Сборник научных трудов Евразийского Научного Объединения. 2020. № 1(59). С. 45-50.
2. Обобщение передового опыта тяжеловесного движения: вопросы взаимодействия колеса и рельса: пер. с англ./ У. Дж. Харрис, С.М. Захаров [и др.]. М.: Интекст, 2002. 408 с.
3. Martins. R. S. Costa R. J. Wheel and Rail Performance at Carajas Railway // Guidelines to Best Practices for Heavy Haul Operations: Wheel and Rail Interface Issues, ИИНА, Virginia Beach, USA, 2001. pp. 4.25-4.27.
4. Roney M Maintaining Technical Leadership in Today's Business Environment // Proceedings of 7th ИИНА Conference. Brisbane, Australia, 2001, pp. 1-2.
5. Zhixiu Geng. Heavy-haul Transportation Technologies on Datong-Qinhuangdao Railway. China Railway Publishing House, Beijing, 2009. 539 p.

6. Abhyuday D.R. Cost reduction policies and driving behaviour. In train drivers influencing diesel traction energy consumption // Новые тенденции развития в управлении процессами перевозок, автоматике и инфокоммуникациях: Тр. Всерос. науч.-практ. конф. ученых трансп. вузов, инженерных работников и представителей академической науки с международным участием (Хабаровск, 29 сентября 2017 г.) / под. ред. А.И. Годяева. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2017. С. 19–35.
7. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации: сайт. URL: <https://company.rzd.ru> (дата обращения: 12.09.2021).
8. «Программа развития на сети железных дорог ОАО «РЖД» тяжеловесного движения». URL: <http://www.rzd-expo.ru/images/Events-2019/27ts/01.pdf> (дата обращения: 11.08.2021).
9. Стратегия развития холдинга «РЖД» на период до 2030 года (основные положения) : дата офиц. опубл.: 16.04.2014 // ОАО «РЖД» : сайт. URL: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6396 (дата обращения: 22.09.2021).
10. Климова Е. В. Исследование сфер эффективности применения технологии пропуска соединенных и тяжеловесных поездов // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2017. № 4 (43). С. 66–73.
11. Гильманов А.И. Увеличение массы поезда по сети железных дорог [Электронный ресурс] / А. И. Гильманов, О. И. Залогова // Молодая наука Сибири: электрон. научн. журн. 2018. №1. <http://mnv.irgups.ru/toma/11-2018>
12. Ушкова Е. Тяжеловесам – зеленый свет // РЖД ПАРТНЕР. 2018. №9(373). С. 59-61.

DATA ABOUT THE AUTHORS

Valentina V. Shirokova, Ph.D., Associate Professor

Far Eastern State Transport University

47, Seryshev Str., Khabarovsk, 680000, Russian Federation

appa1953@yandex.ru

Natalya A. Kuzmina, Ph.D.

*Far Eastern State Transport University
47, Seryshev Str., Khabarovsk, 680000, Russian Federation*

Tatyana A. Odudenko, Ph.D., Associate Professor

*Far Eastern State Transport University
47, Seryshev Str., Khabarovsk, 680000, Russian Federation
odudenkot@gmail.com*

Galina V. Sankova, Senior Lecturer

*Far Eastern State Transport University
47, Seryshev Str., Khabarovsk, 680000, Russian Federation
gvsankova@mail.ru*

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Широкова Валентина Васильевна, канд. пед. наук, доцент

*Дальневосточный государственный университет путей со-
общения
ул. Серышева, 47, г. Хабаровск, 680000, Российская Феде-
рация
appa1953@yandex.ru*

Кузьмина Наталья Александровна, канд. пед. наук

*Дальневосточный государственный университет путей со-
общения
ул. Серышева, 47, г. Хабаровск, 680000, Российская Феде-
рация*

Одуденко Татьяна Андреевна, канд. техн. наук, доцент

*Дальневосточный государственный университет путей со-
общения
ул. Серышева, 47, г. Хабаровск, 680000, Российская Феде-
рация
odudenkot@gmail.com*

Санькова Галина Васильевна, старший преподаватель

*Дальневосточный государственный университет путей со-
общения*

*ул. Серьшева, 47, г. Хабаровск, 680000, Российская Феде-
рация*

gvsankova@mail.ru

Поступила 15.06.2022

После рецензирования 30.06.2022

Принята 17.07.2022

Received 15.06.2022

Revised 30.06.2022

Accepted 17.07.2022

DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-3-22-39

UDC 621.396.6.07.019.3

**MATHEMATICAL MODEL OF RISK CONTROL
ARISING FROM THE FUNCTIONING OF COMPLEX
TECHNICAL SYSTEMS FOR CRITICAL PURPOSES
IN CONDITIONS OF UNCERTAINTY OF INFORMATION
ABOUT THE VALUES OF PARAMETERS
AND THE PHASE STATE**

P.V. Kalashnikov

Introduction. *The paper presents a description of the process of constructing a mathematical model for managing risks arising from the operation of complex technical unique systems for critical purposes under conditions of uncertainty of information about the parameters and phase state. The **purpose** of the study is to create an individual optimal strategy for managing risk events that occur during the operation of complex technical systems, which minimizes the cost of preventive work, as well as the amount of damage that may result from the occurrence of relevant events. The objectives of the study include the construction of a mathematical model for control risks arising from the operation of complex dynamic unique technical systems for critical purposes under conditions of interval uncertainty of information about the values of parameters and the phase state, since as well as an analysis of existing approaches to creating an individual forecast of changes in the state of the considered class of systems.*

Materials and Methods. *The article gives a comparative description of the effectiveness of the application of the mathematical apparatus of the theory of outliers of random processes and the method of individual forecasting in solving the problem of managing risks arising from the operation of complex unique technical systems for critical purposes under conditions of uncertainty. Based on the statistical methods of interval data, a mathematical model of risk management was created,*

taking into account possible errors in measuring the values of the parameters of the considered class of complex systems at all control windows during the operation period.

Results. *The scientific novelty of the implemented approach lies in the use of interval data statistics, which allow the most correct consideration of possible errors associated with measuring the values of the characteristics of the studied technical systems at all stages of the control process.*

Discussion and Conclusions. *The mathematical model of risk control developed in the course of the study, arising from the operation of complex technical systems for critical purposes, makes it possible to make the optimal choice of risk management strategy when using objects of this class. Along with the above, an algorithm has been developed for predicting changes in the state of a technical system during the entire period of its operation based on the mathematical apparatus of statistics of interval data, which makes it possible to take into account in the calculations the errors that occur when measuring the values of the main parameters of the system under consideration at all stages of the control process.*

Keywords: *risk management; statistics of interval data; complex technical system for critical purposes; theory of outliers of random processes; guaranteed forecast method*

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ,
ВОЗНИКАЮЩИМИ ПРИ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ
СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ
ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ, В УСЛОВИЯХ
НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИНФОРМАЦИИ О ЗНАЧЕНИЯХ
ПАРАМЕТРОВ И ФАЗОВОМ СОСТОЯНИИ**

П.В. Калашников

В работе приводится описание процесса построения математической модели управления рисками, имеющими место во

время работы сложных технических уникальных систем ответственного назначения в условиях неопределенности информации о параметрах и фазовом состоянии. **Целью исследования** является создание индивидуальной оптимальной стратегии управления рисковыми событиями, имеющими место в ходе процесса функционирования сложных технических систем, при которой сводятся к минимуму затраты на профилактический ремонт, а также величина ущерба, который может возникнуть в результате возникновения соответствующего события. К задачам проводимого исследования следует отнести построение математической модели управления рисками, имеющими место в ходе работы сложных динамических уникальных технических систем ответственного назначения в условиях интервальной неопределенности информации о значениях параметров и фазовом состоянии, а также анализ существующих подходов к созданию индивидуального прогноза изменения состояния рассматриваемого класса систем

Материалы и методы. В статье дается сравнительная характеристика эффективности применения математического аппарата теории выбросов случайных процессов и метода индивидуального прогноза при решении задачи управления рисками, возникающими в ходе работы сложных уникальных технических систем ответственного назначения в условиях неопределенности. На основе методов статистики интервальных данных создается математическая модель управления рисками, учитывающая возможные погрешности при измерении значений параметров рассматриваемого класса сложных систем на всех окнах контроля в течение периода эксплуатации.

Результаты исследования. Научная новизна реализуемого подхода состоит в использовании статистики интервальных данных, позволяющих наиболее корректно учитывать имеющие место возможные погрешности, связанные с измерением значений характеристик изучаемых технических систем на всех этапах процесса управления.

Обсуждение и заключение. Разработанная в ходе выполненного исследования математическая модель управления рисками, возникающими в ходе работы сложных технических систем ответственного назначения, позволяет делать оптимальный выбор стратегии управления рисками при использовании объектов данного класса. Наряду с вышеизложенным, разработан алгоритм прогноза изменения состояния технической системы в течение всего периода ее работы на основе математического аппарата статистики интервальных данных, позволяющий учитывать при расчетах погрешности имеющие место при замерах значений основных параметров рассматриваемой системы на всех этапах процесса управления.

Ключевые слова: управление рисками; статистика интервальных данных; сложная техническая система ответственного назначения; теория выбросов случайный процессов; метод гарантированного прогноза

Introduction

This paper is a generalization and development of previously obtained results of calculations on the aspects of mathematical modeling of risk management, development during the operation of complex technical systems for responsible purposes, set out in the works [1, 2]. The main element of the scientific novelty of this article is the addition of previously obtained results by comparing the effectiveness of the methods of the theory of outliers and the method of guaranteed prediction in solving the problem of risk management. The work of complex critical systems in various fields of technology and economics is associated with emergencies, accidents, failures, as well as disruption of the normal operation of individual organizational structures, industries, which in turn damages the national economy and the population. The main approaches to the theory of risk control in technical systems are described in the works [1-5].

The magnitude of the risk arising in the course of the functioning of technical systems is given by the ratio

$$R = P_r B \quad (1)$$

where

R – the magnitude of the risk arising in the course of the functioning of the technical system

P_r – the probability of a risk event

B – the amount of damage in the event of a risk event.

The total value of risk R arising from the operation of complex technical systems for critical purposes, which can be described by the presence of various combinations of the magnitude of damage and the probability of their occurrence, is found by the formula

$$R_i = \sum_{i=0}^n P_{r_i} B_i \quad (2)$$

Summation is performed over all possible elements of the event tree.

The considered values of the amount of damage and the probability of the occurrence of a risk event are functions of time t . Risk, as a rule, is understood as a random variable of the form $(, B)$, where – the moment in time at which a risk event occurs (equipment failure, accident, catastrophe). The approach based on the use of the standard apparatus of the theory of probability and mathematical statistics in managing risks arising in the course of the functioning of complex unique critical systems is ineffective, since it does not take into account the individual characteristics of each specific system, and also does not provide reliable results and statistical assessments under conditions lack, incompleteness and indistinctness of information about the parameters and phase state of the objects under consideration.

To solve the above problems it is necessary to use the concept of a functional-parametric approach to managing the reliability of complex systems, which is described in the works [6-10].

The main idea of the functional-parametric approach is based on the assumption of a gradual nature of the occurrence of failures in the operation of technical systems. The reason for the occurrence of failures in the operation of complex objects is the output of parameter values beyond the limits of the operability area. Forecasting the state and controlling the parameters of complex technical systems

makes it possible to solve the problem of ensuring the stable operation of the structures under consideration throughout the entire period of operation.

The functional-parametric approach is focused on solving the problem of predicting changes in the values of the parameters of the system under consideration, as well as determining the optimal strategy for preventive measures, which allows, at minimal cost, to implement a set of measures to assess the state and adjust the operation of units and assemblies that ensure trouble-free operation of the facility during the entire period of its operation.

The task of risk control in the operation of critical technical systems is to determine a set of preventive measures and search for optimal control actions on the system parameters that minimize the amount of damage from the implementation of a risk event. A risk event is understood as the exit of the values of the system state parameters beyond the limits of the operability area.

Mathematical model of risk control under conditions of interval uncertainty

The state of the considered technical system S is given by a set of parameters $s=(s_1, \dots, s_m)$ during the period of operation $[0, T]$. Let us formulate the problem of risk management for the case of discrete control carried out at time points $t_k, k=0, \dots, n, T = t_n - t_0$. Parameter operability area number j of this technical object at the moment of time t_k is given by the relation

$$s_{jk} \leq s_{jk} \leq \overline{s_{jk}} \quad (3)$$

These parameter values determine the possible deviation from the calculated nominal values at which the system remains operational.

The vector of the state of the system at the moment of time $t_k, k=0, \dots, n$ has the form

$$s(t_k) = (s_1(t_k) \dots s_m(t_k)) \quad (4)$$

If the value of the system parameter number j at time goes beyond the region specified by relation (4), then a risk event associated with a failure occurs.

To prevent accidents and failures, the parameters of the technical system are regularly measured and monitored. A set of repair and preventive measures is carried out to ensure the stable operation of the system in question. Carrying out the indicated type of work is associated, as a rule, with significant material costs and forced downtime of equipment. The costs c_k or maintenance of the system at time $t_k \in T$ are given by the ratio

$$\underline{c}_{jk} \leq c_{jk} \leq \overline{c}_{jk}. \quad (5)$$

The total cost C associated with the control and measurement and preventive measures is calculated based on the ratio

$$C = \sum_{i=0}^n c_k = [\underline{c}, \bar{c}] \quad (6)$$

$$\underline{c}, \leq C \leq \bar{c}$$

The risk control strategy involves the implementation of such a set of control actions and preventive measures, in which the amount of damage caused by a risk event is minimal.

The vector of control actions on the system parameters during the operation period $[0, T]$ has the form

$$u = (u_1, \dots, u_r) \quad (7)$$

The set of values of the control correcting action number j on the parameters of the system at the moment of time t_k , $k=0 \dots n$ given by the ratio

$$\underline{u}_{jk} \leq u_{jk} \leq \overline{u}_{jk} \quad (8)$$

The vector of control actions at the moment of time t_k , $k=0, \dots, n$ has the form

$$u(t_k) = (u_1(t_k) \dots u_r(t_k)) \quad (9)$$

Let $B_k = B_k(s(t_k), s(t_{k+1}), u(t_k), t_k)$ costs associated with the chosen risk control strategy at time t_k . Then the optimal control $u^*(t_k)$, leading to the minimum costs of operation of the technical system are determined for the time t_k on the basis of the relation

$$B_k(s(t_k), s(t_{k+1}), u^*(t_k), t_k) \leq B_k(s(t_k), s(t_{k+1}), u(t_k), t_k) \quad (10)$$

During the period of operation $T = t_n - t_0$ we have a set of optimal control actions in the form

$$U^*(t_0, t_n) = \{u^*(t_0), \dots, u^*(t_n)\} \quad (11)$$

The optimal risk management strategy is to determine such a set of control actions on the system parameters, in which the amount of damage in the event of a risk event will be minimal.

$$J = \sum_{k=0}^{n-1} B_k (s(t_k), s(t_{k+1}), u(t_k), t_k) \rightarrow \min \quad (12)$$

$$\sum_{k=0}^n c_k = C \rightarrow \min \quad (13)$$

Application of the theory of emissions of random processes to the problem of risk management arising from the functioning of critical systems

An important role in solving the problem of risk management in the operation of critical systems is played by the problem of determining the first moment in time at which a random process goes out outside the area of operability. To solve the indicated problem it is necessary to use elements of the theory of emissions of random processes, which are described in the paper [11].

Suppose that the change (drift) of the parameters of the system S is described by a random process $S(t)$ and the first exit of the process under consideration outside the range of operability W leads to a failure (an emergency situation in which the operability of the system is disrupted). We denote by $P(t)$ the probability of failure-free operation of the system, where $P(t) = P(S(\tau) \in W)$, $\tau \in [0, t]$.

For a stationary differentiable process $P(t)$ has the form

$$P(t) = P_0 - n \int_0^t (1 - L(\tau)) d\tau \quad (14)$$

where

P_0 – the probability of the process being in the operability area at the initial moment of time;

n – the average number of emissions of the process under consideration per unit of time outside the region;

$L(\tau)$ – distribution function of the duration of the residence time of the process in a given region W from the moment it hits it until the moment it leaves it for the first time.

Let us consider the case in which the performance area W is specified using an interval of the form $W = [\underline{a}, \bar{a}]$. In this case, expressions for calculating the value $P(t) = P(\underline{a} < S(\tau) < \bar{a})$, $\tau \in [0, t]$ has the form

$$P(t) = F(\bar{a}) - F(\underline{a}) - n_{\underline{a}\bar{a}} \int_0^t (1 - L_{\underline{a}\bar{a}}(\tau)) d\tau \quad (15)$$

where

$F(\dots)$ – the distribution function of the ordinate of the considered random process describing the functioning of the system.

$n_{\underline{a}\bar{a}}$ – the average number of times a random process leaves the range of operability per unit time W ;

$L_{\underline{a}\bar{a}}$ – the distribution function of the duration of the residence time of the process in a given region W from the moment it hits it until the moment it leaves it for the first time.

We introduce into consideration the following random variables.

τ – time since the beginning of observation of the considered random process until the moment of its first exit from the domain W ;

μ – duration of time passing from the moment of the first hit of the process in the area W to the moment of the 1st exit from it;

ρ – the duration of the time elapsing from the moment a random process enters the domain W until the moment it begins to observe it.

The magnitude $\mu = \tau + \rho$. Let $K(\tau) = 1 - L(\tau)$, $\varphi(\tau)$ – distribution density of a random variable τ . In the introduced notation

$$\varphi(\tau) = -\frac{dP}{d\tau}, \quad \varphi(\tau) = n_{\underline{a}\bar{a}} K(\tau) \quad (16)$$

Consider the expressions $K(t) = P(\mu > t)$ и $P(t) = P(\tau > t)$. Between realizations of random variables μ the relation is true $\mu > \tau$. Hence, $K(t) \geq P(t)$.

$$\frac{dP}{dt} = -n_{\underline{a}\bar{a}} K(t) \quad (17)$$

Dividing the left and right sides of relation (17) by $P(t)$, we obtain the expression

$$\frac{dP}{P dt} = -n_{\underline{a}\bar{a}} \frac{K(t)}{P(t)} \quad (18)$$

Let us introduce the notation

$$\delta(t) = -\frac{dP}{P dt}, \quad b(t) = \frac{K(t)}{P(t)} \quad (19)$$

In the introduced notation, we have

$$\delta(t) = n_{\underline{a}\bar{a}} b(t) \quad (20)$$

Due to the inequality $K(t) \geq P(t)$ variable $b(t) \geq 1$, hence, $\delta(t) \geq n_{\underline{a}\bar{a}}$.

Let us construct estimates for the quantity $P(t)$. Let $K(\tau) = 1 - L(\tau) = 1$. In this case, we have the estimate

$$P(t) \geq F(\bar{a}) - F(\underline{a}) - n_{\underline{a}\bar{a}} t, \quad t \leq \frac{F(\bar{a}) - F(\underline{a})}{n_{\underline{a}\bar{a}}}. \quad (21)$$

For the case of one-sided boundaries, we have the following estimates

$$P(t) \geq F(\bar{a}) - n_{\bar{a}}t, \quad t \leq \frac{F(\bar{a})}{n_{\bar{a}}} \quad (22)$$

$$P(t) \geq 1 - F(\underline{a}) - n_{\underline{a}}t, \quad t \leq \frac{1-F(\underline{a})}{n_{\underline{a}}} \quad (23)$$

When solving practical problems, random processes are often considered, which are the sum of a deterministic function and random noise, which are described by the relation

$$S(t) = Y(t) + \beta(t) \quad (24)$$

where

$Y(t)$ – random noise;

$\beta(t)$ – deterministic function.

Formulas for estimating the probability of no-failure operation $P(t)$ for random processes of the form (24) are presented in the paper [12].

To estimate the probability of a random process staying in a given area, it is necessary to know the one-dimensional distribution law of the ordinate of this process, as well as the average number of outliers of this process outside the band per unit time W .

The use of the above mathematical apparatus allows one to obtain approximate estimates of the value $P(t)$ of the probability of failure-free operation of the system under consideration, as well as tentatively determine the moment of the onset of a risk event (the first outburst of a random process outside the area W), at which a failure occurs in the operation of the technical object under study. The use of this kind of methods is suitable for groups of technical objects characterized by statistical homogeneity and does not take into account individual characteristics and unique features characteristic of critical systems.

To solve the indicated problem, the method of individual forecast is used [6].

At a moment in time t_p information on the progress of changes in the process of system functioning is available in the form of a sequence of observations $\{d_k\}, k=0 \dots p$. As a rule measurement of system parameters at various stages of control is associated with the presence of errors (inaccuracies in the operation of measuring equipment, rounding errors, etc.).

Results of the research

Making decisions on the choice of control actions that minimize risk in unique systems of responsible assignment is associated with the presence of incompleteness and uncertainty of information. The most appropriate tool for mathematical modeling in such a situation is the statistical apparatus of interval data [13-16].

When using this type of mathematical apparatus, it becomes possible to make optimal decisions in conditions of incompleteness and lack of information about the system parameters, since the sample volumes with which the interval data statistics apparatus operates are much smaller than in the case of traditional methods of mathematical statistics.

Consider the formulation of the problem of constructing an individual forecast of changes in the state of a critical technical system.

Let, $S(t)$ be a random process describing the change in the values (drift) of the parameters of a critical technical system S during a time interval $[0, t_p]$ and define the further trajectory of the system parameters change over the time interval $T-t_p$.

Suppose that the model of the random process $S(t)$ has the form

$$S(t) = F(t) + h(t) \quad (25)$$

where

$F(t)$ – the form of the process under consideration (scalar, linear, monotonic);

$h(t)$ – model error, which may be absent, random or interval given.

Consider a specific form of a random process given by the relation

$$S(t) = a' b(t) + h(t), \quad t \in [0, T] \quad (26)$$

where

$a = \{a_j\}, j=0, \dots, n$ – vector of random coefficients;

$b(t)$ – continuously specified deterministic functions of time $t \in [0, T]$;

$h(t)$ – model error given by interval $\underline{h}(t) \leq h(t) \leq \overline{h}(t)$ time function $t \in [0, T]$;

On a time interval $T_p \in T$ consider the implementation $s(t)$ of the process $S(t)$, observed with measurement error $e(t_k)$ for the moment of control t_k , given by the interval ratio

$$\underline{e(t_k)} \leq e(t_k) \leq \overline{e(t_k)} \tag{27}$$

In accordance with model (15), the implementation of the process $S(t)$ on the time interval $[0, T_p]$ has the form

$$s(t) = a'b(t) + [\underline{h(t)}, \overline{h(t)}] \tag{28}$$

For the moment of control t_k set of valid process implementations $s(t_k)$ described by the expression

$$\underline{e(t_k)} + \underline{h(t_k)} + d(t_k \leq s(t_k \leq \overline{e(t_k)} + \overline{h(t_k)} + d(t_k), t_k \in T_{p-} \tag{29}$$

Condition (18) describes the forecast tube, which is guaranteed to contain the values of the realization $s(t_k)$ at the moment $t_k \in T_p$.

Let us single out among the admissible implementations $s(t_k)$ extreme $s(t_k)^+, s(t_k)^-$ based on solving a minimax optimization problem of the form

$$b(t^*) + h(t^*) \rightarrow \max \tag{30}$$

$$a'b(t^*) + h(t^*) \rightarrow \min t^* \in [T_p, T] \tag{31}$$

With restrictions

$$\underline{e(t_k)} + \underline{h(t_k)} + d(t_k \leq a'b(t_k) + h(t_k) \leq \overline{e(t_k)} + \overline{h(t_k)} + d(t_k), k=0 \dots p \tag{32}$$

Approaches to solving the problem under consideration are described in the paper [15].

Suppose that, based on the solution to problem (19-21), extreme realizations are determined $s(t_k)^+, s(t_k)^-, t_k > t_p$.

Let the boundaries of the operability area be given in the form

$$A(t_k) = (\underline{s_{1k}}, \dots, \underline{s_{mk}}), k=0 \dots n \tag{33}$$

$$B(t_k) = (\overline{s_{1k}}, \dots, \overline{s_{mk}}), k=0 \dots n \tag{34}$$

To solve the problem of risk management, it is necessary to determine the closest moment in time at which a risk event (failure) is possible, and also to reduce, if possible, the number of preventive measures associated with measuring and monitoring the state of the system..

In this regard, as the next point in time at which it is necessary to monitor the system state, it is advisable to choose $t_{p+1} = \min \{ \tau_{A_k}, \tau_{B_k} \}$, where are the moments in time τ_{A_k}, τ_{B_k} are determined by solving equations of the form

$$A(t_k) = s(t_k)^-, B(t_k) = s(t_k)^+ \tag{35}$$

Relations (24) specify the condition for the intersection of extreme trajectories and boundaries of the system operability region at the moment $t_k > t_p$.

For a period of time $t_c = t_{p+1} - t_p$ it is possible to guarantee that the system parameters are within the operability range and that there are no failures.

The considered process of predicting the state of the system is iterative in nature. The next step is to determine the moment in time t_{p+d} monitoring the state of the system based on the calculation of extreme trajectories based on the available observable information (d_{p+1}, t_{p+1}).

If the period of operation before the onset of the next risk event is less than the minimum guaranteed reasonable interval of time for maintaining operability t_c^{min} , $t_{p+d} - t_{p+1} < t_c^{min}$, then it is necessary to stop the system at the moment t_{p+1} and take the necessary preventive measures to correct the values of the parameters of the considered technical object.

Discussion and conclusions

In the course of the work carried out, the main approaches to managing risks arising from the operation of complex technical systems for critical purposes were studied, and a mathematical model was developed that allows choosing the optimal strategy for monitoring and adjusting the values of the parameters of systems of this type under conditions of interval uncertainty. An algorithm has been developed for predicting changes in the state of a technical system during the entire period of its operation based on the statistical apparatus of interval data, which makes it possible to take into account the measurement errors of the main parameters of the system when taken into account at all stages of the control process. The use of the mathematical apparatus of the theory of bursts of random processes makes it possible to find approximate estimates of the probability of failure-free operation of a critical technical system under conditions of uncertainty, as well as to calculate the moment of the first release of the process outside the acceptability region.

References

1. Kalashnikov P.V. K probleme upravleniya riskami pri ekspluatatsii slozhnykh tekhnicheskikh sistem otvetstvennogo naznacheniya [On

the problem of risk management in the operation of complex technical systems for responsible purposes]. «*Nauka. Promyshlennost'. Oborona*»: *sbornik nauchnykh trudov XXI Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 75-letiyu Pobedy v Velikoy otechestvennoy voyne, 7-9 oktyabrya 2020* [Science. Industry. Defense: a collection of scientific papers of the XXI All-Russian Scientific and Technical Conference dedicated to the 75th anniversary of the Victory in the Great Patriotic War, October 7-9, 2020]. Novosibirsk, 2020, pp. 212-217.

2. Kalashnikov P.V. Matematicheskaya model' upravleniya riskami pri ekspluatatsii slozhnykh tekhnicheskikh sistem otvetstvennogo naznacheniya [Mathematical model of risk management in the operation of complex technical systems for responsible purposes]. «*Razvitie kontseptsii sovremennogo obrazovaniya v ramkakh nauchno-tekhnicheskogo progressa*»: *sbornik nauchnykh trudov, 30 iyulya 2020* [Development of the concept of modern education in the framework of scientific and technological progress: collection of scientific papers, July 30, 2020]. Kazan, 2020, pp. 134-140.
3. Ostreykovskiy V.A. *Teoriya tekhnogennoy riska: matematicheskie metody i modeli* [The theory of technogenic risk: mathematical methods and models]: monograph. Surgut: KC SurGu, 2013, 320 p.
4. Ostreykovskiy V.A. Otsenka riska v teorii tekhnogennoy bezopasnosti slozhnykh dinamicheskikh sistem [Quantitative risk assessment in the theory of technogenic safety of complex dynamic systems]. *Itogi nauki. T.1. Izbrannye trudy mezhdunarodnogo simpoziuma po fundamental'nym i prikladnym problemam nauki* [Itogi Nauki. Vol. 1. Selected Proceedings of the International Symposium on Fundamental and Applied Problems of Science]. M.: RAS, 2013, part 2, pp. 12–31.
5. Muravyov I.I., Ostreykovskiy V.A., Shevchenko E.N. Modeli otsenki faktora vremeni v teorii tekhnogennoy riska dinamicheskikh sistem [Models for assessing the time factor in the theory of technogenic risk of dynamic systems]. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma Nadezhnost' i kachestvo* [Proceedings of the International Symposium Reliability and Quality]. 2015, vol. 1, pp. 24–27.

6. Korolev V.Yu. *Matematicheskie osnovy teorii riska* [Mathematical foundations of risk theory]. M.: FIZMATLIT, 2007, 544 p.
7. Ostreykovsky V.A. O nekotorykh klassakh modeley riska v teorii tekhnogennoy bezopasnosti [On some classes of risk models in the theory of technogenic safety]. *Nadezhnost' i kachestvo. Tr. Mezhdunar. Simpoziuma* [Dependability and quality. Tr. Int. Symposium]: in 2 volumes / ed. N.K. Yurkova. Penza: PSU Publishing House, 2013, pp. 46-49.
8. Abramov O.V. Analiz i prognozirovanie tekhnogennykh riskov [Analysis and forecasting of technogenic risks]. *Informatika i sistemy upravleniya* [Informatics and control systems], 2012, no. 3, pp. 97-105.
9. Abramov O.V. K probleme predotvrashcheniya avariyy tekhnicheskikh ob"ektov otvetsvennogo naznacheniya [On the problem of preventing accidents of critical technical objects]. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system* [Reliability and quality of complex systems], 2013, no. 1, pp. 11-16.
10. Abramov O.V. Ob otsenke veroyatnosti nastupleniya riskovogo so-bytiya: funktsional'no-parametricheskii podkhod [On the assessment of the probability of a risk event: a functional-parametric approach]. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh system* [Reliability and quality of complex systems], 2016, no. 1, pp. 24-31.
11. Abramov O.V. Funktsional'no-parametricheskoe napravlenie teorii riskov: vozmozhnosti i perspektivy [Functional-parametric direction of risk theory: opportunities and prospects]. *Vestnik FEB RAS*, 2016, no. 4, pp. 96-101.
12. Abramov O.V. Monitoring i prognozirovanie tekhnicheskogo sostoyaniya sistem otvetsvennogo naznacheniya [Monitoring and forecasting the technical state of critical systems]. *Informatika i sistemy upravleniya* [Informatics and control systems], 2011, no. 2, pp. 4-15.
13. Tikhonov V.I., Khimenko V.I. *Vybrosy traektoriy sluchaynykh protsessov* [Outliers of trajectories of random processes]. Moscow: Nauka, 1987, 304 p.
14. Pereverzev E.S. *Modeli nakopleniya povrezhdeniy v zadachakh dolgovechnosti* [Damage Accumulation Models in Durability Problems]. Kiev, Naukova Dumka, 1995, 354 p.

15. Puzikova D.A. Ob interval'nykh metodakh statisticheskoy klassifikatsii [About interval methods of statistical classification]. *Nauka i tekhnologiya v Rossii* [Science and technology in Russia], 1995, no. 2 (8), pp. 12-13.
16. Orlov A.I. Puti razvitiya statisticheskikh metodov: neparametrika, robustnost', butstrep i realistichestkaya statistika [Ways of development of statistical methods: nonparametric, Robustness, Bootstrap and Realistic Statistics]. *Nadezhnost' i kontrol' kachestva* [Reliability and Quality Control], 1991, no. 8, pp. 3–8.
17. Voshchinin A.P. *Metod optimizatsii ob'ektov po interval'nyim modelyam tselevoy funktsii*. [Object optimization method using interval models objective function]. M.: MEI, 1987, 109 p.
18. Voshchinin A.P., Skibitsky N.V. Interval'nyy podkhod k vyrazheniyu neopredelennosti izmereniy i kalibrovke tsifrovyykh izmeritel'nykh sistem [Interval approach to the expression of measurement uncertainty and calibration of digital measuring systems]. *Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov* [Factory laboratory. Diagnostics of materials], 2007, vol. 73, no. 11, pp. 66-71.
19. Abramov O.V., Rosenbaum A.N. *Upravlenie ekspluatatsiyey sistem otvetstvennogo naznacheniya* [Management of the operation of critical systems]. Vladivostok: Dalnauka, 2000, 200 p.

Список литературы

1. Калашников П.В. К проблеме управления рисками при эксплуатации сложных технических систем ответственного назначения // «Наука. Промышленность. Оборона»: сборник научных трудов XXI Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 75-летию Победы в Великой отечественной войне, 7-9 октября 2020 г. Новосибирск, 2020. С. 212-217.
2. Калашников П.В. Математическая модель управления рисками при эксплуатации сложных технических систем ответственного назначения // «Развитие концепции современного образования в рамках научно-технического прогресса»: сборник научных трудов, 30 июля 2020 г. Казань, 2020. С. 134-140.

3. Острейковский В.А. Теория техногенного риска: математические методы и модели : моногр. / В. А. Острейковский ; Сургут. гос. ун-т ХМАО-Югр. Сургут : КЦ СурГУ, 2013. 320 с.
4. Острейковский В.А. Количественная оценка риска в теории техногенной безопасности сложных динамических систем // Итоги науки. Т.1. Избранные труды международного симпозиума по фундаментальным и прикладным проблемам науки. М.: РАН, 2013. Гл. 2. С. 12–31.
5. Муравьев И.И. Модели оценки фактора времени в теории техногенного риска динамических систем / И. И. Муравьев, В. А. Острейковский, Е. Н. Шевченко // Труды Международного симпозиума Надежность и качество. 2015. Т. 1. С. 24–27.
6. Королев В.Ю. Математические основы теории риска: Учеб. Пособ. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 544 с.
7. Острейковский В.А. О некоторых классах моделей риска в теории техногенной безопасности // Надежность и качество. Тр. Междунар. Симпозиума: в 2 т. / под ред. Н.К.Юркова. Пенза : Изд-во ПГУ, 2013. 1 т. С. 46-49.
8. Абрамов О.В. Анализ и прогнозирование техногенных рисков // Информатика и системы управления. 2012. № 3. С. 97-105.
9. Абрамов О.В. К проблеме предотвращения аварий технических объектов ответственного назначения // Надежность и качество сложных систем. 2013. № 1. С. 11-16.
10. Абрамов О.В. Об оценке вероятности наступления рисковог о события: функционально-параметрический подход // Надежность и качество сложных систем. 2016. № 1. С. 24-31.
11. Абрамов О.В. Функционально-параметрическое направление теории рисков: возможности и перспективы // Вестник ДВО РАН. 2016. № 4. С. 96-101.
12. Абрамов О.В. Мониторинг и прогнозирование технического состояния систем ответственного назначения // Информатика и системы управления. 2011. № 2. С. 4-15.
13. Тихонов В.И., Хищенко В.И. Выбросы траекторий случайных процессов. М.: Наука, 1987. 304 с.

14. Переверзев Е.С. Модели накопления повреждений в задачах долговечности. Киев, Наукова Думка, 1995. 354 с.
15. Пузикова Д.А. Об интервальных методах статистической классификации // Наука и технология в России. 1995. № 2(8). С. 12–13.
16. Орлов А.И. Пути развития статистических методов: непараметрика, робастность, бутстреп и реалистическая статистика // Надежность и контроль качества, 1991. № 8. С. 3–8.
17. Вошинин А.П. Метод оптимизации объектов по интервальным моделям целевой функции. М.: МЭИ, 1987. 109 с.
18. Вошинин А.П., Скибицкий Н.В. Интервальный подход к выражению неопределенности измерений и калибровке цифровых измерительных систем // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2007. Т. 73. №11. С. 66-71.
19. Абрамов О.В., Розенбаум А.Н. Управление эксплуатацией систем ответственного назначения. Владивосток: Дальнаука, 2000. 200 с.

DATA ABOUT THE AUTHOR

Pavel V. Kalashnikov, junior researcher

*Institute for Automation and Control processes, Far Eastern
Branch of Russian Academy of Sciences*

5, Radio Str., Vladivostok, 690041, Russian Federation

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-5424-1635>

kalashnikovpv@iacp.dvo.ru

ДААННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Калашников Павел Викторович, младший научный сотрудник

*Федеральное государственное учреждение науки Институт
автоматики и процессов управления Дальневосточного
отделения Российской академии наук (ИАПУ ДВО РАН)*

ул. Радио, 5, г. Владивосток, 690041, Российская Федерация

kalashnikovpv@iacp.dvo.ru

Поступила 10.05.2022

После рецензирования 30.05.2022

Принята 05.06.2022

Received 10.05.2022

Revised 30.05.2022

Accepted 05.06.2022

DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-3-40-50
УДК 629.023

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ КУЗОВА АВТОМОБИЛЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РАБОЧИХ И ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ НАГРУЗОК

В.А. Ксенофонтова, Л.А. Кияшко

Статья посвящена исследованию поведения элементов конструкции автомобиля в процессе эксплуатации и в экстремальных условиях, возникающих при дорожно-транспортных происшествиях (ДТП).

В настоящее время перспективным направлением исследований в этой области является разработка методик, основанных на анализе деформированных в результате ДТП элементов конструкции поврежденного автомобиля и восстановление картины энергообмена при ударе.

Исследования выполняются как теоретическими, так и экспериментальными методами. Теоретические исследования основаны на методах теоретической и прикладной механики, сопротивления материалов и теории упругости.

Цель – усовершенствование методики проведения автотехнической экспертизы ДТП.

Метод или методология проведения работы: решение обратных задач механики сплошных сред.

Результаты: разработана методика определения начальной скорости автомобиля перед ДТП по результатам измерения деформированных элементов конструкции. Точность определения начальной скорости автомобиля пропорциональна точности измерения деформаций поврежденного автомобиля.

Область применения результатов: полученные результаты целесообразно применять при проведении автотехнической экспертизы ДТП.

Ключевые слова: моделирование; нагрузки; элементы кузова; энергия деформации; пластические и упругие деформации

MODELING BEHAVIOR OF CAR BODY STRUCTURAL ELEMENTS UNDER THE IMPACT OF WORKING AND EXTREME LOADS

L.A. Kiyashko, V.A. Ksenofontova

The article is devoted to the study behavior of car structural elements during operation and in extreme conditions that occur during road traffic accidents (RTA).

At present, a promising direction of research in this area is the development methods based on the analysis of structural elements of a damaged car deformed as a result an accident and the restoration of the energy exchange pattern upon impact.

Research carried out both theoretically and experimentally. Theoretical studies based on the methods of theoretical and applied mechanics, strength of materials and elasticity theory.

The goal is to improve the methodology for conducting an autotechnical examination of an accident.

Method or methodology of work: *solving inverse problems of continuum mechanics.*

Results: *a technique developed for determining the initial speed of a car before an accident based on the results measuring deformed structural elements. The accuracy determining the initial speed of the car is proportional to the accuracy measuring the deformations damaged car.*

Scope results: *it is advisable to apply the obtained results when conducting an autotechnical examination of an accident.*

Keywords: *modeling; loads; body elements; deformation energy; plastic and elastic deformations*

Введение

Весьма перспективным направлением исследований в области исследования поведения элементов кузова автомобиля при воздействии различных нагрузок является разработка методик, основанных на использовании фундаментальных принципов реологии,

позволяющих по результатам исследования деформированных в результате ДТП элементов конструкции автомобиля идентифицировать картину энергообмена при ударе.

Цель работы

Разработка методики, позволяющей моделировать процессы, протекающие в геометрически сложных объектах, стыках, соединениях, деталях и узлах автомобиля.

Материалы исследования

Основные элементы кузова автомобиля – каркас, боковины, панели пола, стойки, капот, крыша, двери в процессе работы изгибаются под действием рабочих нагрузок, и в критических ситуациях, при ДТП, теряют устойчивость, деформируются, разрушаются. Поведение элементов конструкции кузова моделируют с помощью уравнений теории пластин, стержней, рам, оболочек [1-3,5, 9, 10, 12].

Элементы, форма которых близка к тонкостенным стержням, при нагрузке изгибающим моментом M_u и нагрузкой P_z , претерпевают сложную деформацию, описываемую уравнениями [5]:

$$\frac{J_x E}{1-\nu^2} \varphi^{IV}(z) - \frac{J_y E}{2(1+\nu)} \varphi''(z) = \int_L \frac{\partial P_z}{\partial z} F_s dS + \frac{\partial M}{\partial z}, \quad (1)$$

где J_x, J_y – моменты инерции сечений, E, ν – свойства материала, P_z – силовая нагрузка, F_s – секториальная площадь. $J_y(1+\nu)/J_x$ – изгибно-крутильная характеристика, определяющая величину $\varphi(z)$ закручивания стержня при изгибе и деформацию $\psi(z) = f(E, \nu, J_x, J_y, \varphi)$.

При исследовании потери устойчивости подобных элементов необходимо исследовать уравнение

$$\frac{J_x E}{1-\nu^2} \varphi^{IV}(z) + \left(\frac{J_x + J_y}{F} - \frac{J_y E}{2(1+\nu)} \right) \varphi''(z) = 0, \quad (2)$$

где F – площадь поперечного сечения.

Такие элементы конструкции кузова, как панели пола, капот, двери и др. моделируются с помощью теории пластин [13]. Из-

гиб таких элементов конструкции с учетом воздействия нагрузки $q(x,y)$ описывается уравнением [11]

$$\frac{\partial^4 U_z}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 U_z}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 U_z}{\partial y^4} = \frac{12(1-\nu^2)}{Eh^3} q(x,y), \quad (3)$$

где U_z – прогиб пластины в направлении z , h – толщина пластины, x,y – декартовы координаты поперечного и продольного сечений.

Для определения изгиба элементов, имеющих округлую конфигурацию можно использовать уравнения в цилиндрических координатах r, φ, z [6]

$$\left(\frac{\partial^2 U_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial U_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 U_z}{\partial \varphi^2} \right)^2 = \frac{12(1-\nu^2)}{Eh^3} q(r, \varphi), \quad (4)$$

Элементы конструкции в виде пластин кроме поперечной нагрузки подвержены действию продольных сил N_x, N_y . В этом случае необходимо исследовать объект на устойчивость. Для этого применяют уравнение [11]

$$\frac{\partial^4 U_z}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 U_z}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 U_z}{\partial y^4} = \frac{12(1-\nu^2)}{Eh^3} \left[q(x,y) + N_x \frac{\partial^2 U_z}{\partial x^2} + N_y \frac{\partial^2 U_z}{\partial y^2} \right], \quad (5)$$

Большое количество элементов кузова имеют незначительную толщину и при этом получают повреждения, которые сравнимы с их толщиной, а в ряде случаев превосходят величину h .

В таких случаях для исследования поведения элементов необходимо применить модифицированные уравнения Кармана [7, 11]

$$\frac{\partial^4 U_z}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 U_z}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 U_z}{\partial y^4} = \frac{12(1-\nu^2)}{Eh^3} \left[\frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \frac{\partial^2 U_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \frac{\partial^2 U_z}{\partial y^2} - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} \frac{\partial^2 U_z}{\partial x \partial y} + \frac{q(x,y)}{h} \right] \quad (6)$$

$$\frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \varphi}{\partial y^4} = E \left[\left(\frac{\partial^2 U_z}{\partial x \partial y} \right)^2 - \frac{\partial^2 U_z}{\partial x^2} \frac{\partial^2 U_z}{\partial y^2} \right]$$

где $\varphi(x,y)$ – функция напряжений, определяющая напряжения в пластине.

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}, \quad \sigma_y = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}, \quad \tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y}, \quad (7)$$

При движении автомобиля все панели совершают колебательное движение, в этом случае в правой части бигармонического уравнения появляется инерционное слагаемое [4,8]

$$\frac{\partial^4 U_z}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 U_z}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 U_z}{\partial y^4} = \frac{12(1-\nu^2)\rho}{Eh^2g} \frac{\partial^2 U_z}{\partial t^4}, \quad (8)$$

где ρ – плотность материала панели, g – ускорение свободного падения, t – время.

В реальной ситуации при выполнении расчетов энергию деформации следует принять как сумму:

$$\mathcal{E}_o = \sum_{i=1}^N U_{ij} P_{ij}, \quad (9)$$

где $U_{ij} = \int_0^{P_{ij}} \delta_{ij} dP_{ij}$;

δ_{ij} – деформации, определяемые из матрицы податливости:

$$\begin{bmatrix} \delta_{12}^N \\ \delta_{12}^Q \\ \delta_{12}^M \\ \delta_{12}^{P_0} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{l_1}{EJ} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{3} \frac{l_1^3}{EJ} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{48} \frac{l^3}{EJ} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{1}{24} \frac{l^3}{EJ} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} N_{12} \\ Q_{12} \\ M_{12} \\ P_0 \end{bmatrix}, \quad (10)$$

где l – длина элемента конструкции; E, J – характеристики сечения.

При исследовании деформации боковой части двери (рис. 1) различаются локальные повреждения и общая деформация.



Рис. 1. Деформация боковой части двери автомобиля

Локальные повреждения идентифицируются измерением деформаций сечений элементов боковины (рис. 2).

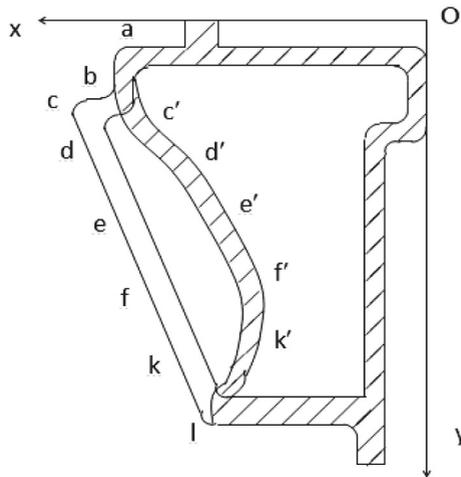


Рис. 2. Локальная деформация сечения двери

Первоначальная конфигурация $a-b-c-d-e-f-k-l$, после деформации изменяется в $a-b-c'-d'-e'-f'-k'-l'$. Полученная конфигурация является точным решением прямой задачи теории пластичности в перемещениях. Полученные при деформации перемещения определяются как разница координат x точек исследуемого профиля до деформации и после:

$$u_i(y_i) = x_{oi} - x_{ki} \tag{11}$$

Массив x_{oi} имеет следующие значения (до деформации) (табл. 1).

Таблица 1.

Массив координат точек сечения до деформации

Точка	a	b	c	d	e	f	k	l
y_o	12	21	22	30	42	53	60	64
x_o	31	31	42	38	35	32	30	25

Деформированный профиль имеет следующие координаты точек (табл. 2).

Таблица 2.

Массив координат точек сечения после деформации

Точка	a	b	c'	d'	e'	f'	k'	l
y_i	12	21	22	30	42	53	60	64
x_i	31	31	30	25	24	23	24	25

Массив перемещений вдоль координаты x, u_i получается в соответствии с (11), при вычитании данных табл. 2 из данных табл. 1.

Таблица 3.

Массив перемещений точек сечения

Точка	a	b	c	d	e	f	k	l
y	12	21	22	30	42	53	60	64
u	0	0	12	13	11	9	6	0

Полученный массив u интерполируется кубическими сплайн-функциями.

Вычисляется интеграл энергии для сечения единичной длины:

$$\mathcal{E}_0 = \frac{\sqrt{2}}{4} \sigma_s \frac{E}{1-2\nu} \int_{x_n}^{x_p} (a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + a_3 x^3)^2 dx. \quad (12)$$

В результате вычислений по такой методике получается, что энергия, затраченная на деформацию исследуемого сечения двести при указанных деформациях, составляет $\mathcal{E}_0 = 314$ кДж.

Результаты исследования

Таким образом, аппарат уравнений теории упругости позволяет с высокой точностью моделировать процессы, протекающие в геометрически сложных объектах, стыках, соединениях, деталях и узлах автомобиля [14,15]. В зависимости от конфигурации объекта исследования и его структуры применяются следующие группы уравнений:

- уравнения пространственной (трехмерной) теории упругости;
- уравнения плоской теории упругости;
- уравнения теории упругости неоднородных сред.

Заключение

Показано, что для определения энергии, поглощенной реальными элементами конструкции, достаточно произвести измерения деформированных элементов и полученные данные подставить в реализованные в электронной среде выражения.

Применение сплайн-интерполяции при сканировании поврежденной поверхности позволяет с точностью до 10% идентифицировать остаточные деформации, причем точность определения начальной скорости автомобиля по разработанной методике зависит от точности измерения деформаций поврежденного автомобиля.

Показана эффективность разработанных методик, основанных на простых измерениях деформированных конструкций.

Список литературы

1. Беляев М.В. Возможности трасологических исследований при установлении факта контактного взаимодействия транспортных средств // Вестник экономической безопасности. 2021. № 3. С. 125-130.
2. Гольчевский В.Ф. Экспертное исследование по выявлению изменений конструкции транспортного средства // Вестник Московского университета МВД России. 2019. №1. С. 41-43.
3. Гракович И.В. Механические деформации корпуса автомобиля как критерий фальсификации обстоятельств ДТП // Интеллектуальные системы в производстве. 2018. №2. С.4-18.
4. Исследование процесса диссипации энергии в элементах кузова автомобиля при дорожно-транспортных происшествиях / Ксенофонтова В.А., Аблаев А.Р., Аблаев Р.Р., Кияшко Л.А. // Мир транспорта и технологических машин. Орёл: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева, 2020. № 2 (69). С. 56-62.
5. Калмыков Б.Ю. Актуальность метода расчета скорости транспортных средств перед столкновением по деформации их деталей // Проблемы науки. 2017. №7 (89). С. 32-34.
6. Ксенофонтова В.А. Метод обратных задач для процедур оптимизации конструкторско-технологических решений // Оптимизация производственных процессов. Вып. 1. Севастополь: Изд-во СевГТУ. 1999. С. 3-6.

7. Ксенофонтова В.А. Моделирование больших деформаций панели пола автомобиля модифицированными уравнениями Кармана // Материалы III международной научно-технической конференции «Автомобильный транспорт: прогресс, технологии, кадры». Севастополь: Изд-во СевГТУ. 1999. С. 12-18.
8. Методика определения скорости движения транспортного средства в момент столкновения по остаточным деформациям элементов конструкции / Ксенофонтова В.А., Аблаев А.Р., Аблаев Р.Р. // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. Орёл: Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева. 2019. № 4-1 (336). С. 130-134.
9. Огородников В. А. Энергия. Деформация. Разрушение (задачи автотехнической экспертизы). Монография / В. А. Огородников, В. Б. Киселёв, И. О. Сивак. Винница: УНІВЕРСУМ. 2005. 204 с.
10. Проблемы и перспективы энергетических методов реконструкции ДТП / Торлин В. Н., Ксенофонтова В. А., Ветрогон А. А., Яковенко Е. В. // Вестник ХНАДУ. 2013. №61-62. С.170-173.
11. Рекач В.Г. Руководство к решению задач прикладной теории упругости. М.: Высшая школа, 1973. 384 с.
12. Калмыков Б.Ю., Копылов С.В., Гармидер А.С. Сравнительный анализ методов определения скорости автомобилей при столкновении // Проблемы современной науки и образования. 2017. № 16 (98). С. 54-56.
13. Фентон Дж. Несущий каркас кузова автомобиля и его расчет: пер. с англ./ Под ред. Э.И. Григолюка. М.: Машиностроение, 1984. 200 с.
14. Németh S. Analysis of car safety in terms of the materials used in the deformation zones of the car body // Strojárstvo, 2014, vol. 7, pp. 158-160.
15. The process of front-to-side collision of motor vehicles in terms of energy balance/ Gidlewski M., Prochowski L., Jemioł L., Żardecki D. // Nonlinear Dynamics, 2019, vol. 97, pp. 1877-1893.

References

1. Belyaev M.V. *Vestnik ekonomicheskoy bezopasnosti*, 2021, no. 3, pp. 125-130.

2. Gol'chevskiy V.F. *Vestnik Moskovskogo universiteta MVD Rossii*, 2019, no. 1, pp. 41-43.
3. Grakovich I.V. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2018, no. 2, pp. 4-18.
4. Ksenofontova V.A., Ablaev A.R., Ablaev R.R., Kiyashko L.A. *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*, 2020, no. 2 (69), pp. 56-62.
5. Kalmykov B.Yu. *Problemy nauki*, 2017, no. 7 (89), pp. 32-34.
6. Ksenofontova V.A. *Optimizatsiya proizvodstvennykh protsessov. Vyp. I* [Optimization of production processes. Issue. 1]. Sevastopol': Izd-vo SevGTU, 1999, pp. 3-6.
7. Ksenofontova V.A. *Materialy III mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Avtomobil'nyy transport: progress, tekhnologii, kadry»* [Proceedings of the III International Scientific and Technical Conference "Road Transport: Progress, Technologies, Personnel"]. Sevastopol': Izd-vo SevGTU, 1999, pp. 12-18.
8. Ksenofontova V.A., Ablaev A.R., Ablaev R.R. *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii*, 2019, no. 4-1 (336), pp. 130-134.
9. Ogorodnikov V. A. *Energiya. Deformatsiya. Razrushenie (zadachi avto-tekhnicheskoy ekspertizy). Monografiya* [Energy. Deformation. Destruction (tasks of auto-technical expertise). Monograph] / V. A. Ogorodnikov, V. B. Kiselev, I. O. Sivak. Vinnitsa: UNIVERSUM, 2005, 204 p.
10. Torlin V. N., Ksenofontova V. A., Vetrogon A. A., Yakovenko E. V. *Vestnik KhNADU*, 2013, no. 61-62, pp. 170-173.
11. Rekach V.G. *Rukovodstvo k resheniyu zadach prikladnoy teorii uprugosti* [Guide to solving problems of applied elasticity theory]. M.: Vysshaya shkola, 1973, 384 p.
12. Kalmykov B.Yu., Kopylov S.V., Garmider A.S. *Problemy sovremennoy nauki i obrazovaniya*, 2017, no. 16 (98), pp. 54-56.
13. Fenton J. *Nesushchiy karkas kuzova avtomobilya i ego raschet* [The supporting frame of the car body and its calculation]. M.: Mashinostroenie, 1984, 200 p.
14. Németh S. Analysis of car safety in terms of the materials used in the de-formation zones of the car body. *Strojárstvo*, 2014, vol. 7, pp. 158-160.
15. The process of front-to-side collision of motor vehicles in terms of energy balance/ Gidlewski M., Prochowski L., Jemioł L., Żardecki D. // *Nonlinear Dynamics*, 2019, vol. 97, pp. 1877-1893.

ДАНИЕ ОБ АВТОРАХ

Ксенофонтва Виктория Анатольевна, доцент кафедры Автомобильный транспорт Политехнического института, канд. техн. наук, доц.

*Севастопольский государственный университет
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Российская Федерация
vaksenofontova.v@gmail.com*

Кияшко Лариса Александровна, старший преподаватель кафедры Автомобильный транспорт Политехнического института
*Севастопольский государственный университет
ул. Университетская, 33, г. Севастополь, 299053, Российская Федерация
LAKiyashko@sevsu.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Victoria A. Ksenofontova, Associate Professor, Department Automobile Transport, Polytechnic Institute, Ph.D. tech. sciences
*Sevastopol State University
33, Universitetskaya Str., Sevastopol, 299053, Russian Federation
vaksenofontova.v@gmail.com
SPIN-code: 2786-9966*

Larisa A. Kiyashko, Senior Lecturer, Department Automobile Transport, Polytechnic Institute
*Sevastopol State University
33, Universitetskaya Str., Sevastopol, 299053, Russian Federation
LAKiyashko@sevsu.ru
SPIN-code: 6605-5322*

Поступила 05.05.2022
После рецензирования 20.05.2022
Принята 01.06.2022

Received 05.05.2022
Revised 20.05.2022
Accepted 01.06.2022

DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-3-51-65

УДК 656.025.4

ПЕРЕВОЗКА УГЛЯ МОРСКИМ ТРАНСПОРТОМ И РИСКИ СВЯЗАННЫЕ С ЕГО ПЕРЕВОЗКОЙ

С.Ю. Николашин, Т.Р. Хабиров

Морские перевозки и морской транспорт является жизненно важным компонентом мировой экономики и транспортной сети. Количество людей, фирм и организаций, пользующихся морскими перевозками, растет во всем мире. Как и в других транспортных системах, безопасность имеет решающее значение при морских перевозках. Поскольку процессы аварийных ситуаций судов сильно отличаются от процессов аварийной эвакуации из зданий и других транспортных средств и являются более сложными, многие исследователи опубликовали широкий спектр документов, относящихся к этой специфической области исследований.

В последние десятилетия морские аварии привлекали к себе большое внимание из-за огромного материального ущерба, несчастных случаев и серьезного загрязнения окружающей среды.

Морской транспорт может включать непредвиденные события, приводящие к катастрофическим жертвам, а также к смертельным травмам на море. Около 63% несчастных случаев на судоходстве в мире являются повторяющимися. Другими словами, они возникают с судами, которые уже пережили хотя бы одну предыдущую аварию. В этом случае планы управления в чрезвычайных ситуациях признаны приоритетными для оперативного рассмотрения с учетом потенциальных последствий стихийных бедствий в морской отрасли.

В статье рассмотрены вопросы перевозки угля морским транспортом и требования, касающиеся безопасной укладки и транспортировки угля. Небезопасная транспортировка может привести к соответствующим рискам на борту, например, к по-

вреждению конструкции из-за неправильного распределения угля, химической реакции, приводящей к самовозгоранию, выбросу взрывоопасных газов и сжижению.

Поскольку уголь подвержен сжижению, перед принятием груза к отправке следует принять ряд мер предосторожности и соблюдать процедуры безопасной погрузки и перевозки.

Цель – проанализировать уголь как опасный груз, и риски связанные с его перевозкой.

Методы проведения работы: в статье использовались статистические методы анализа и факторный метод сжижения угля.

Результаты: параметры сравнения частиц угля, для его безопасной перевозке.

Область применения результатов: полученные результаты целесообразно применять при перевозке генеральных грузов морским транспортом.

Ключевые слова: генеральный груз; сжижение угля; морские перевозки

TRANSPORTATION OF COAL BY SEA AND RISKS ASSOCIATED WITH ITS TRANSPORTATION

S. Yu. Nikolashin, T.R. Khabirov

Maritime and maritime transport is a vital component of the global economy and transport network. The number of people, firms and organizations using shipping is growing worldwide. As with other transport systems, safety is critical in maritime transport. Because ship emergency processes are very different from emergency evacuation processes from buildings and other vehicles and are more complex, many researchers have published a wide range of documents relevant to this specific area of research.

In recent decades, marine accidents have attracted a lot of attention due to huge material damage, accidents and serious environmental pollution. Maritime transport can include unforeseen events resulting

in catastrophic casualties as well as fatal injuries at sea. About 63% of shipping accidents in the world are recurring. In other words, they arise with courts that have already survived at least one previous accident. In this case, emergency management plans are recognized as a priority for prompt consideration, taking into account the potential consequences of natural disasters in the marine industry.

The article discusses the issues of coal transportation by sea and requirements regarding the safe laying and transportation of coal. Unsafe transportation can lead to appropriate risks on board, such as structural damage iz-za improper distribution of coal, chemical reaction leading to spontaneous combustion, release of explosive gases and liquefaction.

Since coal is subject to liquefaction, a number of precautions and procedures without precautions and follow procedures for safe loading and transportation.

Purpose. *The goal is to analyze coal as a dangerous cargo, and the risks associated with its transportation.*

Methodology *the article used statistical methods of analysis and factor method of coal liquefaction.*

Results: *parameters of comparison of coal particles, for its safe transportation.*

Practical implications *it is advisable to apply the obtained results when transporting general goods by sea.*

Keywords: *general cargo; coal liquefaction; sea transportation*

Введение

Морские перевозки – это один из безопасных и экологически чистых видов коммерческого транспорта. На протяжении последних четырех десятилетий в судоходной отрасли наблюдалась тенденция к увеличению общего объема торговли. Благодаря восстановлению мировой экономики в 2021 году общий объем мировой морской торговли увеличился на 4% и достиг 10,7 млрд тонн. Почти половина прироста объема приходится на сыпучие товары.

Сыпучий груз (твердый сыпучий груз) – это товар, который отправляется в большом, упакованном количестве.

Эти сыпучие грузы обычно делятся на две категории: крупные сыпучие грузы и мелкие сыпучие грузы. Некоторые примеры основных сыпучих товаров включают уголь, руду и зерно. Незначительные объемы включают сталь, сахар и цементы.

Уголь является вторым по величине сыпучим товаром по объему торговли (после железной руды), перевозимым морским транспортом, на долю которого приходится около 25% мировой торговли сыпучими товарами.

Уголь – это минерализованное ископаемое топливо, широко добываемое во всем мире и широко используемое в качестве источника бытовой и промышленной энергии. Уголь, который используется для производства электроэнергии, составляет более 75% от общего объема угля, транспортируемого морским транспортом и на его транспортировку, влияют сезонные колебания спроса. Коксующийся уголь, который используется в металлургических целях, составляет около 25% от общего годового объема добычи угля.

Увеличение морских перевозок коксующегося угля было обусловлено главным образом увеличением производства стали. Как морской товар, он почти всегда перевозится навалом и имеет большое значение, поскольку поставляется в больших количествах из Индонезии, Восточного побережья Соединенных Штатов и побережья Мексиканского залива, Западного побережья Канады, Австралии, Южной Африки и России. Большая часть морской торговли углем осуществляется крупными сухогрузами (например, размером Panamax и выше), поэтому отрасль полагается на экономию за счет масштаба на определенных хорошо зарекомендовавших себя торговых маршрутах. Рынки угля сегодня очень динамичны, и на них торгуется большое разнообразие товаров. Увеличению объема способствовал более высокий спрос на импорт в Китае, Республике Корея и ряде стран Юго-Восточной Азии.

Пандемия COVID-19 нарушила работу морского транспорта, хотя в целом последствия оказались не столь губительными, как первоначально опасались. Вследствие потрясений первого полу-

годия 2020 года объем морских перевозок сократился в 2020 году на 3,8%. Но во втором полугодии наметилось восстановление и к третьему кварталу к прежнему уровню вернулись объемы перевозок как контейнерных, так и сухих грузов. Однако сегмент перевозок наливных грузов оправился пока не полностью.

Мировая торговля возобновила рост и уголь по-прежнему остается одним из основных сыпучих товаров, и нет никаких признаков замедления его текущих объемов торговли или краткосрочных перспектив.

1.2. Уголь как опасный груз

Несмотря на то, что перевозка угля насыпью является давней торговлей, обеспечиваемой богатым опытом, она остается сложным и опасным грузом для перевозки с учетом нескольких основных соображений безопасности: химические реакции груза, такие как выброс токсичных газов, самовозгорание, перемещение груза в море – потеря или снижение остойчивости во время рейса, разжижение и коррозия трюмов судна.

Международный морской кодекс сыпучих грузов определяет требования, связанные с безопасной перевозкой угля, которые могут привести к соответствующим рискам на борту. Действующий кодекс IMSBC включает правила перевозки угля как материалов группы В, опасных только навалом. Уголь выделяет метан, который при смешивании с воздухом может взорваться при контакте с солнечным светом. При определенных условиях взрыв может быть усилен последующим взрывом угольной пыли. Угли подвергаются нагреванию, которое может привести к самовозгоранию. Эта возможность будет зависеть от таких факторов как;

- методы обработки угля;
- продолжительность пребывания на судне;
- вентиляция;
- погодные условия и температура окружающей среды.

Если уголь подвергается самопроизвольному окислению, это может привести к вторичной опасности, которая включает в себя

образование монооксида углерода, а также других токсичных и легковоспламеняющихся газов.

Угарный газ не имеет запаха и является “тихим убийцей”, потому что он связывается с гемоглобином в крови, что эффективно приводит к удушью. Кроме того, при работе с углем следует соблюдать осторожность, поскольку он является кислородосодержащим грузом, поскольку при сжигании потребляется кислород. Если уровень окиси углерода увеличивается, но содержание кислорода не уменьшается, то это указывает на то, что трюмы не герметизированы эффективно. Несмотря на то, что поверхность груза должна вентилироваться, чтобы снизить риск взрыва газа, такая вентиляция может способствовать самовозгоранию. Следовательно, необходимо очень тщательно контролировать вентиляцию угля и направлять ее только на поверхность, чтобы воздух не проникал глубоко в груз.

Положение кодекса IMSBC гласит, что “Этот груз должен приниматься к погрузке только тогда, когда температура груза не превышает 55°C. Причиной установления максимального предела температуры угля является тот факт, что реакции самонагревания подобны любой химической реакции, поэтому скорость реакции удваивается при каждом повышении температуры на десять градусов. Даже если груз был погружен при температуре ниже 55°C, мониторинг груза во время рейса важен, поскольку во время рейса могут возникнуть проблемы с самонагревом. Отгрузка угля должна контролироваться на предмет изменения уровня газа во время рейса. Изменения концентрации газа будут указывать на то, происходит ли самонагрев или выброс метана.

Угли с высоким содержанием серы (особенно при загрузке во влажном состоянии) могут создать ситуацию, при которой химическое воздействие может вызвать коррозию стальных бортов и переборок трюма. Эти проблемы могут усугубиться, если температура угля повысится и груз долго будет оставаться на судне. Уголь может перемещаться в море, что ставит под угрозу безопасность соответствующего судна. Грузы с углом наклона более 35 градусов менее подвержены смещению поверхности, но, тем не менее,

нуждаются в обрезке, чтобы в достаточной степени покрыть всю верхнюю часть бака до борта судна.

2. Сжижение угольного груза.

2.1. Сжижение угля при перевозке на морском транспорте

Твердые сыпучие грузы могут быть классифицированы в зависимости от их опасности во время транспортировки. Сжижение является одним из самых больших рисков для безопасности при перевозке твердых сыпучих грузов.

Наиболее значительные последствия для судна в результате сжижения включают смещение груза, которое постепенно приводит к потере устойчивости. Последствие потери устойчивости может быть таким, что судно и жизни тех, кто находится на борту, будут потеряны.

За последние десять лет сжижение грузов стало одной из самых серьезных проблем, связанных с безопасной перевозкой сыпучих грузов. С 2010 по 2020 год было потеряно восемь сухогрузов, перевозивших рудные концентраты общим весом более 10 000 тонн. 101 член экипажа погиб в результате опрокидывания судов.

Другой существенной проблемой, связанной с потерей устойчивости судна, является загрязнение, создаваемое вредными свойствами груза, сбрасываемого в море из-за опрокидывания судна.

Грузы, подверженные риску сжижения, включают концентраты и другие мелкозернистые материалы, такие как уголь. Эти грузы обычно содержат часть мелких частиц, которые при создании движения судна и вибрацией двигателя, вызывают перестановку частиц и дальнейшее уплотнение. Кроме того, перемещение влаги приводит к увеличению содержания влаги в части груза.

Основным регламентом для сыпучих грузов, разработанным Международной морской организацией, является Кодекс IMSBC, который является ключевым инструментом в снижении рисков сжижения грузов. Кодекс является обязательным в соответствии с Международной конвенцией по охране человеческой жизни на море (СОЛАС). Код IMDG классифицирует сыпучие грузы на основе связанных с ними опасностей.

Группа А – это грузы, которые могут сжижаться. Двумя важными параметрами, которые следует определить, являются точка влажности потока (FMP) и предел переносимой влажности (TML). FMP – это содержание влаги, при котором образец груза начнет терять прочность. Содержание влаги в грузе за пределами FMP может привести к разжижению [Ассоциация P&I 2012]. TML определяется как 90% от TMR.

Чтобы контролировать риск сжижения, грузы группы А проверяются как минимум раз в полгода для определения их TML. Положение требует, чтобы если груз склонный к сжижению, имеет содержание влаги, превышающее допустимый для транспортировки предел влажности, его не следует загружать. Три метода тестирования для FMP и TML перечислены в Приложении 2 к Кодексу: тест на потоковую таблицу, тест на проникновение и тест Proctor / Fagerber. Поскольку каждый метод имеет свои преимущества, выбор метода испытаний зависит от типа испытываемого груза.

Таблица расхода обычно подходит для минеральных концентратов и других материалов с максимальным размером зерна 1 мм. Тест на проникновение является альтернативой тесту с использованием таблицы потоков. Как правило, он подходит для минеральных концентратов размером до 25 мм и крупногабаритных грузов, таких как уголь. Тест Proctor /Fagerber подходит для мелкозернистых и относительно крупнозернистых материалов с верхним размером до 5 мм.

2.2. Риск, связанный с угольным грузом.

Одна из трудностей, связанных с транспортировкой большого количества угля насыпью, заключается в том, что это груз, способный к сжижению.

Уголь подверженный риску сжижения, – это уголь, содержащий, по крайней мере, некоторое количество мелких частиц и некоторое содержание влаги. Хотя уголь часто выглядит сухим на вид во время погрузки, груз может содержать влагу между частицами. Согласно правилам Кодекса IMSBC, уголь определяется как опасный товар в твердой форме в насыпной группе В (и А), что означает, что отдель-

ный угольный продукт может обладать либо свойствами только группы В, либо свойствами обеих групп А и В. Безопасная доставка этого груза является ключевой задачей для индустрии сыпучих грузов.

Во время загрузки уголь находится в твердом состоянии, где частицы находятся в непосредственном контакте друг с другом и существует физическая сила сопротивления деформациям сдвига. Во время морской перевозки уголь подвергается вибрации двигателя, движению судна и воздействию волн, что приводит к уплотнению груза. Это приводит к уменьшению промежутков между частицами. Если уплотнение таково, что внутри груза больше воды, чем промежутков между частицами, давление воды внутри груза может резко возрасти и раздвинуть частицы. Это внезапно уменьшает трение между частицами и, следовательно, прочность груза на сдвиг [Jones & Bell 2010].

Применимые положения IMSBC в предыдущие годы включали критерий для груза, объявленного группой А в разделе опасности, как “Может сжигаться, если преимущественно мелкий уголь на 75% меньше 5 мм”. Кроме того, требование в литературе по механике грунта обычно выражается как $0,003 \text{ мм} < D_{10} < 0,3 \text{ мм}$, где D_{10} представляет размер частиц, для которых только 10% массы материала является более мелким. При выражении в форме, которая была бы более обычной в угольной промышленности, требование состоит в том, чтобы примерно 15% или более материала были тоньше 0,50 мм (D_{15}) для обеспечения вероятности сжижения [Eckersley 1997]. Доля мелких частиц в грузах, отправляемых по всему миру, на сегодняшний день принята в качестве подходящего критерия для оценки потенциала сжижения угольного груза.

Австралийские производители и экспортеры угля в течение многих десятилетий безопасно перевозили миллионы тонн угля из Австралии, используя соответствующий график, содержащийся в Кодексе ВС и Кодексе IMSBC. Несколько лет назад австралийская промышленность инициировала исследование с целью изучения того, какие другие факторы, если таковые имеются, могут повлиять на способность угля к сжижению. Исследование было

разработано для улучшения понимания стабильности угля во время транспортировки, включая потенциал для сжижения груза.

Методы TML в коде IMSBC предоставляют методы определения TML для ряда сыпучих грузов. Распределение тестируемого материала по размерам считается важным параметром при выборе теста TML. В рамках проекта было исследовано поведение грузов угля толщиной минус 50 мм, поскольку это размер материала типичного австралийского черного угля, но текущие испытания TML предназначены для продуктов с меньшими размерами частиц. Исследование было сосредоточено на определении того, может ли какой-либо уголь сжигаться в условиях транспортировки, и определении безопасного метода определения TML для углей толщиной минус 50 мм. Австралия ввела процедуру лабораторного определения TML для углей с номинальным верхним размером до 50 мм. Процедура основана на модификации теста Proctor /Fagerber для сыпучих материалов [ИМО 2015].

В настоящее время тест Proctor /Fagerber, описанный в Коде IMSBC, был изменен, чтобы разрешить применение к углю с верхним размером 50 мм. Исследование подтвердило, что существуют некоторые виды угля, которые необходимо декларировать как продукты группы А и В, и есть некоторые виды угля, которые могут быть заявлены только как продукты группы В. Критерии, основанные на распределении частиц по размерам, были установлены для идентификации только углей группы В. Уголь должен быть отнесен к группе В только в результате испытания, определенного соответствующим органом, или если он имеет следующее распределение частиц по размерам:

- не более 10% по массе частиц менее 1 мм ($D_{10} > 1$ мм),
- не более 50% по массе частиц менее 10 мм ($D_{50} > 10$ мм).

Сжижение – это аспект поведения сыпучих грузов, который происходит во время морской перевозки и имеет большое значение как с точки зрения безопасности, так и с финансовой точки зрения.

Неточные декларации и сертификаты грузоотправителей, по-видимому, являются серьезной проблемой при перевозке угля, подлежащего сжижению, хотя признается, что существуют многочисленные сложности.

При атмосферной температуре свежееобогатенный уголь обладает сродством к кислороду воздуха, находящегося в контакте с ним. Кислород поглощается углем на его поверхности в результате чисто физического процесса, который, однако, быстро приводит к химической цепной реакции, приводящей к окислению определенных компонентов угля. Поскольку окисление угля является экзотермической реакцией, тепло выделяется при снижении теплотворной способности (качества угля).

Если тепло, выделяющееся в результате окисления, рассеивается, скорость окисления только что открытой поверхности угля непрерывно уменьшается в процессе окисления, то есть со временем.

Выветрившийся уголь – это уголь, в котором открытая поверхность угля достигла стадии насыщения и дальнейшего взаимодействия с кислородом при температуре окружающей среды не происходит. Если тепло, выделяющееся в результате окисления, не рассеивается потоком воздуха или проводящими свойствами угля, его температура повышается. С повышением температуры скорость реакции окисления увеличивается (обычно удваивается на каждые 10°C). В конечном счете температура может подняться выше точки воспламенения угля, и может произойти горение, обычно называемое самовозгоранием. Учитывая вышесказанное, любое условие (например, окисление пирита, повторное увлажнение сухого угля, высокая температура окружающей среды и т.д.), которое приводит к повышению температуры угля, ускорит процесс самовозгорания.

Процесс, приводящий к самовозгоранию, можно резюмировать следующим образом:

- > окисление происходит, когда кислород вступает в реакцию с углем,
- > в процессе окисления выделяется тепло,
- > если тепло рассеивается, температура угля не повышается,
- > если тепло не рассеивается, то температура угля будет повышаться,
- > при более высоких температурах реакция окисления протекает с большей скоростью,

- > в конечном итоге достигается температура, при которой происходит воспламенение угля.

Заключение

На сегодняшний день особое внимание уделяется разработке мер, направленных на минимизацию негативных факторов, оказывающих влияние на безопасность для всех углей, которые не соответствуют критериям, установленным только для группы В, следует проводить испытания на предел переносимой влажности с использованием модифицированного метода Proctor /Fagerber. Перед использованием этого метода рекомендуется сначала оценить уголь на гранулометрический состав. Принятие модифицированного теста Proctor /Fagerber для определения TML и включение критерия отбора, основанного на гранулометрическом составе, гарантирует безопасную перевозку угольного груза.

Также уделить особое внимание портовой инфраструктуре в данном случае, мерами обеспечения безопасности может выступать формирование специализированных терминалов, либо выделение отдельных портов на территории целью перевалки опасных грузов.

Список литературы

1. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море – СОЛАС 74. <https://docs.cntd.ru/document/901765675>
2. Правила морской перевозки опасных грузов (РД 31.15.01-89). <https://docs.cntd.ru/document/902023259>
3. Соколов Ю.И. Вопросы безопасности транспортировки опасных грузов // Проблемы анализа риска. 2009. Т. 6, №1, С. 38-74.
4. Меры безопасности при ликвидации аварийных ситуаций с опасными грузами. М., 2012. 46 с.
5. Angeloudis P., Greco L., Bell M.G. Strategic Maritime Container Transport Design in Oligopolistic Markets // Transportation Research Procedia. 2015, vol. 9, pp. 269–282. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.07.015>
6. Antoine F. Empirical evidence for integration and disintegration of maritime shipping, port and logistics activities // OECD/ITF Joint

- Transport Research Centre Discussion Paper, 2008, no. 2009-1. <https://doi.org/10.1787/227565346707>
7. Appelgren L.H. A column generation algorithm for a ship scheduling problem // *Transportation Science*, 1969, vol. 3(1), pp. 53-68. <https://doi.org/10.1287/trsc.3.1.53>
 8. Ariel A. The effect of inventory holding costs on the optimal payload of bulk carriers // *Maritime Policy & Management*, 1991, vol. 18(3), pp. 217–224.
 9. Bailey D., Solomon G. Pollution prevention at ports: clearing the air // *Environmental Impact Assessment Review*, 2004, vol. 24, pp. 749-774. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2004.06.005>
 10. Banomyong R. The impact of port and trade security initiatives on maritime supplychain management // *Maritime Policy & Management*, 2005, vol. 32(1). <https://doi.org/10.1080/0308883042000326102>
 11. Kleywegt A. Contract planning models for ocean carriers. Working paper, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA. 2003.
 12. Liu H., Mi W., Zhao N., Feng Y. Modeling and Simulating the Operation of the Harbor Portal Crane // *Journal of Coastal Research*, 2015, vol. 73, pp. 89-94. <https://doi.org/10.2112/SI73-016.1>
 13. Musso E., Ferrari C., Benacchio M. On the Global Optimum Size of Port Terminals // *International Journal of Transport Economics*, 1999, vol. 26 (3), pp. 415-437. <https://www.jstor.org/stable/42747411>
 14. Panayides P.M. Maritime logistics and global supply chains: towards a research agenda // *Maritime Economics and Logistics*, 2006, vol. 8 (1), pp. 3–18. <https://doi.org/10.1057/palgrave.mel.9100147>
 15. Song D.W., Lee E.S. Competitive networks, knowledge, acquisition and maritime logistics value // *International Journal of logistics Research and Applications: A Leading Journal of Supply Chain Management*, 2012, vol. 15(1), pp. 15-35. <https://doi.org/10.1080/13675567.2012.662949>

References

1. International Convention for the Safety of Life at Sea – SOLAS 74. <https://docs.cntd.ru/document/901765675>
2. Rules for the carriage of dangerous goods by sea (RD 31.15.01-89). <https://docs.cntd.ru/document/902023259>

3. Sokolov Yu.I. *Problemy analiza riska* [Problems of risk analysis], 2009, vol. 6, no. 1, pp. 38-74.
4. *Mery bezopasnosti pri likvidatsii avariynykh situatsiy s opasnymi gruzami* [Security measures in the elimination of emergency situations with dangerous goods]. M., 2012, 46 p.
5. Angeloudis P., Greco L., Bell M.G. Strategic Maritime Container Transport Design in Oligopolistic Markets. *Transportation Research Procedia*, 2015, vol. 9, pp. 269–282. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2015.07.015>
6. Antoine F. Empirical evidence for integration and disintegration of maritime shipping, port and logistics activities. *OECD/ITF Joint Transport Research Centre Discussion Paper*, 2008, no. 2009-1. <https://doi.org/10.1787/227565346707>
7. Appelgren L.H. A column generation algorithm for a ship scheduling problem. *Transportation Science*, 1969, vol. 3(1), pp. 53-68. <https://doi.org/10.1287/trsc.3.1.53>
8. Ariel A. The effect of inventory holding costs on the optimal payload of bulk carriers. *Maritime Policy & Management*, 1991, vol. 18(3), pp. 217–224.
9. Bailey D., Solomon G. Pollution prevention at ports: clearing the air. *Environmental Impact Assessment Review*, 2004, vol. 24, pp. 749-774. <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2004.06.005>
10. Banomyong R. The impact of port and trade security initiatives on maritime supplychain management. *Maritime Policy & Management*, 2005, vol. 32(1). <https://doi.org/10.1080/0308883042000326102>
11. Kleywegt A. Contract planning models for ocean carriers. Working paper, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA. 2003.
12. Liu H., Mi W., Zhao N., Feng Y. Modeling and Simulating the Operation of the Harbor Portal Crane. *Journal of Coastal Research*, 2015, vol. 73, pp. 89-94. <https://doi.org/10.2112/SI73-016.1>
13. Musso E., Ferrari C., Benacchio M. On the Global Optimum Size of Port Terminals. *International Journal of Transport Economics*, 1999, vol. 26 (3), pp. 415-437. <https://www.jstor.org/stable/42747411>
14. Panayides P.M. Maritime logistics and global supply chains: towards a research agenda. *Maritime Economics and Logistics*, 2006, vol. 8 (1), pp. 3–18. <https://doi.org/10.1057/palgrave.mel.9100147>

15. Song D.W., Lee E.S. Competitive networks, knowledge, acquisition and maritime logistics value. *International Journal of logistics Research and Applications: A Leading Journal of Supply Chain Management*, 2012, vol. 15(1), pp. 15-35. <https://doi.org/10.1080/13675567.2012.662949>

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Николашин Сергей Юрьевич, канд. техн. наук, доцент
*ФГБОУ ВО “ФГБОУ ВО СПб УГПС МЧС России”
пр-т Московский, 149, г. Санкт-Петербург, 196105, Россий-
ская Федерация*

Хабиров Тимур Ренатович, ст. преподаватель
*Дальневосточная пожарно-спасательная академия - филиал
Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России
п. Аякс, 27, о. Русский, г. Владивосток, Приморский край,
Российская Федерация
habirov.t@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Sergey Yu. Nikolashin, Ph.D., Associate Professor
*St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry
of Emergency Situations of Russia
149, Moskovsky Ave., St. Petersburg, 196105, Russian Federation*

Timur R. Khabirov, senior lecturer
*Far Eastern Fire and Rescue Academy - branch of St. Petersburg
University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency
Situations of Russia
27, Ayaks, Vladivostok, Primorsky Krai, Russian Federation
habirov.t@mail.ru*

Поступила 20.05.2022
После рецензирования 10.06.2022
Принята 12.06.2022

Received 20.05.2022
Revised 10.06.2022
Accepted 12.06.2022

DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-3-66-82

УДК 621.793.71

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАЯЛЬНОГО
СПЛАВА CuMnCo ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ
АДГЕЗИОННОГО СЛОЯ, СЛОИСТОГО
КОМПОЗИТНОГО ПОКРЫТИЯ (CuMnCo-TiNiZr)
ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ ГАЗОПЛАМЕННЫМ
НАПЫЛЕНИЕМ С ФИНИШНОЙ ТВЧ ОБРАБОТКОЙ
ПОКРЫТИЕ (CuMnCo-TiNiZr)-ПОДЛОЖКА (СТ.45)
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ АДГЕЗИИ**

**Э.Ю.О. Балаев, Д.А. Клепиков,
В.Н. Елисеев, Г.В. Шилов**

В статье показана технологическая последовательность формирования слоистого композитного покрытия на поверхности подложки состоящей из адгезионного слоя, представляющего собой припой состава CuMnCo и основного функционального слоя на основе сплавов с термоупругими фазовыми превращениями TiNiZr, полученных с использованием технологии высокоскоростного газопламенного напыления. С последующей обработкой подложки с композитным покрытием слоистого типа токами высокой частоты (ТВЧ), обеспечивая нагрев покрытия и поверхности детали до температуры плавления адгезионного слоя CuMnCo ($T_{пл}=1030^{\circ}\text{C}$). Показаны исследование структуры и результаты элементного анализа подложки со слоистым композитным покрытием в трех зонах: подложка; адгезионный слой; функциональный слой, после ТВЧ обработки. Показаны границы раздела между слоями и по линии адгезии покрытие/подложка, а также линия разрушения в результате возникающих остаточных напряжений после ТВЧ обработки.

Цель – обоснование использования высокотемпературного состава припоя для повышения адгезии между подложкой и функциональным слоем покрытия.

Метод или методология проведения работы: по технологии пайки керамических режущих пластин на тело резца был нанесен состав припой в качестве адгезионного слоя на экспериментальный образец, после чего упомянутый образец был подвергнут ТВЧ обработке.

Результаты. Представлены рекомендации по подбору состава припоя и технологии нанесения и ТВЧ обработки для адгезионного слоя для различных материалов подложки и функционального слоя покрытия и их комбинации.

Область применения результатов. Предлагаемая технология позволит обеспечить повышенную адгезионную прочность покрытий с деталями, что в свою очередь расширит области применения металлизации методами газотермического напыления и может быть применена к различным ее типам.

Ключевые слова: адгезия; адгезионный слой; припой; межслойная адгезия; композитное покрытие слоистого типа; ТВЧ обработка; высокоскоростное газопламенное напыление

**THE USE OF CUMNCO BRAZING ALLOY
FOR THE FORMATION OF AN ADHESIVE LAYER,
LAYERED COMPOSITE COATING (CUMNCO-TINIZR)
BY HIGH-SPEED FLAME SPRAYING WITH FINISHING
HIGH FREQUENCY CURRENTS (HFC) TREATMENT
COATING (CUMNCO-TINIZR)-SUBSTRATE (ST45)
TO INCREASE ADHESION**

***E. Yu. O. Balaev, D. A. Klepikov,
V. N. Eliseev, G. V. Shilov***

The article takes into account the technological structure according to the structure of the formation of composite coating layers on the substrate surface, consisting of an adhesive layer, which is a CuMnCo solder, and an essentially functional layer based on alloys with thermoelastic alloys of TiNiZr compounds, using high-speed flame spraying

technologies. Warehousing by processing the substrate with a composite coating with high-frequency currents (HFC), thin heating of the coating and the surface of parts to the melting temperature of the CuMnCo adhesive layer ($T = 1030^{\circ}\text{C}$). results of studying the structure and results of elemental analysis of a substrate with a layered composite coating in three zones: substrate; adhesive layer; functional layer after HFC processing. The structure of the interface between the layers and the adhesion line of the coating/substrate, as well as the line of destruction as a result of a combination of their residual traces after HFC treatment.

Purpose is to justify the use of a high-temperature solder composition for adhesion between the substrate and the dense coating thickness.

Methodology of the work contains according to the technology of soldering ceramic plates on the body of the cutter; there was a cosmetic solder composition as an adhesive layer on the experimental sample, after some thin sample was treated with HFC.

Results. Recommendations on the selection of the composition of the solder and the technology of application and processing of HFC for the adhesive layer for various materials of the substrate and the functional layer and coating were present.

Practical implications. Technology is an increased adhesive strength of surfaces with parts, which in turn expands the scope of the thermal spraying technology and can be applied to its type.

Keywords: adhesion; adhesive layer; solder; interlayer adhesion; composite coating of layers of this type; HFC processing; high-speed flame spraying

Формирование покрытий методами газотермического напыления сталкивается с проблемой адгезии, в частности при формировании функциональных слоев, о чем свидетельствует ограниченная номенклатура изделий, к которым возможно применение технологии газотермического напыления, как для восстановления деталей, так и при их изготовлении. Ограничение такое связано с прочностными требованиями к изделиям, так как в результате экс-

платации такие покрытия отслаиваются и растрескиваются, что приводит к мгновенному разрушению изделия, такое разрушение имеет критическую скорость и может быть отнесено к хрупкому типу разрушения. Стоит также отметить, что помимо разрушения по линии адгезии покрытие/подложка разрушение может проходить и между слоями (межслойное отслаивание) в результате низкой межслойной адгезии у композитных покрытий слоистого типа.

При этом прослеживается четкая обратная зависимость между толщиной покрытия или слоями покрытия и адгезией. Таким образом, чем толще слой покрытия, тем ниже значение адгезии. При этом адгезия представляет собой значение двух основных составляющих это механической и химической. Так воздействуя на любую составляющую можно влиять на значение адгезии.

Повышение адгезии это задача, которая сегодня стоит перед всеми кто занимается получением на поверхности деталей покрытий методами напыления в частности газотермическими, так как она является одним из основных критериев для оценки работоспособности детали и определения ее, конечных физико-механических характеристик и эксплуатационных свойств. Так именно повышению адгезионной прочности газотермические способы металлизации обязаны таким разнообразием видов, методов и оборудованию.

При этом наиболее технологически менее затратным приемом является создание адгезионного слоя, задача которого повышение адгезии покрытия с подложкой, подбор подобного слоя заключается по родству к материалу подложки и покрытия, по возможности обеспечивать высокую адгезию, как с материалом подложки, так и с материалом покрытия. Дополнительно к адгезионному слою создается определенный рельеф поверхности детали, а также структура приповерхностного слоя детали, при котором обеспечивается повышение плотности дислокаций. Также данную технологию сопровождают очистка поверхности от органических пленок и масел, а также от оксидных пленок и других поверхностных включений с использованием различных приемов очистки, обезжиривания и травления.

Таким образом, приемы, сопровождающие метод повышения адгезии за счет создания дополнительного адгезионного слоя между подложкой и покрытием или между слоями покрытия, обеспечиваются повышением обеих составляющих адгезии как механической, так и химической. Однако данный прием не удовлетворяет эксплуатационным требованиям большинства деталей, а также все растущим требованиям к большинству используемых в машиностроении деталей.

Еще одной немаловажной проблемой использования металлизации методами газотермического напыления в машиностроении стало все учащающееся использование керамических покрытий так и слоев композитного покрытия, которые имеют низкую адгезию к подложке и к слоям покрытия, в результате чего происходит отслаивание данного покрытия или слоев. Также для керамических типов покрытия характерна и низкая когезионная прочность, для решения данной проблемы используют прием плакирования порошковых частиц керамики порошковыми частицами определенных металлов исполняющих функцию связующего элемента при механноактивации с последующим напылением такой смеси. Однако данный прием при металлизации методами газотермического напыления до конца не решен.

В ходе анализа было замечено, что при напылении в качестве адгезионного слоя покрытия, а в ряде случаев и как связующего элемента для керамических порошковых частиц из легкоплавких сплавов на примере сплавов используемых в припоях для пайки керамических пластин к телу резца, при последующей термической обработке ТВЧ, используя принцип пайки керамических пластин к резцу, возможно, обеспечить оплавление адгезионного слоя с последующей кристаллизацией, обеспечивающей повышение адгезии характерной по прочности соответствующему данному типу пайки. Так нагрев поверхности покрытия с использованием ТВЧ позволяет обеспечить нагрев до нужной температуры поверхностных слоев до определенной глубины. При этом сплав припоя должен иметь температуру плавления ниже температуры плавления подложки и температуры плавления порошковых частиц ма-

териалов используемых при формировании последующих слоев покрытия, а также предыдущих в случаях межслойной адгезии.

При этом стоит отметить, что использование в качестве адгезионного слоя порошкового материала состава, соответствующему составу припоя, можно наблюдать несколько типов пайки, как и ожидать следующие процессы при оплавлении адгезионного слоя предлагаемого состава ТВЧ:

- капиллярная пайка;
- диффузионная пайка;
- контактно-реактивная пайка.

Обусловленные совокупностью особенностей обеспечивающих все условия для протекания процессов характерных для перечисленных типов пайки в частности такие условия как:

- пористость покрытия и особенности формируемого рельефа поверхности подложки;
- сродство материалов припоя и покрытия, а также возможность занятия вакансии в поверхностных слоях детали;
- возможность образования связей между элементами (материалами) жидкой фазы припоя и твердыми фазами слоев покрытия и подложки, главным показателем протекания такого процесса является растворимость в жидкой фазе припоя материалов твердой фазы подложки и слоев покрытия и др.

Таким образом, при использовании предлагаемой технологии можно добиться значительного повышения адгезии, что может быть обеспеченной различными комбинациями явлений протекающих в процессе пайки, а также обеспечить связь слоя покрытия из керамики с подложкой или другими слоями. В данной работе приведены первые результаты исследования с использованием технологических приемов для повышения прочности сцепления основы и покрытия из материала с термоупругими фазовыми превращениями, основанного на принципе формирования адгезионного слоя из порошкового материала состава припоя, используемого для пайки керамических пластин на резцы, с ТВЧ обработкой поверхности детали после формирования всех слоев покрытия.

При обработке технологии получения покрытий на поверхности детали с повышенной адгезионной прочностью использовалась технология пайки керамических режущих пластин на тело резца, вследствие чего для адгезионного слоя был применен состав припоя CuMnCo (Cu-88,5%; Mn-9%; Co-2,5%). Так в качестве основы использовался цилиндрический образец диаметром 10 мм, изготовленного из стали марки Ст.45 широко используемой в машиностроении, на поверхность которого было нанесено покрытие с использованием технологии высокоскоростного газопламенного напыления на установке GLC-720 в защитной атмосфере аргона. Покрытие представляет собой слоистого типа композит состоящее из адгезионного слоя состава CuMnCo (Cu-88,5%; Mn-9%; Co-2,5%) и функционального слоя из сплава $Ti_{33}Ni_{49}Zr_{18}$ с термоупругими фазовыми превращениями. После чего было проведена термическая зональная поверхностная обработка ТВЧ.

Перед нанесением покрытия проводилась предварительная обработка поверхности детали и напыляемого порошкового материала. Так подготовка основы включает механическую обработку для создания поверхности с развитой микроструктурой с последующей дробеструйной обработкой, и химическую обработку, состоящую из обезжиривания поверхности и травления смесью соляной и азотной кислот. Подготовка наносимого материала заключается в механической активации (МА) материала, обеспечивающей необходимый гранулометрический состав, энергетическое состояние и реакционную способность материала. Механоактивация осуществлялась в шаровой мельнице Гефест-2 АГО-2У, в которой механическое воздействие производится серией последовательных механических импульсов (ударов) от рабочих тел, передающих обрабатываемому материалу порции механической энергии. Принципиальная схема, а также и 3D-модель индуктора и образца, реализации поверхностного нагрева ТВЧ при помощи контура индуктора, повторяющего форму поверхности обрабатываемого образца с покрытием, до температуры плавления припоя показано на рисунке 1.

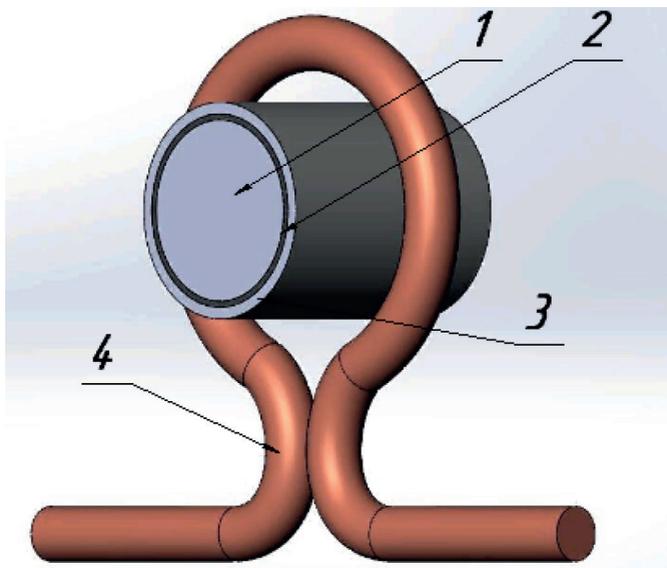


Рис. 1. Принципиальная схема ТВЧ обработки образца с покрытием:
1 – подложка (образец Ст.45); 2 – адгезионный слой CuMnCo;
3 – функциональный слой сплав $Ti_{33}Ni_{49}Zr_{18}$ с термоупругими фазовыми превращениями; 4 – индуктор ТВЧ.

После проведения всего технологического цикла для получения образца с покрытием с повышенным значением адгезии покрытия-подложка был подготовлен шлиф образца поперечного сечения со стороны торца для дальнейшего изучения получаемой структуры и анализа результатов.

Электронномикроскопические исследования проводились на растровом электронном микроскопе JSM 7500F. Рентгеноспектральный анализ на импульсном спектрометре ядерного магнитного резонанса JNM-ECA 400.

Подготовка поверхности детали перед напылением аналогично подготовке тела резца перед пайкой на него керамической режущей пластины, таким образом, обеспечивается выполнение всех требований по подготовке поверхности перед пайкой или лужением, гарантируя протекание с соблюдением всех технологи-

ческих особенностей процесса пайки (растекание, смачивание и др.), при нагреве ТВЧ поверхности образца со слоистым композитным покрытием до температуры плавления адгезионного слоя состава CuMnCo ($T_{\text{пл}}=1030^\circ\text{C}$), соответствующему составу припоя. При этом не происходит оплавление ни верхнего функционального слоя покрытия, ни самой подложки (образца). Стоит отметить, что сопровождающие процессы при таком оплавлении можно характерны нескольким видам пайки, что обусловлено спецификой строения покрытия и рельефа поверхности подложки после подготовки ее перед напылением, а также особенностей структуры и характеристик материалов подложки и покрытия, и их реакционных способностей к взаимодействию с материалом припоя, в частности возможностью образовывать связь (растворяться) твердой фазы материалов подложки и верхнего слоя покрытия и жидкой фазы припоя. Так на рисунке 2 показаны фотографии границы подложка (образец Ст45)-покрытие (адгезионный слой CuMnCo , функциональный слой TiNiZr с термоупругим фазовым превращением) шлифа сделанного после обработки ТВЧ.

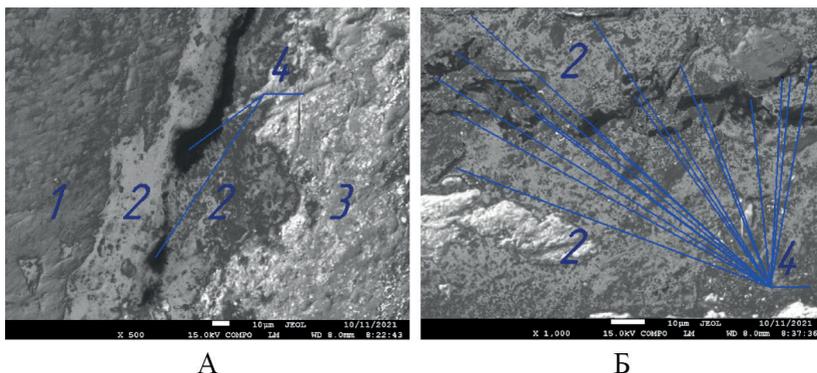


Рис 2. Микроструктура границы подложка (образец Ст.45) – композитное покрытие слоистого типа (адгезионный слой (CuMnCo)/функциональный слой ($\text{Ti}_{33}\text{Ni}_{49}\text{Zr}_{18}$) а – $\times 500$; б – $\times 1000$ и с – $\times 10000$ полученные после ТВЧ обработки по предлагаемой технологии: 1 – подложка (образец Ст.45); 2 – адгезионный слой CuMnCo ; 3 – функциональный слой сплав $\text{Ti}_{33}\text{Ni}_{49}\text{Zr}_{18}$ с термоупругими фазовыми превращениями; 4 – сформировавшаяся трещина вдоль адгезионного слоя в следствие возникновения больших по значению остаточных напряжений.

Так на фотографиях, показанных на рисунке 2 можно увидеть плотное прилегание адгезионного слоя к подложке и к верхнему функциональному слою. По снимках шлифа можно четко отследить, как припой растекался по контактируемым поверхностям с подложкой и верхним слоем покрытия смачивая их и заполняя имеющиеся поры и пустоты, что характерно капиллярной пайке, результаты исследования приграничных слоев позволяют сделать предварительный вывод, что произошло частичное реагирование, и растворения незначительной части материала твердой фазы подложки и верхнего слоя, сопряженных с припоем находящимся в жидкой фазе, что характерно для контактно-реактивной пайки, при этом также возможно предположить о протекании процессов диффузионной пайки, где атомы материала припоя занимают вакансии и другие дефекты структуры материалов подложки и верхних слоев покрытия. Таким образом, данная совокупность явлений и приводящих к ним процессов протекающих во время расплавления адгезионного слоя вследствие ТВЧ-обработки, сформированного из порошкового материала припоя состава CuMnCo , позволяет обеспечить повышения химической и механической составляющих адгезионной прочности. При этом стоит отметить, что проводимая механоактивация как поверхности подложки, так и порошковых материалов непосредственно перед напылением повышает их реакционную способность, что тоже способствует интенсификации выше перечисленных процессов.

При этом согласно рисунку 2 можно увидеть, как вдоль всего адгезионного слоя распространяется трещина примерно равноудаленная на всем протяжении от границы покрытие-подложка. Это говорит о разрушении адгезионного слоя (когезионный тип разрушения) по характеру напоминающий разрушение вследствие возникновения больших по значению остаточных напряжений имеющих скачкообразный переход вида возникающих напряжений с растягивающих на сжимающие напряжения (смена знака), совпадающий с линией развития трещины. Такое разрушение характерно при неверно подобранных режимах поверхностной тер-

мообработки в частности ТВЧ закалки. Однако детальный анализ показал целый комплекс причин способствующих данному типу разрушения. Так возникающие напряжения являются следствием неверно подобранных режимов, в результате чего возникает множество зон имеющих различную структуру в зависимости от температуры нагрева и скорости охлаждения, что характерно для пайки и сварки. Усугубляет данное явление различие в коэффициентах теплового расширения как линейного, так и объемного материалов подложки и слоев покрытия. Также стоит отнести сюда объемное изменение верхнего функционального слоя состава TiNiZr являющихся следствием возникающих фазовых превращений, что характерно для всех материалов проявляющих полиморфизм. При этом возникающая усадка адгезионного слоя вследствие заполнения пор и пустот, а также наличие у самого адгезионного слоя пористой структуры, что характерно газотермическим методам напыления могут приводить к формированию вытянутых пустот, имеющих значительные размеры по двум направлениям в пространстве в сравнении с третьим, вершины которой могут выступать в роли концентраторов напряжений, снижая критическое значение напряжения необходимого для зарождения и распространения (раскрытия) трещины. Таким образом, в результате перечисленной совокупности явления произошло когезионное разрушение адгезионного слоя приведшее к отслоению покрытия от подложки. При этом адгезионная прочность между покрытием и подложкой и между слоями покрытия (адгезионным и функциональным) обеспечивает их плотное сопряжение, что делает данный технологический прием по получению покрытий на поверхности деталей с повышенной адгезионной прочностью возможным, соответственно при проведении комплекса мер по уменьшению или ликвидации негативных последствий явлений перечисленных выше.

Так для снижения негативных последствий от перечисленных явлений, стоит наносить припой или по средствам лужения или после напыления проводить поверхностно-пластическое деформиро-

вание или оплавление ТВЧ. Это позволит обеспечить минимальную пористость и высокую плотность адгезионного слоя, представляющего собой состав припоя, а также протекания всех процессов взаимодействия подложки и припоя, обеспечивающих повышения адгезии между адгезионным слоем и подложкой, что в свою очередь позволит снизить возможную усадку. Также стоит подбирать пары материалов и состав припоя с учетом их объемного и линейного изменения вследствие изменения температур или при фазовых превращениях характерных для материалов имеющих полиморфизм. Также необходимо подбирать режимы ТВЧ обработки это и скорость нагрева и температуру нагрева и скорость охлаждения и глубину воздействия с целью уменьшения возникающих остаточных напряжений а также сместить точку скачкообразного изменения значений напряжений и особенно вида возникающих напряжений с растягивающих на сжимающие напряжения (смена знака), так чтобы данная точка находилась в теле подложки или детали.

Предлагаемый способ получения на поверхности деталей покрытий с повышенной адгезионной прочностью с использованием в качестве адгезионного слоя сплава соответствующему составу припоя с последующей обработкой ТВЧ. Такой адгезионный слой после обработки ТВЧ до температуры плавления припоя используемого в качестве адгезионного слоя обеспечивает растекания и смачивания его с контактируемыми с ним поверхностями. При этом стоит отметить, что данная технология может обеспечить также высокую адгезионную прочность для покрытий, формируемых из керамических порошковых материалов, что может решить проблему применения технологий газотермического напыления для получения функциональных слоев из керамических материалов. Однако использование такого метода получения покрытий с повышенной адгезионной прочностью должны учитывать все особенности технологии ТВЧ обработки, возможную усадку, коэффициенты температурного расширения соединяемых материалов, возможные объемные изменения материалов при фазовых превращениях полиморфных материалов, плотность адгезионного слоя и методы его

получения, а также подбор припоя состава для соединяемых материалов с возможностью обеспечения протекания процессов характерных для трех типов пайки: капиллярной пайки; диффузионной пайки и контактно-реактивной пайки, что в совокупности позволит повысить химическую и механическую составляющие адгезии.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Стипендия президента Российской Федерации (договор №СП-399.2019.1)

Список литературы

1. Балдаев Л.Х. Газотермическое напыление. Учебное пособие. Москва: Market DS, 2007. 344 с.
2. Кадырметов А.М. Технологические возможности и проблемные вопросы плазменного нанесения и упрочнения покрытий с модуляцией электрических параметров // Журнал Вестник ВГТУ. 2011. № 8. С. 79–82.
3. Багмутов В.П., Паршев С.Н., Полозенко Н.Ю. Формирование структуры и свойств поверхностного слоя стальных изделий электромеханической обработкой // Фундаментальные проблемы современного материаловедения. 2007. № 4. С. 36–40.
4. Фетисов Г.П. Сварка и пайка в авиационной промышленности. Москва: Издательство Юрайт, 2019. 229 с.
5. Новосадов В.С., Колужный О.Ю. Физико-химические и механические свойства паяльных соединений и композитов, получаемых методами жидкофазной технологии // Сварочное производство. 2013. № 6. С. 20-26.
6. Ляхов А.А. Новый способ пайки режущего твердосплавного инструмента с использованием ТВЧ // Интеллектуальная собственность и современные техника и технологии для развития экономики: Материалы VI республиканской молодежной научно-практической конференции в рамках Всероссийского студенческого форума «Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России», Ноябрь 14-15, 2018. Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2018. С. 72-74.

7. Ключко А.Н. Основы технологии пайки и термообработки твердосплавного инструмента. М.: Metallurgia, 1981. 200 с.
8. Петрунин И.Е. Физико-химические процессы при пайке. Москва, 1972. 280 с.
9. Карабанов В.В., Бохоров И.О. Процессы взаимодействия металлов при пайке // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2011. № 11. С. 8-18.
10. Латыпов Р.А., Латыпова Г.Р., Агеев Е.В. Metallurgical processes during welding and brazing: a textbook. Kursk: ZAO "Universitetskaya kniga", 2014. 58 с.
11. Лукин В.И., Столянков Ю.В., Рыльников В.С., Щербаков А.И. Пайка аморфными припоями // Авиационные материалы и технологии. 2002. № 4. С. 96-102.
12. Макаревич С.С., Клубков А.А. Теоретические исследования напряженно-деформированного состояния в биметаллическом инструменте при пайке // Лесной журнал. 1992. №. 6. С. 62-65.
13. Макаревич С.С., Мрочек Ж.А., Ильющенко А.Ф. Определение остаточных напряжений при пайке пластин из материалов с различными физико-механическими свойствами // Мир Технологий. 2002. № 3. С. 11-18.
14. Валентов А.В., Коноводов В.В., Агафонова Е.В. Прогнозирование остаточных и эксплуатационных напряжений при пайке резцов для обработки наплавленных поверхностей // Вестник НГАУ. 2013. № 1(26). С. 107-110.
15. Balaev E.Yu., Blednova Zh.M. Technological aspects of improving adhesion of TiNiZr coating materials with thermoelastic phase transformations formed by high velocity oxygen fuel spraying // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2018. №194. P. 1-7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/194/4/042002>
16. Balaev E., Eliseev V. Obtaining a Coating with Increased Adhesive and Cohesive Strength for High-Speed Flame Spraying for a Pair of Materials Coating-Substrate Metal–Metal. In: Mottaeva A. (eds) Technological Advancements in Construction. Lecture Notes in Civil Engineering, 2022. Vol. 180. Springer, Cham. P. 533-542. https://doi.org/10.1007/978-3-030-83917-8_48

17. Jones V.D. Fundamentals of powder metallurgy. Pressing and sintering. Moscow, 1965. 403 p.

References

1. Baldaev L.Kh. *Gazotermicheskoe napylenie. Uchebnoe posobie* [Thermal spraying]. Moscow: Market DS, 2007, 344 p.
2. Kadyrmetov A.M. *Zhurnal Vestnik VGTU*, 2011, no. 8, pp. 79–82.
3. Bagmutov V.P., Parshev S.N., Polozhenko N.Yu. *Fundamental'nye problemy sovremennogo materialovedeniya*, 2007, no. 4, pp. 36–40.
4. Fetisov G.P. *Svarka i payka v aviatsionnoy promyshlennosti* [Welding and soldering in the aviation industry]. Moscow: Izdatel'stvo Yurayt, 2019, 229 p.
5. Novosadov V.S., Kolyuzhnyy O.Yu. *Svarochnoe proizvodstvo*, 2013, no. 6, pp. 20-26.
6. Lyakhov A.A. *Intellektual'naya sobstvennost' i sovremennye tekhnika i tekhnologii dlya razvitiya ekonomiki : Materialy VI respublikanskoj molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii v ramkakh Vserossiyskogo studencheskogo foruma «Inzhenernye kadry – budushchee innovatsionnoy ekonomiki Rossii», Noyabr' 14-15, 2018* [Intellectual property and modern equipment and technologies for the development of the economy: Materials of the VI Republican Youth Scientific and Practical Conference in the framework of the All-Russian Student Forum “Engineering Personnel - the Future of the Innovative Economy of Russia”, November 14-15, 2018]. Yoshkar-Ola: Volga State Technological University, 2018, pp. 72-74.
7. Klochko A.N. *Osnovy tekhnologii payki i termoobrabotki tverdospлавnogo instrumenta* [Fundamentals of technology for soldering and heat treatment of carbide tools]. M.: Metallurgiya, 1981, 200 p.
8. Petrunin I.E. *Fiziko-khimicheskie protsessy pri payke* [Physical and chemical processes during soldering]. Moscow, 1972, 280 p.
9. Karabanov V.V., Bokhorov I.O. *Sbornik v mashinostroenii, priborostroenii*, 2011, no. 11, pp. 8-18.
10. Latypov R.A., Latypova G.R., Ageev E.V. *Metallurgicheskie protsessy pri svarka i payke : uchebnoe posobie* [Metallurgical processes in welding and soldering]. Kursk: ZAO “Universitetskaya kniga”, 2014, 58 p.

11. Lukin V.I., Stolyankov Yu.V., Ryl'nikov V.S., Shcherbakov A.I. *Aviationnyye materialy i tekhnologii*, 2002, no. 4, pp. 96-102.
12. Makarevich S.S., Klubkov A.A. *Lesnoy zhurnal*, 1992, no. 6, pp. 62-65.
13. Makarevich S.S., Mrochek Zh.A., Il'yushchenko A.F. *Mir Tekhnologii*, 2002, no. 3, pp. 11-18.
14. Valentov A.V., Konovodov V.V., Agafonova E.V. *Vestnik NGAU*, 2013, no. 1(26), pp. 107-110.
15. Balaev E.Yu., Blednova Zh.M. Technological aspects of improving adhesion of TiNiZr coating materials with thermoelastic phase transformations formed by high velocity oxygen fuel spraying. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, no. 194, pp. 1-7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/194/4/042002>
16. Balaev E., Eliseev V. Obtaining a Coating with Increased Adhesive and Cohesive Strength for High-Speed Flame Spraying for a Pair of Materials Coating-Substrate Metal–Metal. In: Mottaeva A. (eds) *Technological Advancements in Construction. Lecture Notes in Civil Engineering*, 2022, vol. 180. Springer, Cham., pp. 533-542. https://doi.org/10.1007/978-3-030-83917-8_48
17. Jones V.D. *Fundamentals of powder metallurgy. Pressing and sintering*. Moscow, 1965, 403 p.

ДАнные ОБ АВТОРАХ

Балаев Эйтибар Юсиф Оглы, старший преподаватель кафедры наземного транспорта и механики
Кубанский государственный технологический университет
ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Российская Федерация
balaev1122@mail.ru

Клепиков Дмитрий Алексеевич, студент
Кубанский государственный технологический университет
ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Российская Федерация
Klepikov.Dmtr@gmail.com

Елисеев Владимир Николаевич, инженер кафедры наземного транспорта и механики

*Кубанский государственный технологический университет
ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Российская Федерация*

Шилов Герман Вячеславович, студент

*Кубанский государственный технологический университет
ул. Московская, 2, г. Краснодар, 350072, Российская Федерация
germanshilov8989@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Etibar Yusif Ogli Balaev, Senior Lecturer of the Department of Land
Transport and Mechanics

*Kuban State Technological University
2, Moskovskaya Str., Krasnodar, 350072, Russian Federation
balaev1122@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5736-302X>*

Dmitriy A. Klepikov, student

*Kuban State Technological University
2, Moskovskaya Str., Krasnodar, 350072, Russian Federation
Klepikov.Dmtr@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5370-6408>*

Vladimir N. Eliseev, Engineer of the Department of Land Transport
and Mechanics

*Kuban State Technological University
2, Moskovskaya Str., Krasnodar, 350072, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7415-8578>*

German V. Shilov, student

*Kuban State Technological University
2, Moskovskaya Str., Krasnodar, 350072, Russian Federation
germanshilov8989@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6642-6758>*

Поступила 02.06.2022

После рецензирования 30.06.2022

Принята 02.07.2022

Received 02.06.2022

Revised 30.06.2022

Accepted 02.07.2022

DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-3-83-93

УДК 004.67

РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТА ПРИНЯТИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ИНВЕСТИРОВАНИЯ

*Р.Р. Крапивин, Г.Р. Гуменова,
Г.А. Гареева, Р.Р. Басыров*

В статье рассматриваются вопросы принятия эффективных решений об инвестировании в коммерческие счета и валюты. Для того, чтобы знать на сколько эти решения будут выгодны в долгосрочной перспективе, необходима специализированная информация: данные динамик роста, падения стоимости счетов и валют, аналитические сведения, при этом отсутствует единый источник, где эти данные будут накапливаться, систематизироваться и храниться.

***Цель** – создание инструмента для сбора и хранения параметров инвестиционных счетов для их анализа и принятия эффективных решений в области инвестирования.*

***Метод или методология проведения работы:** в статье рассматривается способ, который реализует инструмент сбора специализированной информации инвестиционных счетов, для реализации используется: база данных PostgreSQL и язык программирования Python*

***Результат:** разработан собственный уникальный инструмент, который реализует функции сбора и хранения информации по инвестиционным счетам. Область применения результатов: полученные данные, хранящиеся в базе данных, целесообразно использовать для выявления высокодоходных счетов и последующего инвестирования.*

***Ключевые слова:** Python; Requests; библиотека; запрос; json; парсинг; postgresql; рашм счета*

DEVELOPMENT OF A TOOL FOR MAKING EFFECTIVE DECISIONS IN THE FIELD OF INVESTMENT

*R.R. Krapivin, G.R. Gumerova,
G.A. Gareeva, R.R. Basyrov*

The article discusses the issues of making effective decisions about investing in commercial accounts and currencies. In order to know how much these solutions will be beneficial in the long term, specialized information is needed: data on the dynamics of growth, decline in the value of accounts and currencies, analytical information. But there is no single source where this data will be accumulated, systematized and stored.

Purpose – *create a tool for collecting and storing the parameters of investment accounts for their subsequent analysis in order to make an effective investment decision.*

Method or methodology of work: *the article discusses a method that can implement a tool for collecting specialized information of investment accounts, two tools can be used for this: Postgresql databases and Python programming language*

Result: *a tool has been developed that performs the function of collecting and storing information on investment accounts.*

Scope of the results: *the data obtained, which are stored in the database, should be used to identify high-yield accounts for subsequent investment.*

Keywords: *Python; Requests; library; query; json; parsing; postgresql; pamm accounts*

Введение

В развитых странах огромную роль в жизни населения играют инвестиции. До 80% американцев делают инвестиции в акции крупных компаний и получают по ним дивиденды (для сравнения, в РФ этот показатель составляет 1%). Вложенные средства работают на своего владельца в режиме 24/7, а затем и на его потомков.

Инвестиции — основа для будущего капитала и роста благосостояния. Для успешного инвестирования нужна статистика, но не все веб ресурсы обладают подробной статистикой. Например, ресурс <https://alpari-forex.org/ru/invest/pamm/> на котором размещена актуальная информация по инвестиционным pamm счетам. Данные по динамике роста и падения стоимости указаны на страничке каждого счета, но они имеют лишь актуальную информацию на текущий день и лишь за последние сутки, впоследствии они меняются (рисунок 1).

Свойства ПАММ-счета

Тип ПАММ-счета ⓘ	pamm.pro.ecn.mt4	Номер ПАММ-счета	329842
Валюта ⓘ	USD	Ник на форуме	paymaster
Установленное кредитное плечо	1:100	Ветка на форуме	перейти
Торговые отчеты для инвесторов	недоступны		

Показатели

Максимальная относительная прибыль ⓘ	313 363.49%	Фактор восстановления ⓘ	4.07
Максимальный относительный убыток ⓘ	84.76%	Коэффициент прироста за все время ⓘ	2 017 014 474
Максимальная дневная прибыль ⓘ	89.97%	Коэффициент прироста за последний год ⓘ	1 097 702
Максимальный дневной убыток ⓘ	37.92%	Коэффициент прироста за последний квартал ⓘ	1 012 422
Текущая просадка ⓘ	15.66%	Коэффициент прироста за последний месяц ⓘ	1
Волатильность дневной доходности ⓘ	7.3%	Коэффициент прироста за последнюю неделю ⓘ	1
Средняя геометрическая доходность ⓘ	9.83%	Коэффициент Кальмара ⓘ	4.07
Геометрическое стандартное отклонение от доходности ⓘ	41.36%	Коэффициент Шарпа ⓘ	108.8
Средняя дневная прибыль ⓘ	3.84%	Коэффициент Сортино ⓘ	0.07
Средний дневной убыток ⓘ	2.95%	Коэффициент Швагера ⓘ	788.81

Рис. 1. Интересующая информация о счете

Цель работы: разработать программное обеспечение для сбора и хранения данных показанных на рисунке 1.

Для организации сбора информации по инвестиционным счетам сайта и последующим её хранением нужно:

1. Получить данные с сайта используя модуль Python: Requests.
2. Отфильтровать данные и получить удовлетворяющие запросу.
3. Сохранить их в базу данных.

Для первого шага, воспользуемся модулем запросов Requests. Чтобы понять какой запрос нужно отправить на сайт нужно вызвать веб консоль клавишей F12, перейти во вкладку Сеть и найти из всех запросов те, что в ответ отправляют JSON файлы (рис. 2).



Рис. 2. Запрос, в котором находится JSON файл с информацией о счетах

Разберем структуру запроса:

<https://alpariforex.online/invest/pamm/rating.json?limit=25&offset=0&sort=rating.asc&count=true>

Значение `limit=25`. Это количество счетов в этом JSON файле, в которых хранится вся информация о счете (рис. 3), под индексом 0 содержится уникальный ID счета, 1 индекс – название счета, 2 индекс – дополнительная информация и т.д., всего индексов на счет: 143 и каждый хранит значение или текст, которая относится к счету. Если проверить первый полученный счет в JSON, можно сравнить полученные результаты с теми, что находятся на сайте (рис. 4).



```
success: true
data:
  items:
    0:
      0: 329842
      1: "Moriarti"
      2: "support lines"
```

Рис. 3. Содержимое JSON файла

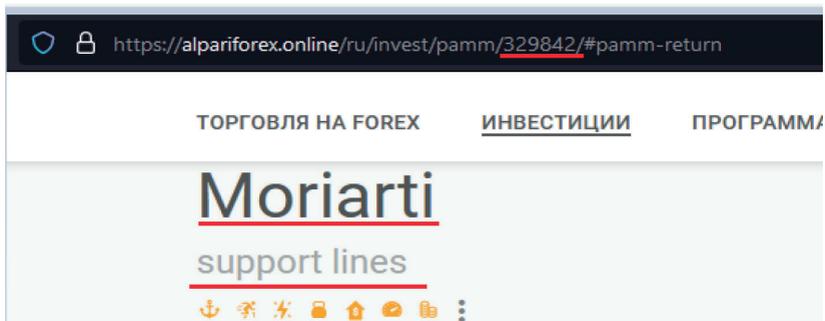


Рис. 4. Информация о счете на сайте

Код Python для получения данных с сайта, этот код выполняется в цикле, и переменная `page` регулирует с какой странице получать данные счетов:

```
with requests.Session() as s:
    if page == 0:
        html_doc =
s.get('https://alpariforex.org/invest/pamm/rating.json?limit=25&offset=0&sort=rating.asc&count=true').content # Получени инфо по 25 счетам 1 страницы
    else:
        html_doc =
s.get(f'https://alpariforex.org/invest/pamm/rating.json?limit=25&offset={page*25}&sort=rating.asc&count=true').content # Получени инфо по 25 счетам указанной страницы
    data = json.loads(html_doc)# Конвентируем полученные данные в JSON файл
```

Для выполнения второго шага, нужно выполнить сортировку из полученного ответа от сайта. Полученные данные имеют структуру JSON файла, где под каждым индексом хранятся нужные параметры, всего их больше 150. Нужные параметры отображены на рисунке 1. В ходе ручного перебора выясняется, что все интересующиеся параметры идут не по порядку. Так к примеру, отображение доступности или недоступности отчетов для торговых инвесторов находится под 10 индексом, коэффициенты кальмара, шарпа, сортино и швагера идут по порядку, от 100 и до 103 индекса, а сам номерс счета под 0 индексом. Поэтому для записи нужных данных, нужно обращаться к нужным индексам, остальные будут автоматически отсеяны из-за ненадобности.

После получения актуальной информации, необходимо сохранить эти данные в базу данных, для этого используется библиотека `psycopg2`. Код для внесения информации о счетах в базу, где `data` это JSON файл с данными о счетах:

```
def add_info_in_bd(data):
    conn = return_conn()
    cursor = conn.cursor()
    for info_pamm in data['data']['items']:
        if 1 == info_pamm[10]:
            info_pamm[10] = 'Доступны'
        else:
            info_pamm[10] = 'Недоступы'
        now = datetime.datetime.now()
        name_pamm = info_pamm[1]
        Макс_относительная_прибыль = info_pamm[44]
        Макс_относительный_убыток = info_pamm[36]
```

```

Макс_дневная_прибыль = info_pamm[79]
Макс_дневной_убыток = info_pamm[81]
Текущая_просадка = info_pamm[43]
Волатильность_дневной_доходности = info_pamm[30]
Сред_геомет_доходность = info_pamm[21]
Гео_стандарт_отклон_от_доход = info_pamm[27]
Средняя_дневная_прибыль = info_pamm[76]
Средний_дневной_убыток = info_pamm[77]
Фактор_восстановления = info_pamm[51]
Коеф_роста_за_все_время = info_pamm[72]
Коеф_роста_за_последний_год = info_pamm[71]
Коеф_роста_за_последний_квартал = info_pamm[70]
Коеф_роста_за_последний_месяц = info_pamm[69]
Коеф_роста_за_последнюю_неделю = info_pamm[68]
Коеф_Кальмара = info_pamm[100]
Коеф_Шарпа = info_pamm[101]
Коеф_Сортино = info_pamm[102]
Коеф_Швагера = info_pamm[103]
cursor.execute(f'INSERT INTO {name_table} (Хост, Время_парсинга,
Название_счета, Тип_ПАММ_счета, Валюта, Установленное_кредитное_плечо,
Торговые_отчеты_для_инвесторов, Номер_ПАММ_счета, Ник_на_форуме,
Макс_относительная_прибыль, Макс_относительный_убыток,
Макс_дневная_прибыль, Макс_дневной_убыток, Текущая_просадка,
Волатильность_дневной_доходности, Сред_геомет_доходность,
Гео_стандарт_отклон_от_доход, Средняя_дневная_прибыль,
Средний_дневной_убыток, Фактор_восстановления, Коеф_роста_за_все_время,
Коеф_роста_за_последний_год, Коеф_роста_за_последний_квартал,
Коеф_роста_за_последний_месяц, Коеф_роста_за_последнюю_неделю,
Коеф_Кальмара, Коеф_Шарпа, Коеф_Сортино, Коеф_Швагера)
VALUES ('https://alpari.finance/ru/',
'{now.strftime("%Y-%m-%d %H:%M")}', '{info_pamm[1]}',
'{info_pamm[129]}', '{info_pamm[119]}',
'{1:'+(str(info_pamm[130]))}', '{info_pamm[10]}',
'{info_pamm[0]}', '{info_pamm[127]}',
%s, %s,
%s, %s, %s, %s)''', (Макс_относительная_прибыль,
Макс_относительный_убыток, Макс_дневная_прибыль,
Макс_дневной_убыток, Текущая_просадка,
Волатильность_дневной_доходности, Сред_геомет_доходность,
Гео_стандарт_отклон_от_доход, Средняя_дневная_прибыль,
Средний_дневной_убыток, Фактор_восстановления,
Коеф_роста_за_все_время, Коеф_роста_за_последний_год,
Коеф_роста_за_последний_квартал, Коеф_роста_за_последний_месяц,
Коеф_роста_за_последнюю_неделю, Коеф_Кальмара, Коеф_Шарпа,
Коеф_Сортино, Коеф_Швагера))
conn.commit()
cursor.close()
conn.close()

```

То, как выглядит таблица с данными на сервере БД, представлено на рис. 5:

5. Бевентер Э. Основные знания по рыночной экономике в восьми лекциях. Пер. с нем. М., 2016. 224 с.
6. Бедрина Е.Б., Козлова О.А. и др. Введение в экономическую теорию. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2016. 210 с.
7. Бойко И.П. Экономика для юристов / И.П. Бойко, Ф.Ф. Рыбаков. М.: Проспект, 2016. 272 с.
8. Бондарь А.В. Экономическая теория. Минск: БГЭУ, 2017. 477 с.
9. Овчаренко Н.А. Основы экономики, менеджмента и маркетинга. Учебник для бакалавров. М.: Дашков и Ко, 2020. 162 с.
10. Поликарпова Т.И. Основы экономики. Учебник и практикум для СПО. М.: Юрайт. 2019. 254 с.
11. Bakdash J. Z., Marusich L. R. Repeated measures correlation // *Front. Psychol.*, 2017, vol. 8, 456. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00456>
12. Berens, P. CircStat: A MATLAB toolbox for circular statistics // *J. Stat. Softw.*, 2009, vol. 31(10), pp. 1–21.
13. McKinney W. Data structures for statistical computing in python. In S. van der Walt & J. Millman (Eds.) // *Proceedings of the 9th python in science conference*. 2010, pp. 51–56.
14. Pernet C.R., Wilcox R., Rousselet G.A. Robust correlation analyses: False positive and power validation using a new open source matlab toolbox // *Front. Psychol.*, 2012, vol. 3, 606.
15. Rouder J. N., Speckman P. L., Sun D., Morey R. D., Iverson G. Bayesian t tests for accepting and rejecting the null hypothesis // *Psychon. Bull. Rev.*, 2009, vol. 16(2), pp. 225–237.

References

1. Gokhberg G.S. *Informatsionnye tekhnologii* [Information Technology]. М.: Academia, 2018, 474 p.
2. Batovrina E.V. *Teoriya i praktika upravleniya: novye podkhody* [Theory and practice of management: new approaches]. М.: University Humanitarian Lyceum, 2016, 217 p.
3. Bardovskiy V.P. *Ekonomika* [Economy]. М.: Izd-vo Forum. Infra-M, 2016, 672 p.
4. Basovskiy, L.E. *Ekonomicheskaya teoriya* [Economic theory]. М.: INFRA-M, 2016, 224 p.

5. Beventer E. *Osnovnye znaniya po rynochnoy ekonomike v vos'mi lektsiyakh* [Basic knowledge of the market economy in eight lectures]. M., 2016, 224 p.
6. Bedrina E.B., Kozlova O.A. et al. *Vvedenie v ekonomicheskuyu teoriyu* [Introduction to economic theory]. Ekaterinburg: UGTU-UPI, 2016, 210 p.
7. Boyko I.P. *Ekonomika dlya yuristov* [Economics for lawyers] / I.P. Boyko, F.F. Rybakov. M.: Prospekt, 2016, 272 p.
8. Bondar' A.V. *Ekonomicheskaya teoriya* [Economic theory]. Minsk: BGEU, 2017, 477 p.
9. Ovcharenko N.A. *Osnovy ekonomiki, menedzhmenta i marketinga. Uchebnyk dlya bakalavrov* [Fundamentals of economics, management and marketing. Textbook for bachelors]. M.: Dashkov i Ko, 2020, 162 p.
10. Polikarpova T.I. *Osnovy ekonomiki. Uchebnyk i praktikum dlya SPO* [Fundamentals of Economics. Textbook and workshop for open source software]. M.: Yurayt, 2019, 254 p.
11. Bakdash J. Z., Marusich L. R. Repeated measures correlation. *Front. Psychol.*, 2017, vol. 8, 456. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00456>
12. Berens, P. CircStat: A MATLAB toolbox for circular statistics. *J. Stat. Softw.*, 2009, vol. 31(10), pp. 1–21.
13. McKinney W. Data structures for statistical computing in python. In S. van der Walt & J. Millman (Eds.). *Proceedings of the 9th python in science conference*, 2010, pp. 51–56.
14. Pernet C.R., Wilcox R., Rousselet G.A. Robust correlation analyses: False positive and power validation using a new open source matlab toolbox. *Front. Psychol.*, 2012, vol. 3, 606.
15. Rouder J. N., Speckman P. L., Sun D., Morey R. D., Iverson G. Bayesian t tests for accepting and rejecting the null hypothesis. *Psychon. Bull. Rev.*, 2009, vol. 16(2), pp. 225–237.

ДААННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Крапивин Роман Русланович, студент

*Набережночелнинский филиал Казанского национального исследовательского технического университета им.А.Н.Туполева
ул. Академика Королева, 1, г. Набережные Челны, 423814,
Российская Федерация
Jerichotyran1@yandex.ru*

Гареева Гульнара Альбертовна, заведующий кафедрой Информационных систем, канд. пед. наук, доцент
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ
ул. Академика Королева, 1, г. Набережные Челны, 423814,
Российская Федерация
gagareeva1977@mail.ru

Гумерова Гузель Равилевна, канд. экон. наук, доцент кафедры Информационных систем
Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ
ул. Академика Королева, 1, г. Набережные Челны, 423814,
Российская Федерация
gumerova_gr@mail.ru

Басыров Руслан Рамилевич, канд. техн. наук, доцент
Набережночелнинский институт КФУ
пр. Сююмбике, 10а, г. Набережные Челны, 423812, Российская Федерация
Bars@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Roman R. Krapivin, student
Naberezhnye Chelny branch of Kazan National Research Technical University named after A.N.Tupolev
1, Akademika Koroleva Str., Naberezhnye Chelny, 423814, Russian Federation
Jerichotyrant1@yandex.ru

Gulnara A. Gareeva, Head of the Department of Information Systems, Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor
Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI

1, Akademika Koroleva Str., Naberezhnye Chelny, 423814, Russian Federation

gagareeva1977@mail.ru

Scopus Author ID: 36801593200

ResearcherID: M-1728-2015

SPIN-code: 3279-8465

Guzel R. Gumerova, Candidate of Economy Sciences, Associate Professor Department of Information Systems

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI

1, Akademika Koroleva Str., Naberezhnye Chelny, 423814, Russian Federation

gumerova_gr@mail.ru

Ruslan R. Basyrov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev-KAI

1, Akademika Koroleva Str., Naberezhnye Chelny, 423814, Russian Federation

Bars@mail.ru

Scopus Author ID: 56669679000

ResearcherID: M-5875-2015

SPIN-code: 7989-1366

Поступила 02.06.2022

После рецензирования 20.06.2022

Принята 02.07.2022

Received 02.06.2022

Revised 20.06.2022

Accepted 02.07.2022

DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-3-94-108

УДК 621.396.6.07.019.3

ЗАДАЧА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА КОНСТРУКЦИИ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ ИНТЕРВАЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

П.В. Калашиников

В работе приводится описание процесса выбора оптимального варианта конструкции сложной технической системы в условиях интервальной неопределенности и неполноты информации о параметрах и фазовом состоянии. Подобного сорта проблемы являются крайне актуальными на начальном этапе проектирования сложных систем, когда из множества возможных вариантов нужно отобрать те, которые в большей степени соответствуют предъявляемым разнородным критериям качества и в большей степени не всегда отвечают неоднозначным предпочтениям лица принимающего решение.

Целью исследования является разработка эффективных методов сравнения различных вариантов конструкций сложных систем на начальном этапе проектирования в условиях интервальной неопределенности. К задачам проводимого исследования следует отнести построение математической модели функционирования сложной системы в условиях неопределенности, а также анализ основных методов сравнения альтернатив при разнородных критериях качества.

Материалы и методы. В статье дается описанием модели функционирования сложной технической системы в условиях неопределенности, а также описываются основные методы сравнения различных вариантов конструкции системы на начальных этапах проектирования в условиях неполноты и неопределенности информации, а также неоднозначности предпочтений лица, принимающего решение.

Научная новизна реализуемого подхода состоит в использовании аппарата интервального анализа, позволяющего наиболее корректно учитывать имеющие место возможные погрешности, связанные с измерением значений характеристик изучаемых технических систем на всех этапах процесса проектирования.

Обсуждение и заключение. Разработанная в ходе выполненного исследования математическая модель процесса функционирования сложной технической системы в условиях интервальной неопределенности позволяет осуществлять отбор вариантов конструкции системы на начальных этапах проектирования, учитывая возможные погрешности и неточности, возникающие в связи с отклонением значений от расчетных номинальных значений.

Ключевые слова: проектирование сложных систем; интервальная неопределенность; принцип Парето; разнородные критерии качества

THE PROBLEM OF CHOOSING THE OPTIMAL DESIGN OPTION FOR A COMPLEX SYSTEM UNDER CONDITIONS OF INTERVAL UNCERTAINTY

P.V. Kalashnikov

The paper describes the process of choosing the optimal design option for a complex technical system under conditions of interval uncertainty and incomplete information about the parameters and the phase state. Problems of this kind are extremely relevant at the initial stage of designing complex systems, when from a variety of possible options it is necessary to select those that are more consistent with the heterogeneous quality criteria and do not always meet the ambiguous preferences of the decision maker.

The aim of the study is to develop effective methods for comparing various design options for complex systems at the initial design stage under conditions of interval uncertainty. The objectives of the study include the construction of a mathematical model for the functioning

of a complex system under conditions of uncertainty, as well as the analysis of the main methods for comparing alternatives with heterogeneous quality criteria.

Materials and Methods. *The article provides a description of the functioning model of a complex technical system under conditions of uncertainty, and also describes the main methods for comparing various options for the system design at the initial stages of design in conditions of incompleteness and uncertainty of information, as well as ambiguity of the preferences of the decision maker.*

Results. *The scientific novelty of the implemented approach lies in the use of interval data statistics, which allow the most correct consideration of possible errors associated with measuring the values of the characteristics of the studied technical systems at all stages of the control process.*

The scientific novelty of the implemented approach lies in the use of the interval analysis apparatus, which makes it possible to most correctly take into account the possible errors associated with measuring the values of the characteristics of the studied technical systems at all stages of the design process.

Discussion and Conclusions. *The mathematical model of the process of functioning of a complex technical system under conditions of interval uncertainty developed in the course of the study allows selection of system design options at the initial stages of design, taking into account possible errors and inaccuracies arising from the deviation of values from the calculated nominal values.*

Keywords: *design of complex systems; interval uncertainty; Pareto principle; heterogeneous quality criteria*

Введение

Проектирование сложных технических систем ответственного назначения представляет собой комплексную проблему, решение которой требует совместного применения основных принципов системного подхода, а также математического аппарата, адекватным образом описывающего процесс функциони-

рования подобного сорта систем [1-3]. Особенную актуальность данная проблематика приобретает, когда идет речь о выборе оптимального варианта конструкции системы в условиях неопределенности и неполноты информации о значениях параметрах и фазовом состоянии.

Выбор математического аппарата, адекватным образом описывающего процесс функционирования подобного сорта систем, как правило, основан на применении методов интервального анализа и теории нечетких множеств [4, 5].

На начальном этапе проектирования сложных технических систем возможны ситуации, когда лицо, принимающее решение о выборе того или другого варианта конструкции не имеет четкого представления о том, какой именно из них предпочесть. Задача оптимального выбора конструкции системы в этом случае связана с перебором большого количества альтернатив, удовлетворяющих нескольким критериям качества в условиях слабой структурированности, неполноты и неопределенности информации о параметрах системы и ее фазовом состоянии.

Математическая модель функционирования сложной системы в условиях интервальной неопределенности

Рассмотрим общую математическую модель функционирования сложной системы в условиях интервальной неопределенности.

Пусть, система S состоит из M элементов и функционирует в моменты времени t , $0 \leq t \leq T$. Элементы системы взаимодействуют между собой по каналам связи, соединяющим их контактные компоненты. Если элемент B_j , $j=1, M$ имеет k_j контактных входных компонентов, то контакт номер i , $i=1, k_j$ в момент времени t принимает входное значение $X_i^{(j)}(t) \in [X_i^{(j)}(t), X_i^{(j)}(t)]$, где $X_i^{(j)}(t)$, $X_i^{(j)}(t)$ соответственно нижняя и верхняя граница интервала допустимых значений для рассматриваемого показателя. Для случая, когда элемент B_j имеет m_j выходных контактных компонентов контакт номер k , $k=1, m_j$ в момент времени t выдает выходное воздействие $Y_k^{(j)}(t) \in [Y_k^{(j)}(t), Y_k^{(j)}(t)]$, где $Y_k^{(j)}(t)$, $Y_k^{(j)}(t)$ соответственно нижняя и верхняя граница интервала допустимых значений для данной величины.

Границы интервалов значений для рассматриваемых величин определяются допустимым отклонением параметров системы от расчетных номинальных показателей, при которых данный технический объект сохраняет свою работоспособность. Число входных и выходных контактных компонентов известно и определяется заранее в ходе процесса проектирования системы.

В дальнейшем при описании модели функционирования сложной системы в условиях неопределенности предполагается реализация следующих условий. Любой входной контактный компонент каждого элемента системы соединен каналом связи не более чем с одним выходным контактным компонентом другого элемента.

Внешняя среда при построении модели системы S рассматривается в качестве фиктивного элемента B_0 . Пусть, вход и выход данного элемента содержит соответственно n_0 и m_0 контактных компонентов.

Введем следующие обозначения.

$X_l^{(0)}$ – входной контактный компонент номер l элемента B_0 ,
 $l = 1, k_0$;
 $Y_k^{(0)}$ – выходной контактный компонент номер k элемента B_0 ,
 $k = 1, m_0$;

В момент времени t , $0 \leq t \leq T$ выходное воздействие системы S на внешнюю среду описывается с помощью интервального вектора

$$X_t^{(0)} = ([X_1^{(0)}(t), \overline{X_1^{(0)}(t)}], \dots, [X_{k_0}^{(0)}(t), \overline{X_{k_0}^{(0)}(t)}]) \quad (1)$$

где $[\underline{X_l^{(0)}(t)}, \overline{X_l^{(0)}(t)}]$ – интервал допустимых значений для входных воздействий в момент времени t на контактный компонент элемента B_0 с номером l .

В момент времени t , $0 \leq t \leq T$ воздействие внешней среды на систему S описывается в виде интервального вектора значений для выходных контактных компонентов элемента B_0 следующего вида

$$Y_t^{(0)} = ([Y_1^{(0)}(t), \overline{Y_1^{(0)}(t)}], \dots, [Y_{m_0}^{(0)}(t), \overline{Y_{m_0}^{(0)}(t)}]) \quad (2)$$

где $[\underline{Y_k^{(0)}(t)}, \overline{Y_k^{(0)}(t)}]$ – интервал допустимых значений для выходных

воздействий на контактном компоненте элемента B_0 с номером k в момент времени t .

Взаимодействие между элементами сложной технической системы S , а также между системой и внешней средой описывается с помощью множества контактных компонентов данной системы, а также закона преобразования входных воздействий в выходные.

Введем обозначения.

$X^{(j)}$ – множество входных контактов элемента системы S номер j , $j=0, M$;

$Y^{(j)}$ – множество выходных контактов элемента системы S номер j , $j=0, M$;

X – множество всех входных контактных компонентов системы S ;

Y – множество всех выходных контактных компонентов системы S ;

Множества $X^{(j)}$ и $Y^{(j)}$, X , Y имеют вид

$$X^{(j)} = \{X_1^{(j)} \dots X_{k_j}^{(j)}\} = \{X_i^{(j)}\}_{i=1}^{k_j} \quad (3)$$

$$Y^{(j)} = \{Y_1^{(j)} \dots Y_{m_j}^{(j)}\} = \{Y_i^{(j)}\}_{i=1}^{m_j} \quad (4)$$

$$X = \bigcup_{j=0}^M (X^{(j)}) \quad (5)$$

$$Y = \bigcup_{j=0}^M (Y^{(j)}) \quad (6)$$

В момент времени t , $0 \leq t \leq T$ множество входных воздействий в системе S задается в виде набора интервальных векторов $X(t)$ следующего вида

$$\begin{aligned} X(t) = & (\overline{[X_l^{(0)}(t), X_l^{(0)}(t)]}, \dots, \overline{[X_{k_0}^{(0)}(t), X_{k_0}^{(0)}(t)]}, \\ & \overline{[X_1^{(1)}(t), X_1^{(1)}(t)]}, \dots, \overline{[X_{k_1}^{(1)}(t), X_{k_1}^{(1)}(t)]}, \dots, \\ & \overline{[X_l^{(M)}(t), X_l^{(M)}(t)]}, \dots, \overline{[X_{k_M}^{(M)}(t), X_{k_M}^{(M)}(t)]}). \end{aligned} \quad (7)$$

где

$\overline{[X_1^{(j)}(t), X_1^{(j)}(t)]}, \dots, \overline{[X_{k_j}^{(j)}(t), X_{k_j}^{(j)}(t)]}$ – множество интервалов допустимых значений для входных воздействий на контактных компонентах элемента B_j , $j=0, M$ в момент времени t ,

В момент времени t , $0 \leq t \leq T$ множество выходных воздействий в системе S задается в виде набора интервальных векторов $Y(t)$ следующего вида

$$\begin{aligned}
 Y(t) = & ((\overline{[Y_1^{(0)}(t), Y_1^{(0)}(t)]}, \dots, \overline{[Y_{m_0}^{(0)}(t), Y_{m_0}^{(0)}(t)]}, \\
 & (\overline{[Y_1^{(1)}(t), Y_1^{(1)}(t)]}, \dots, \overline{[Y_{m_1}^{(1)}(t), Y_{m_1}^{(1)}(t)]}, \dots, \\
 & (\overline{[Y_l^{(M)}(t), Y_l^{(M)}(t)]}, \dots, \overline{[Y_{m_M}^{(M)}(t), Y_{m_M}^{(M)}(t)]})).
 \end{aligned} \tag{8}$$

$(\overline{[Y_1^{(j)}(t), Y_1^{(j)}(t)]}, \dots, \overline{[Y_{m_j}^{(j)}(t), Y_{m_j}^{(j)}(t)]})$ – множество интервалов допустимых значений для выходных воздействий на контактных компонентах элемента $B_j, j=\overline{0, M}$ в момент времени t

В момент времени t схема сопряжения элементов системы задается с помощью оператора F следующего вида

$$Y_l^{(k)}(t) = F(X_i^{(j)}(t)), k, j = \overline{1, M}, l = \overline{1, m_k}, i = \overline{1, k_j} \tag{9}$$

где

$$\begin{aligned}
 X_i^{(j)}(t) & \in [\overline{X_i^{(j)}(t)}, \overline{X_i^{(j)}(t)}], \\
 Y_l^{(k)}(t) & \in [\overline{Y_l^{(k)}(t)}, \overline{Y_l^{(k)}(t)}].
 \end{aligned}$$

Каждому входному значению контактного компонента элемента номер j $X_i^{(j)}(t)$ в момент времени t ставится в соответствие выходное значение контактного компонента элемента номер k $Y_l^{(k)}(t)$ рассматриваемое в данный момент времени.

Если контактный компонент $X_i^{(j)}$ не связан ни с одним выходным контактным компонентом, то оператор сопряжения F не определен.

Использование информации о составе множеств X и Y , описывающих совокупность входных и выходных контактных компонентов элементов системы S , а также применение оператора сопряжения F позволяет описать процесс взаимодействия между элементами рассматриваемой системы, а также ее структуру.

Результаты исследования

Принятие решений в условиях неопределенности является сложной комплексной задачей, требующей учета множества факторов. Особенную актуальность данная проблема принимает при решении задачи выбора оптимального варианта конструкции сложной системы на начальных этапах проектирования, так как

лицу принимающему решение приходится делать выбор из большого количества альтернатив, удовлетворяющих, как правило, набору разнородных критериев качества.

Выбор оптимального варианта конструкции системы требует разработки методов сравнения и определения предпочтения между разными альтернативами в условиях неопределенности и нечеткости предпочтений одних из них перед другими.

Достаточно часто при проектировании сложных технических систем ответственного назначения необходимо учитывать неопределенность, связанную с тем, что ряд параметров принимает свои значения в рамках заранее заданных интервалов, соответствующих областям работоспособности, а не отдельным точечным показателям. Учет подобного фактора неопределенности важен при решении задач многокритериальной оптимизации, в которых необходимо выбрать наилучший вариант конструкции системы, удовлетворяющий одновременно множеству разнородных критериев качества.

Введем следующие обозначения:

$V = \{V_\beta, \beta = \overline{1, N}\}$ – множество возможных вариантов конструкции сложной технической системы;

$R_i(V_\beta) = [\underline{R}_i(V_\beta), \overline{R}_i(V_\beta)]$ – интервал допустимых значений критерия качества номер i для альтернативы $V_\beta, \beta \in V$;

K – общее количество критериев качества, которым должна удовлетворять проектируемая система S ;

$\underline{R}_i(V_\beta)$ – нижняя граница интервала допустимых значений для варианта V_β по критерию номер $i, i = \overline{1, K}$;

$\overline{R}_i(V_\beta)$ – верхняя граница интервала допустимых значений для варианта V_β по критерию номер $i, i = \overline{1, K}$;

$R(V_\beta)$ – векторный критерий.

Векторный критерий $R(V_\beta)$ задается в виде интервального вектора следующего вида

$$R(V_\beta) = (R_1(V_\beta), R_2(V_\beta), \dots, R_k(V_\beta)) = ([\underline{R}_1(V_\beta); \overline{R}_1(V_\beta)], [\underline{R}_2(V_\beta); \overline{R}_2(V_\beta)], \dots, [\underline{R}_K(V_\beta); \overline{R}_K(V_\beta)]) \quad (10)$$

Рассмотрим множество $\frac{1}{p}V$ Парето-оптимальных вариантов реализации системы S , удовлетворяющих условию

$$V_{k_1} > V_{k_2} > \dots > V_{k_p}, V_{k_i} \in \frac{1}{p}V, \quad (11)$$

Задача выбора оптимального варианта конструкции системы в условиях интервальной неопределенности формализуется следующим образом.

Необходимо найти упорядоченный набор Парето-оптимальных вариантов конструкции системы, удовлетворяющих условию (11) и являющихся решением следующих оптимизационных задач

$$R_i(V_{k_j}) = \min\{R_i(V_\beta)\}; V_{k_j} \in \frac{1}{p}V, i=\overline{1, K}, \beta = \overline{1, N} \quad (12)$$

$$R_i(V_{k_j}) = \max\{R_i(V_\beta)\}; V_{k_j} \in \frac{1}{p}V, i=\overline{1, K}, \beta = \overline{1, N} \quad (13)$$

Основные подходы к построению оптимальных кортежей Парето описаны в работах [6-15].

Для решения задачи поиска оптимальных кортежей Парето воспользуемся следующим алгоритмом, введя обозначения

M_0 – множество вариантов системы, участвующих на начальном этапе перебора;

M_L – множество вариантов системы на этапе перебора № L;

M_{L_0} – множество вариантов системы, появившихся на этапе перебора № L, про которые не было сведений на начальном этапе процесса перебора вариантов

$$M_{L_0} \cap M_0 = \emptyset \quad (14)$$

Рассмотрим возможные варианты соотношения мощностей множеств M_0 и M_L, M_{L_0} на этапе перебора альтернатив № L.

$$1) |M_L| = |M_0|, M_{L_0} = \emptyset \quad (15)$$

$$2) |M_0| > |M_L| \quad (16)$$

Число систем на этапе перебора номер L меньше, чем на начальном этапе перебора.

$$3) |M_0| \neq |M_L|, M_L \neq \emptyset, M_{L_0} \neq \emptyset \quad (17)$$

Учитываются системы, имеющиеся на начальном этапе, а также вновь появившиеся

$$4) |M_L| = \emptyset, M_{L_0} \neq \emptyset \quad (18)$$

Все варианты системы реализуются на этапе номер L.

Если выполнено условие (15), то выбирается вариант системы, занимающий первое место в кортеже $\frac{1}{p}V$ на начальном этапе.

При выполнении условия (16) из кортежа ${}_p^1V$ удаляются все возможные варианты конструкции системы, соответствующие множеству $M_0 \setminus M_L$.

В случае реализации условия (17) выполняется построение кортежа Парето ${}_{p}^{M_{L_0}}V$ представляющего собой результат анализа систем, входящих в множество $M_L \cup M_{L_0}$. Элемент № 1 данного кортежа является искомым.

Заключение

В ходе проведенного исследования описаны основные подходы к решению задачи выбора оптимального варианта конструкции сложной технической системы в условиях интервальной неопределенности и неполноты информации о значениях параметров и фазовом состоянии. Построенная математическая модель сложной системы в условиях интервальной неопределенности позволяет делать выбор оптимального варианта конструкции системы. Разработанный алгоритм выбора позволяет учитывать наличие разнородных критериев качества, которым должна удовлетворять проектируемая система в условиях неопределенности. В основе данного алгоритма лежат методы гипервекторного ранжирования критериев, а также моделирования сложных систем в условиях интервальной неопределенности.

Список литературы

1. Белкин А.Р., Левин М.Ш. Принятие решений: комбинаторные модели аппроксимации информации. М.: Наука, 1990. 160 с.
2. Гришко А.К. Анализ применения методов и положений теории статистических решений и теории векторного синтеза для задач структурно-параметрической оптимизации // Надежность и качество сложных систем. 2016. № 4 (16). С. 26–34..
3. Grishko A.K. Multi-criteria Optimization of the Structure of Radio-electronic System in Indeterminate Conditions / A.K. Grishko, I.I. Kochegarov, N.V. Goryachev // XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). Russia, May 24–26, 2017. Saint Petersburg, 2017. P. 210–212.

4. Шарый С.П. Конечномерный интервальный анализ. Новосибирск: Издат. XYZ, 2015. 606 с.
5. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 165 с.
6. Воронов Е.М., Карпунин А.А. Многокритериальное комплексирование облика сложной системы управления на основе гипервекторного выбора // Интеллектуальные системы: Тр. Десятого международного симпозиума / Под ред. К. А. Пупкова. М.: РУСАКИ, 2012. С. 338–342.
7. Сафронов В. В. Основы системного анализа: методы многовекторной оптимизации и многовекторного ранжирования: Монография. Саратов: Научная книга, 2009. 329 с.
8. Сафронов В.В., Федорец О.Н. Метод построения эффективных моделей разработки программного обеспечения // Информационные технологии. 2010. №1. С. 34–39.
9. Сафронов В. В. Сравнительная оценка методов «жесткого» ранжирования и анализа иерархий в задаче гипервекторного ранжирования систем // Информационные технологии. 2011. №7. С. 8–13.
10. Гришко А. К. Выбор оптимальной стратегии управления надежностью и риском на этапах жизненного цикла сложной системы // Надежность и качество сложных систем. 2017. № 2 (18). С. 26–31
11. Гришко А.К. Анализ надежности структурных элементов сложной системы с учетом интенсивности отказов и параметрической девиации // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2016. № 3 (19). С. 130–137.
12. Grishko A. Adaptive Control of Functional Elements of Complex Radio Electronic Systems / A. Grishko, N. Goryachev, N. Yurkov // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10, № 23. P. 43842–43845.
13. Ведерников Ю.В. Научно-методический аппарат векторного предпочтения сложных технических систем, характеризующихся показателями качества, заданными в ограниченно-неопределенном виде / Ю.В. Ведерников, В.В. Могиленко // Вопросы современной

- науки и практики. Ун-т им. В.И. Вернадского. Системный анализ. Автоматизированное управление. 2011. № 1 (32). С. 81–96.
14. Ногин В.Д. Сужение множества Парето: аксиоматический подход. М.: Физматлит, 2016. 272 с.
 15. Подиновский В.В, Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. М.: Физматлит, 2007. 256 с.
 16. Katendi B.A., Umnov E.A., Umnov A.E. Optimization of the Shape of the Pareto Set in the Problems of Multi-criterial Programming // Review of Business and Economics Studies. 2018. Vol. 6(1). P. 5-16.
 17. Ногин В.Д. Логическое обоснование принципа Эджворта-Парето // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 2002. Т. 42. №7. С. 951-957.
 18. Березкин В. Е., Каменев Г. К., Лотов А. В. Гибридные адаптивные методы аппроксимации невыпуклой многомерной границы Парето // Ж. вычисл. матем. и матем. физ. 2006. Т. 46. № 11. С. 2009–2023.
 19. Lotov A., Berezkin V., Kamenev G., Miettinen K. Optimal Control of Cooling Process in Continuous Casting of Steel Using a Visualization-Based Multi-Criteria Approach // Applied Mathematical Modelling. 2005. Vol. 29. No. 7. P. 653-672.

References

1. Belkin A. R, Levin M. Sh. *Prinyatie resheniy: kombinatornye modeli approksimatsii informatsii* [Decision making: combinatorial models of information approximation] М.: Nauka, 1990, 160 p.
2. Grishko A. K. Analiz primeneniya metodov i polozheniy teorii statisticheskikh resheniy i teorii vektornogo sinteza dlya zadach strukturno-parametricheskoy optimizatsii [Analysis of the application of methods and provisions of the theory of statistical decisions and the theory of vector synthesis for problems of structural-parametric optimization]. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem* [Reliability and quality of complex systems]. 2016, no. 4 (16), pp. 26–34.
3. Grishko A.K., Kochegarov I.I., Goryachev N.V. Multi-criteria Optimization of the Structure of Radio-electronic System in Indeterminate Conditions. *XX IEEE International Conference on Soft Computing*

- and Measurements (SCM). Russia, May 24–26, 2017. Saint Petersburg, 2017, pp. 210–212.*
4. Sharyy S.P. *Konechnomernyy interval'nyy analiz* [Finite-dimensional interval analysis]. Novosibirsk: Publishing house XYZ, 2015, 606 p.
 5. Zade L.A. *Ponyatie lingvisticheskoy peremennoy i ego primeneniye k prinyatiyu priblizhennykh resheniy* [The concept of a linguistic variable and its application to the adoption of approximate decisions]. M.: Mir, 1976, 165 p.
 6. Voronov E. M., Karpunin A. A. *Mnogokriterial'noe kompleksirovanie oblika slozhnoy sistemy upravleniya na osnove gipervektornogo vybora* [Multi-criteria complexing of the appearance of a complex control system based on hypervector choice]. *Intellektual'nye sistemy: Tr. Desyatogo mezhdunarodnogo simpoziuma* [Intelligent systems: Tr. Tenth International Symposium] / Ed. K. A. Pupkova. M.: RUSAKI, 2012, pp. 338–342.
 7. Safronov V. V. *Osnovy sistemnogo analiza: metody mnogovektornoy optimizatsii i mnogovektornogo ranzhirovaniya*: [Fundamentals of system analysis: methods of multi-vector optimization and multi-vector ranking]. Monograph. Saratov: Nauchnaya kniga, 2009, 329 p.
 8. Safronov V.V. Fedorets O.N. *Metod postroeniya effektivnykh modeley razrabotki programmnoy obespecheniya* [A method for constructing effective models of software development]. *Informatsionnye tekhnologii* [Information technologies], 2010, no. 1, pp.34–39.
 9. Safronov V.V. *Sravnitel'naya otsenka metodov «zhestkogo» ranzhirovaniya i analiza ierarkhiy v zadache gipervektornogo ranzhirovaniya sistem* [Comparative evaluation of methods of “hard” ranking and analysis of hierarchies in the problem of hypervector ranking of systems]. *Informatsionnye tekhnologii* [Information technologies], 2011, no. 7, pp. 8–13.
 10. Grishko A.K. *Vybor optimal'noy strategii upravleniya nadezhnost'yu i riskom na etapakh zhiznennogo tsikla slozhnoy sistemy* [Selection of the optimal strategy for managing reliability and risk at the stages of the life cycle of a complex system]. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem* [Reliability and quality of complex systems]. 2017, no. 2 (18), pp. 26–317.

11. Grishko A.K. Analiz nadezhnosti strukturnykh elementov slozhnoy sistemy s uchetom intensivnosti otkazov i parametricheskoy devyatsii [Reliability analysis of structural elements of a complex system, taking into account the intensity of failures and parametric deviation]. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* [Models, systems, networks in economics, technology, nature and society]. 2016, no. 3 (19), pp.130–137.
12. Grishko A. Adaptive Control of Functional Elements of Complex Radio Electronic Systems / A. Grishko, N. Goryachev, N. Yurkov. *International Journal of Applied Engineering Research*, 2015, vol. 10, no. 23, pp. 43842–43845.
13. Vedernikov Yu.V. Nauchno-metodicheskiy apparat vektornogo predpochteniya slozhnykh tekhnicheskikh sistem, kharakterizuyushchikhsya pokazatelyami kachestva, zadannymi v ogranichenno-neopredelennom vide [Scientific and methodological apparatus of vector preference for complex technical systems characterized by quality indicators specified in a limited-indefinite form] / Yu.V. Vedernikov, V.V. Mogilenko. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki* [Questions of modern science and practice], 2011, no. 1 (32), pp. 81–96.
14. Nogin V.D. *Suzhenie mnozhestva Pareto: aksiomaticheskiy podkhod* [Narrowing the Pareto set: an axiomatic approach]. Moscow: Fizmatlit, 2016, 272 p.
15. Podinovskiy V.V, Nogin V.D. *Pareto-optimal'nye resheniya mnogokriterial'nykh zadach* [Pareto-optimal solutions of multiobjective problems]. M.: Fizmatlit, 2007, 256 p.
16. Katendi B.A., Umnov E.A., Umnov A.E. Optimization of the Shape of the Pareto Set in the Problems of Multi-criterial Programming. *Review of Business and Economics Studies*, 2018, vol. 6(1), pp. 5-16.
17. Nogin V.D. Logicheskoe obosnovanie printsipa Edzhvorta-Pareto [Logical substantiation of the Edgeworth-Pareto principle]. *Zh. vychisl. matem. i matem. fiz.*, 2002, vol. 42, no. 7, pp. 951-957.
18. Berezkin V. E., Kamenev G. K., Lotov A. V. Gibridnye adaptivnye metody approksimatsii nevypukloy mnogomernoy granitsy [Pareto Hybrid adaptive methods for approximating a nonconvex multidimension-

- al Pareto frontier]. Zh. vychisl. matem. i matem. fiz., 2006, vol. 46, no. 11, pp. 2009–2023.
19. Lotov A., Berezkin V., Kamenev G., Miettinen K. Optimal Control of Cooling Process in Continuous Casting of Steel Using a Visualization-Based Multi-Criteria Approach. *Applied Mathematical Modelling*, 2005, vol. 29, no. 7, pp. 653-672.

ДААННЫЕ ОБ АВТОРЕ

Калашников Павел Викторович, младший научный сотрудник
Федеральное государственное учреждение науки Институт автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИАПУ ДВО РАН)
ул. Радио, 5, г. Владивосток, 690041, Российская Федерация
kalashnikovpv@iacp.dvo.ru

DATA ABOUT THE AUTHOR

Pavel V. Kalashnikov, junior researcher
Institute for Automation and Control processes, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences
5, Radio Str., Vladivostok, 690041, Russian Federation
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-5424-1635>
kalashnikovpv@iacp.dvo.ru

Поступила 15.07.2022

После рецензирования 30.07.2022

Принята 02.08.2022

Received 15.07.2022

Revised 30.07.2022

Accepted 02.08.2022

DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-3-109-124

УДК 004.94

ОПТИМИЗАЦИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ В ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ

*Я.Е. Львович, А.П. Преображенский,
Т.В. Аветисян*

Оптимизация транспортной работы необходима при неконтролируемом росте описанных издержек. Процесс оптимизации транспортных расходов на предприятии начинается с анализа текущей логистической стратегии и сбора рекомендаций по ее коррекции. Анализу подвергаются такие аспекты транспортной системы предприятия: способ перемещения грузов; выбор типа транспортного средства и его конкретной модели; подбор компании-перевозчика и прочих логистических посредников; схема расположения складских терминалов компании. Оптимизированная транспортная система позволяет снизить затраты на производство и реализацию продукции, увеличить эффективность работы персонала.

Существует три основных направления, нововведения в которых обеспечат снижение затрат на перевозку грузов и пассажиров: выбор оптимальных транспортных средств, подбор оптимально расположенных разгрузочно-погрузочных пунктов, анализ целесообразности владения собственным парком транспортных средств.

В работе рассматриваются возможности управления транспортными системами при условии внешних воздействий. Приведена иллюстрация схемы алгоритма решения оптимизационной задачи, связанной с выбором начальных действий. Показана возможность применения прогностических моделей.

Предложенные в работе подходы могут быть полезными при улучшении работы различных транспортных систем.

Ключевые слова: транспортная система; управление; оптимизация; организация

OPTIMIZATION AND STATE FORECASTING IN TRANSPORTATION SYSTEMS

*Ya. Ye. Lvovich, A.P. Preobrazhenskiy,
T.V. Avetisyan*

Optimization of transport work is necessary in case of uncontrollable growth of the described costs. The process of optimizing transport costs at the enterprise begins with an analysis of the current logistics strategy and collection of recommendations for its correction. The following aspects of the transport system of the company are subject to analysis: the method of movement of goods; the choice of vehicle type and its specific model; the selection of the carrier company and other logistics intermediaries; the layout of the company's storage terminals. An optimized transport system can reduce the cost of production and sales of products and increase staff efficiency.

There are three main directions in which innovations will ensure the reduction of costs for cargo and passenger transportation: the choice of optimal vehicles, the selection of optimally located unloading and loading points, the analysis of the feasibility of own fleet of vehicles.

The paper considers the possibilities of transport system management under the condition of external influences. An illustration of the algorithm scheme of solving the optimization problem related to the choice of initial actions is given. The possibility of using prognostic models is shown.

The approaches proposed in the work can be useful in improving the performance of various transportation systems.

Keywords: *transport system; management; optimization; organization*

Введение

Внедрение различных электронных справочных систем в настоящее время в транспортной отрасли происходит достаточно регулярным образом. Активным образом применяются системы интеллектуальной поддержки работы специалистов, когда ре-

шаются задачи, связанные с прогнозированием, диагностикой, планированием [1, 2]. В ряде случаев работники сталкиваются с ситуациями, в которых требуется сделать выбор по соответствующему инструментарию, такому, который будет максимальным образом полезен в рассматриваемой ситуации. Для этого необходимо обладать требуемым опытом работы. Такие качества характерны для опытных работников, которые обладают большим стажем практической работы. В этой связи представляет интерес применение новых информационных технологий, чтобы осуществлять формирование технических советующих систем, в них объединяются знания и опыт работников.

Когда разрабатываются компьютерные системы, которые связаны с интеллектуальной поддержкой работы специалистов транспортной отрасли, необходимо обращать внимание на проблемы создания баз знаний. В них входят модели, направленные на принятие оптимальных решений, прогнозирования, диагностику. Поэтому для повышения качества и надежности в вычислительных процедурах необходимо, чтобы были разработаны различные подходы. Должны быть построены прогностические и оптимизационные модели. Реализуется системный анализ по полученным данным. Они предварительным образом обрабатываются. Архивная информация структурируется в рамках единой методики. Для комплексной оценки эффективности достигаемых результатов является весьма важным проведение разработок по интегральным показателям [3].

В анализируемой предметной области существуют проблемы для специфики представления знаний, когда организуются процессы, направленные на оптимальное планирование. Нет количественной оценки по многим показателям. Определенный процент, связанный с ложными измерениями можно встретить в архивной информации. Могут потребоваться свои подходы при рассмотрении конкретных транспортных объектов в силу их неоднородности [4].

При рассмотрении широкого класса задач в транспортных системах можно использовать методы системного анализа и математического моделирования [5].

Целью данной работы является разработка методического подхода для оптимизации и прогнозирования состояния в транспортных системах.

Анализ возможностей оптимизации действий в транспортной системе

Множество различных видов воздействий оказывают влияние на то, как будет сформирован план работ в транспортной системе. Некоторые из воздействий являются между собой несовместимыми. Затраты при этом являются ограниченными. Специалисты стремятся к тому, чтобы обеспечить достижение максимального эффекта. Опыт и интуиция специалиста могут оказывать влияние на то, как будут планироваться различные виды мероприятий в системе. Например, различные схемы действий могут быть применены для одних и тех же ситуаций. Существуют возможности для того, чтобы замещать по каждой из схемы запасные части на основе их аналогов. Они будут отличаться с точки зрения совместимости, стоимости, эффективности. Эффект тех мероприятий, которые планируются, может быть спрогнозирован на базе компьютерных технологий и с привлечением соответствующих математических моделей. При этом план в дальнейшем может быть скорректирован. Понятно, что начальные действия в системе заметным образом будут оказывать влияние на результативность реализуемых схем [6].

Начальный план мероприятий по ремонту в системе может быть автоматизированным образом выбран на основе оптимизационной модели. Альтернативную переменную x_j ($j = \overline{1, n}$) мы соотносим с каждым элементом воздействий в системе. Она будет принимать значение 1, когда применяется такое воздействие, и 0 в противном случае. Вводятся коэффициенты «ценности» a_j и с точки зрения предполагаемого эффекта происходит ранжирование всех воздействий. Совокупность различных мероприятий анализируется и происходит формирование целевой функции:

$$\sum_{j=1}^n a_j x_j \rightarrow \max. \quad (1)$$

С точки зрения затрат должны быть выполнены ограничения

$$\sum_{j=1}^n z_j x_j \leq Z, \quad (2)$$

В ходе моделирования используются z_j – затраты, связанные с j -м воздействием;

Z рассматриваются в виде общих затрат.

Существуют ограничения, связанные с несовместимостью различных мероприятий:

$$x_{j_1}^t + x_{j_2}^t \leq 1; \quad j_1, j_2 = \overline{1, n}, \quad t = \overline{1, T}, \quad (3)$$

В ходе моделирования T рассматривается в виде числа возможных пар таких воздействий, которые являются несовместимыми.

Используются ограничения по взаимозаменяемым запасным частям, которые будут находиться в одной группе,

$$\sum_{i \in R_a} x_i^a \leq 1, \quad a = \overline{1, A}, \quad (4)$$

В ходе моделирования A – число групп, в которые входят несколько запасных частей-аналогов;

R_a – рассматривается в виде совокупности взаимозаменяемых запасных частей, которые относятся к a -й группе.

Могут быть введены дополнительные ограничения

$$\sum_{i \in R_a} x_i^a = 1, \quad a = \overline{1, A} \quad (5)$$

Они используются, если в решении обязательно должен использоваться определенный элемент из каждой группы запасных частей-аналогов. Задача дискретного программирования, связанная с «ранцем», получается как результат формирования модели. Методы многоальтернативной оптимизации применяются для того, чтобы решать эту задачу.

Аналитические зависимости во многих случаях отсутствуют, может быть большая размерность, в зависимостях можно встретиться с их дискретным и нелинейным характером – это относится к характеристикам задач целочисленного программирования.

Следует применять методы оптимизации [7], чтобы решать такие задачи. Тогда можно обеспечить исключение перебора по всем возможным вариантам. Будут учтены особенности таких задач.

Рассмотрим возможности применения метода ветвей и границ для разработки алгоритма решения задачи (1)-(4). При этом оценка по верхней границе целевой функции [8] будет осуществляться простым и эффективным подходом.

Проведем замену Z_j на Z_{1j} , Z на b_1 , $Z_{j_1}^t = 1$, $Z_{j_2}^t = 1$ и $Z_i^a = 1$ на Z_{ij} , $X_{j_1}^t$, $X_{j_2}^t$ и X_i^a на X_i . При этом задачу (1)-(4) представим таким способом:

$$L = \sum_{j=1}^n a_j X_j \rightarrow \max, \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n z_{ij} X_j \leq b_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad (7)$$

$$X_j \in \{0, 1\}, \quad j = \overline{1, n}, \quad (8)$$

в ходе моделирования $m = T+1$, $b_i = 1$ при $i = \overline{2, m}$, при этом $a_j \geq 0$, $z_j \geq 0$.

Введем обозначение U – в виде множества переменных X_j ;

S – считается множеством фиксированных переменных, которые будут входить в допустимое решение;

E_S – рассматривается в виде множества зависимых переменных. Для них нет возможности для включения в множество S , поскольку по ним происходит выполнение неравенства $Z_{ij} > b_i - \sum_{j \in S} z_{ij} X_j$;

G_S – рассматривается в виде множества свободных переменных. На их базе реализуется процесс выбора, чтобы включать в S очередную переменную.

Пусть используется обозначение $h_{ij} = a_j / z_{ij}$, предполагаем, что $x_j \in S$ ($j = 1, \dots, k < n$) и наблюдается выполнение условий

$$h_{ik+1} \geq h_{ik+2} \geq \dots \geq h_{il}, \quad 1 \leq n, \quad i = \overline{1, m}, \quad (9)$$

$$\sum_{j=k+1}^n z_{ij} > b_i - \sum_{x_j \in S} z_{ij}, \quad (10)$$

$$\sum_{j=k+1}^{l-1} z_{ij} \leq b_i - \sum_{x_j \in S} z_{ij} x_j, \quad i = \overline{1, m}. \quad (11)$$

Без того, чтобы нарушать неравенства (7), есть возможности для введения элементов $X_{k+1}, X_{k+2}, \dots, X_{l-1}$ в множество S . Это вытекает из условий (10) и (11). Неравенства (7) не будут выполняться, когда элементы $X_{k+1}, X_{k+2}, \dots, X_l$ будут введены в множество S .

Можно опираться на такое выражение, чтобы определять верхнюю границу в решении

$$H_S = \sum_{x_j \in S} a_j x_j + L_{sM}, \quad (12)$$

с учетом, что

$$L_{sM} = \min\{L_{s1}, L_{s2}, \dots, L_{sm}\}, \quad (13)$$

$$L_{si} = \sum_{j=k+1}^{l-1} a_j + h_{il} \Delta b_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad (14)$$

$$\Delta b_i = b_i - \sum_{x_j \in S} z_{ij} x_j - \sum_{j=k+1}^{l-1} z_{ij}, \quad i = \overline{1, m}. \quad (15)$$

С учетом ограничений

$$\sum_{x_j \in S} z_{ij} x_j \leq b_i - \sum_{x_j \in S} z_{ij} x_j = b_i, \quad i = \overline{1, m},$$

$$x_j \in \{0, 1\}, \quad x_j \in G_S.$$

получается, что L будет не меньше, чем максимальное значение величины $\sum_{x_j \in S} a_j x_j$. Это вытекает из условий (9)-(11).

Проведение выбора по очередной переменной, чтобы включить в множество S , реализуется на базе условия $h_r x_r = \max_{x_j \in G_S} h_{Mj}(x_j)$, в ходе моделирования $h_{Mj}(x_j) = a_j / z_{Mj}$.

Происходит определение величин $H_S(x_r)$ и $\overline{H}_S(x_r)$ при выбранной переменной x_r . Тогда в S будет включено $x_r = 1$ или $x_r = 0$.

Пусть при решении мы встретимся с тем, что внутри множества G_S нет элементов, которые мы можем ввести в множество S без того, чтобы нарушить ограничение (7). Тогда мы можем принять как первое приближенное решение L_0 то решение, которое было получено $L_S = \sum_{x_j \in S} a_j x_j$.

Происходит исключение из последующего рассмотрения всех вершин дерева по возможным вариантам, по которым есть выполнение условий $H_s \leq L_0$.

Из оставшихся ветвей будет сделан выбор ветви с максимальным значением H_s . Процесс, связанный с поиском оптимального варианта будет продолжен. Полученное решение будет приниматься в качестве нового приближенного результата, когда в ходе решения будет определено $L_S = \sum_{x_j \in S} a_j x_j > L_0$.

Когда по всем оставшимся ветвям будет выполнено условие $H_s \leq L_0$, будет завершение вычислительной процедуры.

Проверяются условия (7) после того, как получено новое решение L_s . Достигнутое решение не будет приниматься как новый приближенный результат, если они не будут выполняться.

При построении алгоритма решения учитывается вид оптимизационной модели, позволяющий вести выбор по плану действий [9]. В алгоритме можно указать такие упрощения:

1. Происходит вычисление первого приближенного решения перед тем, как алгоритм начинает работать. Это дает возможности для существенного сокращения последующего поиска. Можно опираться на следующие подходы:

а) в решение будет включаться по одной вершине, которая характеризуется максимальным соотношением «ценность»/«стоимость» по каждому ограничению (4)-(5);

б) по ограничениям (5) по одной вершине, которая характеризуется максимальным соотношением «ценность»/«стоимость» будет включено в решение;

в) в решение будет включено по одной вершине, которая характеризуется минимальной «стоимостью» по каждому ограничению (5).

Если будет выполнено условие (2), то происходит выбор соответствующего метода.

2. Когда в множество S будет включена очередная переменная $x_r=1$, тогда будет проверка условий (3), (4). В случае обнаружения

переменных x_k ($k = \overline{1, K}$), которые стоят в одном ограничении с x_r , тогда будет автоматическое включение переменных $x_k = 0$ в множество S .

На рис. 1 дана иллюстрация схемы алгоритма, позволяющего решать оптимизационную задачу (1)-(5).

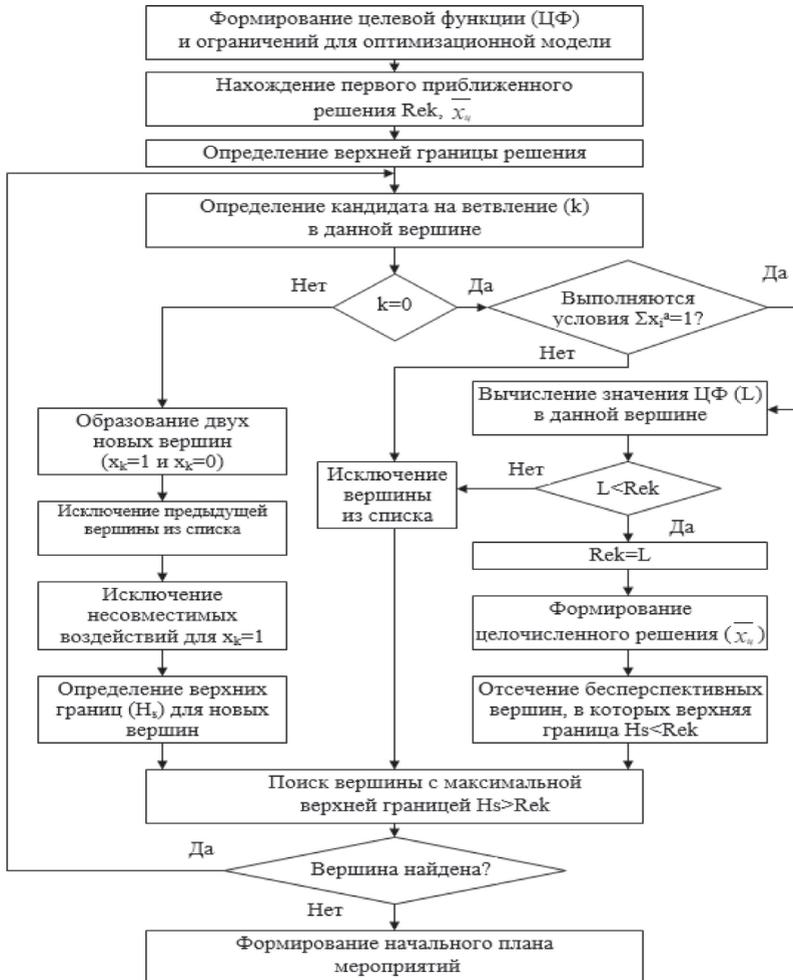


Рис. 1. Иллюстрация схемы алгоритма решения оптимизационной задачи, связанной с выбором начальных действий

Двухуровневые адаптивные алгоритмы могут быть применены в ходе настройки параметров, если при выбранной схеме допустимы изменения в характеристиках действий.

Специалистом происходит выделение ведущего параметра P_B , который будет характеризовать ключевой эффект в ремонте и происходит формулирование цели ремонта: необходима максимальная скорость в изменении показателя, или требуется обеспечение медленного изменения для каждого шага процесса ремонта.

С точки зрения формализованного вида это ведет к тому, что должны выполняться такие условия:

$$F_1 = (P_B - P_{BЖ})^2 = \min, \quad (16)$$

$$F_2 = (P_B^{K-1} - P_B^K)^2 = \min, \quad (17)$$

В ходе моделирования $P_{BЖ}$ – то значение в показателе P_B , которое желает специалист; K – шаг ремонта.

Вероятности P_1 и P_2 настраиваются. Для каждого шага ремонта будет привлекаться критерий (16) или (17). Привлекаются двухуровневые адаптивные алгоритмы [10] на основе суждений специалиста относительно необходимости применения соответствующего критерия на каждом шагу ремонта. При реализации процессов ремонта расчет параметров в j -м воздействии происходит так [10].

1. Если применяется показатель (16):

$$D_j^K = D_j^{K-1} + a^K (P^K - P_{Ж}), \quad (18)$$

С учетом того, что

$$a^K = a^{K-1} e_K \frac{1}{\text{sign}[(P^K - P_{Ж})(P^{K-1} - P_{Ж})]}. \quad (19)$$

2. Если применяется показатель (17):

$$D_j^K = D_j^{K-1} + a^K (P^K - P^{K-1}), \quad (20)$$

с учетом того, что

$$a^K = a^{K-1} e_K \frac{1}{\text{sign}[(P^K - P^{K-1})(P^{K-1} - P^{K-2})]}. \quad (21)$$

Для первого шага величину a^K определяем на основе того, какой будет результат ремонта по при начальном воздействии D_j^0 .

Выбор начального воздействия реализуется при помощи прогнозных моделей, которые дают возможности для учета индивидуальных особенностей анализируемого объекта.

Применение прогностических моделей

Для того, чтобы обучать нейросети в ходе формирования прогностических моделей мы предлагаем применять модифицированный алгоритм обратного распространения (рис. 2). Для него используется инерционное соотношение, позволяющем определять величину шага по каждой из итераций

$$w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \eta g_j x_j' + \alpha (w_{ij}(t) - w_{ij}(t-1)), \quad (22)$$

в указанном выражении α является коэффициентом инерции, $0 \leq \alpha \leq 1$.

Значительным образом может быть обеспечено сокращение скорости обучения за счет указанной модификации. Прогнозирование того, как изменяются параметры объектов, может считаться как одна из важных оценок. Их точность большей частью оказывает влияние на то, как оптимальным образом будут выбираться управляющие воздействия.

Исходное множество объектов [10] разбивается по однородным группам, чтобы повышать точность в прогнозировании. По каждой группе отдельным образом ведется построение прогностических моделей. Если нет возможностей для формирования однородных групп, происходит включение показателей, учитывающие неоднородность ремонтируемых объектов в обобщенную прогностическую модель как дополнительные зависимые переменные. Чтобы выбрать наиболее эффективную тактику при ремонте применяют значения по контролируемым показателям на конец наблюдения для прогностических моделей как зависимых переменных. Независимые переменные рассматриваются в виде значений показателей перед наблюдением.

Есть следующие этапы в алгоритме формирования прогностических моделей.

1. Происходит определение набора показателей X_i ($i = \overline{1, N}$) с использованием опроса экспертов. Тогда можно полным образом дать идентификацию объекта, а также учесть их неоднородности.

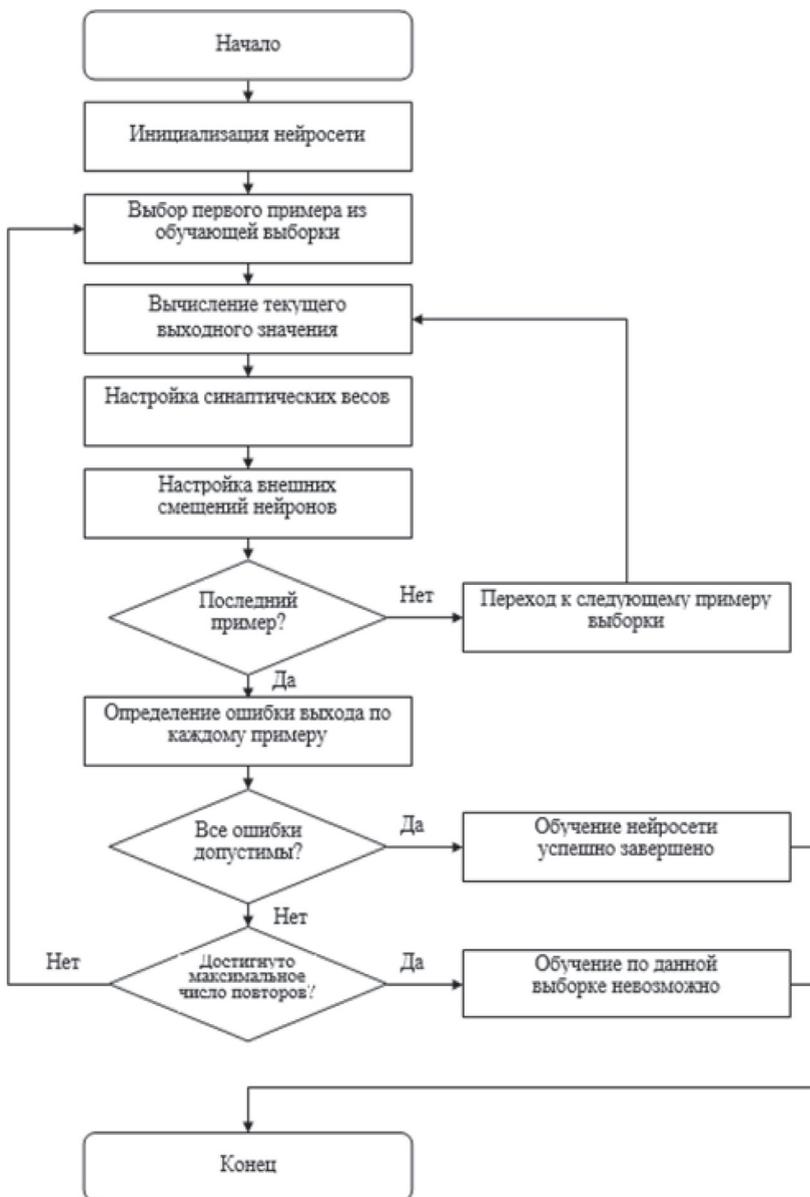


Рис. 2. Алгоритм обучения нейронной сети

2. По контролируемым показателям Y_j ($j = \overline{1, M}$) происходит выделение одного или нескольких. Их изменение важно с точки зрения оценок состояния ремонтируемого объекта позволяет говорить о том, насколько эффективны управляющие воздействия.

3. Фильтрация информации проводится с тем, чтобы отобрать достоверные измерения.

4. Вследствие исключения параметрической избыточности проводится выбор по оптимальному признаковому пространству.

5. Выбирается структура модели.

6. Реализуется процесс построения модели.

7. Модель проверяется с точки зрения адекватности. Алгоритм оканчивается, если модель будет адекватной. В случае неадекватности модели, но есть возможности для ее усложнения – будет переход к п.5, в противном случае требуется проведение корректировки в исходной выборке.

Выводы

В работе получены результаты, которые имеют значение для повышения эффективности управления современными транспортными системами. На основе разработанного алгоритма существует возможность оптимизации осуществляемых действий. Показан алгоритм, позволяющий осуществлять процессы прогнозирования.

Список литературы

1. Львович К.И. Управление эффективностью деятельности персонала в условиях цифровой трансформации организационных систем // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2020. Т. 8. № 3 (30). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2020.30.3.039>
2. Львович Я.Е., Преображенский А.П., Преображенский Ю.П. Анализ некоторых проблем оптимального управления в сложных системах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 2 (41). С. 93-95.

3. Preobrazhenskiy Yu.P., Chuprinskaya Yu.L., Ruzhicky E. The problems of process control in computer systems // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 1 (40). С. 92-94.
4. Чупринская Ю.Л., Линкина А.В. Краткий обзор современных технологических трендов в контексте цифровой трансформации // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 1 (40). С. 107-109.
5. Миркина О.Н. Состояние транспортной отрасли России и основные тенденции её развития // International Journal of Advanced Studies. 2022. Т. 12. № 1. С. 104-122.
6. Семенова Е.В. Основы безопасности формирования железнодорожных составов // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 2 (41). С. 13-16.
7. Воронов А.А., Блинов Р.А., Смирнов А.О., Иванов П.Т., Александров А.А. Применение методов системного анализа для повышения эффективности работы транспортных предприятий // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 1 (40). С. 114-117.
8. Рихтер Т.В., Белоус А.В. Автоматизация процесса учета оборудования на предприятии // International Journal of Advanced Studies. 2022. Т. 12. № 2. С. 69-85.
9. Зотова В.А., Тихонова Н.А., Феофанова Т.Д. Техническое состояние транспортных средств и его изменение в процессе эксплуатации // International Journal of Advanced Studies. 2021. Т. 11. № 3. С. 76-82.
10. Прохорова О.К., Куршин И.А., Прохорова А.Е. Методические подходы к оценке конкурентных преимуществ организации // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2022. № 2 (41). С. 146-150.

References

1. L'vovich K.I. *Modelirovanie, optimizaciya i informacionnye tekhnologii*, 2020, vol. 8, no. 3 (30). <https://doi.org/10.26102/2310-6018/2020.30.3.039>

2. L'vovich YA.E., Preobrazhenskij A.P., Preobrazhenskij YU.P. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokih tekhnologij*, 2022, no. 2 (41), pp. 93-95.
3. Preobrazhenskij Yu.P., Chuprinskaya Yu.L., Ruzhicky E. The problems of process control in computer systems. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokih tekhnologij*, 2022, no. 1 (40), pp. 92-94.
4. CHuprinskaya YU.L., Linkina A.V. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokih tekhnologij*, 2022, no. 1 (40), pp. 107-109.
5. Mirkina O.N. *International Journal of Advanced Studies*, 2022, vol. 12, no. 1, pp. 104-122.
6. Semenova E.V. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokih tekhnologij*, 2022, no. 2 (41), pp. 13-16.
7. Voronov A.A., Blinov R.A., Smirnov A.O., Ivanov P.T., Aleksandrov A.A. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokih tekhnologij*, 2022, no. 1 (40), pp. 114-117.
8. Rihter T.V., Belous A.V. *International Journal of Advanced Studies*, 2022, vol. 12, no. 2, pp. 69-85.
9. Zotova V.A., Tihonova N.A., Feofanova T.D. *International Journal of Advanced Studies*, 2021, vol. 11, no. 3, pp. 76-82.
10. Prohorova O.K., Kurshin I.A., Prohorova A.E. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokih tekhnologij*, 2022, no. 2 (41), pp. 146-150.

ДААННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Львович Яков Евсеевич, профессор, доктор технических наук,
профессор

*Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего образования Воронежский государственный
технический университет*

*ул. 20 лет Октября, 84, г. Воронеж, 394006, Российская Фе-
дерация*

Komkovvivi@yandex.ru

Преображенский Андрей Петрович, профессор, доктор техни-
ческих наук, доцент

*Автономная некоммерческая образовательная организация
высшего образования Воронежский институт высоких тех-
нологий
ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Российская Федерация*

Аветисян Татьяна Владимировна, старший преподаватель
*Автономная некоммерческая образовательная организация
высшего образования Воронежский институт высоких тех-
нологий
ул. Ленина, 73а, г. Воронеж, 394043, Российская Федерация*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Yakov Ye. Lvovich, Professor, doctor of technical Sciences, Professor
*Voronezh State Technical University
84, 20 years of October Str., Voronezh, 394006, Russian Fede-
ration
Komkovvvt@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7051-3763>*

Andrey P. Preobrazhenskiy, professor, doctor of technical sciences,
associate professor
*Voronezh Institute of High Technologies
73a, Lenin Str., Voronezh, 394043, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6911-8053>*

Tatiana V. Avetisyan, Senior Lecturer
*Voronezh Institute of High Technologies
73a, Lenin Str., Voronezh, 394043, Russian Federation
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3559-6070>*

Поступила 15.09.2022
После рецензирования 20.09.2022
Принята 28.09.2022

Received 15.09.2022
Revised 20.09.2022
Accepted 28.09.2022

DOI: 10.12731/2227-930X-2022-12-3-125-137

УДК 004.93

СИСТЕМА ВЕДЕНИЯ ОНЛАЙН СТАТИСТИКИ УЧАСТНИКОВ В МЕССЕНДЖЕРЕ DISCORD ПОСРЕДСТВОМ PYTHON И POSTGRESQL

*Р.Р. Крапивин, Л.М. Ахметов,
М.Р. Хамидуллин, Г.А. Гареева*

Актуальность рассматриваемой темы обусловлена тем, что в одном из сообществ Discord канала была необходимость по сбору активности участников канала за определенное время и продолжительность.

Для решения этой задачи было принято решение разработать базу данных и специального бота, для взаимодействия с этой базой данных и API Discord для выполнения сбора информации.

Цель – разработка системы для анализа, сбора и вывода информации по активности участников, разработка базы данных для хранения всей информации.

Метод или методология проведения работы: в статье рассмотрен проект по сбору, хранению и выводу информации об активности участников.

Результаты: разработан Discord бот на Python, который ведет статистику по активности участников канала, разработана база данных на PostgreSQL, в которой хранятся данные по всем участникам и их активности.

Область применения результатов: функционал бота можно использовать для менеджмента участников канала, выделения самых активных и их поощрения.

Ключевые слова: Discord; Python; PostgreSQL; статистика; API; база данных

ONLINE STATISTICS SYSTEM FOR PARTICIPANTS IN THE DISCORD MESSENGER USING PYTHON AND POSTGRESQL

*R.R. Krapivin, L.M. Akhmetov,
M.R. Khamidullin, G.A. Gareeva*

The relevance of the topic under consideration is since in one of the Discord channel communities there was a need to collect the activity of channel members for a certain time and duration.

To solve this problem, it was decided to develop a database and a special bot to interact with this database and the Discord API to collect information.

The goal: *development of a system for analyzing, collecting, and displaying information on the activity of participants, developing a database to store all information.*

The method or methodology of the work: *the article considers a project for collecting, storing, and displaying information about the activity of participants.*

Results: *a Python discord bot was developed that keeps statistics on the activity of channel members, a PostgreSQL database was developed that stores data on all participants and their activity.*

Scope of the results: *the functionality of the bot can be used to manage channel members, highlight the most active and allocate incentives for greater activity*

Keywords: *Discord; Python; PostgreSQL; Statistics; API; Database*

Введение

В данной статье рассматривается разработка бота для мессенджера Discord, ведущего статистику активности участников и разработка базы данных на PostgreSQL.

Данную разработку целесообразно для менеджмента участников канала для выделения самых активных участников игровых

событий в определенное время для поощрения большей активности на канале.

В течение дня это событие возникает в 7, 16, 21 и 23 часа и продолжается ровно час. В эти часы бот просматривает кто находится в голосовых каналах и запоминает это. После чего бот выводит отчет и графики о прошедшем событии, а именно какое количество минут и в какое время участники присутствовали.

Материалы и методы

Для правильной работы бота необходимо:

- Наличие библиотек;
- Наличие базы данных;
- Присутствие бота на нужном Discord канале сообщества;
- Наличие хостинга, где будет расположен бот и база данных.

При разработке использовались следующие библиотеки Python, представленные на рисунке 1.

```
from asyncio.tasks import sleep
import requests
import discord
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib import rcParams
from discord.ext import commands, tasks
import datetime
from matplotlib import font_manager as fm, rcParams
import psycpg2
import asyncio
import random
import json
```

Рис. 1. Библиотеки Python

В начале каждого события бот просматривает определенные голосовые каналы Discord сервера на наличие участников [4, 8]. Когда бот замечает присутствие, запоминается уникальный

идентификатор и присваивается минута активности, к примеру участник появился в голосовом канале в 16:14, эти данные запоминаются и записываются в базу данных при каждой проверке наличия участников. Чтобы избежать дубликатов, бот проверяет их наличие в базе данных, и при необходимости обновляет или добавляет информацию [1]. Схема цикла изображена на рисунке 2.

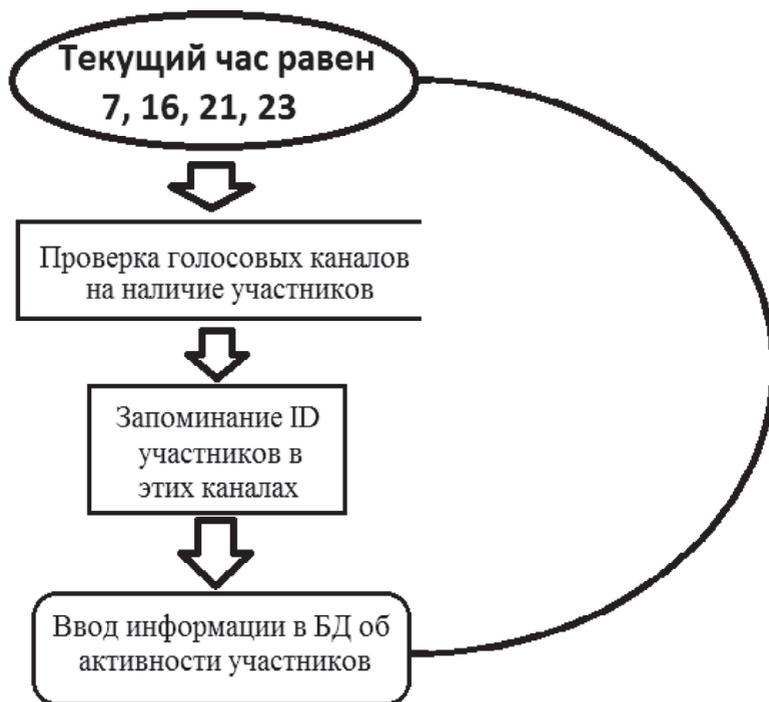


Рис. 2. Схема работы цикла

На рисунке 3 представлен участок кода, который просматривает голосовые каналы и вводит информацию в БД, где цикл повторяется каждые 5 секунд.

После окончания события, бот автоматически формирует график активности по этому событию[2,6]. Для формирования графика используется библиотека `matplotlib`. Для получения данных

по прошедшему событию, используется запрос в БД (рис. 5). По этим данным формируется график активности (рис. 4)

```

for voice_channel in voice_channel_list: # Записывает ID голосовых каналов, в которых будут собираться участники
    if 'БЗС' in str(voice_channel):# При наличии слова "БЗС", этот голосовой канал запоминается для мониторинга
        All_BZS_Channel.append(voice_channel.id)

for Channel_BZS in All_BZS_Channel:# Анализирует каждый голосовой канал
    ID_list = agent.get_channel(Channel_BZS).voice_states.keys()# Получет ID пользователей находящихся в голосовом
    for ID_User in ID_list:
        All_users_id.append(ID_User)# Добавляет Имя участника в общий список All_users
    add_info_in_table(All_users_id, conn, cursor)# Внесение информации об активности участников в БД

```

Рис. 3. Проверка наличия онлайн участников

```

@tasks.loop(seconds = 20)
async def send_itog_everbzs():
    to_time = datetime.datetime.now().strftime("%H:%M")
    if (to_time == '00:01' or to_time == '17:01' or to_time == '22:01' or to_time == '00:01'):
        channel_statistic = agent.get_channel(844548552864563200) # канал, в который будут отправлены графики статистики
        channel_bzs = agent.get_channel(803750654589665300) # второй канал, в который будут отправлены графики статистики
        now = datetime.datetime.now() # Берется текущее время
        to_day = (now - datetime.timedelta(hours=1)).strftime("%Y-%m-%d") # Берется текущая дата, с вычитом часа
        hour = int((now - datetime.timedelta(hours=1)).strftime("%H"))# Берется прошлый час
        title_print = f'БЗС: {to_day} время: {hour} час(ов)' # Формирование заголовка
        emb = discord.Embed( # Формирование embed, это такой тип класса, в котором удобно выводить информацию
            title = title_print,
            colour = discord.Color.blue())
        rows = try_conn(name_table, to_day, hour) # Выполняется запрос в БД, с текущей датой и часом
        if rows != []: # Если в результате запроса нет никаких данных, задача прекращается
            all_img = create_graf_info(rows) # формирование графиков
            await channel_statistic.send(embed = emb) # отправка заголовка
            await channel_statistic.send(files = all_img)# отправка статистики
            all_img = create_graf_info(rows)
            await channel_bzs.send(embed = emb)
            await channel_bzs.send(files = all_img)
        await agent.change_presence(activity=discord.Activity(type=discord.ActivityType.watching, name="АНИМЕ"))
        await asyncio.sleep(61)

```

Рис. 4. Функция по выводу статистики после события

Запрос на получение активности всех участников на указанную дату представлен на рисунке 4.

```

def try_conn(name_table, to_day, hour):
    conn = init_bd()
    cursor = conn.cursor()
    cursor.execute(f"SELECT * FROM {name_table} WHERE DATA_BZS = '{to_day}' and HOUR = '{hour}';")
    rows = cursor.fetchall()
    conn.close()
    return rows

```

Рис. 5. Запрос, который заполняется в Python и отправляется на выполнение в PostgreSQL

Для получения информации по всей активности за последнюю неделю, используется запрос в базу данных показанный на рисунке 6.

```

def get_rows_week():
    conn = init_bd()
    cursor = conn.cursor()
    cursor.execute(f""" SELECT player_id, SUM(ARRAY_LENGTH(score,1)) AS bzs_sum FROM (name_table) WHERE
    data_bzs BETWEEN (NOW() - '7 days'::INTERVAL)::DATE AND NOW()::DATE GROUP BY player_id""")
    rows = cursor.fetchall()
    conn.close()
    return rows

```

Рис. 6. Запрос на получение активности всех участников за неделю

Для хранения данных была выбрана база данных PostgreSQL. PostgreSQL является реляционной базой данных, она подходит для реализации функционала хранения информации по активности. База данных состоит из 1 главной таблицы, показанной на рисунке 7.

id	player_id	score	data_bzs	hour	
[PK] integer	bigint	integer[]	date	integer	
1	2445	369427180834521100	{0,1,2,3,4,5,6,7}	2021-12-04	16
2	2444	552061405910532116	{15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32,33}	2021-11-30	16
3	2443	201783737631899648	{24,25,26,27,28,29,30,31}	2021-11-28	16
4	2442	518825460986019855	{33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51}	2021-11-28	16
5	2441	369427180834521100	{41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59}	2021-11-28	16
6	2440	246659285885386753	{44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59}	2021-11-27	16
7	2439	518825460986019855	{0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20,21,22}	2021-11-27	16
8	2438	518825460986019855	{29}	2021-11-26	23
9	2437	425312253026500628	{32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50}	2021-11-26	16
10	2436	369427180834521100	{32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,47,48,49,50}	2021-11-26	16
11	2435	552061405910532116	{0,1,2,3,4,5,6}	2021-11-25	21
12	2434	518064875411341353	{41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59}	2021-11-25	16
13	2433	425312253026500628	{41,42,43,44,45,46,47,48,49,50,51,52,53,54,55,56,57,58,59}	2021-11-25	16
14	2432	201783737631899648	{0,1,2,3,4,5,6}	2021-11-25	16
15	2431	518825460986019855	{14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24,25,26,27,28,29,30,31,32}	2021-11-25	16

Рис. 7. База данных PostgreSQL

Таблица состоит из следующих столбцов, где:

- `player_id` – это идентификационный номер пользователя в Discord
- `score` – массив, в котором хранятся минуты онлайн
- `data_bzs` – это день когда был пользователь был онлайн
- `hour` – час это в какой именно час были в онлайн

Результаты

В результате сбора информации во время события, бот формирует график активности всех участников, которые на нем присутствовали, используя запрос в базе данных. Пример графика показан на рисунке 8, где ось X – это минутная полоса, ось Y – это полоса активности, над графиком указано имя участника канала, который присутствовал на событии [7].



Рис. 8. График с данными о событии

Бот формирует еженедельный отчет, который отправляется в понедельник после 00:00 по МСК. В нем отображены имена участников Discord канала, имена аккаунтов и их суммарное присутствие на событиях за всю неделю, так же бот показывает всех участников, которые ни разу не присутствовали во время события. Пример отчета показан на рисунке 9.



Рис. 9. Отчет по участникам за неделю

Выводы

Был разработан Discord бот на Python, который ведет статистику по активности участников канала, разработана база данных на PostgreSQL, в которой хранятся данные по всем участникам и их активности, для взаимодействия с базой данных, используется библиотека psycorg2, разработан статистический вывод данных в виде отчетов и графиков, использующий

графические инструменты из библиотеки matplotlib. Функционал бота можно использовать для поощрения самых активных участников событий или для отслеживания неактивных, повышая менеджмент активности Discord сообщества. Бот размещен на хостинге Heroku там же и расположена база данных. В будущем, функционал бота можно расширить, добавив возможность вывода активности отдельно взятых участников, указывая интересующую дату или период [10].

Список литературы

1. Khamidullin M.R., Mardanshin R.G., Prozorov A.V., Karimov R.I. The Introduction of QR-Codes in Production Processes // Journal of Environmental Treatment Techniques. 2019, Special Issue on Environment, Management and Economy. P. 1097-1100.
2. Akhmetov L.M., Bikov D.I., Khamidullin M.R., Gareeva G.A., Gabdullina G.K. Development of a system for analyzing and unloading road traffic using artificial intelligence // Journal of Physics: Conference Series, 2021, vol. 2094. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/2094/3/032036>
3. Ахметов Л.М. Разработка системы анализа влажности и температуры в помещении на базе микроконтроллера // Инновационные технологии, экономика и менеджмент в промышленности: сборник научных статей IV международной научной конференции. 22-23 апреля 2021 г. Часть 1.: материалы конференции. Волгоград: ООО «Конверт», 2021. 248 с.
4. Ахметов Л.М., Биков Д.И., Хамидуллин М.Р. Разработка системы для анализа и разгрузки дорожного трафика с применением искусственного интеллекта // International Journal of Advanced Studies, 2021, vol. 11(1), pp. 87-98.
5. Биков Д.И., Насибулин Р.О., Гареева Г.А. Потенциал и перспективы использования технологии интернет вещей // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сборник научных статей международной научной конференции. 30-31 января 2021 г. Казань: ООО «Конверт», 2021. С.188-189.

6. Бич, Мартин. Микроконтроллеры семейства XC166. Вводный курс разработчика / Мартин Бич, Дэвид Гринхилл. М.: ДМК Пресс, Додэка XXI, 2016. 200 с.
7. Кечиев Л.Н. IBIS-модели и их применение в задачах ЭМС. М.: Грифон, 2016. 638 с.
8. Крапивин Р.Р., Гареева Г.А. Получение доступа к данным путем авторизации в аккаунт с помощью библиотеки Requests в языке Python // Инновационные технологии, экономика и менеджмент в промышленности: сборник научных статей IV международной научной конференции. 22-23 апреля 2021 г. Часть 1. Волгоград: ООО «Конверт», 2021. С. 206-208.
9. Правоткин И.А. Настройка и запуск программ на Python на удалённом хостинге // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности сборник научных статей по итогам двенадцатой международной научной конференции. Казань: ООО «Конверт», 2020. С. 78-80.
10. Тугов В.В. Проектирование автоматизированных систем управления : учебное пособие / В.В. Тугов, А.И. Сергеев, Н.С. Шаров. Санкт-Петербург: Лань, 2019. 172 с.

References

1. Khamidullin M.R., Mardanshin R.G., Prozorov A.V., Karimov R.I. The Introduction of QR-Codes in Production Processes. *Journal of Environmental Treatment Techniques*. 2019, *Special Issue on Environment, Management and Economy*, pp. 1097-1100.
2. Akhmetov L.M., Bikov D.I., Khamidullin M.R., Gareeva G.A., Gabdullina G.K. Development of a system for analyzing and unloading road traffic using artificial intelligence. *Journal of Physics: Conference Series*, 2021, vol. 2094. <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/2094/3/032036>
3. Akhmetov L.M. *Innovatsionnye tekhnologii, ekonomika i menedzhment v promyshlennosti: sbornik nauchnykh statey IV mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. 22-23 aprelya 2021 g. Chast' 1.: materialy konferentsii* [Innovative technologies, economics and management in

- industry: collection of scientific articles of the IV international scientific conference. April 22-23, 2021 Part 1: conference proceedings]. Volgograd: Envelope LLC, 2021, 248 p.
4. Akhmetov L.M., Bikov D.I., Khamidullin M.R. *International Journal of Advanced Studies*, 2021, vol. 11(1), pp. 87-98.
 5. Bikov D.I., Nasibulin R.O., Gareeva G.A. *Prioritetnye napravleniya innovatsionnoy deyatel'nosti v promyshlennosti: sbornik nauchnykh statey mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. 30-31 yanvarya 2021 g* [Priority areas of innovative activity in industry: collection of scientific articles of the international scientific conference. January 30-31, 2021]. Kazan: Envelope LLC, 2021, pp.188-189.
 6. Beach, Martin. *Mikrokontrollery semeystva XC166. Vvodnyy kurs razrabotchika* [Microcontrollers of the XC166 family. Introductory Developer Course] / Martin Beach, David Greenhill. M.: DMK Press, Dodeka XXI, 2016, 200 p.
 7. Kechiev L.N. *IBIS-modeli i ikh primenenie v zadachakh EMS* [IBIS-models and their application in EMC problems]. M.: Grifon, 2016, 638 p.
 8. Krapivin R.R., Gareeva G.A. *Innovatsionnye tekhnologii, ekonomika i menedzhment v promyshlennosti: sbornik nauchnykh statey IV mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. 22-23 aprelya 2021 g. Chast' I* [Innovative technologies, economics and management in industry: collection of scientific articles of the IV international scientific conference. April 22-23, 2021 Part 1]. Volgograd: Envelope LLC, 2021, pp. 206-208.
 9. Pravotkin I.A. *Prioritetnye napravleniya innovatsionnoy deyatel'nosti v promyshlennosti sbornik nauchnykh statey po itogam dvenadtsatoy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Priority areas of innovative activity in the industry. Collection of scientific articles following the results of the twelfth international scientific conference]. Kazan: Envelope LLC, 2020, pp. 78-80.
 10. Tugov V.V. *Proektirovanie avtomatizirovannykh sistem upravleniya : uchebnoe posobie* [Design of automated control systems: textbook] / V.V. Tugov, A.I. Sergeev, N.S. Sharov. St. Petersburg: Lan, 2019, 172 p.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ**Крапивин Роман Русланович**, студент

*Набережночелнинский филиал Казанского национального
исследовательского технического университета им. А.Н.
Туполева
Академика Королева, 1, г. Набережные Челны, 423814, Рос-
сийская Федерация
Jerichotyrant1@yandex.ru*

Ахметов Линар Марселевич, студент

*Набережночелнинский филиал Казанского национального
исследовательского технического университета им. А.Н.
Туполева
Академика Королева, 1, г. Набережные Челны, 423814, Рос-
сийская Федерация
diobrandmayer@gmail.com*

Хамидуллин Марат Раисович, доцент, кандидат экономических наук

*Набережночелнинский филиал Казанского национального
исследовательского технического университета им. А.Н.
Туполева
Академика Королева, 1, г. Набережные Челны, 423814, Рос-
сийская Федерация
наука_prom@mail.ru*

Гареева Гульнара Альбертовна, доцент, кандидат педагогиче-ских наук

*Набережночелнинский филиал Казанского национального
исследовательского технического университета им. А.Н.
Туполева
Академика Королева, 1, г. Набережные Челны, 423814, Рос-
сийская Федерация
gagareeva1977@mail.ru*

DATA ABOUT THE AUTHORS

Roman R. Krapivin, student

*Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI, Branch in Naberezhnye Chelny
1, Akademika Koroleva Str., Naberezhnye Chelny, 423814, Russian Federation
Jerichotyrant1@yandex.ru*

Linar M. Akhmetov, student

*Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI, Branch in Naberezhnye Chelny
1, Akademika Koroleva Str., Naberezhnye Chelny, 423814, Russian Federation
diobrandmayer@gmail.com*

Marat R. Khamidullin, PhD

*Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI, Branch in Naberezhnye Chelny
1, Akademika Koroleva Str., Naberezhnye Chelny, 423814, Russian Federation
nayka_prom@mail.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3326-0955>*

Gulnara A. Gareeva, PhD

*Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI, Branch in Naberezhnye Chelny
1, Akademika Koroleva Str., Naberezhnye Chelny, 423814, Russian Federation
gagareeva1977@mail.ru*

Поступила 10.05.2022

После рецензирования 25.05.2022

Принята 30.05.2022

Received 10.05.2022

Revised 25.05.2022

Accepted 30.05.2022

AUTHOR GUIDELINES

<http://ijournal-as.com/>

Volume of the manuscript: 7-24 pages A4 format, including tables, figures, references; for post-graduates pursuing degrees of candidate and doctor of sciences – 7-10.

Margins all margins – 20 mm each

Main text font Times New Roman

Main text size 14 pt

Line spacing 1.5 interval

First line indent 1,25 cm

Text align justify

Automatic hyphenation turned on

Page numbering turned off

Formulas in formula processor MS Equation 3.0

Figures in the text

References to a formula (1)

Article structure requirements

TITLE (in English)

Author(s): surname and initials (in English)

Abstract (in English)

Keywords: separated with semicolon (in English)

Text of the article (in English)

1. Introduction.

2. Objective.

3. Materials and methods.

4. Results of the research and Discussion.

5. Conclusion.

6. Conflict of interest information.

7. Sponsorship information.

8. Acknowledgments.

References

References text type should be Chicago Manual of Style

DATA ABOUT THE AUTHORS

Surname, first name (and patronymic) in full, job title, academic degree, academic title

Full name of the organization – place of employment (or study) without compound parts of the organizations' names, full registered address of the organization in the following sequence: street, building, city, postcode, country

E-mail address

SPIN-code in SCIENCE INDEX:

ORCID:

ResearcherID:

Scopus Author ID:

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

<http://ijournal-as.com/>

Объем статей: 7-12 страницы формата А4, включая таблицы, иллюстрации, список литературы; для аспирантов и соискателей ученой степени кандидата наук – 7-9. Рукописи большего объема принимаются по специальному решению Редколлегии.

Поля все поля – по 20 мм.

Шрифт основного текста Times New Roman

Размер шрифта основного текста 14 пт

Межстрочный интервал полуторный

Отступ первой строки абзаца 1,25 см

Выравнивание текста по ширине

Автоматическая расстановка переносов включена

Нумерация страниц не ведется

Формулы в редакторе формул MS Equation 3.0

Рисунки по тексту

Ссылки на формулу (1)

Обязательная структура статьи

УДК

ЗАГЛАВИЕ (на русском языке)

Автор(ы): фамилия и инициалы (на русском языке)

Аннотация (на русском языке)

Ключевые слова: отделяются друг от друга точкой с запятой (на русском языке)

ЗАГЛАВИЕ (на английском языке)

Автор(ы): фамилия и инициалы (на английском языке)

Аннотация (на английском языке)

Ключевые слова: отделяются другот друга точкой с запятой (на английском языке)

Текст статьи (на русском языке)

1. Введение.

2. Цель работы.

3. Материалы и методы исследования.

4. Результаты исследования и их обсуждение.

5. Заключение.

6. Информация о конфликте интересов.

7. Информация о спонсорстве.

8. Благодарности.

Список литературы

Библиографический список по ГОСТ Р 7.05-2008

References

Библиографическое описание согласно требованиям журнала

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Фамилия, имя, отчество полностью, должность, ученая степень, ученое звание

Полное название организации – место работы (учебы) в именительном падеже без составных частей названий организаций, полный юридический адрес организации в следующей последовательности: улица, дом, город, индекс, страна (на русском языке)

Электронный адрес

SPIN-код в SCIENCE INDEX:

DATA ABOUT THE AUTHORS

Фамилия, имя, отчество полностью, должность, ученая степень, ученое звание

Полное название организации – место работы (учебы) в именительном падеже без составных частей названий организаций, полный юридический адрес организации в следующей последовательности: дом, улица, город, индекс, страна (на английском языке)

Электронный адрес

СОДЕРЖАНИЕ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОПУСКА ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ ПОЕЗДОВ НА ПРОПУСКНУЮ И ПРОВОЗНУЮ СПОСОБНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЧАСТКОВ ПРИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТЯГЕ <i>В.В. Широкова, Н.А. Кузьмина, Т.А. Одуденко, Г.В. Санькова</i>	7
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ РИСКАМИ, ВОЗНИКАЮЩИМИ ПРИ ФУНКЦИОНИРОВАНИИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ОТВЕТСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ, В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИНФОРМАЦИИ О ЗНАЧЕНИЯХ ПАРАМЕТРОВ И ФАЗОВОМ СОСТОЯНИИ <i>П.В. Калашников</i>	22
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ КУЗОВА АВТОМОБИЛЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ РАБОЧИХ И ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ НАГРУЗОК <i>В.А. Ксенофонтова, Л.А. Кияшко</i>	40
ПЕРЕВОЗКА УГЛЯ МОРСКИМ ТРАНСПОРТОМ И РИСКИ СВЯЗАННЫЕ С ЕГО ПЕРЕВОЗКОЙ <i>С.Ю. Николашин, Т.Р. Хабиров</i>	51
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАЯЛЬНОГО СПЛАВА CuMnCO ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ АДГЕЗИОННОГО СЛОЯ, СЛОИСТОГО КОМПОЗИТНОГО ПОКРЫТИЯ (CuMnCO-TiNIZR) ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ ГАЗОПЛАМЕННЫМ НАПЫЛЕНИЕМ С ФИНИШНОЙ ТВЧ ОБРАБОТКОЙ ПОКРЫТИЕ (CuMnCO- TiNIZR)-ПОДЛОЖКА (СТ.45) ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ АДГЕЗИИ <i>Э.Ю.О. Балаев, Д.А. Клепиков, В.Н. Елисеев, Г.В. Шилов</i>	66

РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТА ПРИНЯТИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ИНВЕСТИРОВАНИЯ <i>Р.Р. Крапивин, Г.Р. Гумерова, Г.А. Гареева, Р.Р. Басыров</i>	83
ЗАДАЧА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА КОНСТРУКЦИИ СЛОЖНОЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ ИНТЕРВАЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ <i>П.В. Калашиников</i>	94
ОПТИМИЗАЦИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ В ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМАХ <i>Я.Е. Львович, А.П. Преображенский, Т.В. Аветисян</i>	109
СИСТЕМА ВЕДЕНИЯ ОНЛАЙН СТАТИСТИКИ УЧАСТНИКОВ В МЕССЕНДЖЕРЕ DISCORD ПОСРЕДСТВОМ PYTHON И POSTGRESQL <i>Р.Р. Крапивин, Л.М. Ахметов, М.Р. Хамидуллин, Г.А. Гареева</i>	125
ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ	138

CONTENTS

STUDY OF THE INFLUENCE OF THE PASSAGE OF HEAVY TRAINS ON THE THROUGHPUT AND CARRYING CAPACITY OF RAILWAY SECTIONS WITH ELECTRIC TRAIN TRACTION <i>V.V. Shirokova, N.A. Kuzmina, T.A. Odudenko, G.V. Sankova</i>	7
MATHEMATICAL MODEL OF RISK CONTROL ARISING FROM THE FUNCTIONING OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS FOR CRITICAL PURPOSES IN CONDITIONS OF UNCERTAINTY OF INFORMATION ABOUT THE VALUES OF PARAMETERS AND THE PHASE STATE <i>P.V. Kalashnikov</i>	22
MODELING BEHAVIOR OF CAR BODY STRUCTURAL ELEMENTS UNDER THE IMPACT OF WORKING AND EXTREME LOADS <i>L.A. Kiyashko, V.A. Ksenofontova</i>	40
TRANSPORTATION OF COAL BY SEA AND RISKS ASSOCIATED WITH ITS TRANSPORTATION <i>S.Yu. Nikolashin, T.R. Khabirov</i>	51
THE USE OF CUMNCO BRAZING ALLOY FOR THE FORMATION OF AN ADHESIVE LAYER, LAYERED COMPOSITE COATING (CUMNCO-TINIZR) BY HIGH-SPEED FLAME SPRAYING WITH FINISHING HIGH FREQUENCY CURRENTS (HFC) TREATMENT COATING (CUMNCO- TINIZR)-SUBSTRATE (ST45) TO INCREASE ADHESION <i>E.Yu.O. Balaev, D.A. Klepikov, V.N. Eliseev, G.V. Shilov</i>	66

DEVELOPMENT OF A TOOL FOR MAKING EFFECTIVE DECISIONS IN THE FIELD OF INVESTMENT <i>R.R. Krapivin, G.R. Gumerova, G.A. Gareeva, R.R. Basyrov</i>	83
THE PROBLEM OF CHOOSING THE OPTIMAL DESIGN OPTION FOR A COMPLEX SYSTEM UNDER CONDITIONS OF INTERVAL UNCERTAINTY <i>P.V. Kalashnikov</i>	94
OPTIMIZATION AND STATE FORECASTING IN TRANSPORTATION SYSTEMS <i>Ya.Ye. Lvovich, A.P. Preobrazhenskiy, T.V. Avetisyan</i>	109
ONLINE STATISTICS SYSTEM FOR PARTICIPANTS IN THE DISCORD MESSENGER USING PYTHON AND POSTGRESQL <i>R.R. Krapivin, L.M. Akhmetov, M.R. Khamidullin, G.A. Gareeva</i>	125
RULES FOR AUTHORS	138

Доступ к журналу

Доступ ко всем номерам журнала –
постоянный, свободный и бесплатный.
Каждый номер содержится в едином файле PDF.

Open Access Policy

All issues of the International Journal of Advanced Studies:
Transport and Information Technologies are always open and free access.
Each entire issue is downloadable as a single PDF file.

<http://ijournal-as.com/>

Подписано в печать 30.09.2022. Дата выхода в свет 30.09.2022.
Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 10,40. Тираж 999 экз. Свободная цена.
Заказ 123/022. Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии
«Издательство «Авторская Мастерская». Адрес типографии:
ул. Пресненский Вал, д. 27 стр. 24, г. Москва, 123557 Россия.