



#7 (47), 2019 część 8

Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe
(Warszawa, Polska)

Czasopismo jest zarejestrowane i publikowane w Polsce. W czasopiśmie publikowane są artykuły ze wszystkich dziedzin naukowych. Czasopismo publikowane jest w języku polskim, angielskim, niemieckim i rosyjskim.

Artykuły przyjmowane są do dnia 30 każdego miesiąca.

Częstotliwość: 12 wydań rocznie.

Format - A4, kolorowy druk

Wszystkie artykuły są recenzowane

Każdy autor otrzymuje jeden bezpłatny egzemplarz czasopisma.

Bezpłatny dostęp do wersji elektronicznej czasopisma.

Zespół redakcyjny

Redaktor naczelny - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

Rada naukowa

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)

#7 (47), 2019 part 8

East European Scientific Journal
(Warsaw, Poland)

The journal is registered and published in Poland. The journal is registered and published in Poland. Articles in all spheres of sciences are published in the journal. Journal is published in **English, German, Polish and Russian.**

Articles are accepted till the 30th day of each month.

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Each author receives one free printed copy of the journal

Free access to the electronic version of journal

Editorial

Editor in chief - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

The scientific council

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)

**Dawid Kowalik (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Peter Clarkwood(University College
London)**

**Igor Dziedzic (Polska Akademia
Nauk)**

**Alexander Klimek (Polska Akademia
Nauk)**

**Alexander Rogowski (Uniwersytet
Jagielloński)**

Kehan Schreiner(Hebrew University)

**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Anthony Maverick(Bar-Ilan
University)**

**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet
Warszawski)**

**Mateusz Marszałek (Uniwersytet
Jagielloński)**

**Szymon Matysiak (Polska Akademia
Nauk)**

**Michał Niewiadomski (Instytut
Stosunków Międzynarodowych)**

Redaktor naczelny - Adam Barczuk

**Dawid Kowalik (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Peter Clarkwood(University College
London)**

**Igor Dziedzic (Polska Akademia
Nauk)**

**Alexander Klimek (Polska Akademia
Nauk)**

**Alexander Rogowski (Uniwersytet
Jagielloński)**

Kehan Schreiner(Hebrew University)

**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Anthony Maverick(Bar-Ilan
University)**

**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet
Warszawski)**

**Mateusz Marszałek (Uniwersytet
Jagielloński)**

**Szymon Matysiak (Polska Akademia
Nauk)**

**Michał Niewiadomski (Instytut
Stosunków Międzynarodowych)**

Editor in chief - Adam Barczuk

1000 kopii.

**Wydrukowano w «Aleje Jerozolimskie
85/21, 02-001 Warszawa, Polska»**

**Wschodnioeuropejskie Czasopismo
Naukowe**

**Aleje Jerozolimskie 85/21, 02-001
Warszawa, Polska**

E-mail: info@eesa-journal.com ,

<http://eesa-journal.com/>

1000 copies.

**Printed in the "Jerozolimskie 85/21, 02-
001 Warsaw, Poland»**

East European Scientific Journal

**Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw,
Poland**

E-mail: info@eesa-journal.com ,

<http://eesa-journal.com/>

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Gavrylenko A.N, Kulnich S.P.

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE HYDRAULIC ENGINES SYNCHRONIZATION PROCESS IN A MULTI-ENGINE UNIT4

Григорьев-Фридман С.Н.

АЛГОРИТМ РАБОТЫ ДАТЧИКА ПАНОРАМНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ЦЕЛИ И УНИЧТОЖЕНИЯ ПРОТИВНИКА ПО МОДУЛИРОВАННОМУ ЛАЗЕРНОМУ ЛУЧУ В 3D – ПРОСТРАНСТВЕ “ЛАДОГА-1М”11

Григорьев-Фридман С.Н.

ДАТЧИК ПАНОРАМНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ЦЕЛИ И УНИЧТОЖЕНИЯ ПРОТИВНИКА ПО МОДУЛИРОВАННОМУ ЛАЗЕРНОМУ ЛУЧУ В 3D – ПРОСТРАНСТВЕ “ЛАДОГА-1М”14

Гусейнов Ч.С.

НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНО ЗАМЕРЗАЮЩИХ АКВАТОРИЙ17

Бобов Д.Г., Гусейнов Ч.С.

ПОДВОДНЫЙ СТЫКОВОЧНЫЙ ШЛЮЗ МЕЖДУ ДВУМЯ ПОДВОДНЫМИ СУДАМИ ДЛЯ СМЕНЫ ПЕРСОНАЛА И ВОСПОЛНЕНИЯ ЗАПАСОВ МАТЕРИАЛОВ И ПРОДУКТОВ19

Ермаков В. Ф., Зайцева И. В.

ВЫБОР СЕЧЕНИЯ ПРОВОДОВ ПРИ ПОВТОРНО-КРАТКОВРЕМЕННОМ РЕЖИМЕ26

Зурабян А.С.

ИНДУСТРИАЛЬНОЕ ДОМОСТРОЕНИЕ В ТРЕХЛУЧЕВОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ - ДОМ "ЛОТОС"31

Біляєв М. М., Берлов О. В., Козачина В. А., Кириченко Р. В.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТСОСА ЗАГРЯЗНЕННОГО ВОЗДУШНОГО ВОЗДУХА ВОЗЛЕ АВТОДОРОГИ35

Костюхин А. С.

РАЗРАБОТКА И ОПЫТНАЯ АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЖРД40

Мельник В. М.

ФОРМУВАННЯ ПОЛЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО РОЗРЯДУ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЛІНІЯХ ЗА ДОПОМОГОЮ ПЛОСКИХ СТРУМОПРОВІДНИХ КІНЦІВОК ЦЕНТРАЛЬНОГО ЕЛЕКТРОДУ47

Молчанов В.І.

СУЧАСНІ МОЖЛИВОСТІ СУДОВО-ТОВАРОЗНАВЧОЇ ЕКСПЕРТИЗИ51

Муравьева Л. В.

ВОПРОСЫ АНАЛИЗА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЗАГЛУБЛЕННЫХ МОРСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ.56

Молодід О. С., Плохута Р. О.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ НА ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ ВІДРЕМОНТОВАНИХ ТРІЩИН ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРОСОЧУВАННЯМ59

Моисеев Д. В., Поляков А. А.

КОМПЛЕКС МЕТОДИК ДЕКОМПОЗИЦИИ СТРУКТУРНО-СЛОЖНЫХ СИСТЕМ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ...66

Эшмурадов Д. Э.

РАЗРАБОТКА МАРШРУТА ПОЛЕТА ВОЗДУШНОГО СУДНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗОНАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ70

ZaynidinovKh. N., Yuldashev A. X.

ADAPTIVE TEST RESULTS WITH THE USE OF THE SOFTWARE COMPLEX TO GUARANTEE THE QUALITY OF STUDENTS' KNOWLEDGE73

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Gavrylenko A.N, M.Eng, director
"E.M.A." Ltd

Kulinich S.P., Ph.D., Ass. Prof.
Sumy State University

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE HYDRAULIC ENGINES SYNCHRONIZATION PROCESS IN A MULTI-ENGINE UNIT

Abstract: In this paper, the experimental stand of a multi-engine hydraulic drive providing the synchronous movement of engines is described. An automated control system to move the elements of a multi-engine hydraulic drive has been developed. The program code of the control program is based on the model to calculate the hydraulic drive elements' motion errors (positioning) in the conveyor. The experimental studies results of the synchronization process regarding the motion of multi-engine hydraulic drive elements have been shown. A method to estimate the experimental data uncertainty and to check the adequacy of the mathematical model has been presented. The research results will form the basis for the engineering calculation methodology of the multi-engine hydraulic drive.

Keywords: multi-engine hydraulic drive, synchronization, automated control system, experiment, the model adequacy

Introduction

The mechanisms of a wide range of machines in mechanical engineering, building sector, chemical industry are moved with the help of several working bodies driven by multi-engine drives [1,2]. Synchronization of several working bodies' work to provide an accurate motion of one working element (the use of multi-engine hydraulic units) is an urgent problem in many industries [3-7]: equipment for pressing and forging, lifting and transporting devices, devices to create vibration, excavating machines and etc.

Strict coordination in motion time, speed or acceleration of the working body (synchronization of several working bodies' operation to ensure an accurate motion of one working element) is the main task that must be solved at the design stage of the device depending on the links motion conditions [8,9].

A promising direction of synchronization is to use the hydraulic engines, which ensure the coordination of the output features of the executive mechanisms with a variable load at their input.

Background

In [10] there are study results regarding the operation of the drive with two hydraulic engines, working on a common load with synchronization according to the pressure value in the cavities of the engines. The mutual influence of hydraulic engines on the consistency regarding the motion of the engine's output links is observed.

In [8] synchronous hydraulic drives to lift heavy building structures have been reviewed, and the criteria for their selection have been proposed, based on the load (carrying) capacity and motion value, not taking into account the speed synchronization errors.

The [6] observes a vibration mechanism with four unbalanced masses, driven by four synchronized hydraulic engines. Synchronization on the rotation frequency of hydraulic engines shafts is carried out through the implementation of four identical pumps, individually feeding each engine. Authors believe that

such a scheme provides synchronism regarding the rotation of the hydraulic engines' shafts and observe only the vibration mechanism dynamics, not taking into account the synchronization errors of the rotation frequency of the hydraulic engines' shafts.

The proportionality of the working bodies' motion speeds is the proportionality of the working fluid flow rate in hydraulic engines, for mechanisms driven by hydraulic motors. Ways to synchronize the motion of hydraulic engines are analyzed in more detail in [3, 4, 9, 10-16].

In [5], the criteria for synchronization of two hydraulic engines in an eccentric rotary vibration machine are observed. The authors believe that the flow rate of the working fluid in hydraulic engines is the same and take into account only the effect of fluid leakage in the gaps between the pistons and the holes in the cylinder block of an axial-piston hydraulic engine.

The theoretical and experimental studies results of the hydraulic engines' motion synchronization in the hydraulic drive using a throttle flow divider are demonstrated in [15]. The authors observe the influence of working fluid leaks on the accuracy of the hydraulic engines' motion speed synchronization.

In the considered sources, attention is usually paid to the operation of hydraulic engines in the steady regime, when the loads on their output links are unchanged, the motion occurs at a constant speed. Therefore, the dependence of the synchronization error of the movement speed on the load asymmetry is defined and methods for minimizing this error are proposed [11-14].

During the operation of a hydraulic drive with synchronized engines, there are problems in non-stationary modes. These modes of the work are conditioned upon the following:

- switching on (or switching off) the hydraulic engines of the group drive. As a result, the pressure at the inlet to the flow divider is changed, since the overflow valve reacts to a change in flow rate with a delay;

- a sudden change of the load on one of the hydraulic engines.

In [17], the synchronization control of two hydraulic cylinders motion used to oscillate the heavy form of a continuous casting machine by a fuzzy logic controller is proposed. A drive, in which each hydraulic cylinder is controlled by a servo valve independently in an accurate closed control system, is presented.

Unlike the methods, described in the above literature, we propose to use a flow divider, which adds additional feedback on pressure drop in inter-throttle divider chambers, implemented through the regulated spool-type throttles.

Also, transient modes of the hydraulic engines' operation are rarely mentioned, only in works [17-23] there is general information, but there is no detailed analysis of such modes.

Aim of the article

In parallel with checking the adequacy regarding the created mathematical model of the multi-engine hydraulic units' work to synchronize the working body motion, the problem to ensure the energy efficiency of this process should be considered. Some approaches to evaluate (including the exergy approach) hydraulic drives' work is described in [18-21]. As can be seen from the above list of publications (which, of course, is not complete), this topic is given special attention considering changes in the project designers' "worldview", rejection of energy saving in favour of energy efficiency, including through the compressed environments energy use [10].

The above theses form aims of this article:

- to construct the experimental stand of the multi-engine unit taking into account the optimization of energy costs to implement the synchronous motion process of the working bodies in the machine;
- to create the automated process control system for the synchronous motion of working bodies;
- to check the adequacy of the developed mathematical model [24, 25].

Description of research object

In order to test technological modes of the hydraulic drive operation for the synchronous motions, an experimental stand has been created in the laboratory of the Applied Aerohydromechanics Department. The computational model of the experimental stand is demonstrated in fig. 1.

Units of the stand:

- two hydraulic cylinders (diameter of the piston is 25 mm, the diameter of the stock is 16 mm, run is 125 mm);
- distributor with an electric control;
- pipe station (supply is 6 l/min, the pressure is 25 MPa);
- flow divider;
- linear movement detectors;
- manometer to measure the pressure at the outlet of the pump station.

The hydraulic cylinders are located vertically, they transfer a load of 500 kg (5000 N). On half a way, one of the hydraulic cylinders is additionally loaded with 100 kg (1000 N).

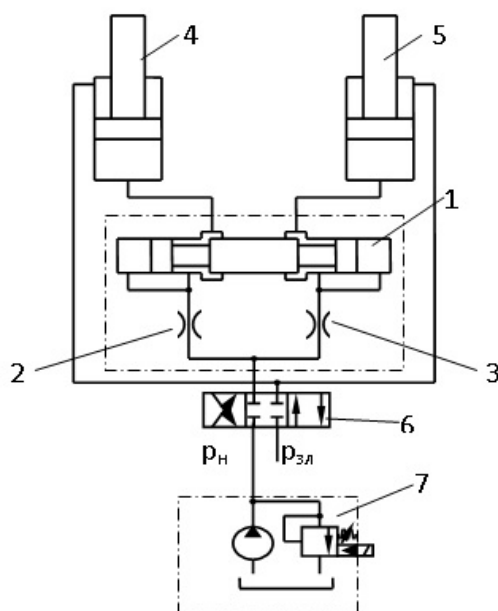


Fig. 1. The computational model of the hydraulic drive scheme for synchronous motions of the working bodies in machines: 1 – valve; 2, 3 – unregulated throttles; 4, 5 – hydraulic cylinders; 6 – distributor; 7 – pump station

During the experiment, the velocity of the rods movement is measured at the place of the additional load of the hydraulic cylinder, the length of the path, where the measurement 5 mm + is carried out (2-3 mm before the start of the additional load). The pressure in

the divider's inter-throttle chambers is also measured (it is evaluated simultaneously with the velocity measurement), the pressure is 8-16 MPa, the maximum error of the sensor is 1%.

In general, the functional block diagram of

measurements and graphs based on the results of these evaluations is presented in fig.2.

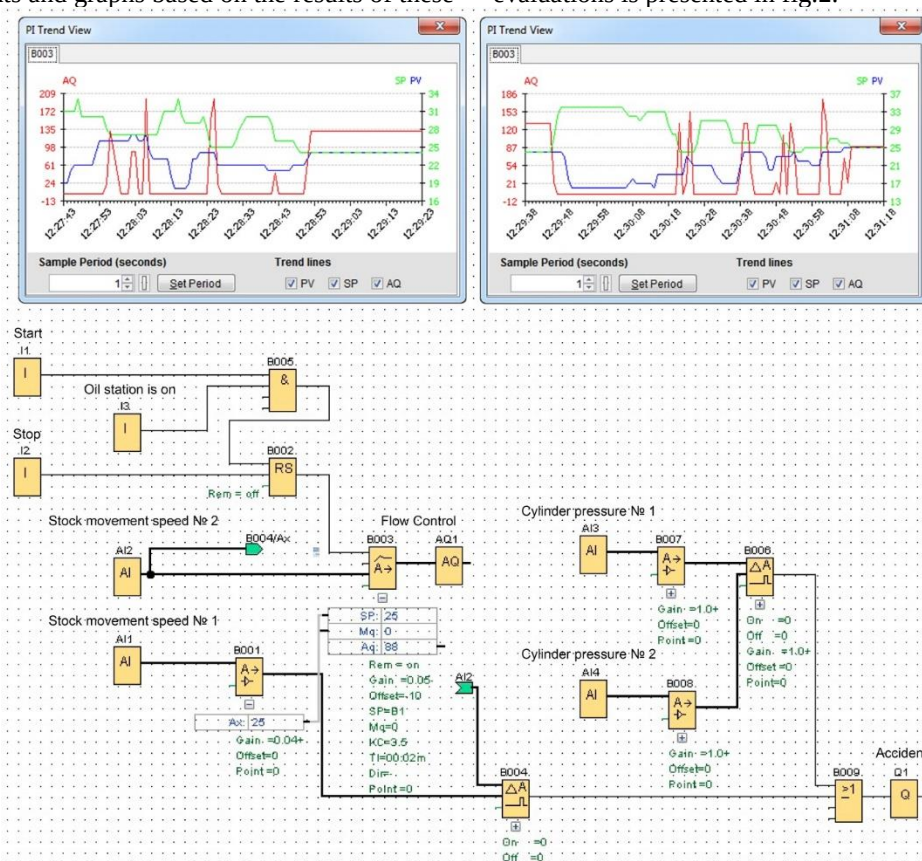


Fig. 2. The functional block diagram regarding the evaluation of the hydraulic drive rods motion velocity

A proportional integral regulator with a negative feedback was used to control the velocity of rods' movement. The velocity of the rod's movement without

an additional load is taken as the reference signal. The block diagram of the regulator is shown in fig.3.

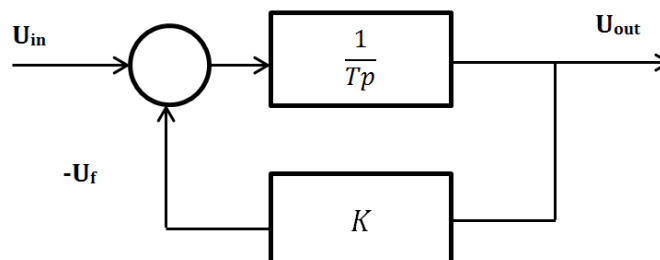


Fig.3. The block-diagram of the regulator of the rod's velocity

Measurements were carried out by the linear movement detectors 8740 of the Burster company, measurement range – 0...100 mm, accuracy – 0.25%.

The control cabinet of the hydraulic drive is shown in fig. 4.



Fig. 4. The control cabinet of the hydraulic drive for the synchronous motion of working bodies in machines

The determination of the measurement error and the calculation results of the main features in the experimental sample of a multi-engine gyro drive system is based on generally accepted techniques and recommendations [26] regarding the engineering experiment and the data processing. Identification of measurements error and the calculation results of the main properties of the experimental sample of a multi-engine hydraulic drive system is based on generally accepted methods and recommendations [26] regarding the engineering experiment and the data processing.

In order to define the optimal number of investigations and to achieve the highest accuracy and reliability degree of the obtained results, as well as the processing of these results, the mathematical statistics methods have been used [27, 28].

During the experiment, two types of errors may occur, they are random and systematic [28].

A random error reduces the accuracy of the experiment results. An analysis of this type of error is possible using the average square deviation σ calculated by the following formula [28]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n-1}}, \quad (1)$$

where $\bar{x}$ is the arithmetic mean; x_i is a single parameter value; n is a number of measurements.

The largest possible error of a single measurement is determined by three sigmas rule [28, 29]

$$\Delta = 3\sigma. \quad (2)$$

The two-sided confidence interval of the arithmetic mean ε was estimated by the dependence [28] if its probability to reach the confidence interval was 95%.

$$\varepsilon = t_p \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (3)$$

where t_p – Student's criterion [28, 29].

The standard error of indirect measurements [29]

$$\sigma_y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial x_i} \cdot \Delta \cdot x_i \right)^2}. \quad (4)$$

where $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

The accuracy of the obtained regression equations is defined by the least square method [28].

A systematic error shifts equally all the variables that are controlled during the experiment. In order to exclude this type of error, all the devices used during the study were tared using exemplary devices in the experiment. The communication of measurement devices with devices on the control board is provided with a maximum error of signals processing within 1.5%.

Results and discussion

The experimental studies results of the hydraulic drive working bodies' motion velocity and pressure in the hydraulic cylinders are shown in figs 5-8.

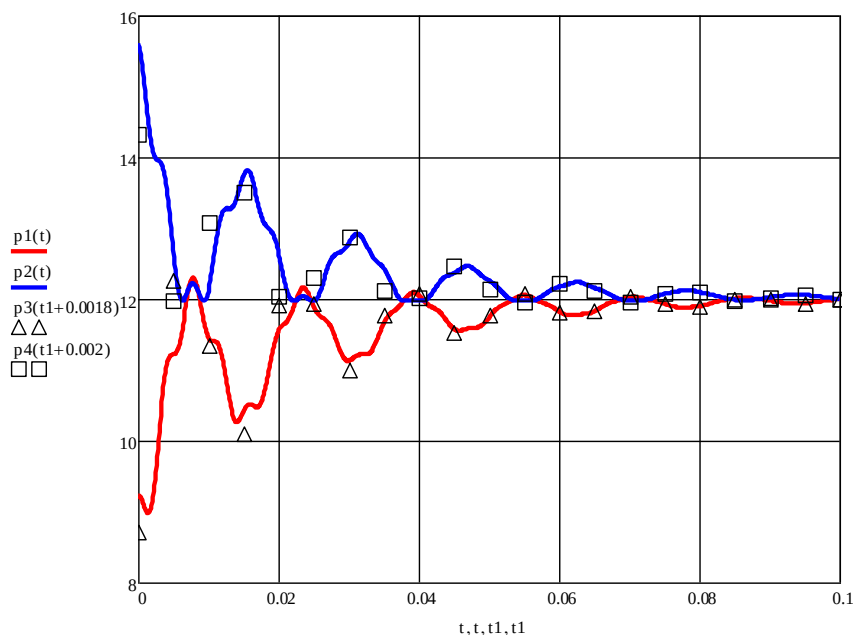


Fig.5. Theoretical (1,2) and experimental average (3,4) data to estimate the pressure in the hydraulic cylinders (MPa)

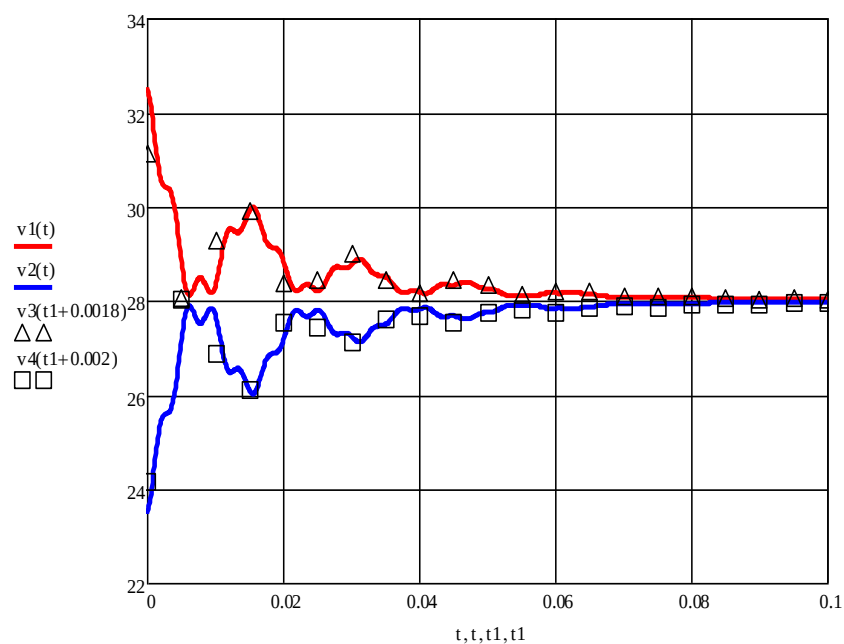


Fig. 6. Theoretical (1,2) and experimental average (3,4) data to evaluate the velocity of the hydraulic drive working bodies' motion (mm/s)

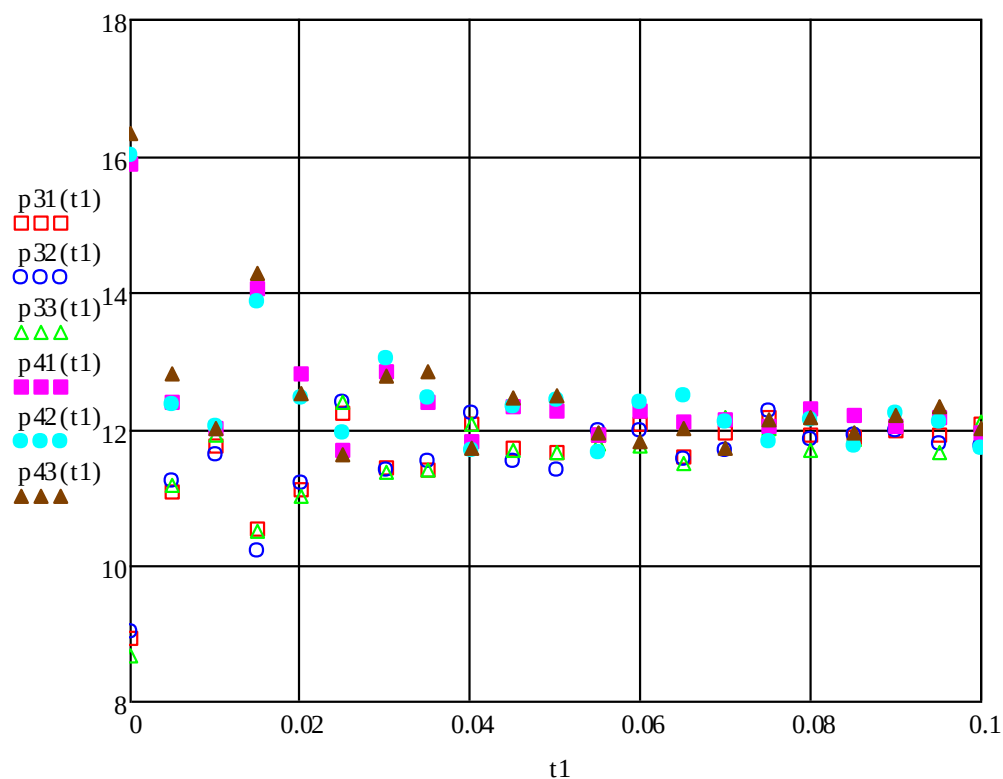


Fig. 7. Experimental average data (3 – the first cylinder, 4 – the second cylinder) to evaluate the pressure in the hydraulic cylinders (MPa)

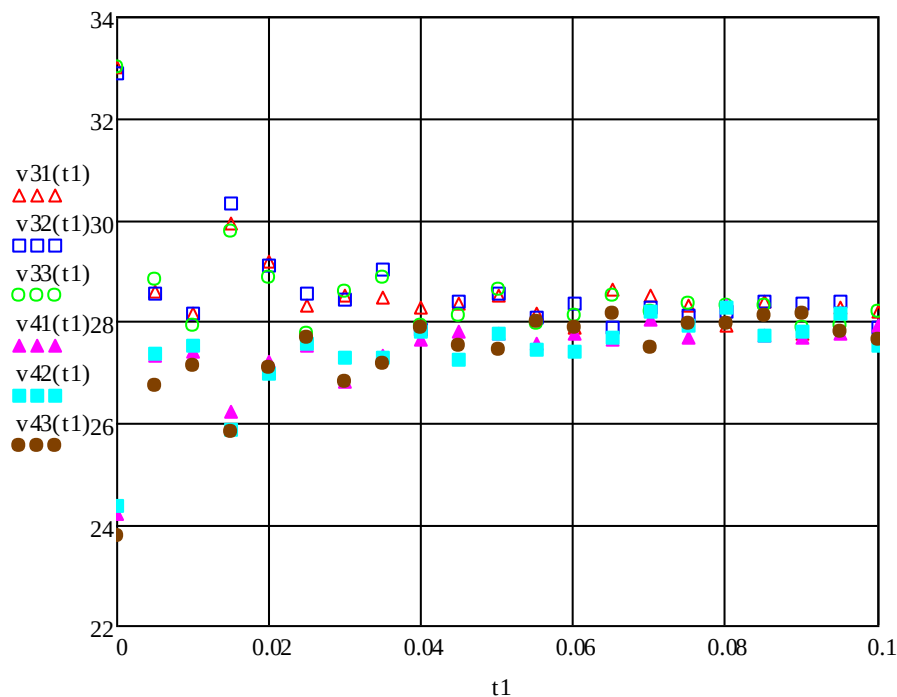


Fig. 8. The experimental average data (3 – the first cylinder, 4 – the second cylinder) to estimate the velocity of the hydraulic drive's working bodies motion (mm/s)

According to the results of theoretical and experimental research, the possibility to improve the process of hydraulic engines synchronization in a hydraulic drive thanks to the regulated throttles use in the flow divider of the working fluid has been confirmed.

Comparison of the results, obtained for a flow divider with a double-slotted throttle distributor, with results for a flow divider with unregulated throttles, shows:

1. Implementation of the double-slotted throttle distributor, regulated by the pressure fall in the inter-throttle chamber, allowed reducing the error in the velocity synchronization from 0.43 to 0.27, i.e. 1.6 times, and the relative pressure fall in the inter-throttle chamber from 1 to 0.53, i.e. 1.9 times.

2. In the transient process there are higher-order harmonics for the velocity and pressure, caused by the motion of the double-slotted distributor's throttle.

3. The higher-order harmonic in fluctuations of pressure and velocity does not significantly affect the operation of hydraulic engines, since the amplitude of oscillations is insignificant.

The reduction of the synchronization error velocity is caused by the simultaneous change of the throttle area, which stabilizes the differential pressure and the adjustable throttle area.

The experimental indicators deviate from the calculated indicators in the confidence interval, so we can conclude that the proposed synchronization method of the hydraulic engines is effective.

The automated system enables to synchronize the motion of the hydraulic drive elements in two modes:

1. Advisor mode. In this mode, the control program recommends the optimal value of the process parameters (an increase in the flow rate of the working

environment for the "lagging" link and a decrease in it for the "advanced" link) to the operator.

2. Interactive mode. The operator, if necessary, can adjust the formulation and conditions of the task (for example, the minimum and maximum value of the displacement error, the positioning parameters of the working body), solved by the system itself when developing recommendations for managing the transportation process and dosing materials.

Conclusion

The conducted researches have established that the transitional modes of synchronized hydraulic engines' operation have the motion velocity error. The error is caused by the inertia of the flow divider throttle. It is revealed in the late compensation of the changing load effect on the pressure fall in the unregulated throttles. Experimental studies confirmed the theoretical conclusions regarding the reduction of the velocity synchronization error in the implementation of a flow divider with a double-slotted throttle distributor. The research results confirmed the adequacy of the proposed mathematical model [24, 25]. Based on the results of the experiment, an improved automated technical control system for synchronous movement of hydraulic cylinders has been developed.

Acknowledgements

The automated system has been successfully introduced into the production line of porous ammonium nitrate to dose the dispersed phase at the granulation and final drying stage of the obtained granules in the framework of the study "Small-scale energy-saving modules with the use of multifunctional devices with intensive hydrodynamics for the production, modification and encapsulation of granules" (with the support of the Ministry of Education and Science of Ukraine, project number 0119U100834).

References

1. G.Q. Huang, Y. Chen, J. Yu. Simulation Analysis in Cylinder Hydraulic Synchronous Control System of Main Drive System of Heavy Forging Hydraulic Press / *Advanced Materials Research*, 2013, Vols. 765-767, pp. 1899-1902.
2. X. Lu, M. Huang. Modeling, Analysis and Control of Hydraulic Actuator for Forging. – Springer, 2017, 228 p.
3. F. Adesina, T.I. Mohammed, O.T. Ojo. Design and Fabrication of a Manually Operated Hydraulic Press / *Open Access Library Journal*, 2018, Vol.5 No.4, Paper ID 84045, 10 pages.
4. N. Venkatesh, G. Thulasimani, R. Jayachandran, R. Hariraman, S.V. Arunbalaaji. Design and Analysis of Hydraulic Roller press frame assembly / *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 2016, Vol. 7, Is. 5, 72-78.
5. C. Luo, X. Mo, J. Li, Z. Tang, S. Huang. Machine Coupling Synchronization Criterion of Two Hydraulic Motors in an Eccentric Rotary Vibration / *Shock and Vibration*, Volume 2019, Article ID 6086874, 11 pages.
6. B. He, C. Zhao, H. Wang, X. Chang, B. Wen. Dynamics of synchronization for four hydraulic motors in a vibrating pile driver system / *Advances in Mechanical Engineering* 2016, Vol. 8(8), 1-15.
7. W. Li, B. Cao, Z. Zhu, G. Chen. A Novel Energy Recovery System for Parallel Hybrid Hydraulic Excavator / *Scientific World Journal*, 2014, Paper ID #184909.
8. L. Miková, M. Kelemen, P. Ujhelský, A. Gmitterko. The Simulation of Hydraulic Synchronous Lift of Heavy Loads / *American Journal of Mechanical Engineering*, 2014, Vol. 2, Is. 7, 191-194.
9. L.Y. Qiu. Design on Synchronization Control of Dual-motor in Crane / *Journal of Applied Science and Engineering Innovation*, 2015, Vol. 2, No.3, 71-73.
10. Y.L. Dong, Z.S. Qian. A Research on Dual Hydraulic Motor Synchronizing Driving System with Pressure Coupling / *Applied Mechanics and Materials*, 2015, Vol. 779, pp. 175-181.
11. M. Karpenko, M. Bogdevičius. Review of energy-saving technologies in modern hydraulic drives / *Civil and transport engineering, aviation technologies*, 2017, Vol. 9, Is. 5, 553–558.
12. M. Bison. Planning and operating hydraulic power units to provide greater energy efficiency. Build it in / *EATON – Energy Efficiency: White Paper WP040005EN*, 2016
13. A.A. Choudhury. A modular system energy efficiency study of hydraulic applications / *ASEE's 123rd Annual*, 2016, Paper ID #15838.
14. H.H. Triet, K.K. Ahn. Comparison and assessment of a hydraulic energy-saving system for hydrostatic drives / *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering*, 2011, Vol. 225, Is. 1, 21–34.
15. R.A. Al-Baldawi, Y.A. Faraj. Theoretical and Experimental Study of Hydraulic Actuators Synchronization by Using Flow Divider Valve / *Journal of Engineering and Development*, 2014, Vol. 18, No.5, 282-293.
16. P.L. Teixeira, W. Vianna, Jr., R.D. Penteado, P.Krus, V.J. De Negri. Pressure Modeling and Analysis of a Synchronized Hydraulic Press Brake With Variable-Speed Pump / *ASME/BATH 2015 Symposium on Fluid Power and Motion Control*, 2015, Paper No. FPMC2015-9634, pp. V001T01A067.
17. S. Kassem, T.S. El-Din, S. Helduser. Motion Synchronization Enhancement of Hydraulic Servo Cylinders for Mould Oscillation / *International Journal of Fluid Power*, 2012, Vol. 13, Is. 1, 51-60.
18. A.C. Bresse Hydraulic Motors. - General Books LLC, 2010.
19. P. Chapple. Principles of Hydraulic Systems Design, Second Edition. - Momentum Press, 2014.
20. W. Durfee, Z. Sun, J. Van de Ven. Fluid Power System Dynamics. - Center for Compact and Efficient Fluid Power, 2015.
21. F. Koenigsberger. Design Principles of Metal-Cutting Machine Tools. - Elsevier, 201.
22. T. Yamashita, Y. Hirano, N. Nakajima, T. Sugiyama, T. Yoshizumi. A study on stabilization of operation time for hydraulic operating circuit breaker (Investigation of synchronous / sequential operation system of two high speed hydraulic operating devices) / *Dynamics & Control, Robotics & Mechatronics*, 2016 Vol. 82 Is. 838 Pages 15-00539.
23. T.H. Ho, K.K. Ahn. Design and control of a closed-loop hydraulic energy-regenerative system / *Automation in Construction*, 2012, Vol. 22, 444–458.
24. О.М. Гавриленко, С. П. Кулініч. Математична модель гідравлічного приводу для синхронних переміщень / *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*, 2007, № 3, 34-38.
25. О.М. Gavrylenko, S.P. Kulinich, J. Krmela, A.E. Artyukhov. Copyright certificate No 4356 (Ukraine). Method of calculation of multi-engine hydraulic drive for synchronous movement of working bodies of machines and mechanisms, 2019.
26. H.E. Schulz . Hydrodynamics – Concepts and Experiments. InTech; 2015.
27. P. Sahoo. Probability and mathematical statistics. University of Louisville; 2013.
28. J. Shao. Mathematical Statistics. Springer-Science+Business Media; 2003.
29. J.A. Rice. Mathematical Statistics and Data Analysis. Duxbury: Thomson Brooks/Cole; 2010.

АЛГОРИТМ РАБОТЫ ДАТЧИКА ПАНОРАМНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ЦЕЛИ И УНИЧТОЖЕНИЯ ПРОТИВНИКА ПО МОДУЛИРОВАННОМУ ЛАЗЕРНОМУ ЛУЧУ В 3D – ПРОСТРАНСТВЕ “ЛАДОГА-1М”

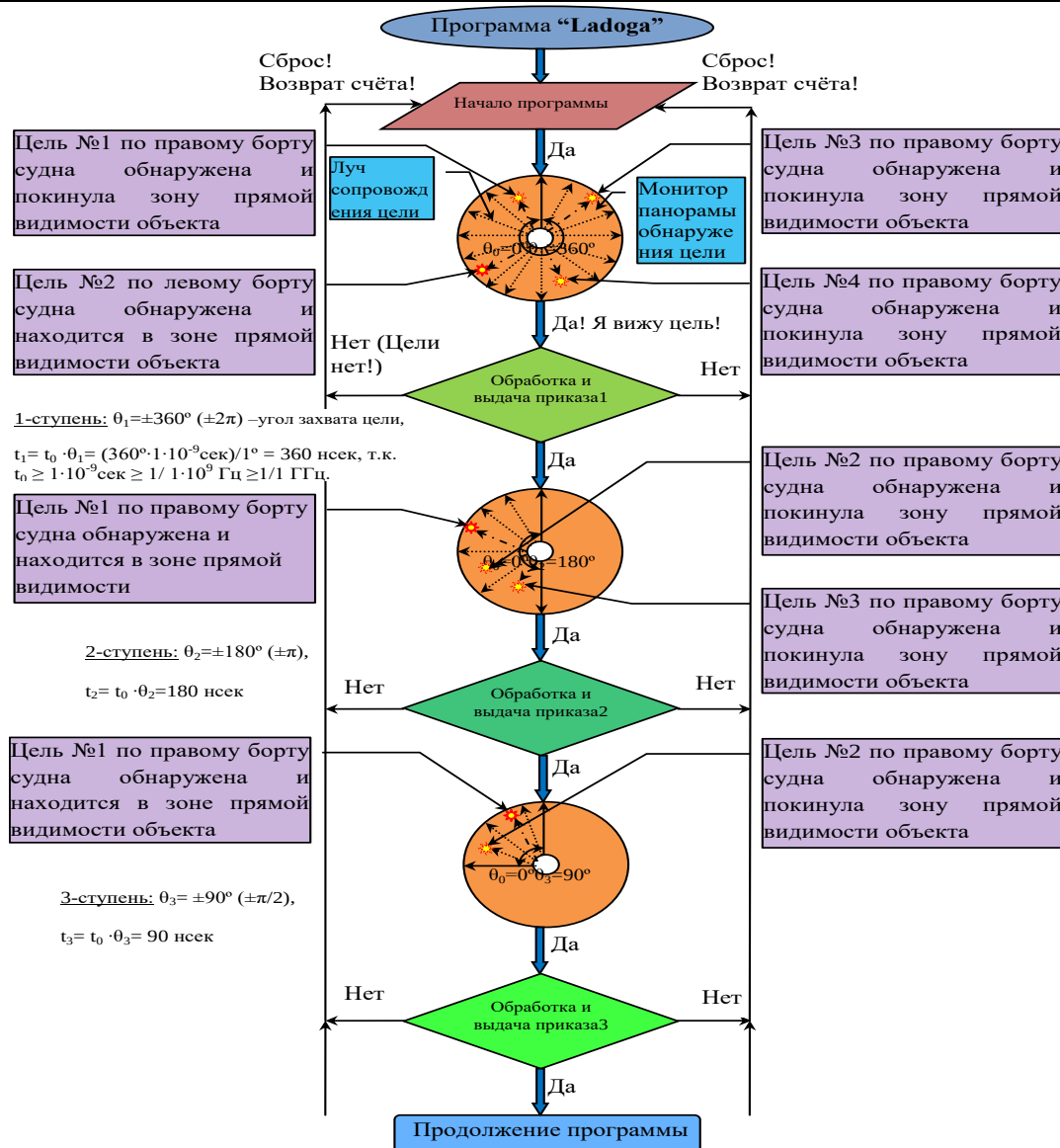
Введение. В специальной технике и технической литературе [1—3, 7—12] существует значительное число аналогов, содержащих разнообразные типы и виды лазерных систем постоянного, круглосуточного, всепогодного слежения за спутниками и специальными целями потенциального противника как в открытом космосе, так и в плотных слоях атмосферы Земли, густом тумане, дожде, снеге, различных газах, озоне и т.п. Все эти аналоги имеют общие недостатки, состоящие в очень большой сложности, громоздкости, излишней массе и внешних габаритах, некорректной работе при интенсивной облачности из-за применения очень мощных лазерных установок, которые для того чтобы “пробить” толстые и оптически плотные слои земной атмосферы, озона и других сред, вынуждены уменьшать частоту, т.е. увеличивать длину поперечной электромагнитной волны при индуцированном когерентном излучении фотонов в лазерах. Тем самым выдаются точные координаты местонахождения, длина и частота электромагнитной волны лазерных систем наведения и удержания обнаруженной цели и облучения потенциального противника телескопическим лучом, на которых работают современные аппараты пеленгации, обнаружения цели и уничтожения потенциального противника по модулированному лазерному лучу наведения.

В статье развивается идея российских учёных в области прикладного применения специальной лазерной техники в авиации и на флоте, предложенная впервые в мире, в работах [4—6]. Актуальность данной идеи состоит в том, что сама система лазерной связи, пеленгации, обнаружения и уничтожении потенциального противника применяется в открытом космическом

пространстве относительно давно и успешно, но её применение в плотных слоях земной атмосферы представляла существенные технологические трудности, а также было мало изучено в своей теоретической основе.

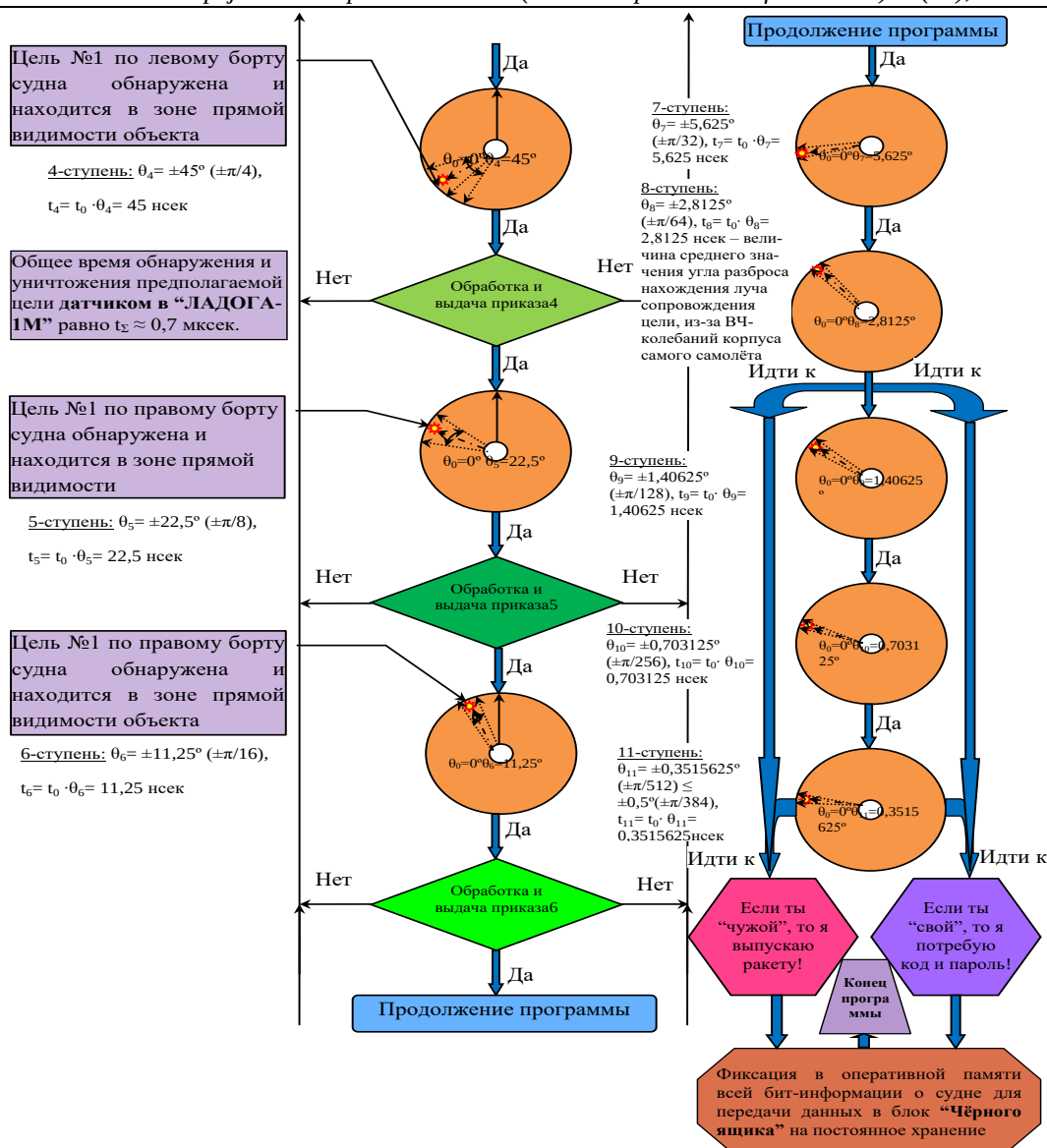
При этом способе лазерного обнаружения, слежения и уничтожения цели для нанесения превентивного удара по потенциальному противнику или агрессору расходуется огромное количество потребляемой электроэнергии, в силу чего себестоимость такого радиопеленга на порядок выше, чем при использовании классической антенно-фидерной формы пеленгации. Поэтому такой тип пеленгации цели и обнаружения потенциального противника весьма не эффективен и не экономичен.

Анализ и рекомендации решения проблемы. Для наведения ракеты на цель, самолёт-нарушитель или БЛА-разведчик, в современных средствах ПВО и ПРО используется особое устройство — лазерный целеуказатель. К таким устройствам относится и предлагаемый датчик панорамного обнаружения цели и уничтожения противника по модулированному лазерному лучу наведения в 3D-пространстве “Ладога-1М”, излучающий модулированный лазерный луч, состоящий из узкого когерентного потока фотонов. Принцип наведения ракеты или артиллерийского снаряда очень прост: на объект направляется лазерный луч, который, отражаясь от обнаруженной цели, улавливается фотодатчиками их головки самонаведения (ГСН). Модулированный луч — “удерживает” ракету или снаряд в нужном направлении и обеспечивает точное попадание в обнаруженную цель. Лазерный луч принимается ГСН ракеты, которая отправляет сигнал системе управления ракетой.



Для эффективного применения упреждающей ракеты цель должна быть в течение нескольких секунд подсвечена лазерным лучом, чтобы ГСН захватила его отражение. После выпуска упреждающей ракеты цель по-прежнему должна подсвечиваться для обеспечения точного попадания. Необходимо помнить, что предполагаемая цель чаще всего является подвижной. Ограниченная мощность систем подсветки цели приводит к ограничениям использования лазерного оружия по дальности до

30 км и высоте до 10 км. Лазерный Р целеуказатель обычно находится на самолёте – носителе оружия или на самолёте-корректировщике. В обоих случаях самолёт целеуказания оказывается ограниченным в манёвре и уязвимым для средств ПВО и систем ПРО потенциального противника. Боевое маневрирование и последующее пикирование самолёта ведут к срыву захвата цели и промаху системы поражения цели [1–3, 7–12].



Основной отличительной особенностью предлагаемой конструкции датчика “Ладога-1М”, в отличие от российских и зарубежных аналогов является возможность успешно использовать монохроматическое когерентное излучение модулированного лазерного луча узконаправленного действия. Он выполнен на основе полупроводникового лазерного диода или твёрдотельного лазера с накачкой лазерным диодом вместо обычной, плоской, электромагнитной волны ТЕМ-типа в воздушном пространстве, излучаемой обычной авиационной или иной армейской антенной в современных РЛС ближнего и дальнего обнаружения противника.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату к предлагаемому изобретению является «Устройство лучевого наведения управляемого объекта», защищённое патентом [7], принятое за ближайший аналог (прототип). Недостатком этого устройства является технологическая сложность, большие масса и габариты, относительно большое потребление электроэнергии, высокая себестоимость сеансов лазерного пеленга, обнаружения цели и удержания

противника в телескопическом углу в момент его облучения модулированным лазерным лучом, существенные трудности при работе в условиях интенсивной облачности, различных осадков, задымлённости, плотных слоёв атмосферы Земли и др. При создании датчика “Ладога-1М” на базе полупроводникового лазерного диода или твёрдотельного лазера с накачкой лазерным диодом устранены указанные недостатки.

На рис. 1 и 2 представлен алгоритм работы датчика “Ладога-1М”. Циркуляционно-круговая, лазерная ГСН постоянно удерживает обнаруженную цель в зоне полного, всеохватывающего (360°), телескопического угла и следит за поведением выявленной цели. Из программного комплекса «Ладога», через блок АЦП-ЦАП, на лазерную ГСН поступает сигнал об уменьшении ровно в 2 раза телескопического угла охвата обнаруженной цели (180°). Далее через многочисленные итерации по случаю дробления угла охвата выявленной цели ровно на половину, в итоге получают точные координаты цели. Время пеленга цели и удержания в телескопическом угле равно 750 нсек.

Конструкция датчика “Ладога-1М” предполагает эффективную эксплуатацию как минимум двух модулированных лазерных лучей, двигающихся синхронно друг относительно друга, один по часовой, а другой против часовой стрелки, что обеспечивает эффективный и быстрый радиопеленг для обнаружения и уничтожения цели [4—6].

[1] Байбородин Ю.В. Основы лазерной техники: Киев: Выща школа, 1988. 383 с.

[2] Федоров Б.Ф. Лазеры. Основы устройства и применение. М.: ДОСААФ, 1988. 192 с.

[3] Орлов В.А. Лазеры в военной технике. М.: Воениздат, 1976. 174 с.

[4] Григорьев-Фридман С.Н. Переговорное устройство “Луч” в оптическом диапазоне, в режиме “радиомолчания”. // *Машиностроитель* / М.: “Вираз-Центр”, № 3, 2016, С. 29–40.

[5] Григорьев-Фридман С.Н. Мобильное переговорное устройство на базе лазерного диода. // *Машиностроитель* / М.: “Вираз-Центр”, № 4, 2017, С. 39–48.

[6] Григорьев-Фридман С.Н. Мобильное переговорное устройство на базе твердотельного лазера с накачкой лазерным диодом. //

Машиностроитель / М.: “Вираз-Центр”, № 5, 2017, С. 26–34.

[7] Коршунов А.И., Сторощук О.Б. Устройство лучевого наведения управляемого объекта. Патент России на изобретение № 2267733, М.: ФИПС. Бюл. № 1. 2006.

[8] Ефремов А., Омелянчук А. Хранители неба. // *Воздушно-космическая сфера*, №3/4(88/89), 2016, М.: “Вневедомственный экспертный совет по вопросам воздушно-космической сферы”, С. 64–68.

[9] Ольгин С. Проблемы оптоэлектронного противодействия. // *Зарубежное военное обозрение*, М.: “Красная звезда”, № 9, 2002, С. 35–41.

[10] Семёнов А. Защита гражданских самолётов от зенитных ракет. // *Зарубежное военное обозрение*, М.: “Красная звезда”, № 12, 2002, С. 35.

[11] Спасский Н., Иванов С. Оптико-электронные системы и лазерная техника: Энциклопедия XXI век. Том 11, М.: Издат. дом “Оружие и технологии”, 2005, 720 с.

[12] Щербак Н. Противодействие зенитным управляемым ракетам с инфракрасным наведением (современные бортовые средства). // *Электроника: Наука. Технология. Бизнес*, № 5, 2000, С. 52–55.

*Григорьев-Фридман С.Н.
АО НПП «Полёт»*

ДАТЧИК ПАНОРАМНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ЦЕЛИ И УНИЧТОЖЕНИЯ ПРОТИВНИКА ПО МОДУЛИРОВАННОМУ ЛАЗЕРНОМУ ЛУЧУ В 3D – ПРОСТРАНСТВЕ “ЛАДОГА-1М”

В конструкции датчика панорамного обнаружения цели и уничтожения противника по модулированному лазерному лучу наведения в 3D-пространстве “ЛАДОГА-1М”, согласно рис. 1 содержится как минимум пара полупроводниковых, лазерных диодов или твердотельных лазеров с накачкой двумя лазерными диодами, запитанные от положительной клеммы стабилизатора напряжения 12 и блока бесперебойного питания 13 на анод, а его катод соединён прямым проводом, через цепочку стоков полевого транзистора, в качестве коммутирующего устройства-ключа VT1, с двумя переменными, регулировочными резисторами, выполненными на базе потенциометра RP1 14 и RP2 15 или с постоянными, проволочными резисторами, для ограничения предельного значения питания коммутирующих устройств — двух полевых транзисторов VT1 и VT2 по току. В каждой, из двух (или нескольких!) лазерных панорам 6 и 7, внутри, имеется своё, отдельное коммутирующее устройство-ключ Q1 или Q2. В качестве цели 1 был выбран, например, самолёт потенциального противника. Отражённые от цели (потенциального противника) видеолучи 2, видимого поддиапазона (400...700 нм) или ИК – диапазона электромагнитных волн улавливаются и фокусируются внешней, подвижной линзой регулируемого коллиматора 3—4—5 в приёмной оптической системе датчика. Датчик, согласно рис.

1, состоит из следующих элементов и узлов: 3 — внешняя, подвижная, оптическая линза регулируемого коллиматора в оптическом монокуляре; 4 — основная, стационарная (неподвижная), оптическая линза регулируемого коллиматора; 5 — внутренняя, подвижная, оптическая линза регулируемого коллиматора в оптическом монокуляре; 6 — первая, положительная, лазерная панорама, работающая по приёму-передаче лазерного луча, в ближнем и частично в среднем, пограничном поддиапазонах, ИК – диапазона электромагнитных волн, по часовой стрелке, например, на длине волны $\lambda = 820$ нм; 7 — вторая, отрицательная лазерная панорама, работающая по приёму-передаче лазерного луча, в ближнем и частично в среднем, пограничном поддиапазонах, ИК – диапазона электромагнитных волн, против часовой стрелки, например, на длине волны $\lambda = 955$ нм; 8 — падающий, лазерный луч, идущий из первого лазера к обнаруженной (увиденной) цели; 9 — лазерный луч, отражённый от цели и принятый фотодатчиком (на базе фотодиода, или же составного, трёхкаскадного фототранзистора); 10 — падающий, лазерный луч, идущий из второго лазера к цели; 11 — лазерный луч, отражённый от цели и принятый фотодатчиком (фотодиодом или фототранзистором); 12 — блок источника постоянного (выпрямленного) напряжения $U_{\text{вых.}} \sim = 24$ В; 13 — блок стабилизатора постоянного

напряжения; 14 — переменный, регулировочный резистор на базе потенциометра RP1, для ограничения предельного значения питания током первой, положительной, лазерной панорамы 6; 15 — переменный, регулировочный резистор на базе потенциометра RP2, для ограничения предельного значения питания током второй, отрицательной, лазерной панорамы 7; 16 — выпрямительный блок; 17 — бортовая сеть (например, самолёта) напряжения $U = 27$ В; 18 — кнопка увеличения

панорамного изображения цели и противника путём увеличения фокусного расстояния между коллиматором и датчиком; 19 — кнопка уменьшения панорамного изображения цели и противника путём уменьшения фокусного расстояния между коллиматором и датчиком; 20 — ЭВМ (компьютер); 21 — блок АЦП — ЦАП; 22 — монитор (экран). Схема и принцип работы датчика “ЛАДОГА-1М” представлена на рис. 1.

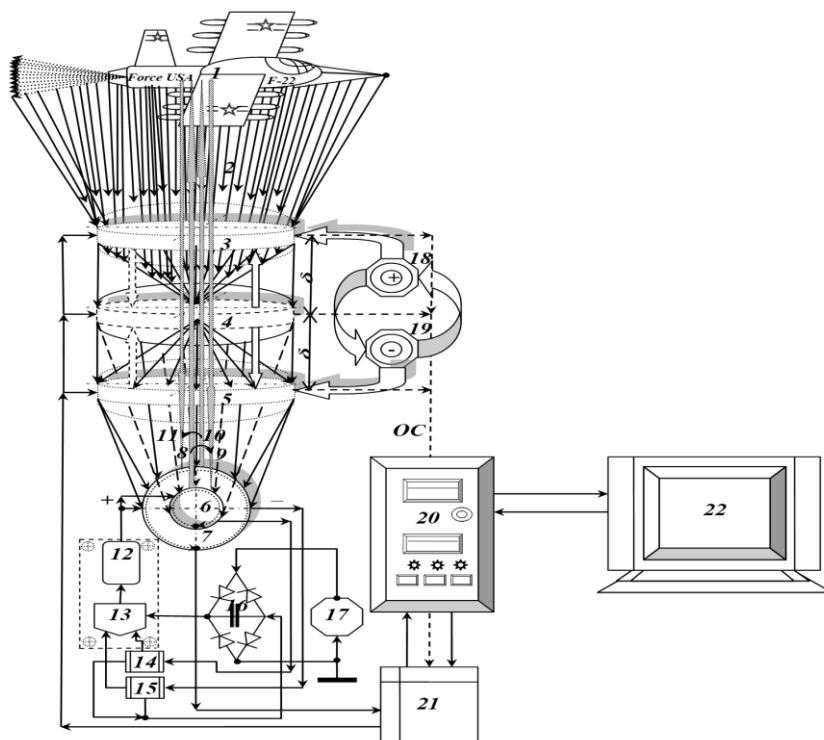


Рис. 1

Между подвижными оптическими линзами 3 и 5 в регулируемом коллиматоре, компьютером 20 с монитором 22, через блок АЦП — ЦАП 21 существует постоянно действующая обратная связь (ОС), для оперативной и эффективной регулировки процессом юстировки лазерного луча на предполагаемую цель и удержание потенциального противника в зоне оптимального охвата телескопического угла пеленгации [2—4].

Циркуляционно-круговая головка наведения и удержания цели (например, самолёта потенциального противника) в зоне телескопического угла обнаружения и слежения за поведением обнаруженной цели, выполнена на базе полупроводникового, лазерного диода, лазерного диода на основе двойной гетероструктуры из арсенида галлия GaAs и арсенида алюминия галлия GaAlAs или твёрдотельного лазера, с накачкой мощным светодиодом или полупроводниковым, лазерным диодом. Лазерная ГСН, обнаружения и слежения за целью технологически выполнена в форме многоступенчатых слоёв для лазерного облучения когерентным, узконаправленным потоком фотонов. Лазерный луч №1, например, синхронно движется по кругу, радиально, по

часовой стрелке, от датчика к обнаруженной цели и обратно, к фотоприёмной матрице самого датчика, на длине волны равной $\lambda_1 \approx 820$ нм. Лазерный луч №2, например, также синхронно движется по кругу, радиально, против часовой стрелки, от датчика к обнаруженной цели и обратно, к фотоприёмной матрице самого датчика, на длине волны равной $\lambda_2 \approx 955$ нм. Следующие ступени лазерной ГСН облучают цель также синхронно двигаясь радиально, по часовой или же против часовой стрелки, с длинами волн $\lambda_3 \approx 1250...1300$ нм, $\lambda_4 \approx 1550$ нм и $\lambda_5 \approx 2100...2150$ нм соответственно и т.д. Все эксплуатационные частоты и длины волн выбираются из поддиапазонов ближнего и, в редком случае, пограничного слоя с $\lambda_6 \approx 3500...3885$ нм, среднего поддиапазона ИК-диапазона электромагнитных волн, где экспериментально обнаружено максимальное значение коэффициента пропускания мощности модулированного сигнала в телескопической толще лазерного луча [1—10].

Датчик технологически включает в себя двоякую, связанную систему двух монокуляров с кратностью увеличения или уменьшения изображения цели или иного объекта в оптической

системе регулируемого коллиматора, например, от 2° до 100° ($2^\circ \leq \delta \leq 100^\circ$), а также блок цифровой HD-видеокамеры типа Digital Camera на 50–60 Megapixel и высоким уровнем разрешения не менее 3000×3000 pixel [1–4].

Микропанорама датчика и выпуклый, объёмный монитор произведены на базе уменьшенной копии панорамы визуализации и фиксации обнаружения противника и иной цели, от модернизированных РЛС-300, РЛС-500 и РЛС-1500, успешно применяющихся в ВКС, войсках ПВО и системах ПРО России [5–10].

Блок оптического стабилизатора точного наведения и горизонтально-вертикального положения в пространстве выполнен на основе гироскопной технологии [2–4].

Между компьютером 20 и блоком АЦП-ЦАП 21 выполнена ОС для анализа и амплитудно-частотной коррекции выходных импульсов управления, позволяющая программному обеспечению (ПО) оперативно регулировать тактовую частоту следования управляющих импульсов, поступающих из блока АЦП-ЦАП 21 на затворы коммутирующих устройств – ключей VT1 и/или VT2, расположенного внутри, каждой первой, положительной и второй, отрицательной лазерных панорам 6 и 7 [2–4].

Предлагаемый датчик работает следующим образом. Сеанс радиопеленгации цели и обнаружения потенциального противника осуществляют в условиях только прямой, электромагнитной видимости, в невидимой части спектра поперечных электромагнитных волн (чаще всего в ИК-диапазоне). За редким исключением возможен ультрафиолетовый (УФ)-диапазон, который не применим в среде озонового слоя атмосферы Земли, из-за сильного поглощения волн средой озона. Информационный сигнал закодирован программой в программном комплексе радиомолчания “Ладога-1М”, организационно собранного из компьютера 20 и монитора 22, специальным военным кодером-шифровальщиком и передаваться в блок входного, трёхкаскадного усилителя НЧ (находится внутри лазерных панорам 6 и 7), в котором также может быть в наличии входной, предварительный усилитель видеосигналов, а также блок специального кодера цветного изображения. Далее радиосигнал из блока предварительного входного усилителя НЧ, передаётся окончательно в блок оконечного, двухтактного усилителя мощности (блок-УМ, также находится внутри лазерных панорам 6 и 7!), где он усиленный, как аналоговый сигнал, до своего максимально-номинального значения поступает в многоканальный блок АЦП-ЦАП 21, для преобразования последнего в цифровой формат, необходимого для формирования импульсов управления и последующую их передачу на управляющий электрод — затворы коммутирующих устройств – ключей VT1 и VT2 [2–4].

Блок АЦП-ЦАП 21 является многоканальным преобразователем (translator), поступающих сигналов из аналогового формата в цифровой и обратно, с последующей передачей в компьютер 20, где программы по обработке входных данных, в цифровом формате, ПО “Ладога”, производят анализ, сравнение и амплитудно-частотную коррекцию импульсов управления для последующей передачи необходимых команд в третий канал (рис. 1) [2–4].

Аналоговый сигнал поступает из оптического датчика регулируемого коллиматора 3–4–5 в блок самонаведения и удержания цели по модулированному, телескопическому, лазерному лучу в ИК-диапазоне электромагнитных волн и одновременно получает команды внешней системы обнаружения и целеуказания, коррекции с помощью управляющих импульсов, поступающих из блока АЦП-ЦАП 21 [2–4].

[1] Сторошук О.Б., Коршунов А.И. Устройство лучевого наведения управляемого объекта. Патент РФ на изобретение RU: 2267733, М.: ФИПС РФ, 10.01.2006 г.

[2] Григорьев-Фридман С.Н. Переговорное устройство “Луч” в оптическом диапазоне, в режиме “радиомолчания”. // Машиностроитель / Сер. Связь, М.: Вираз-Центр, № 3, 2016. С. 29–40.

[3] Григорьев-Фридман С.Н. Мобильное переговорное устройство на базе лазерного диода. // Машиностроитель / Сер. Связь, М.: Вираз-Центр, № 4, 2017. С. 39–48.

[4] Григорьев-Фридман С.Н. Мобильное переговорное устройство на базе твёрдотельного лазера с накачкой лазерным диодом. // Машиностроитель / Сер. Связь, М.: Вираз-Центр, № 5, 2017. С. 26–34.

[5] Ефремов А., Омелянчук А. Хранители неба. // Воздушно-космическая сфера, №3/4(88/89), декабрь 2016, М.: Вневедомственный экспертный совет по вопросам воздушно-космической сферы. С. 64–68.

[6] Ольгин С. Проблемы оптоэлектронного противодействия (по взглядам зарубежных военных специалистов). // Зарубежное военное обозрение, М.: Красная звезда, № 9, 2002. С. 35–41.

[7] Семёнов А. Защита гражданских самолётов от зенитных ракет. // Зарубежное военное обозрение, М.: Красная звезда, № 12, 2002. С. 35.

[8] Григорян В.А., Юдин Е.Г., Терехин И.И. и др. Защита танков. / под ред. В.А. Григоряна. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007, 327 с.

[9] Спасский Н., Иванов С. Оптико-электронные системы и лазерная техника: Энциклопедия XXI век. Том 11, М.: Оружие и технологии, 2005, 720 с.

[10] Щербак Н. Противодействие зенитным управляемым ракетам с инфракрасным наведением (современные бортовые средства). // Электроника: Наука. Технология. Бизнес, № 5, 2000. С. 52–55.

НОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНО ЗАМЕРЗАЮЩИХ АКВАТОРИЙ

Guseynov Ch.S.

Gubkin Russian State University of oil and gas

NEW TECHNICAL SOLUTIONS FOR THE DEVELOPMENT OF LONG-TERM FREEZING WATER AREAS

Аннотация: В статье изложена новая технология сжижения природного газа, позволяющая осуществить сжижение в подводных условиях. Простоту этой технологии отличает её дешевизна, обусловленная дешевизной получения хладагента - жидкого воздуха, а также положительными экологическими последствиями использования жидкого воздуха как хладагента в подводной среде

Ключевые слова: зонирование, Северный Ледовитый океан, глубина, технология, сжижение, подводный, условия, жидкий воздух, сжиженный природный газ, факельный газ, газ дегазации

Keywords: zoning, Arctic ocean, depth, technology, freezing, subsea, condition, liquid air, liquid natural gas, flaring gas, gas of degassing.

Неотложность решения проблем освоения нефтегазовых ресурсов российского сектора арктических морей Северного Ледовитого океана (СЛО) несомненна, но рентабельность реализации соответствующих мероприятий требует не только тщательного выбора современных технологий и технических средств, но и разработки новых технических решений с неременным учётом проблем экологической безопасности всего Мирового океана. Поскольку загрязнение окружающей среды и Мирового океана достигает критической точки, обеспечение безопасности Мирового океана в настоящее время по своей значимости и остроте выходит на уровень таких проблем, как всеобщее разоружение, урегулирование региональных конфликтов и кризисных ситуаций, В развитие поставленных задач, не снимая актуальности проблем безопасного освоения ресурсов арктических морей, мы в своих публикациях [1] предложили концепцию зонирования глубин длительно замерзающих акваторий с целью создания и использования соответствующих технических средств для их освоения путём создания новых разновидностей подводных технических сооружений нефтегазового предназначения [2,3]. Кроме того, нами была предложена новая технология сжижения природного газа в противотоке с жидким воздухом [4,5], реализация которой может позволить существенное снижение затрат наряду не только с сохранностью окружающей среды, но и с пользой для фауны и флоры. Использование жидкого воздуха (ЖВ) в качестве основного хладагента для сжижения газа обосновано на том, что температура его жидкого состояния достигает минус 196°C в то время, как природный газ (преимущественно состоящий из метана) сжижается при температуре минус 163°C (СПГ), и этот температурный избыток холода, безусловно, приводит к желаемому результату. А эффективность использования жидкого воздуха для сжижения метана обусловлена ещё и тем, что

получить его наиболее дешёвым путём возможно в процессе регазификации СПГ в пункте его сбыта, т.е. на том береговом терминале, куда доставляется СПГ. Тем самым по существу мы дважды используем охлаждающие способности обоих хладагентов лишь с той разницей, что для сжижения метана более чем достаточно охлаждающей возможности жидкого воздуха; в то же время для сжижения воздуха охлаждающей возможности метана уже становится недостаточной, и после его охлаждения до температуры не менее минус 150-155°C, чтобы довести воздух до жидкого состояния придётся затратить дополнительную энергию, используемую традиционным способом для получения желаемого состояния. Именно для достижения этого температурного перепада необходимо затратить энергию, основной стоимостью которой определяются затраты на получение жидкого воздуха. Исходя из сегодня существующей стоимости жидкого воздуха (в торговой сети) 10 руб./л, тонна ЖВ должна стать, по нашему мнению, в пределах не более 2 тыс. руб. (и, возможно, ещё меньше) Но это не единственное преимущество предлагаемой технологии. Более существенным, по нашему мнению, для подводной технологии в условиях ограниченного пространства/объёма является возможность её реализации практически без привлечения персонала, поскольку наиболее главным в нашей технологии является сам естественный процесс противоточного теплообмена, не требующий человеческого вмешательства, и осуществляемый под надёжным и непрерывным контролем разного рода датчиков и других автоматических устройств. Кроме того, поскольку реализация эффективного теплообмена будет происходить: для природного газа - под воздействием пластового давления, то для перекачки в противотоке ЖВ потребуется энергия, вырабатываемая автономной атомной электростанцией (АЭС) в подводном исполнении. Перечисленные преимущества, в конечном счёте,

возможно, и определяют предложенный нами способ сжижения природного газа в подводных условиях. В этом случае прибрежные комплексные терминалы (ПКТ) придётся несколько перестроить, снабдив их дополнительными функциями в виде получения жидкого воздуха, который будет транспортироваться для последующего сжижения газа непосредственно на глубоководных газоконденсатных месторождениях, расположенных в зонах длительно замерзающих акваторий СЛО.

Но даже дважды использованные нами охлаждающие возможности СПГ и ЖВ (непосредственно на месторождении и на терминале) не исчерпывают преимущества нового технического решения [4,5]. Охлаждающую способность ЖВ можно и НУЖНО использовать также в условиях подводного пребывания нефтегазового сооружения для сжижения:

- газа дегазации, образующегося в восходящем буровом растворе в системе циркуляции бурового раствора (естественно, в процессе бурения эксплуатационных скважин);

- так называемого "факельного" газа (всем морским нефтяникам/газовикам хорошо известна на традиционных платформах факельные установки!).

Операция дегазирования бурового раствора очень просто решается путём организации сбора выделившегося газа с последующим *принудительным* нагнетанием его в противоточный теплообменник навстречу ЖВ, а затем направляется в общий поток пластового газа, поступающего затем на сжижение в противоточный теплообменник. Подобным же образом следует поступить и с факельным газом, но направить его придётся в отдельную на танкере ёмкость, чтобы предотвратить его смешение с СПГ, поскольку состав факельного газа отличается от состава пластового газа, подлежащего сжижению, т.е. вряд ли может отвечать кондициям СПГ; его следует изучить, чтобы решить варианты его дальнейшего использования или подвергнуть известной утилизации.

При проектировании подводных нефтегазодобывающих сооружений следует учесть возможность таких преобразований, без которых невозможно их создание и дальнейшая нормальная жизнедеятельность внутри них; и для этого потребуется лишь предусмотреть наличие определённого (расчётным путём) количества ЖВ и отдельные специально выделенные ёмкости на челночном танкере-газовозе, регулярно подвозящим ЖВ и отвозящим СПГ и другие продукты сжижения.

Кроме чисто технологических (т.е. самых главных и по сути основных своих функций) ЖВ выполняет не менее полезную и важную функцию. ЖВ после этого подогревается до температуры

20°C и при нормальном давлении подаётся во все помещения подводного сооружения, создавая тем самым жизненно необходимую воздушную среду, в которой должен находиться весь персонал нашего подводного комплекса; далее вся отработанная воздушная масса выпускается с помощью воздушных нагнетателей в водную толщу, обогащая её остаточным количеством кислорода, положительно способствуя тем самым на жизнедеятельность всей флоры и фауны холодного подводного мира Арктики.

В заключение, возвращаясь к вопросу очищения атмосферы океана заметим, что предложенные технические решения, связанные с использованием ЖВ в качестве хладагента для сжижения углеводородного газа могут оказаться полезными и на ныне существующих морских нефтегазодобывающих платформах, если их модернизировать с целью утилизации газа дегазации и факельного газа. В этом случае потребуется регулярно завозить на платформу ЖВ, или же приобрести установку получения ЖВ, установить дополнительные компактные противоточные теплообменники, специальные изотермические ёмкости, малогабаритные перекачивающие устройства, реконструировать трубопроводную обвязку и наладить регулярный вывоз вновь полученных углеводородных продуктов в жидком виде.

Литература:

1. 297. Гусейнов Ч.С., Надеин В.А.- Зонирование длительно замерзающих арктических акваторий по глубинам с целью освоения открываемых нефтегазовых месторождений существующими и новыми предлагаемыми техническими средствами и технологиями; ж-л "Бурение и Нефть, №4,2017, с.10-16
2. Патент №2499098. Ледостойкая самоподъёмная платформа для замерзающего мелководья и способ её монтажа.(совместно с Мусабиновым А.А, Иванцом В.К.) от 20.11.2013 с приоритетом от 5.12.2011
3. Патент №2517285. Подводное сооружение для бурения нефтегазовых скважин и добычи углеводородов и способы его транспортировки, монтажа и эксплуатации (совместно: Иванец В.К., Швеиц С.А., Мусабинов А.А., Громова Г.В.) от 28.03.2014 с приоритетом от-3.12.2012.
4. Патент № 2632598 от 11.10.2017 Способ подводного освоения газоконденсатных месторождений, способ подводного сжижения природного газа и подводный комплекс для их осуществления. Приоритет от 2.10.15 г.
5. 305. Патент №2660213. Способ сжижения природного газа в процессе разработки подводного месторождения. от 5 июля 2018 Приоритет от 17.07.2017.

**Бобов Д.Г.,
Гусейнов Ч.С.**

*Российский государственный университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина,
Институт Проблем Нефти и Газы РАН*

ПОДВОДНЫЙ СТЫКОВОЧНЫЙ ШЛЮЗ МЕЖДУ ДВУМЯ ПОДВОДНЫМИ СУДАМИ ДЛЯ СМЕНЫ ПЕРСОНАЛА И ВОСПОЛНЕНИЯ ЗАПАСОВ МАТЕРИАЛОВ И ПРОДУКТОВ

**Bobov D.G.,
Guseinov Ch.S.**

The Russian State University of oil and gas, Institute of Oil and Gas RAS

IMPLEMENTATION OF THE CREW MOVEMENT BETWEEN THE SUBSEA VEHICLES INCLUDING THE RESUPPLY OF NECESSARY PRODUCTS UNDER WATER

Ключевые слова: подводный переход экипажа, подводная стыковка, транспортный подводный шлюз, подводный буровой аппарат, подводное освоение морских месторождений.

Key words: the movement of the crew under water, the underwater coupling, the underwater lock chamber, the subsea drilling vehicle, the subsea extraction of offshore fields

Весь XXI век будут открывать и осваивать нефтегазовые месторождения Арктики, значительной частью которой владеет Россия. И, хотя уже освоена значительная часть морских нефтегазовых месторождений, однако далеко не все современные технологии и технические решения могут быть реализованы на арктических замерзающих морях и придётся осваивать значительную часть месторождений с помощью подводных технических средств и технологий, чтобы исключить ледовые воздействия на неподвижные плавучие или погружные подводные объекты.

А поскольку подводные сооружения, предназначенные для бурения и добычи нефти и газа, должны десятилетиями быть неподвижными, т.е. пребывать на заданных точках, их необходимо регулярно снабжать различными материалами и резервным оборудованием, а также регулярно сменять экипажи. По существу эти общеизвестные положения не требуют никакого обоснования и уже более полувека строго выполняются на всех морских нефтегазовых месторождениях. И теперь, когда мы начнём в ближайшем десятилетии осваивать месторождения на глубоководных длительно замерзающих арктических морях, следует заранее предусмотреть такие технические решения, которые возможны к реализации в подводных условиях, что, естественно, не исключит в будущем создание более совершенных решений.

При работе под водой стоит обратить внимание на такой параметр, как автономность – это длительность пребывания судна в рейсе без пополнения запасов топлива, провизии и пресной воды, необходимых для жизни и нормальной деятельности находящихся на судне сотрудников и пассажиров [1].

Автономность традиционной морской платформы обеспечивается энергетической установкой и запасами топлива для её работы, опреснительной установкой, запасами провизии,

объёмом цистерн для хранения отходов и условиями эксплуатации, для которых она разработана. Практически все платформы обслуживаются судами снабжения, а смена вахт производится вертолетом. Автономность морской платформы варьируется от 30 до 60 суток. Пополнение запасов провизии и смена вахт происходит каждые 14-16 суток в зависимости от погодных условий.

Военно-морские подводные лодки (ПЛ) обладают продолжительной автономностью порядка 90 дней. Добиться подобной автономности от подводного бурового аппарата технически сложно, но возможно за счёт увеличения объёма цистерн и хранилищ. Но решить проблему смены вахт, за счёт увеличения её продолжительности невозможно. Это связано со сложной продолжительной работой (12 часовая смена), нахождением в замкнутом пространстве под водой, отсутствием традиционной связи с внешним миром.

Рассматривая возможность освоения морских глубоководных месторождений на акваториях арктических месторождений, необходимо решить проблему восполнения запасов провизии, смены персонала и вывоза твёрдых и жидких отходов.

В нашем исследовании были поставлены следующие задачи:

- разработать концептуальные решения, которые позволят провести перемещение персонала и грузов под водой между подводным буровым аппаратом и подводным многофункциональным судном снабжения;
- определить общие размеры основных устройств и элементов разработанной концепции.

Цель исследования – определить степень возможности проведения под водой стыковки и обмена.

Методы и материалы исследования

Ввиду отсутствия реализованных решений и проработанных проектов, в исследовании используется теоретический метод исследования,

основанный на сравнительном и логическом анализе схожих по назначению и принципу работы устройств. Теоретический метод исследования позволил сформулировать несколько концептуальных решений. Определение общих размеров устройств и элементов наиболее подходящей концепции было проведено эмпирическим методом исследования. Благодаря выбранному подходу, как нам представляется, получено достаточно проработанное решение выявленной проблемы.

Наиболее близкой работой по перемещению людей из одного аппарата (судна) в другой можно увидеть только в учебной или боевой операции по спасению моряков с затонувшей подводной лодки. Отличие состоит в том, что размеры спасательного глубоководного аппарата (СГА) на порядки меньше размеров подводной лодки. СГА полностью опирается на ПЛ. Стоит обратить внимание, что матросы-подводники обладают специальной подготовкой, чего может не быть у

сотрудников подводного комплекса. По этой причине способ перемещения персонала и грузов должен быть максимально безопасным и не требовать специальной подготовки.

Рассмотрим способ эвакуации моряков-подводников, которая проводится с применением спасательного глубоководного аппарата (см. рисунок 1).

Эвакуация с подводной лодки проходит следующим образом [2]. При помощи комплекса датчиков, механизмов и устройств определяется положение подводной лодки и условия окружающей среды. На основании полученных данных принимается решение о стыковке к носовой или кормовой комингс-площадке аварийного объекта.

Комингс-площадка спасательного люка подводной лодки – прочное металлическое опорное кольцо, обрамляющее спасательный люк подводной лодки [3].



Рис. 1. Типовая схема СГА

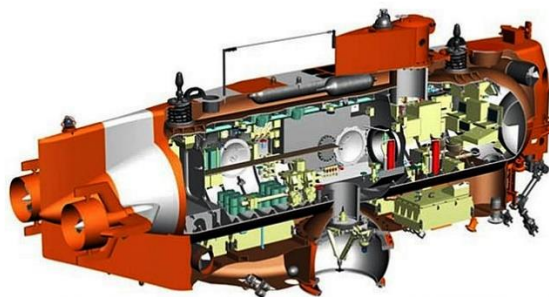


Рис. 2. Спасательный глубоководный аппарат «Бестер» пр. 18271

Определив комингс-площадку (носовую или кормовую), экипаж СГА подходит и занимает положение точно над ней. Заняв требуемое положение, производится опускание СГА на ПЛ. После стыковки, производится откачка воды из шлюзовой камеры в уравнительную цистерну. Внутри шлюзовой камеры создается атмосферное давление, в результате чего внешнее (гидростатическое) давление (которое всегда выше атмосферного) придавливает СГА к ПЛ. Убедившись в сохранении давления внутри шлюзовой камеры, отдраиваются люки, и производится «сухой» способ эвакуации подводников с ПЛ.

Осложняющими факторами могут быть сильные подводные течения, большой угол наклона

комингс-площадки к горизонту, недостаточное качество зеркала комингс-площадки. Логичным решением последних двух факторов является использование жёстких захватов. Но такой способ не безопасен, так как может привести к разрушению не только стыковочного узла, но и самих подводных аппаратов, если СГА начнет смещаться, в результате резкого увеличения бокового воздействия.

Поэтому проблема безопасного, быстрого и стабильного пополнения запасов и вахтовой смены персонала подводного бурового аппарата является одной из ключевых при подводном освоении морских нефтегазовых месторождений, решением которой можно будет значительно продвинуться в

направлении реализации подводных нефтегазовых проектов.

Существует три пути решения:

- надводный;
- подводный;
- комбинированный.

Реализация надводного способа перемещения персонала и грузов требует подъема подводного бурового аппарата (ПБА) на морскую поверхность каждые 14 суток. В надводном положении перегрузка с многофункционального судна снабжения (МСС) будет проводиться традиционным способом при помощи кранов и устройств приёма/отгрузки жидких и сыпучих материалов, установленных на МСС. Операции проводятся в период навигации МСС самостоятельно, либо в ледовый период с использованием сопровождающего ледокола. Для уменьшения затрат на проводку МСС ледоколом необходимо будет приспособить ледокол, придав ему дополнительно функции судна снабжения.

Реализация подводного способа перемещения потребует создания специального подводного многофункционального судна снабжения (ПМСС), способного произвести «жёсткую» стыковку - для перемещения персонала и твердых грузов (оборудования), и «гибкую» стыковку - для приема/отгрузки жидких и сыпучих материалов.

Первый путь решения – всплытие ПБА – возможен в условиях открытой воды или наличия небольшого ломаного льда, что возможно около 3-4 месяцев в году. При всплытии необходимо отсоединить буровое судно от водоотделяющего райзера с последующим соединением снова. В оставшееся время – 9 месяцев – в условиях полного покрытия акватории льдом рассматриваемый способ затруднён, поскольку необходимо проламывать лёд верхней образующей (усиленной кромкой) подводного бурового аппарата, что потребует увеличения его прочности или будет необходимо воспользоваться ледоколом для ломки льда.

Второй путь решения – организация подводного способа, который позволит, независимо от погодных условий на поверхности моря, производить смену и пополнение запасов. Реализация рассматриваемого способа потребует создания подводного многофункционального судна снабжения, разработки транспортного шлюза, который обеспечит «жёсткое» соединение ПМСС с ПБА, устройства подключения гибких шлангов для приёма/отгрузки жидких и сыпучих материалов. Помимо этого потребуется разработка устройств и датчиков для определения положения ПМСС и ПБА по отношению друг к другу, системы наблюдения, управления спаренными судами, систему динамического позиционирования под водой, которая сможет позволить находится подводным судам долгое время в одном положении.

Третий путь решения – создание комбинированного способа, который позволит проводить все операции с поверхности моря, не

прерывая рабочего процесса строительства (т.е. бурения) скважин. Для реализации этого способа потребуется строительство ледокола с функциями многофункционального судна снабжения, в основании которого будет располагаться камера, сообщающаяся с морской водой. Камера будет предназначена для расположения грузовых капсул и подводного челночного аппарата (ПЧА), управляемого дистанционно: подводный челночный аппарат в соответствии с заданной программой будет производить перемещение грузовых капсул между надводным судном и подводным аппаратом. Приём/отгрузка жидких и сыпучих грузов может проводиться через подводную лодку гражданского назначения (ПЛГН). ПЛГН полностью идентична традиционной АПЛ, но без военного вооружения. Его место будут занимать цистерны (капсулы) с материалами.

Общая концепция снабжения ПБА грузами и персоналом при помощи ПЧА следующая:

1. Создаётся подводное или надводное многофункциональное судно снабжения, в конструкции которого предусмотрена камера, сообщающаяся с морем. Транспортные капсулы представляют собой прочные и герметичные контейнеры, способные выдерживать давление окружающей воды в 2,0 МПа (20 кг/см²) – зависит от максимальной глубины погружения.

2. Перед выходом в море грузовые капсулы заполняются материалами, а вахтовые капсулы остаются пустыми до начала подготовительных работ к перемещению персонала.

3. После достижения места расположения ПБА, ПЧА устанавливается на одной из капсул и готовится к работе. Сначала по-очерёдно спускаются грузовые капсулы, затем – вахтовые. За один поход ПЧА должен быть способен перенести только одну капсулу.

4. На ПБА для приёма капсул предусмотрен транспортный модуль, разделённый между собой водонепроницаемыми переборками и герметично закрывающимися створками – воротами – на камеры для приёма капсул. После установки капсулы в камеру происходит закрытие камеры и откачка воды.

5. В это время ПЧА перемещает остальные капсулы в другие камеры.

6. Когда капсула загружена отработанными материалами, она закрывается; задриниваются люки и в камеру подаётся морская вода. Заполнив камеру водой и, выровняв давление снаружи и внутри, створки открываются; и капсула готова к вывозу ПЧА.

7. К моменту перемещения последней вахтовой камеры с персоналом первая грузовая камера должна быть готова к её вывозу с ПБУ – должны быть выгружены привезённые материалы и загружены отработанные.

8. Вахтовая камера привозит сотрудников новой смены и увозит сотрудников предыдущей.

9. После завершения всех операций, транспортный модуль заполняется водой или

полностью опорожняется. Это зависит от конструкции модуля и определяется на этапе формирования технического задания.

Подводный метод перемещения груза должен предусматривать применение специального транспортного шлюза, установленного между двумя подводными аппаратами (судов/лодок). При этом на протяжении всего периода проведения работ оба аппарата должны занимать одно положение относительно друг друга, допуская лишь незначительные перемещения.

Каждое подводное судно должно быть оборудовано системой динамического позиционирования, которая будет обеспечивать точное расположение буровой платформы над точкой бурения. Система динамического позиционирования (СДП) необходима для того, чтобы обеспечить точную корректировку курса, поскольку основным винтом это сделать очень сложно.

Компенсация продольных смещений грузов, которая всегда имеет место, осуществляется путём заполнения и откачки морской воды дифференциальными цистернами – носовой и кормовой (за эту работу отвечает стабилизатор глубины).

С целью определения положения подводных лодок в пространстве и относительно друг друга на опорном основании должны устанавливаться датчики ориентации. На подводных судах устанавливаются устройства для подачи и приема сигналов от датчиков ориентации. Подобными датчиками и устройствами должны укомплектовываться каждое подводное судно, чтобы сделать возможным стыковку судов наплаву.

Малые перемещения судна во время работы под воздействием внешней среды можно компенсировать за счёт применения в конструкции шлюза угловых и продольных демпфирующих узлов. По сути, транспортный шлюз будет представлять собой телескопическую балку с шарнирами на каждом конце.

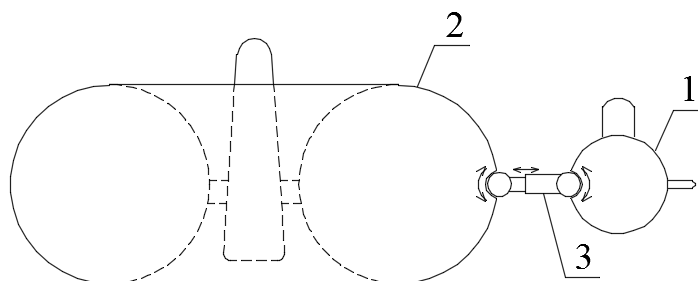


Рис. 3. Схема транспортного шлюза

1 – ПМСС; 2 – подводная буровая установка (ПБУ); 3 – транспортный шлюз

Приведённая схема позволяет компенсировать осевые перемещения за счёт шарниров и продольные за счёт телескопического корпуса шлюза. Необходимость использования шлюза с возможностью компенсации смещений вызвана тем, что подводные лодки не способны полностью зависать в толще воды.

При стыковке два подводных судна должны очень медленно двигаться одновременно с высокой точностью. Задержки в реагировании ПМСС приведут к увеличению нагрузки на транспортный шлюз. И как следствие может привести к его разрушению. Для параллельного перемещения необходимо разработать систему управления, которая сможет управлять одновременно двумя подводными судами, определяя величину и направление движения и вычислять нужную мощность на каждом движителе СПД.

С большой долей вероятности можно сказать о высокой степени технической сложности задачи «жёсткой» стыковки под водой. Поэтому наиболее перспективным является комбинированный способ проведения операций.

В качестве примера использования на судне камеры для подводных работ приведен проект Азориан, реализованный в 1974 году для подъёма затонувшей советской подводной лодки «К-129» [6].

Для подъёма советской лодки был построен Гломар Эксплорер водоизмещением 50 000 т. Это однопалубное судно с «центральной прорезью» размерами 60,65х22,5х19,8 м (ДхШхВ) с вышкой над камерой. Глубина спуска захватывающего устройства Клементина достигала 5000 м.

Подводная лодка не стоит на месте и не зависает в водной среде в одном положении, она перемещается за счёт вращения главного винта. Исходя из этого, можно сделать предположение, что и подводный буровой аппарат и ПМСС не сможет обеспечивать точное неподвижное расположение в процессе проведения работ. Необходимо предусмотреть устройство, компенсирующее продольные и угловые перемещения ПБА и ПМСС.

В качестве примера устройства, способного компенсировать качку судна, следует рассмотреть установку морского доступа компании Ampelmann (Нидерланды), изображённую на рисунке 5 [4]. Система предназначена для безопасной доставки персонала с судна на платформу и обратно. Вначале сотрудники поднимаются на переходную площадку, на которой располагается пульт управления системой с оператором. Затем установка переходит в рабочее положение, при котором трансферная палуба постоянно находится в горизонтальном положении. Это возможно

благодаря 6 гидроцилиндрам с выдвигающимися штоками для компенсации качки судна. Компенсация расстояния между судном и морским сооружением осуществляется за счёт

телескопического трапа. В таблице 1 представлены достоинства и недостатки трех рассмотренных способов.

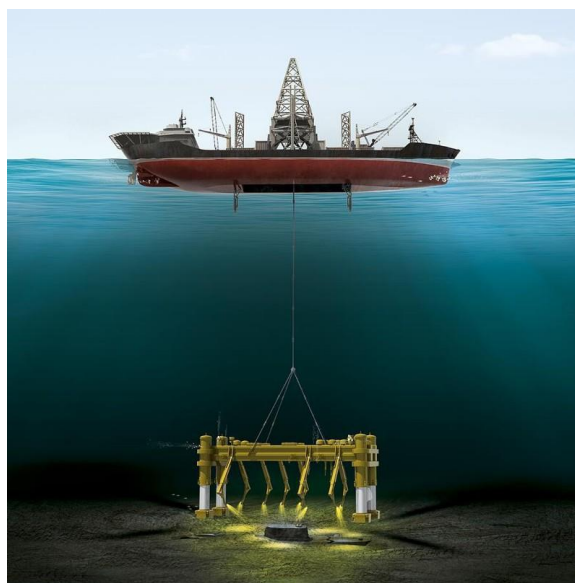


Рис. 4. Гломар Эксплорер



Рис. 5. Установка морского доступа А-типа

Таблица 1

Параметр	Надводный способ	Подводный способ	Комбинированный способ
отсоединение от водоотделяющей колонны	требуется	не требуется	не требуется
надводные условия эксплуатации	без ледовый период или ломаный лед, отсутствие шторма и сильного волнения	неограниченный	отсутствие шторма и сильного волнения
использование ледокола	да	нет	нет
время непрерывной работы	14 дней	без ограничений	без ограничений
пополнение запасов и смена персонала	на поверхности воды	без ограничений	без ограничений
необходимость создания новых типов судов	ледокол-МСС	подводное судно снабжения	ледокол-МСС с подводной камерой
дополнительные устройства	не требуются	транспортный шлюз, устройства приема/отгрузки жидких и сыпучих материалов,	устройства приема/отгрузки жидких и сыпучих материалов, подводный челночный аппарат

Параметр	Надводный способ	Подводный способ	Комбинированный способ
		система динамического позиционирования под водой, устройства определения относительного положения, система спаренного управления, система контроля и безопасности, механизм компенсации продольных и угловых перемещений транспортного шлюза	

Из таблицы 1 видно, что комбинированный способ имеет больше преимуществ. В дальнейшем определение общих размерений устройств и элементов будет проведено эмпирическим методом исследования, на основании имеющегося опыта и близких аналогов.

Определение размерений устройств и механизмов

Разрабатываемый способ должен позволить перемещать большой объём запасов и различных материалов в обе стороны. В среднем за один рейс судно снабжения должно перевозить материалов в объёме примерно 200 м³. А ёмкости цистерн подводного многофункционального судна снабжения (ПМСС) должны позволять перевозить расходные материалы (дизельное топливо, ГСМ, цемент, утяжелитель бурового раствора, пресную воду и др.) для пополнения запасов и отгружать с ПБА отработанные жидкости (льяльные воды, буровые сточные воды, буровой раствор и др.).

Пополнение жидких запасов ПБА с ПМСС и их откачка с ПБА можно производить через комплекс приема/отгрузки жидких материалов. Если нет необходимости передавать твердый груз, непосредственная стыковка двух судов не требуется. Передача жидкого груза осуществляется через гибкие шланги высокого давления и высокой прочности (с металлическими оплетками). Общая компоновка комплекса состоит из следующих элементов:

1. блок перекачивающих насосов – для каждой системы отдельный насос (основной и вспомогательный);
2. наружная станция приема/выдачи жидких грузов;
3. блок замера отгруженного/принятого материала;
4. манифольд перекачивающих насосов;
5. набор гибких шлангов;
6. механизм подачи шланга от ПМФСС к ПБА;
7. система предотвращения разливов;
8. система продувки трубопроводов;
9. система видеонаблюдения;
10. система определения положения ПБА и ПМФСС.

Подводное многофункциональное судно снабжения используется для пополнения/вывоза жидких и сыпучих материалов. Используемые при перегрузке гибкие шланги позволят успешно компенсировать перемещения подводных судов относительно друг друга.

Количество капсул должно обеспечить перевозку материала в объёме около 190 м³ и персонала в количестве 100 чел. (состав рабочей команды в количестве 90 человек + 10 гостей).

С целью унификации и типизации разрабатываемых решений, размеры вахтовой и грузовой капсул должны быть одинаковыми.

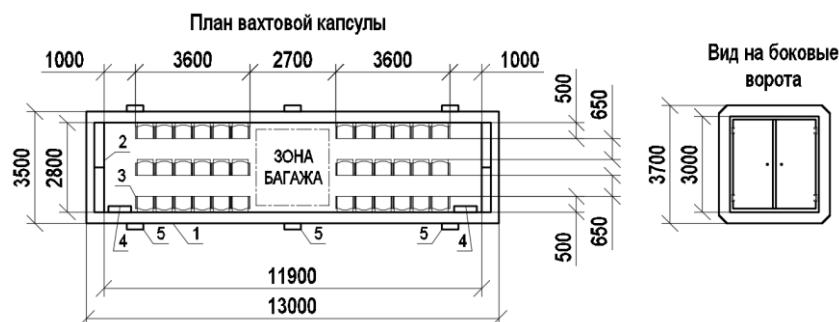


Рис. 6. Вахтовая капсула

Вахтовая капсула состоит из каркаса 1 с двойным дном, в котором расположены системы жизнеобеспечения (сжатого воздуха, система

электропитания и освещения, балластная система) и оборудование (источники бесперебойного питания, насосы, Ёмкости с дыхательной смесью).

В носовой и кормовой частях предусмотрены ворота 2 для уменьшения временных затрат на покидание капсулы. В капсуле предусмотрено 36 посадочных мест 3. Управление системами капсулы осуществляется через щиты управления 4. Захват подводным челночным аппаратом вахтовой капсулы осуществляется за держатели 5.

Грузовая капсула имеет аналогичные вахтовой капсуле внутренние и внешние размеры. Но внутреннее пространство капсулы пустое, а в корпусе установлены: система электроснабжения и балластная система. Балластная система, заполняя

пространство между сухим и мокрым корпусами, компенсирует действие подъёмной силы.

ПЧА – это обитаемый телеуправляемый подводный аппарат «мокрого» исполнения. На раме располагаются движители, источники питания, распределительные щиты, системы охлаждения, электроснабжения, управления и контроля, наблюдения, связи, а также оборудование и инструменты, позволяющие удерживать капсулы, перемещаться в пространстве и др.

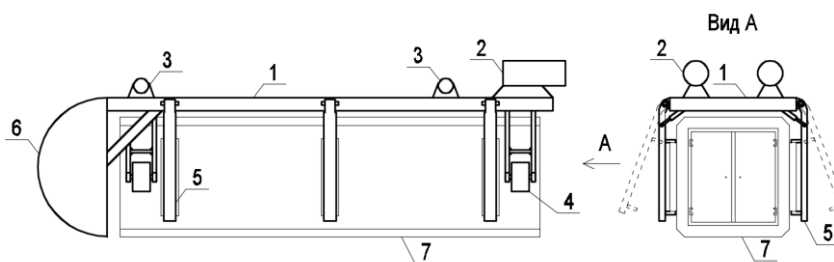


Рис. 7. Схема ПЧА

ПЧА состоит из несущей рамы 1, на которой установлены продольные (основные) 2, поперечные 3 и вертикальные 4 электрические движители. При помощи поворотных захватов 5 производится удержание капсулы 7. Обтекатель 6 имеет округлую форму для уменьшения лобового сопротивления при движении. За обтекателем располагаются источник питания, блок управления и контроля аппаратом, а также остальные устройства. По периметру располагаются датчики и сканеры, устройства видеонаблюдения.

Если разрабатывать полноценный подводный челночный аппарат для перевозки грузов и персонала ПБУ, то его габариты будут достаточно велики. Это связано с необходимостью установки большого объёма оборудования в составе ПЧА. Представленная на рисунке 6 схема ПЧА – это телеуправляемый подводный аппарат с минимальным набором оборудования и систем.

ВЫВОДЫ

Приведённые способы пополнения запасов – это концепты, обладающие своими преимуществами и недостатками. Но на их основе рассмотрены решения основных проблем перемещения грузов и смены персонала для обеспечения круглогодичной эксплуатации подводной буровой установки.

Необходимость и главное возможность работы под водой подтверждается активной работой над проектом «Айсберг» таких известных компаний как ЦКБ «Рубин», ОКБМ «Африкантов», Политехническим университетом Петра Великого, Курчатовским институтом и Институтом проблем нефти и газа РАН при поддержке Фонда перспективных исследований. Также проект включён в программу развития арктической зоны РФ до 2025 г. [5].

Всеобщий интерес к подводному освоению арктических запасов углеводородов возрастает с каждым днем. И сейчас основная задача создавать

новые методы и устройства для успешного освоения углеводородного потенциала арктического региона нашей страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев А.Н. Проектирование подводных аппаратов
2. Флаг Родины. Газета Краснознаменного черноморского флота Российской Федерации. №65 (27321) от 05.09.2017 г.
3. Кормилицин Ю.Н., Хализев О.А. Проектирование подводных лодок. Учебник. Санкт-Петербург: Издательский центр СПбГМТУ, 1999, стр.344.
4. <https://www.ampelmann.nl/> Дата обращения 12.06.2019.
5. Постановление № 1064 от 31 августа 2017 г. О внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 21 апреля 2014 г. № 366 "Об утверждении государственной программы Российской Федерации "Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации на период до 2020 года".
6. <https://topwar.ru/9987-proekt-azorian.html> дата обращения 09.07.19

РЕЦЕНЗИЯ

на статью Бобова Д.Г. и Гусейнова Ч.С.

«ПОДВОДНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПЕРЕХОДА ЭКИПАЖА МЕЖДУ ПОДВОДНЫМИ АППАРАТАМИ, ВКЛЮЧАЯ ПОПОЛНЕНИЕ ЗАПАСОВ НЕОБХОДИМОЙ ПРОДУКЦИИ»

Статья содержит 13 страниц, включая 7 рисунков, 1 таблицу и 6 библиографических ссылок.

Перспектива освоения арктических глубоководных замерзающих морей весьма актуальна и, безусловно, требует решения целого ряда нерешенных вопросов. Проф. Ч.С. Гусейнов со своими аспирантами активно продолжает

развивать эту тематику. И вопрос перемещения под водой различных грузов, резервного оборудования и самого экипажа является одним из тех вопросов, требующих своего разрешения. Рассмотренные варианты таких перемещений позволяют выбрать наиболее приемлемый в условиях постоянного пребывания бурового судна под водой, поскольку регулярные отсоединения чреватые тяжелыми и непредвиденными последствиями, а повышение

надежности процесса бурения на арктическом шельфе относится к одной из самых актуальных задач в деле освоения морских месторождений, и публикации на эту тему имеют практический интерес, что позволяет мне рекомендовать эту работу к опубликованию.

Д.т.н., проф. РГУ нефти и газа им. Губкина
В.Я. Кершенбаум, 02.07.2019.

УДК 621.311

Ермаков Владимир Филиппович

д.т.н., профессор кафедры

«Электроснабжение и электропривод» ЮРГПУ имени М.И. Платова,

Зайцева Ирина Владимировна

аспирант кафедры

«Электроснабжение и электропривод» ЮРГПУ имени М.И. Платова

ВЫБОР СЕЧЕНИЯ ПРОВОДОВ ПРИ ПОВТОРНО-КРАТКОВРЕМЕННОМ РЕЖИМЕ

UDC 621.311

Ermakov Vladimir Filippovich

doctor of technical Sciences, Professor,

Department "power Supply and electric drive"

South-Russian state Polytechnic University of M.I. Platov name

Zaitseva Irina Vladimirovna

postgraduate student of the Department "power Supply and electric drive"

South-Russian state Polytechnic University of M.I. Platov name

SELECTING THE WIRE CROSS-SECTION IN THE SHORT-TERM MODE

Аннотация: В статье проанализированы погрешности известного метода выбора сечения проводов при повторно-кратковременном режиме (ПКР) электроприемников по средней температуре за цикл. Показано, что при таком подходе интенсивность износа изоляции проводов превышает номинальную в три раза. Предложена новая методология выбора сечения проводов при повторно-кратковременном режиме по нагреву или номинальной интенсивности износа изоляции. В первом случае определяющим является предельно допустимая температура нагрева провода 70 °С; во втором случае допускается кратковременное превышение предельно допустимой температуры провода в течение цикла при условии номинальной интенсивности износа его изоляции. Предложено определять длительно допустимый ток проводника по нагреву по точной формуле. Учитывая, что сечение и постоянная времени нагрева выбираемого проводника заранее неизвестны, решена обратная задача – найдена предельная амплитуда тока, при которой проводник конкретного сечения не превысит температуру 70 °С при заданных параметрах ПКР. Для оперативного выбора сечения проводов в диапазоне токов 25 – 330 А и сечений 2,5 – 150 мм² рассчитаны таблицы.

Abstract: The article analyzes the errors of the known method of selecting the wire cross-section in the re-short-term mode (RST) of electric receivers at an average temperature per cycle. It is shown that with this approach, the intensity of wear of the insulation of wires exceeds the nominal three times. A new methodology for the selection of the wire cross-section in the re-short-term mode of heating or the nominal intensity of insulation wear is proposed. In the first case, the maximum permissible heating temperature of the wire is 70 °C; in the second case, a short-term excess of the maximum permissible temperature of the wire during the cycle is allowed, provided the nominal wear intensity of its insulation. It is proposed to determine the long-term permissible current of the conductor by heating according to an accurate formula. Given that the cross section and the heating time constant of the selected conductor are not known in advance, the inverse problem is solved-the limiting amplitude of the current is found at which the conductor of a particular cross section does not exceed the temperature of 70 °C at the given RST parameters. For operational selection of wire cross – section in the range of currents 25 – 330 A and cross sections 2.5 – 150 mm² calculated table.

Ключевые слова: повторно-кратковременный режим, нагрев проводов, интенсивность износа изоляции

Keyword: intermittent operation, heating of wires, the intensity of wear of isolation of

Введение

При повторно-кратковременном режиме (ПКР) работы электроприемника (ЭП) расчетный

ток для выбора проводника по нагреву в известной литературе [1, 2 и др.] предлагается определять по формуле

$$I_{\text{ПР}} = I_{\text{ЭП}} \sqrt{T_{\text{ПВ}}}, \quad (1)$$

где $I_{\text{ЭП}}$ – амплитудное значение импульса тока ЭП;

$I_{\text{ПР}}$ – длительно допустимый ток проводника;

$T_{\text{ПВ}}$ – продолжительность включения (ПВ), выраженная в относительных единицах длительности цикла $t_{\text{ц}}$; определяется по формуле $T_{\text{ПВ}} = \frac{t_{\text{имп}}}{t_{\text{ц}}}$.

Методы

Недостаток существующего метода расчета

Чтобы установить, является ли формула (1) правильной, необходимо проверить методологию ее получения – постановку задачи перед разработкой метода и соответствие разработанного метода исходным установкам – и проверить метод путем практического применения.

Условия постановки задачи выбора сечения проводника всем известны [1]: выбор должен осуществляться по нагреву или по сроку службы изоляции.

Более подробный анализ правильности формулы (1) выполнен в работе [3].

Очевидно, что формула (1) была получена при условии одинакового количества тепла, которое выделяется в проводнике при токе $I_{\text{ПР}}$ за время цикла $t_{\text{ц}}$, с одной стороны, и при амплитудном значении тока ЭП $I_{\text{ЭП}}$ за время импульса $t_{\text{имп}}$, с другой стороны:

$$I_{\text{ПР}}^2 \cdot R_{\text{ПР}} \cdot t_{\text{ц}} = I_{\text{ЭП}}^2 \cdot R_{\text{ПР}} \cdot t_{\text{имп}}, \quad (2)$$

где $R_{\text{ПР}}$ – активное сопротивление проводника.

Определим, какую погрешность имеет известный метод определения расчетного тока проводника при ПКР по формуле (1).

Процесс нагрева проводника подробно исследован в работе Брагина С.М. [4], он в общем виде описывается следующим дифференциальным уравнением

$$\Theta_{\text{уст}} = (\Theta_{\text{ном}} - \Theta_{\text{окр}}) \cdot \left[\frac{I_{\text{ЭП}}}{I_{\text{ПРном}}} \right]^2 = (70 - 20) \cdot \left[\frac{150}{60} \right]^2 = 312,5^\circ\text{C}. \quad (6)$$

В табл. 1 приведены результаты расчета температуры перегрева относительно температуры окружающей среды (за время импульса тока – по формуле (4)) и охлаждения (за время паузы – по формуле (5)) проводника в течение цикла, а также использованный ресурс срока службы изоляции за время цикла.

В очередном i -том шаге расчета определяется приращение температуры $\Delta\Theta_i$ за очередной интервал времени $\Delta t = 0,5$ мин.

Значение температуры Θ_i в конце i -того интервала времени (см. графу 3) находится как $\Theta_i = \Theta_{i-1} + \Delta\Theta_i$ (где Θ_{i-1} – температура перегрева проводника в конце $(i-1)$ -го интервала времени).

Интенсивность износа изоляции V (см. графу 4) определяется по формуле, которая следует из закона Аррениуса и экспоненциального отношения Монтсингера [9] и была адаптирована для оценки

$$\tau \frac{d\Theta}{dt} + \Theta = (\Theta_{\text{ном}} - \Theta_{\text{окр}}) \cdot \left[\frac{I(t)}{I_{\text{ном}}} \right]^2 + \Theta_{\text{окр}}, \quad (3)$$

где $I(t)$ – ток нагрузки в момент времени t ;

$I_{\text{ном}}$ – номинальный длительно допустимый ток проводника;

Θ – температура нагрева изоляции в момент времени t ;

$\Theta_{\text{ном}}$ – номинальная длительно допустимая температура изоляции;

$\Theta_{\text{окр}}$ – температура окружающей среды;

τ – постоянная времени нагрева проводника; значения τ приведены в [1, 5 – 8].

Применительно к режиму ПКР, после замены в формуле (3) $I(t) = I_{\text{ЭП}}$ и $I_{\text{ном}} = I_{\text{ПР}}$, получим следующую формулу для нагрева проводника в течение импульса тока на интервале времени от 0 до $t_{\text{имп}}$

$$\tau \frac{d\Theta}{dt} + \Theta = (\Theta_{\text{ном}} - \Theta_{\text{окр}}) \cdot \left(\frac{I_{\text{ЭП}}}{I_{\text{ПР}}} \right)^2 + \Theta_{\text{окр}}. \quad (4)$$

Процесс охлаждения проводника в течение бестоковой паузы после окончания импульса тока на интервале времени от $t_{\text{имп}}$ до $t_{\text{ц}}$ описывается следующим выражением

$$\tau \frac{d\Theta}{dt} + \Theta = \Theta_{\text{окр}}. \quad (5)$$

Рассмотрим **пример**: При ПКР длительность цикла равна $t_{\text{ц}} = 10$ мин, амплитудное значение тока ЭП равно $I_{\text{ЭП}} = 150$ А, ПВ = 0,15.

По формуле (1) определяем длительно допустимый ток проводника

$$I_{\text{ПР}} = I_{\text{ЭП}} \sqrt{T_{\text{ПВ}}} = 150 \sqrt{0,15} = 58,4.$$

Выбираем по [1] проводник с медными жилами, имеющими сечение $S = 10$ мм², номинальный длительно допустимый ток $I_{\text{ПР}} = 60$ А, длительно допустимую температуру нагрева жил $\Theta_{\text{ном}} = 70$ °С, постоянную времени нагрева $\tau = 7,5$ мин.

Установившаяся температура проводника при длительном режиме (полагая температуру окружающей среды $\Theta_{\text{окр}} = +20$ °С) равна

интенсивности износа изоляции в работе Никитина Ю.М. и Тер-Оганова Э.В. [10] (см. также применение формулы в работе авторов [8])

$$V = e^{\mu[\Theta(t) - \Theta_{\text{ном}}]},$$

где $\mu = 0,116$ – коэффициент, характеризующий интенсивность старения изоляции.

Относительный износ изоляции за цикл (см. графу 5) определяется по формуле [9]

$$L = \frac{1}{20} \cdot \sum_{i=1}^{20} V_i,$$

где V_i – относительный износ изоляции за i -тый интервал времени.

Табл. 1

**ТЕМПЕРАТУРА ПЕРЕГРЕВА И ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ ИЗНОС ИЗОЛЯЦИИ ПРОВОДНИКА
ЗА ВРЕМЯ ЦИКЛА**

NN п/п	Время, мин	Темпера-тура перегрева Θ , °C	Интенсивность износа изоляции V , отн. ед.	Относительный износ изоляции за цикл L , отн. ед.
1	2	3	4	5
1	0,0	24,77	0,053551	3,005
	0,5	43,32	0,460917	
	1,0	60,68	3,452947	
	1,5	76,92	22,717119	
	2,0	71,96	12,776914	
	2,5	67,32	7,457912	
	3,0	62,98	4,507000	
	3,5	58,92	2,813613	
	4,0	55,12	1,810665	
	4,5	51,56	1,198829	
	5,0	48,24	0,815128	
	5,5	45,13	0,568198	
	6,0	42,22	0,405397	
	6,5	39,49	0,295609	
	7,0	36,95	0,219989	
	7,5	34,56	0,166863	
	8,0	32,33	0,128843	
	8,5	30,25	0,101159	
	9,0	28,30	0,080672	
	9,5	26,47	0,065280	
	10,0	24,77	0,053551	

Анализ табл. 1 позволяет сделать вывод о значительной погрешности формулы (1):

- длительно допустимая температура нагрева жил $\Theta_{\text{ном}} = 70$ °C превышена на $76,92 - (70 - 20) = 26,92$ °C;

- относительный износ L изоляции превышен в 3 раза.

Процесс изменения температуры проводника при его выборе по формуле (1) приведен на рис. 1 (верхняя кривая).

$\Theta_{\text{пр}}, ^\circ\text{C}$

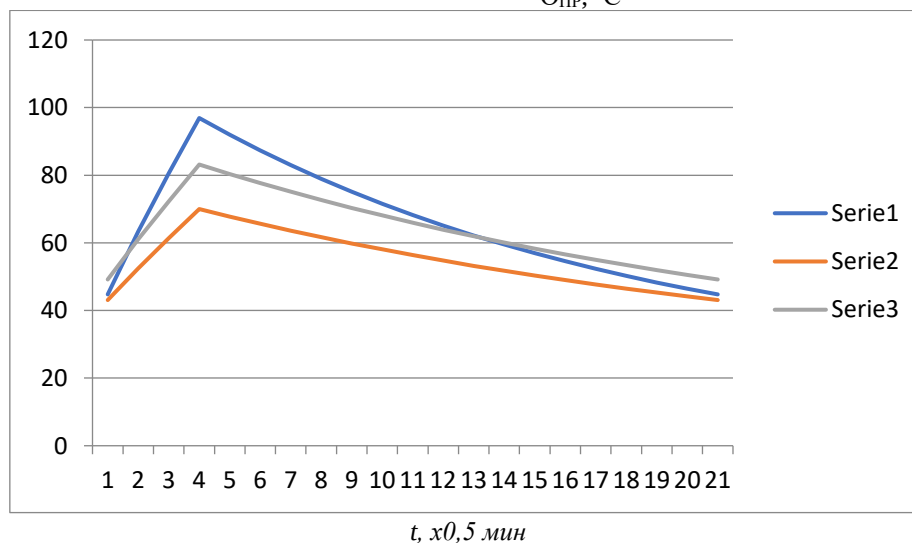


Рис. 1. Процесс изменения температуры проводника при его выборе:

Ряд 1 (верхняя кривая) – по формуле (1);

Ряд 2 (нижняя кривая) – по нагреву;

Ряд 3 (средняя кривая) – по формуле (1)

Уточненный метод выбора сечения проводов при ПКР по нагреву

Предлагаем определять длительно допустимый ток проводника $I_{\text{ДП}}$ по точной формуле [3]

$$I_{\text{ДП}} = I_{\text{ЭП}} \sqrt{\frac{1 - e^{-\frac{T_{\text{ПВ}} \cdot t_{\text{ц}}}{\tau}}}{1 - e^{-\frac{t_{\text{ц}}}{\tau}}}} \quad (7)$$

Учитывая, что сечение S и постоянная времени нагрева τ выбираемого проводника заранее неизвестны, и уравнение (7) неразрешимо, целесообразно решить обратную задачу – найти предельную амплитуду тока, которую выдержит проводник конкретного сечения S при заданных параметрах ПКР:

$$I_{\text{ЭП}} = I_{\text{ДП}} \sqrt{\frac{1 - e^{-\frac{t_{\text{ц}}}{\tau}}}{1 - e^{-\frac{T_{\text{ПВ}} \cdot t_{\text{ц}}}{\tau}}}} \quad (8)$$

По формуле (8) определим для рассмотренного примера, ток какой предельной амплитуды выдержат проводники с сечением $S_1 = 10 \text{ мм}^2$ ($I_{\text{ДП}} = 60 \text{ А}$, $\tau = 7,5 \text{ мин}$) и $S_2 = 16 \text{ мм}^2$ ($I_{\text{ДП}} = 80 \text{ А}$, $\tau = 11 \text{ мин}$):

$$I_{\text{ЭП1}} = 60 \sqrt{\frac{1 - e^{-\frac{10}{7,5}}}{1 - e^{-\frac{0,15 \cdot 10}{7,5}}}} = 120,9 \text{ А}.$$

$$I_{\text{ЭП2}} = 80 \sqrt{\frac{1 - e^{-\frac{10}{11}}}{1 - e^{-\frac{0,15 \cdot 10}{11}}}} = 173,14 \text{ А}.$$

Расчеты, выполненные по формулам (4 – 6), а также формулам, приведенным в табл. 1, дают следующие результаты для проводника с сечением $S_2 = 16 \text{ мм}^2$:

- максимальная температура нагрева жил равна $57,5^\circ\text{C}$;

- относительный износ L изоляции равен $0,08$.

Процесс изменения температуры проводника при его выборе по нагреву (в этом случае температуры проводника не должна превышать 70°C) приведен на рис. 1 (нижняя кривая).

Второй проводник (с сечением $S = 16 \text{ мм}^2$) может быть использован в качестве расчетного по нагреву для рассмотренного примера, поскольку

$$I_{\text{ЭП2}} = 173,14 \text{ А} > I_{\text{ЭП}} = 150 \text{ А}.$$

Результаты

Для удобства реализации нового метода выбора сечения проводов при повторно-кратковременном режиме авторами были определены значения предельно допустимой амплитуды тока электроприёмника при различных параметрах ПКР для проводников различного сечения. Эти значения приведены в табл. 2 – при выборе проводников по нагреву; в табл. 3 – при выборе проводников по номинальному износу (более подробно см. [8,11]).

Табл. 2

ПРЕДЕЛЬНАЯ АМПЛИТУДА ТОКА ЭЛЕКТРОПРИЁМНИКА ПРИ ПКР ПРИ ВЫБОРЕ ПРОВОДНИКОВ ПО НАГРЕВУ

Сечение S , мм^2	Длительно допустимый ток $I_{\text{ДП}}$, А	Постоянная времени на- грева τ , мин	ПВ = 0,15	ПВ = 0,25	ПВ = 0,40	ПВ = 0,60
Время цикла $t_{\text{ц}} = 10 \text{ мин}$						
2,5	25,0	1,5	31,42	27,74	25,90	25,22
4,0	35,0	3,0	54,79	45,71	40,05	36,96
6,0	42,0	4,8	75,64	61,53	52,17	46,47
10,0	60,0	7,5	120,93	96,71	80,08	69,38
16,0	80,0	11,0	173,14	137,10	111,96	95,34
25,0	100,0	15,7	227,38	178,89	144,73	121,79
35,0	125,0	19,5	290,98	228,25	183,85	153,84
50,0	170,0	23,5	402,47	315,04	252,97	210,83
70,0	210,0	27,5	503,25	393,33	315,14	261,89
95,0	255,0	32,0	617,33	481,89	385,38	319,49
120,0	290,0	35,8	706,75	551,24	440,32	364,45
150,0	330,0	41,0	810,0	631,23	503,56	416,09

Процесс изменения температуры проводника при его выборе по номинальной интенсивности износа приведен на рис. 1 (средняя кривая).

ПРЕДЕЛЬНАЯ АМПЛИТУДА ТОКА ЭЛЕКТРОПРИЁМНИКА ПРИ ПКР ПРИ ВЫБОРЕ ПРОВОДНИКОВ ПО НОМИНАЛЬНОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ ИЗНОСА

Сечение S , мм ²	Длительно допустимый ток $I_{\text{ДП}}$, А	Постоянная времени нагрева τ , мин	ПВ = 0,15	ПВ = 0,25	ПВ = 0,40	ПВ = 0,60
Время цикла $t_{\text{ц}} = 10$ мин						
2,5	25,0	1,5	38,18	32,99	29,67	27,613
4,0	35,0	3,0	65,72	54,09	46,195	41,05
6,0	42,0	4,8	89,34	71,82	59,58	51,3
10,0	60,0	7,5	139,13	110,115	89,5	75,295
16,0	80,0	11,0	194,62	152,65	122,6	101,80
25,0	100,0	15,7	250,00	195,00	155,52	128,13
35,0	125,0	19,5	315,77	245,78	195,48	160,57
50,0	170,0	23,5	432,21	335,95	266,73	218,70
70,0	210,0	27,5	536,33	416,29	330,15	270,42
95,0	255,0	32,0	652,8	506,63	401,49	328,58
120,0	290,0	35,8	743,64	576,93	457,00	373,82
150,0	330,0	41,0	847,57	657,30	520,40	425,50

В том случае, если параметры ПКР ЭП (длительность цикла $t_{\text{ц}}$ и ПВ) совпадают с табличными или близки к ним, то по таблицам сразу определяется необходимое сечение проводника.

В том случае, если параметры ПКР ЭП далеки от табличных, то вначале по таблицам делается предварительный выбор сечения проводника по ближайшим параметрам ПКР, а окончательный выбор осуществляется после расчета по формуле (8) с использованием реальных параметров ПКР.

$$I_{\text{ЭП}} = I_{\text{ДП}} \sqrt{\frac{1 - e^{-\frac{t_{\text{ц}}}{\tau}}}{1 - e^{-\frac{T_{\text{ПВ}} \cdot t_{\text{ц}}}{\tau}}}} = 80 \sqrt{\frac{1 - e^{-\frac{15}{11}}}{1 - e^{-\frac{0,15 \cdot 15}{11}}}} = 160,47 \text{ А.}$$

Полученный результат вычислений подтверждает правильность выбора проводника с сечением $S = 16 \text{ мм}^2$.

Для оценки известного и новых предложений рассмотрим **пример**.

При ПКР длительность цикла равна $t_{\text{ц}} = 10$ мин, ПВ = 0,15.

Для проводника с сечением $S = 10 \text{ мм}^2$, имеющего длительно допустимый ток $I_{\text{ДП}} = 60 \text{ А}$, предельная амплитуда импульса тока $I_{\text{ЭП}}$, рассчитанная по формуле (1), равна

$$I_{\text{ЭП}} = \frac{I_{\text{ДП}}}{\sqrt{T_{\text{ПВ}}}} = 154,92 \text{ А.}$$

Предельно допустимая амплитуда тока электроприёмника при выборе проводника по нагреву равна (см. табл. 2)

$$I_{\text{ЭП}} = 120,93 \text{ А.}$$

Предельно допустимая амплитуда тока электроприёмника при выборе проводника по номинальной интенсивности износа равна (см. табл. 3)

$$I_{\text{ЭП}} = 139,13 \text{ А.}$$

Окончательное решение, по какому методу выбирать сечение проводника – по максимальному нагреву или номинальной интенсивности износа – принимает проектировщик.

Рассмотрим пример: При ПКР длительность цикла равна $t_{\text{ц}} = 15$ мин, амплитудное значение тока ЭП равно $I_{\text{ЭП}} = 140 \text{ А}$, ПВ = 0,15.

По табл. 2 определяем, что проводник с сечением $S = 16 \text{ мм}^2$ при указанных параметрах ПКР и $t_{\text{ц}} = 10$ мин допускает предельную амплитуду тока 173,14 А.

Предварительно выбираем этот проводник и выполняем расчет по формуле (8) предельно допустимой амплитуды тока $I_{\text{ЭП}}$ при $t_{\text{ц}} = 15$ мин

Литература:

1. Справочник по проектированию электрических сетей и электрооборудования /Под ред. В.И. Круповича, Ю.Г. Барыбина, М.Л. Самовера. – М.: Энергоиздат, 1981. – 408 с.; Табл. 2-14. – С. 110.
2. Правила устройства электроустановок. – М.: КНОРУС, 2018. – 504 с. – С. 17.
3. Ермаков В.Ф., Зайцева И.В. Математическое моделирование процесса нагрева и термического износа изоляции проводников //Моделирование. Теория, методы и средства: Материалы XI Междунар. науч.-практич. конф., г. Новочеркасск, 31 марта 2011 г. /Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2011. – С. 116 – 119.
4. Брагин С.М. Электрический и тепловой расчет кабеля. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1960. – 328 с.
5. Волобровский С.Д., Каялов Г.М., Клейн П.Н., Мешель Б.С. Электрические нагрузки промышленных предприятий. – М.-Л.: Энергия, 1971. – 304 с.
6. Ермаков В.Ф., Балыкин Е.С., Еволенко Н.А. и др. Опытное определение постоянной времени нагрева электрооборудования //Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Техн. науки. – 2012. – № 1. – С. 25 – 31.

7. Ермаков В.Ф., Зайцева И.В., Горобец А.В. Комплексное исследование электрической нагрузки. – Ростов н/Д: ЗАО «Книга», 2015. – 135 с.
 8. Ермаков В.Ф., Зайцева И.В. Выбор электрооборудования по нагреву. – Ростов н/Д: ЗАО «Книга», 2018. – 176 с.
 9. ГОСТ 14209-97 (МЭК 354-91). LOADING GUIDE FOR OIL-IMMERSED POWER TRANSFORMERS). Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов. – Минск: Межгосуд. Совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2001. – 80 с.
 10. Никитин Ю.М., Тер-Оганов Э.В. Определение вероятностных характеристик случайного процесса относительного износа изоляции трансформаторов //Электричество. – 1973. – № 9. – С. 62 – 67.
 11. Ермаков В.Ф., Зайцева И.В. Метод выбора по нагреву проводников при повторно-кратковременном режиме // Результаты исследований – 2011: материалы 60-й науч. конф. профессор.-преподават. состава, науч. работников, аспирантов и студ. /Юж.-Рос. гос. техн. ун-т (НПИ). – Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2011. – С. 52 – 58.
- References:**
1. Reference design of electrical networks and electrical equipment /Under the editorship of V. I. Krupovic, Barybin Y. G., M. L. Samover. – Moscow: Energoizdat, 1981. – 408 p.; Table. 2-14. – P. 110.
 2. Rules of electrical installation. – M.: KNORUS, 2018. – 504 p. – P. 17.
 3. Ermakov V. F., Zaitseva I. V. Mathematical modelling of process of heating and thermal degradation of the insulation of the conductors //Simulation. Theory, methods and tools: proceedings of the XI Intern. scientific.-practical. Conf., Novocherkassk, 31 March 2011 / South.-Grown. state tech. Un-t (NPI). – Novocherkassk: SGTU, 2011. – Pp. 116 – 119.
 4. Bragin S. M. electrical and thermal calculation of the cable. – M.-L.: Gosenergoizdat, 1960. – 328 p.
 5. Volobrin S. D., Calow G. M., Klein P. N., Meshel B. S. Electrical loads of industrial enterprises. – M.-L.: Energy, 1971. – 304 p.
 6. Ermakov V. F., Balykin E. S., Evolenko N. Ah. experimental determination of the constant heating time of electrical equipment //Izv. higher educational. Sowing.-Kavk. region. Techn. sciences. – 2012. – № 1. – P. 25 – 31.
 7. Ermakov V. F., Zaitseva I. V., Gorobets A.V. Comprehensive study of electrical load. – Rostov n/A: CJSC "Book", 2015. 135 p.
 8. Ermakov V. F., Zaitseva I. V. Selection of electrical equipment for heating. – Rostov on/Don: CC "Book", 2018. – 176 p.
 9. GOST 14209-97 (IEC 354-91). LOADING GUIDE FOR OIL-IMMERSED POWER TRANSFORMERS). Guide for loading oil-immersed power transformers. – Minsk: Interstate Court. Council for standardization, Metrology and certification, 2001. – 80 p.
 10. Nikitin Yu. M., Ter-Oganov E. V. Determination of probabilistic characteristics of the random process of relative wear of transformer insulation //Electricity. – 1973. – № 9. – P. 62 – 67.
 11. Ermakov V. F., Zaitseva I. V. the Method of choice for heating conductors in an intermittent mode // research Results – 2011: materials of the 60th scientific. Conf. professor.-teaching. composition, science. workers, graduate students and students. /South.-Grown. state tech. Un-t (NPI). – Novocherkassk: SGTU (NPI), 2011. – P. 52 – 58.

Зурабян А.С.

Кандидат технических наук

ИНДУСТРИАЛЬНОЕ ДОМОСТРОЕНИЯ В ТРЕХЛУЧЕВОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ - ДОМ "ЛОТОС"

Zurabyan A.C.

Candidate of Technical Sciences

MULTI-STORY BUILDINGS IN THREE RAY COORDINATE SYSTEM - HOUSE "LOTOS"

Аннотация: Показано, что существующие методы массового низкобюджетного крупнопанельного и объемно-блочного строительства не являются самыми дешевыми. Можно создать иную конструктивную систему индустриального строительства в трех лучевой системе координат и существенно снизить стоимость квадратного метра.

Summary: It is shown, that the existing methods of mass low-budget large-panel and volume-block construction are not the cheapest. We can create another constructive system of industrial construction in the three-ray coordinate system and significantly reduce the cost per square meter of the building.

Во многих странах жилищная проблема пока еще не решена и, несмотря на то, что масштабы крупнопанельного, каркасного и объемно-блочного строительства существенны, нужны еще долгие годы для обеспечения каждой семьи комфортным жильем.

Если стоимость земли в составе затрат массового строительства многоэтажных многоквартирных жилых домов минимальна или земля предоставляется бесплатно, то стоимость

конструкции зданий может быть определяющей, особенно в сейсмических районах.

Все попытки снижения себестоимости известных наиболее экономичных сборных методов строительства, таких как крупнопанельное строительство, обычно сводились к совершенствованию отдельных элементов конструкций, к применению более дешевых материалов. Эффект от этих проектных решений в лучшем случае приводит к небольшому снижению

стоимости. Таким образом, традиционным путем существенного экономического эффекта достичь практически невозможно. Комфортное капитальное жилье остается дорогостоящим предметом первой необходимости.

Стоимость конструкций в наиболее дешевых крупнопанельных домах в основном определяется расходом бетона на квадратный метр продаваемой площади. В многоэтажных домах небольшой этажности толщина стен и перекрытий зависит от требований звукоизоляции и пожарной безопасности. С повышением этажности, т.е. в большинстве случаев, на толщину стен уже влияет их несущая способность, поэтому на нижних этажах их или утолщают, или применяют более высокие марки бетона. Плоская, относительно тонкая, стена под высокой нагрузкой рассчитывается с учетом ее гибкости и этот фактор во многом определяет повышенный расход железобетона по сравнению с малоэтажным строительством. При высотном строительстве с большими горизонтальными нагрузками несущей способности поперечных и продольных стен часто не хватает и в работу включают наружные несущие стены. Это практикуется особенно в монолитном домостроении.

Значительное снижение стоимости строительства становится осуществимым, если пересмотреть концепцию многоэтажного массового крупнопанельного или объемно-блочного домостроения реализованная в предлагаемых необычных домах «Лотос» (патент Российской Федерации).

Основная идея таких домов при разработке планировочных и конструктивных решений многоэтажных зданий, собираемых из сборных элементов заводского производства, основана на замене плоской стены на стеновой элемент криволинейный в плане. Такие элементы не вписываются в систему декартовых координат, но применимы в трех лучевой системе.

В трех лучевой системе оптимальной формой многоэтажного здания является уже не коробчатая структура, присущая крупнопанельному домостроению, а трилистник с тремя ветвями в плане, считающийся, как с конструктивной, так и с градостроительной точки зрения, одной из оптимальных структур. Повышается площадь секции, на один лестнично-лифтовый узел при стандартном решении приходится не четыре, а шесть и более квартир. Развитая в плане форма трилистника повышает несущую способность здания при воздействии горизонтальных ветровых и сейсмических нагрузках.

Отказ от плоских поперечных и продольных стен и применение при воздействии вертикальных нагрузок более устойчивых и экономичных криволинейных стен с наиболее простой круглой формой в плане создает новую конструктивную структуру здания. Основным сборным элементом при этом является изогнутая по кругу в плане стеновая панель или цилиндрический объемный пространственный элемент. Такая панель или пространственный объемный блок, могут быть расположены по внешнему контуру каждой из трех

ветвей здания и в виде круглого ядра в центре каждой из ветвей. Сами ветви объединены жестким лестнично-лифтовым узлом.

Естественно, что такая конструкция создает иной тип перекрытий в виде основной круглой плиты, которая уже может быть выполнена в виде высокоэкономичной переменной по толщине вспарушенной плиты с контурным ребром, работающей с распором. Толщина таких плит определяется только условиями звукоизоляции, поскольку несущая арматура расположена по ее контуру и может быть предварительно напряженной. Расход арматурной стали при этом минимальный и может достигать 3-6 кг на квадратный метр площади плиты. Испытание плиты показали, что она практически не прогибается при расчетной нагрузке (прогиб 1-2 мм). Приведенная толщина плит 14 см.

Таким образом, конструкция здания «Лотос» в самом простом случае представляет собой, объединенные между собой лестнично-лифтовым узлом, три ветви, состоящие из внешнего жесткого контура и внутреннего круглого в плане несущего ядра. Внешний контур состоит из сопряженных друг с другом изогнутых по кругу в плане стен.

В такой системе несущая наружная изогнутая стена как бы плавно переходит во внутреннюю несущую, заменяя собой наружные и поперечные стены крупнопанельного здания. В крупнопанельном домостроении железобетонные наружные стены выполняют только ограждающие функции, а это примерно 20 % расхода бетона на квадратный метр общей площади.

Между внутренним ядром и круглыми плитами перекрытия расположены трапециевидные в плане элементы перекрытий, создающие глубину ветвей здания. В лестнично-лифтовом узле также применены криволинейные элементы стен.

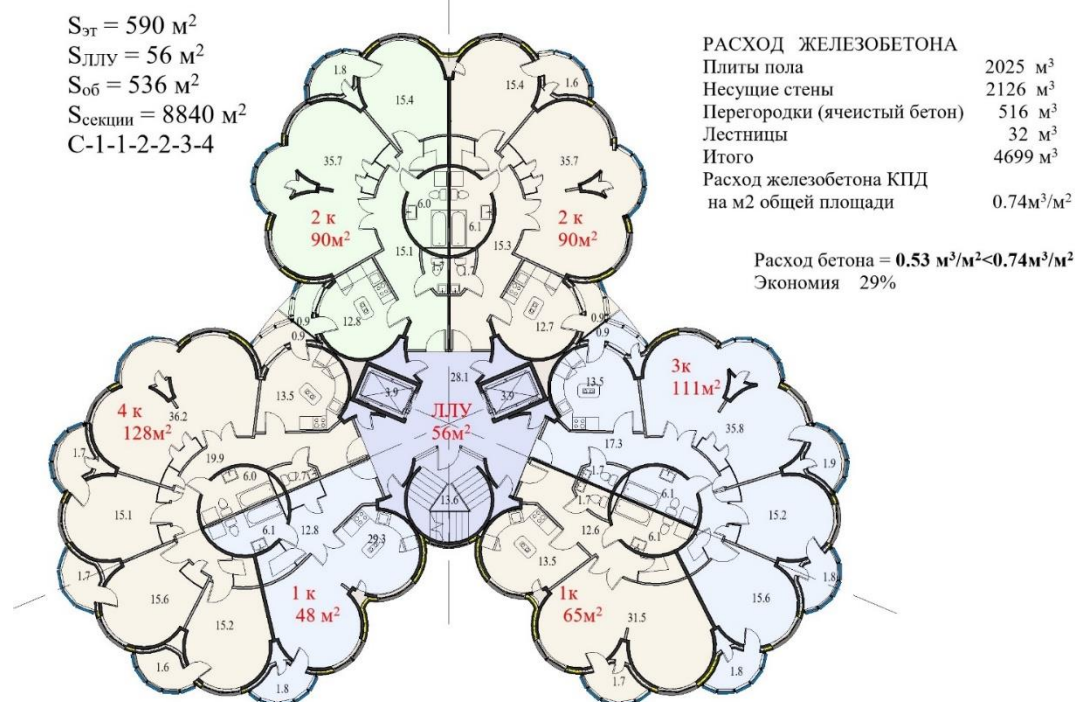
В более сложных случаях с повышением этажности, если не хватает несущей способности криволинейных стен, в конструкцию каждой ветви добавляются радиальные несущие стены. При необходимости, для высотных и сейсмостойких зданий, по внешнему периметру между криволинейными стенами может быть выполнен монолитный железобетонный каркас. Если в радиальных несущих стенах по расчету нет необходимости, они могут быть заменены легкими перегородками. По сравнению с крупнопанельным домостроением, где теперь уже достигнута возможность строить двадцати пятиэтажные здания, дома «Лотос» позволяют еще больше повысить этажность сборных конструкций зданий до тридцати, а с монолитным каркасом и более этажей. Этот факт вносит некоторые коррективы и при оценке эффективности с учетом стоимости земли. Высотность уменьшает затраты на землю. Еще один фактор влияющий на повышение эффективности с учетом стоимости земельного участка – это большая площадь секции на этаже и большая ширина секции по сравнению с типовыми крупнопанельными секциями.

При применении криволинейных стен и трех лучевой структуры плана здания возникают

необычные квартиры с наружными стенами цилиндрической формы и с радиальными плоскими стенами. Это может быть оправдано только если достигается такая экономия конструктивного

материала, когда из того же бетона можно создать по сравнению с крупнопанельным домостроением существенно большие площади.

ПРИМЕР ПЛАНА ТИПОВОГО ЭТАЖА СЕМНАДЦАТИЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА
"ЛОТОС" БАШЕННОГО ТИПА С КВАРТИРАМИ УВЕЛИЧЕННОГО РАЗМЕРА



При трех лучевой системе с цилиндрическими блоками расход железобетона может быть снижен на двадцать и более процентов по сравнению с отработанными сериями панельных домов, где он равен 0.74 и более кубических метров бетона на квадратный метр общей (продаваемой) площади, т.е. это практически дополнительная комната в квартире. Экономия бетона может быть еще более значительная, если применять вентилируемый фасад, а не трехслойные наружные стены.

По сравнению с не типовыми жилыми домами, например, с монолитным каркасом, снижение стоимости может быть еще значительнее. Для массового строительства это эшелоны цемента, крупного и мелкого заполнителя, арматурной стали. На двадцать и более процентов уменьшается количество карьеров, способствуя охране окружающей среды.

В каждой ветви секции домов «Лотос» может быть расположено несколько квартир, в основном две. Квартиры в таких домах образуются путем расположения комнат вокруг санузла. Размеры комнат регулируются перемещением перегородок. Во многом это жесткая схема, но и в панельных домах при фиксированном шаге внутренних стен так же ограничены варианты деления. Гостиные квартир домов «Лотос» образуются путем объединения стандартной комнаты с кухней или двух смежных комнат. Не составляет труда объединить две квартиры в ветвях трилистника между собой. Со стороны фасада между блоками

образуются полости, которые при строительстве высотных зданий и в сейсмических зонах замоноличиваются и образуют каркас, а не в столь высоких домах служат как бы термосом здания и могут использоваться как внутренние шкафы для хранения.

Не традиционная форма квартир имеет и преимущества. Вся не освещенная зона квартир сжата и имеет относительно небольшие площади, а основная площадь находится в более освещенной зоне и выходит не на одну плоскость фасада, а на криволинейный контур.

Отход от прямоугольной системы, казалось бы, не позволяет делить площади на новые помещения, но и в панельных домах это деление происходит крайне редко. Чаще при необходимости деления меняют квартиры на большие.

Не прямоугольные площади комнат для расстановки мебели непривычны, но у наружных стен мебель редко устанавливается и у панельных зданий, здесь используется ее свободная расстановка, поскольку наружные криволинейные стены частично превращаются во внутренние стены. При это все это оправдывается или наличием при той же стоимости большей площади или более низкой стоимостью квартир.

Несмотря на необычные формы комнат мебель применяется в основном традиционная. В случае развития такого строительства скорее всего возникнет приспособление мебельной отрасли к

таким домам, тем более при применении печати на 3Д принтерах. Архитекторы и дизайнеры могут помочь потребителю в организации пространства в нетрадиционных формах и извлечь даже преимущества. Например, изогнутый фронт кухни минимизирует движение, а расширенная зона у окон позволяет устанавливать кухонный остров даже в небольших квартирах.

Не исключено, что многие потребители будут отдавать предпочтение квартирам такого типа, благодаря возможности приобрести жилье существенно большей площади за те же средства. При социальном распределении жилья можно увеличить нормы выделяемой площади.

В целом прямоугольная система координат в строительстве возникла для упрощения деления и исторически, благодаря наличию леса и возникшей стоечно-балочной системы. В регионах где леса нет жилье строят и других форм. С появлением 3Д печати домов большинство конструкций имеют изогнутые формы. Однако такая возможность есть и при литейной технологии, присущей бетону.

Дома «Лотос» в основном башенного типа с большей этажностью, чем в крупнопанельном строительстве, но они же могут блокироваться в виде дуплексов или в сочетании с более узкими секциями, созданными для небольших участков застройки. Для узких участков застройки разработаны дома секционного типа, правда с меньшим экономическим эффектом. При малоэтажной застройке экономическая целесообразность не столь перспективна, но при наличии созданных мощностей она возможна в виде оригинальных типов домов.

Наиболее эффективным методом строительства домов «Лотос» является применение объемных блоков. Одним из ограничений при этом

является необходимость транспортировки крупногабаритных элементов. В связи с этим рассматривается три схемы такого производства. Первая, когда транспортировка блоков не является препятствием, создание мини или полноценного завода для выпуска объемных блоков. Вторая схема - членение заводских сборных объемных элементов на стены и перекрытия. Третья - это производство основных блоков непосредственно на стройплощадке с доставкой комплектующих с производственной базы, что соответствует известной тенденции переноса мини домостроительного комбината на стройплощадку. Вторая схема осуществима практически везде.

Технологическая оснастка для сборных криволинейных элементов отличается минимальной металлоемкостью и требует расхода металла меньшего, чем для крупнопанельного домостроения при той же производительности производства. Меньшая металлоемкость оборудования (примерно в 2-3 раза) обеспечивается кривизной и, в следствии этого, пространственной жесткостью и отсутствием необходимости обеспечить жесткие допуски по отклонениям от плоскости форм. По сравнению с крупнопанельным строительством, ускоряется монтаж, поскольку все основные монтажные элементы устойчивы и не требуют монтажных креплений.

Таким образом дома «Лотос» могут быть применены для массовой застройки в случаях, когда определяющей является стоимость конструкции здания. Жители могут за те же средства приобрести на 20-30% большую площадь, что равнозначно дополнительной комнате. Эффект повышается при строительстве в сейсмических районах.

Biliaiev M.M.

*Doctor of Technical Sciences, Professor
Head of The Department «Hydraulics and Water Supply»,
Dnipro National University of Railway Transport
named after academician V. Lazaryan*

Berlov O.V.

*PhD, Associate Professor of The Department «Workplace Safety and Health»,
State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture»*

Kozachyna V.A.

*PhD, senior lecturer of The Department «Hydraulics and Water Supply»,
Dnipro National University of Railway Transport
named after academician V. Lazaryan*

Kyrychenko R.V.

*Researcher, Department «Manufacturing and property management»,
National Transport University of Ukraine*

MATHEMATICAL MODELING OF POLLUTED AIR SUCTION NEAR THE ROAD

Біляєв Микола Миколайович

*доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри «Гідравліка та водопостачання»,
Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна*

Берлов Олександр Вікторович

*кандидат технічних наук,
доцент кафедри «Безпека життєдіяльності»,*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТСОСА ЗАГРЯЗНЕННОГО ВОЗДУШНОГО ВОЗДУХА ВОЗЛЕ АВТОДОРОГИ

Summary: Development of numerical model, which allows quick computation of polluted air suction near the road. The developed model is based on the equation of potential flow and equation of pollutant mass transfer. Equation of potential flow is used to compute wind flow near road in the case of suction tube application. To solve equation for potential flow method of conditional approximation was used. The implicit change – triangle difference scheme is used to solve equation of convective – diffusive dispersion. On the basis of the developed numerical models a computational experiment was performed to estimate the influence of suction tube application on local air pollution near the road.

Анотація: Розробка чисельної моделі, що дозволяє швидко обчислювати всмоктування забрудненого повітря біля дороги. Розроблена модель базується на рівнянні потенційного потоку та рівнянні масопереносу забруднюючих речовин. Рівняння потенційного потоку використовується для обчислення вітрового потоку біля дороги у випадку застосування трубки всмоктування. Для розв'язання рівняння для потенційного потоку був використаний метод умовної апроксимації. Для розв'язання рівняння конвективно-дифузійної дисперсії використовується неявна поперемінно-трикутна схема. На основі розроблених чисельних моделей проведено обчислювальний експеримент для оцінки впливу застосування трубки всмоктування на місцеве забруднення повітря біля дороги.

Key words: air pollution; road traffic, numerical simulation, suction tube

Ключові слова: забруднення повітря; дорожній рух, чисельне моделювання, всмоктувальна труба

Introduction. Different mitigation measures are known to reduce level of air pollution from road traffic. For example [8]: vegetation near roads, porous asphalt, sound walls, dust suppressants, TiO₂ covering of the road, etc. Every mitigation method has its advantages and disadvantages, which can be revealed in specific conditions for specific road. One of the mitigation method to remove polluted air from the road traffic is application of suction tube connected with the system which provides polluted air transfer from the road and its purifying [8]. To implement this system at any part of road it is necessary to obtain beforehand information about its effectiveness.

Laboratory experiments to solve this problem consume much time and are expensive [9]. More appropriate way is an application of computer simulation. Existing commercial codes such as ANSYS, FlowVision, etc can solve this problem “without tension”. As a rule, these codes use Navier – Stokes equations coupled with different turbulent models to compute wind flow [11]. It's a common knowledge, that if we use Navier – Stokes equations we must use very fine grid to simulate vortex formation (near solid walls, etc) in the computational region [12]. That results in huge computational time [7]. It is not convenient for every day study and we can't embody this approach if we have not ‘good’ computer. The alternative way is to develop numerical models which can ‘capture’ the main physical processes which

influence the contamination zone formation near the road and do not consume much computer time.

Goal. The goal of this paper is development a numerical model for quick computing of the local air quality near roads with account of suction tube application to remove polluted air from the road.

Mathematical model. We study the effectiveness of suction system near the road. This study is divided in two steps. At the first step we compute flow pattern in the region in case when the suction system is installed. At the second step we simulate the pollutant dispersion when the suction system works.

To simulate the wind flow near the road we used model of potential flow. In this case the governing equation is as following [5]:

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2} = 0, \quad (1)$$

where P is the potential of speed.

The wind velocity components are calculated as follows:

$$u = \frac{\partial P}{\partial x}, \quad v = \frac{\partial P}{\partial y}. \quad (2)$$

The computational region is rectangular one. Boundary conditions in the computational region are discussed in [1, 5].

Dispersion of NO , NO_2 from vehicles is simulated on the basis of mass transport equations (3, 4) [1].

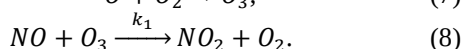
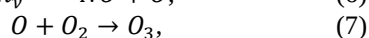
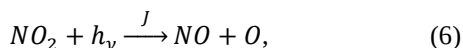
$$\frac{\partial[NO]}{\partial t} + \frac{\partial u[NO]}{\partial x} + \frac{\partial v[NO]}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial[NO]}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial[NO]}{\partial y} \right) + Q_{NO} \delta(x - x_0) \delta(y - y_0), \quad (3)$$

$$\frac{\partial[NO_2]}{\partial t} + \frac{\partial u[NO_2]}{\partial x} + \frac{\partial v[NO_2]}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial[NO_2]}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial[NO_2]}{\partial y} \right) + Q_{NO_2} \delta(x - x_0) \delta(y - y_0), \quad (4)$$

$$\frac{\partial[O_3]}{\partial t} + \frac{\partial u[O_3]}{\partial x} + \frac{\partial v[O_3]}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial[O_3]}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial[O_3]}{\partial y} \right), \quad (5)$$

where Q_{NO} is emission rate of NO from the vehicles; Q_{NO_2} is emission rate of NO_2 from the vehicles; u, v are air flow velocity components; $\mu = (\mu_x, \mu_y)$ are coefficients of turbulent diffusion; x_0, y_0 are coordinates of emissions; $\delta(x - x_0), \delta(y - y_0)$ are Dirac delta functions.

Eq. (5) here is used to simulate O_3 dispersion because we want to take into account the following chemical transformations of pollutants [6, 10].



In the model developed there is no O_3 emission in the computational region only it's inflow through the inlet boundary (section $x = 0$). We assume that inflow O_3 concentration is equal to it's background concentration which is known for the region. To simulate chemical processes (6) – (8) the following equations will be integrated in each computational cell [6].

$$\frac{d[NO]}{dt} = -k_1[NO][O_3] + J[NO_2], \quad (9)$$

$$\frac{d[NO_2]}{dt} = k_1[NO][O_3] - J[NO_2], \quad (10)$$

$$\frac{d[O_3]}{dt} = -k_1[NO][O_3] + J[NO_2], \quad (11)$$

where k_1, J are empirical constants [6].

We can denote by 'C' any concentration from Eq. (3)-(5). Then the boundary conditions for these equations can be written as follows [1, 2, 5]:

– inlet (left) boundary, $x = 0$: $C|_{inlet} = C_k$, where C_k is known concentration;

– outlet (right) boundary $x = L$: in numerical model the condition $C(i + 1, j) = C(i, j)$ is used (here $C(i + 1, j)$ is concentration in the last computational cell, $C(i, j)$ is concentration in previous computational cell. This boundary condition means that we neglect the process of diffusion at the section $x = L$.

– top boundary and ground surface $\frac{\partial C}{\partial n} = 0$.

At time $t = 0$ we set the background NO, NO_2, O_3 concentrations in the computational region.

Numerical models. Correct calculation of wind flow is a very important step when we solve numerically mass transport equations like Eq.(3) – (5) because these equations are based on continuity equation:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0. \quad (12)$$

So if we use any method of numerical integration of mass transport equations we must provide, in numerical form, implementation of 'condition' (12) in each computational cell. That is one of main problems to be solved when we develop numerical model of pollutant dispersion.

To perform numerical integration of governing equations rectangular grid was used.

To solve numerically Eq. (1) we used so called 'method of conditional approximation'. In this case Eq. (1) was written preliminary in evolutionary form [4]:

$$\frac{\partial P}{\partial \eta} = \frac{\partial^2 P}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 P}{\partial y^2}, \quad (13)$$

where η is fictitious time.

After that Eq. (13) was approximated and split in two steps. The difference scheme at the first step of splitting is [4]:

$$\frac{P_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} - P_{i,j}^n}{\Delta t} = \left[\frac{-P_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + P_{i-1,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta x^2} \right] + \left[\frac{-P_{i,j}^{n+\frac{1}{2}} + P_{i,j-1}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta y^2} \right].$$

At the second step of splitting the difference scheme is [4]:

$$\frac{P_{i,j}^{n+1} - P_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta t} = \left[\frac{P_{i+1,j}^{n+1} - P_{i,j}^{n+1}}{\Delta x^2} \right] + \left[\frac{P_{i,j+1}^{n+1} - P_{i,j}^{n+1}}{\Delta y^2} \right].$$

At each step of splitting the unknown parameter $P_{i,j}$ is determined using explicit formula of 'running calculation'. Parameter $P_{i,j}$ is determined in the centers

$$|P_{i,j}^{n+1} - P_{i,j}^n| \leq \varepsilon,$$

where $P_{i,j}^{n+1}$ is new value of potential; $P_{i,j}^n$ is the previous value of potential; ε is a small number.

of computational cells. The calculation is over if the following condition is fulfilled:

To begin calculations using this difference scheme we must set 'initial' field for potential P , for example, $P_{i,j} = 0$ for $\eta = 0$.

Components of wind velocity are computed on the sides of the computational cells using the following formulae:

$$u_{ij} = \frac{P_{i,j} - P_{i-1,j}}{\Delta x},$$

$$v_{ij} = \frac{P_{i,j} - P_{i,j-1}}{\Delta y}.$$

Mass transport equations may be written in a common view as:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} = \text{div}(\mu \text{grad} C) + \sum_{i=1}^N Q_i(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i), \quad (14)$$

where C is concentration (NO , NO_2 , O_3). In case of O_3 transport we have $Q_i(t) = 0$.

Before numerical integration of mass transport Eq. (14) we split it as follows:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right)$$

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \sum Q_i(t) \delta(x - x_i) \delta(y - y_i). \quad (15)$$

To solve equations from (15) we used change-triangle difference schemes.

The convective derivatives are represented as following [1, 5]:

$$\frac{\partial uC}{\partial x} = \frac{\partial u^+ C}{\partial x} + \frac{\partial u^- C}{\partial x},$$

$$\frac{\partial vC}{\partial y} = \frac{\partial v^+ C}{\partial y} + \frac{\partial v^- C}{\partial y},$$

$$u^+ = \frac{u + |u|}{2}; \quad u^- = \frac{u - |u|}{2};$$

$$v^+ = \frac{v + |v|}{2}; \quad v^- = \frac{v - |v|}{2}.$$

The approximation formulae which were used are as following:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\mu_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) \approx \mu_x \frac{C_{i+1,j}^{n+1} - C_{i,j}^{n+1}}{\Delta x^2} - \mu_x \frac{C_{i,j}^{n+1} - C_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x^2} = M_{xx}^- C^{n+1} + M_{xx}^+ C^{n+1},$$

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\mu_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) \approx \mu_y \frac{C_{i,j+1}^{n+1} - C_{i,j}^{n+1}}{\Delta y^2} - \mu_y \frac{C_{i,j}^{n+1} - C_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y^2} = M_{yy}^- C^{n+1} + M_{yy}^+ C^{n+1},$$

$$\frac{\partial u^+ C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j}^+ C_{i,j}^{n+1} - u_{i,j}^+ C_{i-1,j}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^+ C^{n+1},$$

$$\frac{\partial u^- C}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1,j}^- C_{i+1,j}^{n+1} - u_{i,j}^- C_{i,j}^{n+1}}{\Delta x} = L_x^- C^{n+1},$$

$$\frac{\partial v^+ C}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1}^+ C_{i,j}^{n+1} - v_{i,j}^+ C_{i,j-1}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^+ C^{n+1},$$

$$\frac{\partial v^- C}{\partial y} \approx \frac{v_{i,j+1}^- C_{i,j+1}^{n+1} - v_{i,j}^- C_{i,j}^{n+1}}{\Delta y} = L_y^- C^{n+1}.$$

The first equation from set (15) is numerically integrated using change-triangle difference scheme. In this case difference scheme of splitting is:

– the first step of splitting ($k=n+1/4$):

$$\frac{C_{i,j}^k - C_{i,j}^n}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^+ C^k + L_y^+ C^k) = 0;$$

– the second step of splitting ($k=n+1/2, c=n+1/4$):

$$\frac{C_{i,j}^k - C_{i,j}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^- C^k + L_y^- C^k) = 0;$$

– the third step of splitting ($k=n+3/4, c=n+1/2$):

$$\frac{C_{i,j}^k - C_{i,j}^c}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^- C^k + L_y^- C^k) = 0;$$

– the fourth step of splitting ($k=n+1, c=n+3/4$):

$$\frac{C_{i,j}^k - C_{i,j}^n}{\Delta t} + \frac{1}{2} (L_x^+ C^k + L_y^+ C^k) = 0.$$

At each step of splitting the unknown parameter $C_{i,j}$ is determined using explicit formula of ‘running calculation’.

The second equation from (15) was integrated using ‘method of conditional approximation’. In this case the difference scheme of splitting is

– at the first step of splitting:

$$\frac{C_{i,j}^{n+1/2} - C_{i,j}^n}{\Delta t} = \left[\mu_x \frac{-C_{i,j}^{n+1/2} + C_{i-1,j}^{n+1/2}}{\Delta x^2} \right] + \left[\mu_y \frac{-C_{i,j}^{n+1/2} + C_{i,j-1}^{n+1/2}}{\Delta y^2} \right],$$

– at the second step of splitting:

$$\frac{C_{i,j}^{n+1} - C_{i,j}^{n+\frac{1}{2}}}{\Delta t} = \left[\mu_x \frac{C_{i+1,j}^{n+1} - C_{i,j}^{n+1}}{\Delta x^2} \right] + \left[\mu_y \frac{C_{i,j+1}^{n+1} - C_{i,j}^{n+1}}{\Delta y^2} \right].$$

At each step of splitting the unknown parameter $C_{i,j}$ is determined using explicit formula of ‘running calculation’

The approximation formula for the third equation from (15) is:

$$C_{ij}^{n+1} = C_{ijk}^{n+A} + \Delta t \sum Q_{ij}(t) \delta_i(x - x_i) \delta_i(y - y_i).$$

At the next computing step we integrate Eq. (9) – (11) in each computational cell using Euler method. To form the computational region (position of vehicles,

suction opening, etc.) we used ‘markers’. For coding difference equations we used FORTRAN language.

Results. We used developed numerical model to compute NO concentration near road on the basis of Eq. (1), (3)-(5), (9)-(11). Numerical experiment was performed for three scenarios. Sketch of computational region is shown in Fig. 1. The first scenario is an application of barrier near the road which has a form of vertical plate screen. The second scenario is an application of suction tube. The third scenario is an application of suction tube + additional screen.

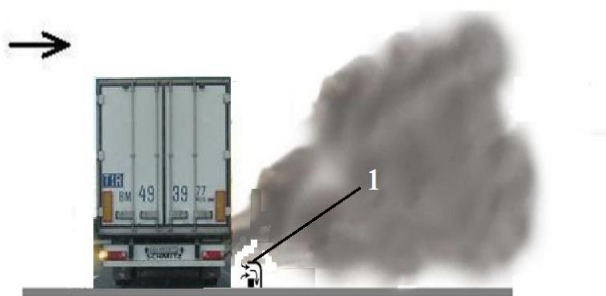


Fig. 1. Sketch of computational region: 1 – suction system

Results of numerical experiments are shown below. Fig. 2-4 show concentration field in the computational region for all scenarios. Concentration is

printed using format ‘integer’ and every number in these figures show percentage of concentration from the maximum one in the computational region.

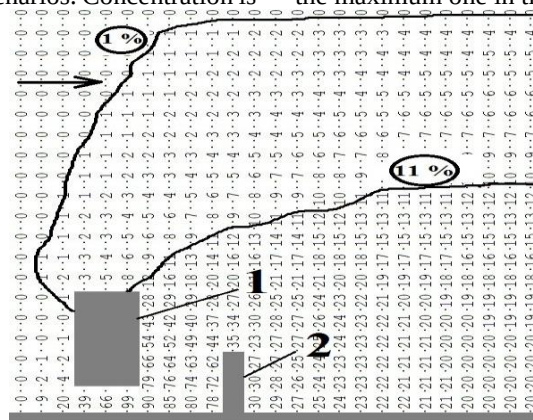


Fig. 2. Computed NO concentration near the road (no suction, only barrier near the road): 1 – vehicle; 2 – barrier (scenario #1)

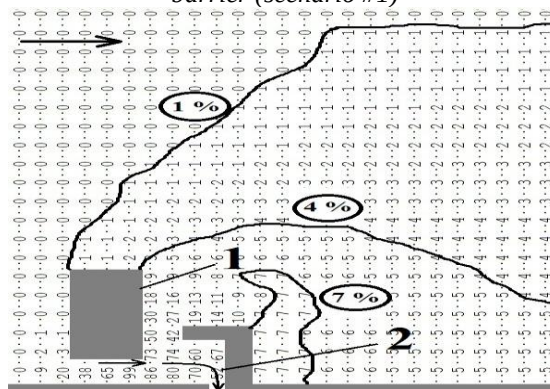


Fig. 3. Computed NO concentration near the road in case of suction tube installation: 1 – vehicle; 2 – opening (scenario #2)

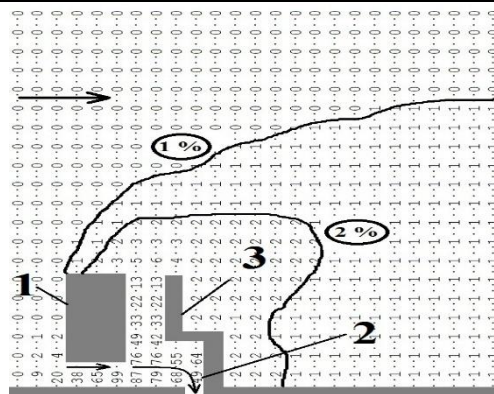


Fig. 4. Computed NO concentration near the road in case of suction tube installation + additional screen: 1 – vehicle; 2 – suction tube; 3 – additional screen (scenario #3)

Fig. 5 represents NO concentration (dimensionless) near road for all scenarios. Position $x = 0$ in Fig. 5 corresponds to barrier position.

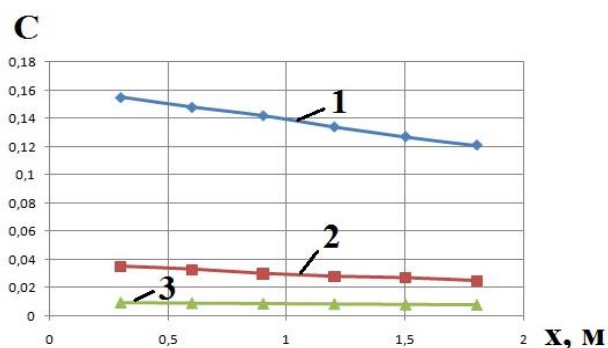


Fig. 5. Computed NO concentration (dimensionless) near the road, level y=1.7m:
1 – no suction near the road; 2 – in case of suction tube installation; 3 – in case of suction tube installation + additional screen

One can see from Fig.5 that implementation of suction system with additional screen can reduce contamination at the local level near the road.

Worthy of note that computational time was about 5 sec to compute each scenario. It allows to use the developed numerical model for practical application when series of computational experiments must be run to choose the appropriate parameters of the system for reduction of air pollution near the road.

Scientific novelty and practical significance. Developed numerical model allows to compute wind pattern and air contamination near the road where the mitigation measure such as suction tube is used. Model allows to perform fast calculations. Results of numerical experiment are presented.

Conclusions. Numerical model for estimating the efficiency of suction system which is used to minimize air pollution near the road was developed. Wind pattern near the road was computed on the base of potential flow model. Convective – dispersion equation of pollutant transport was used to simulate air pollution near the road. Numerical integration of governing equations was performed using difference schemes.

Further improvement of the model should be carried out in the direction of creating a 3D numerical model.

List of reference links

1. Беляев, Н. Н. Моделирование загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта на улицах городов : монография / Н. Н. Беляев, Т. И. Русакова, П. С. Кириченко. – Днепропетровск: Акцент ПП, 2014. – 159 с.
2. Беляев, Н. Н. CFD прогнозирование процесса загрязнения воздушной среды на улицах / Н. Н. Беляев, Т. И. Русакова // *Екологія і природокористування : зб. наук. пр. Ін-ту проблем природокористування та екології НАН України*. – 2013. – Вип. 17. – С. 188–194.
3. Марчук, Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г. И. Марчук. – Москва : Наука, 1982. – 320 с.
4. Самарский, А. А. Теория разностных схем / А. А. Самарский. – Москва : Наука, 1983. – 616 с.
5. Численное моделирование распространения загрязнения в окружающей среде / М. З. Згуровский, В. В. Скопецкий, В. К. Хрущ, Н. Н. Беляев. – Київ : Наук. думка, 1997. – 368 с.
6. A new simplified NO/NO₂ conversion model under consideration of direct NO₂-emissions / I. During, W. Bachlin, M. Ketzell, A. Baum, U. Friedrich, S. Wotzel // *Meteorologische Zeitschrift*. – 2011. – Vol. 20, №1. – P. 67-73.
7. Deborah M.S. Madalozzo, Alexandre L. Braun and Armando M. Awruch. A numerical model

for pollutant dispersion simulation in canyons. *Mecanica Computacional* Vol XXXI, pags. 211-235 (articulo complete) Alberto Cardona, Paul H. Kohan, Ricardo D. Quinteros, Mario A. Storts (Eds) Salta, Argentina, 13-16 Nivembre 2012.

8. Available at: http://www.aqmd.gov/docs/default-source/technology-research/Technology-Forums/near-road-mitigation-measures/near_road_mitigation-agenda-presentations.pdf

9. Numerical simulations and wind tunnel studies of pollutant dispersion in the urban street canyons with different height arrangements / Cheng-Hsin Chang, Jin-Shian Lin, Chii-Ming Cheng, Yung-Shan Hong // *Journal of Marine Science and technology*. – 2013. – Vol. 21, №2. – P. 119-126.

10. Overman, H. T. Simulation model for NOx distributions in a streey canyon with air purifying pavement : master thesis / H. T. Overman ; University of Twente. – Enschede, Netherlands, 2009. – 69 p.

11. Trong Nhan Nguyen. Numerical simulation of wind flow and pollution transport in urban street canyons / Trong Nhan Nguyen, Thanh Chuyen Nguyen, Van Thinh Nguyen // *Advanced science and technology letters*. – 2015. – Vol. 120. – P. 770-777.

12. Jonathan T. Steffens, David K. Heist, Steven G. Perry, K. Max Zhang. Modeling the effects of a solid barrier on pollutant dispersion under various atmospheric stability conditions. *Atmospheric Environment*, 69 (2013). – P. 76 – 85.

Костюхин Александр Сергеевич
аспирант;

*Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий,
механики и оптики, Факультет систем управления и робототехники (СУиР);*

РАЗРАБОТКА И ОПЫТНАЯ АПРОБАЦИЯ МЕТОДИКИ КОНТРОЛЯ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ЖРД

DEVELOPMENT AND EXPERIMENTAL APPROVATION OF THE METHOD OF CONTROL OF SOLDERED COMPOUNDS

Аннотация: Высокие требования к качеству паяных соединений современных ЖРД, а также особенности конструкции камер сгорания не позволяют применять готовые традиционные методические подходы в части неразрушающего контроля. В соответствии требованиями с нормативно технической документации, при контроле качества паяных соединений ЖРД допускается использовать акустический вид контроля методами отраженного излучения, прошедшего излучения, резонансного, свободных колебаний и акустико-эмиссионным. Специалистами ООО «НТЦ «ЭТАЛОН»» были проведены исследования образцов камер сгорания ЖРД и выбраны наиболее оптимальные методы и средства НК. Поскольку конструктивные особенности камер сгорания, а также сравнительно малые дефекты пайки накладывают ограничения на выбор оборудования было предложено использовать неклассический метод НК, основанный на термооптическом возбуждение ультразвука. Данный метод обладает высокой чувствительностью. Однако, при сплошном контроле применение данного метода оказывается нецелесообразно, из-за низкой скорости сканирования. Поэтому было предложено использовать данный метод для точной оценки характеристик дефекта, а при сплошном контроле применять высокопроизводительную прямую фазированную решетку. Описанные выше решения легли в основу написания методики контроля паяных соединений на ЖРД. Разработанная методика прошла опытную апробацию, где была доказана ее работоспособность. В данной статье также рассмотрены вопросы интерпретации сканов на экране дефектоскопа при контроле паяных соединений ЖРД, а также вопросы метрологического обеспечения процесса контроля.

Annotation

High requirements to the quality of the soldered joints of modern rocket engines, as well as the design features of the combustion chambers do not allow the use of ready-made traditional methodological approaches in terms of non-destructive testing. In accordance with the requirements of normative and technical documentation, when controlling the quality of soldered LRE joints, it is allowed to use the acoustic type of control using methods of reflected radiation, transmitted radiation, resonant, free vibrations and acoustic emission. STC ETALON LLC conducted research on samples of LRE combustion chambers and the most optimal NDT methods and tools were selected. Since the design features of the combustion chambers, as well as relatively small soldering defects, impose restrictions on the choice of equipment, it was proposed to use the non-classical NK method based on thermo-optical excitation of ultrasound. This method is highly sensitive. However, with continuous monitoring, the application of this method is not practical, due to the low scanning speed. Therefore, it was proposed to use this method for accurate assessment of defect characteristics, and for continuous monitoring to use a high-performance direct phased array. The solutions described above formed the basis for writing methods for controlling soldered joints. The loose technique underwent experimental testing, where its performance was proved. This article also discusses the interpretation of scans on the screen of a flaw detector during the control of soldered joints of the rocket engine, as well as the metrological support of the control process.

Важнейшим агрегатом ЖРД является камера сгорания, которая обеспечивает работоспособность всего двигателя. В связи с этим к камере сгорания ЖРД предъявляют высокие требования по надежности и безопасности. Для обеспечения надежности и безопасности проводят большое количество научно-исследовательских работ, в частности контроль качества паяного соединения [1].

Существующая оценка качества пайки регламентируется ОСТ 92-1190 и на практике, в большинстве случаев, сводится к проведению металлографических исследований паяных соединений. Такой метод исследования паяных соединений имеет некоторые недостатки. Одним из основных недостатков является наличие в микроструктуре шва артефактов, образующиеся в процессе подготовки шлифа, которые могут приняты за технологические дефекты (инородные и растравленные включения, межфазные границы). Вторым недостатком является невозможность

объективно оценить прочность паяного соединения, например в процессе охрупчивания структурных составляющих шва.

Подтверждение качества паяных соединений определяется только гидравлическими испытаниями на прочность и пневматическими (воздухом) испытаниями на герметичность.

В связи с вышесказанным очевидна необходимость применения методов неразрушающего контроля, позволяющих выявлять непропаи, неспаи и другие дефекты паяных соединений. В качестве такого метода был выбран ультразвуковой эхо-метод [2].

Для реализации выбранного метода использовалось следующее оборудование:

- дефектоскоп OlympusOmniScanMX2 с 32-элементной фазированной антенной решеткой 10 МГц и прямой призмой (рисунок 2);
- лазерно-ультразвуковой дефектоскоп УДЛ-2М с преобразователями ПЛУ-12У-01, ПЛУ-6Ц-03 [3] (рисунок 3)



Рисунок 2 – Внешний вид дефектоскопа Olympus OmniScanMX2

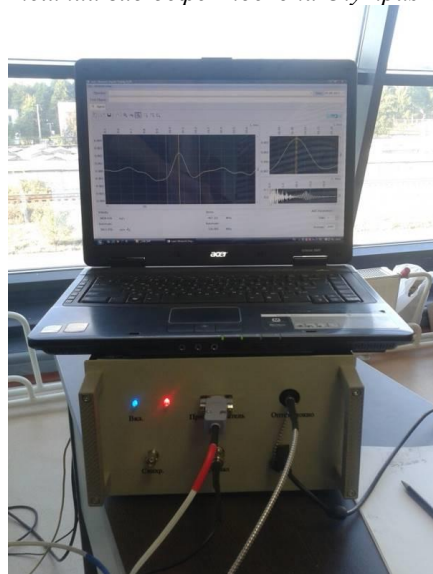


Рисунок 3 – Внешний вид лазерно-ультразвукового дефектоскопа УДЛ-2М

Подготовка к проведению контроля качества паяных соединений камеры сгорания двигателя РД-181 включала в себя:

- изучение технической и технологической документации на зону между 2 и 3 «завесами»

камеры сгорания двигателя РД-181, предоставленную АО «НПО Энергомаш»

- разработку комплекта контрольных образцов (КО) чувствительности для оценки чувствительности и настройки дефектоскопической аппаратуры;

- разработку методических основ контроля качества паяных соединений с использованием КО [4];

- дооснащение и доработку используемого оборудования;

- разработку Методики контроля качества паяных соединений камеры сгорания между 2 и 3 «завесами» двигателя РД-181

При изучении технической и технологической документации на зону между 2 и 3 «завесами» камеры сгорания двигателя были определены требования к контролю (контроледоступность, возможность использования контактной жидкости и необходимость герметизации щелей 2 и 3 завесы, характер дефектов) и перечень необходимого оборудования.

Далее с применением представленного оборудования с учетом опыта создания и отработки Методики контроля качества паяных соединений

на предмет наличия несплошностей (непропаев, отрывов) ребер стенки внутренней и подколлекторного кольца сопла верхнего камеры двигателя 14Д23 и опыта разработки методов и средств неразрушающего контроля для выявления дефектов фрикционной сварки с раскрытием от 2 мкм был реализован эхо метод контроля и разработаны методические основы контроля качества паяных соединений.

На рисунках 4-5 представлена схема контроля и интерпретация результатов контроля. Синими стрелками и окружностями отмечены регистрируемые акустические сигналы от впадин между ребрами, красными стрелками и окружностями – отражения от непропаев или конструктивных проточек, зелеными окружностями – области в которых должны регистрироваться сигналы при наличии непропая или отрыва ребер.

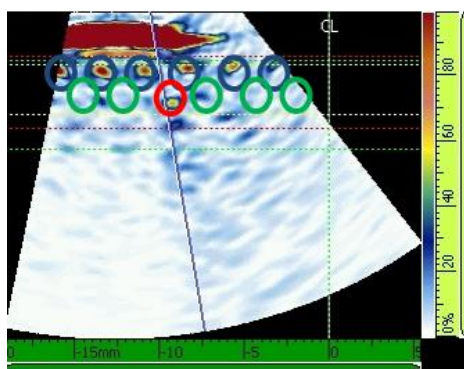


Рисунок 4 – Интерпретация результатов контроля полученных с использованием дефектоскопа Olympus OmniScanMX2

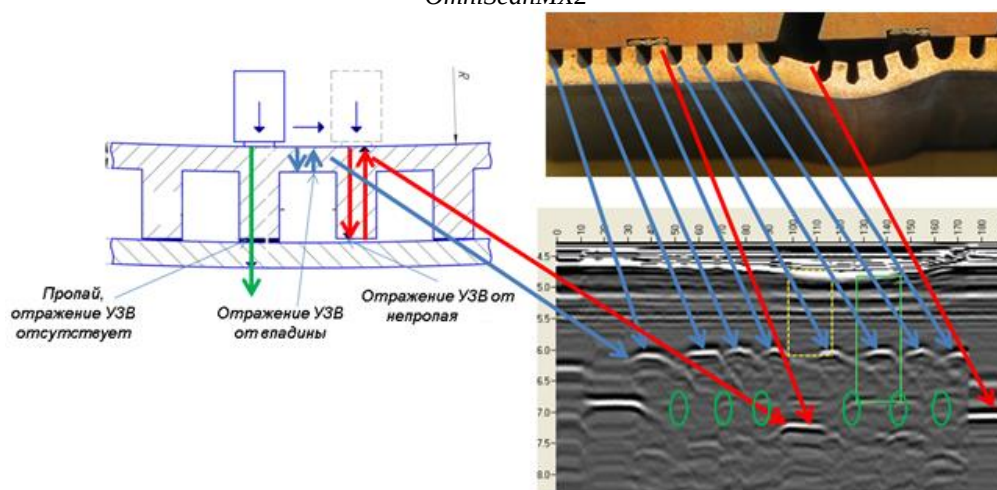


Рисунок 5 – Схема контроля эхо-методом и соответствующая интерпретация результатов контроля полученных с использованием лазерно-ультразвукового дефектоскопа УДЛ-2М

Далее была выполнена отработка методических основ контроля качества паяных соединений на вырезках из камеры сгорания между 2 и 3 «завесами» двигателя РД-181, которая подтвердила применимость представленного метода и средств к заданному объекту контроля.

Для оценки чувствительности и последующей настройки дефектоскопической аппаратуры при проведении контроля был разработан КО.

С использованием образца изготовленного из вырезки камеры сгорания между 2 и 3 «завесами» двигателя РД-181 с плоскодонным сверлением 1,1 мм подтверждена возможность представленных методов и средств выявлять непропай и отрыв с раскрытием более 2 мкм, шириной соответствующей ширине ребра и длиной вдоль ребра более 1,0 мм.

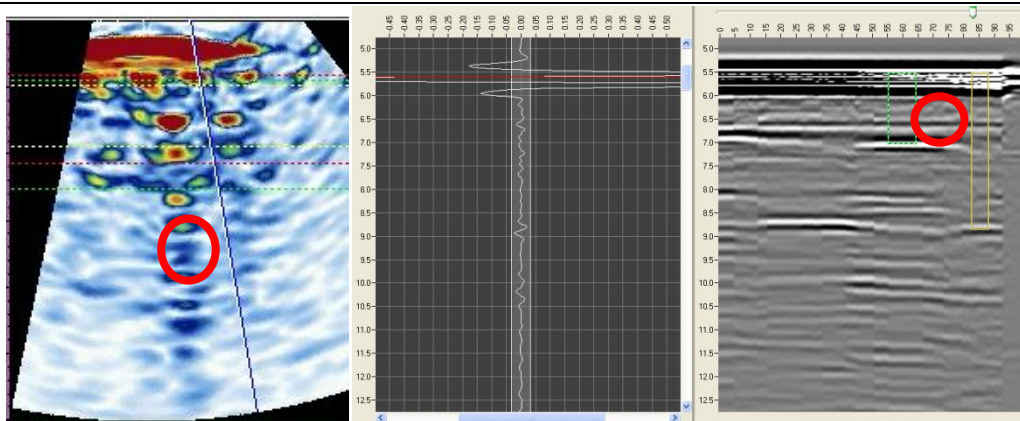


Рисунок 6 – Акустический образ выявленных дефектов в образце №1

Выявленный дефект подтвержден результатами металлографических исследований (рисунок 7).

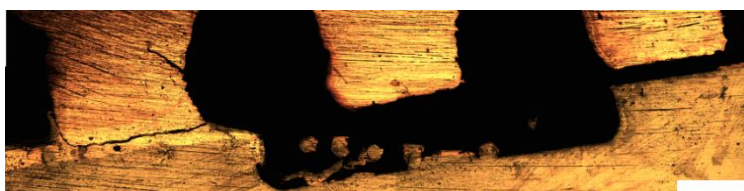


Рисунок 7 – Результаты металлографических исследований выявленных дефектов

По результатам контроля в образце выявлены отражатели, амплитуда сигнала которых не превышала браковочный уровень (рисунок 8, 9).



Рисунок 8 – Расположение выявленных отражателей в образце №2

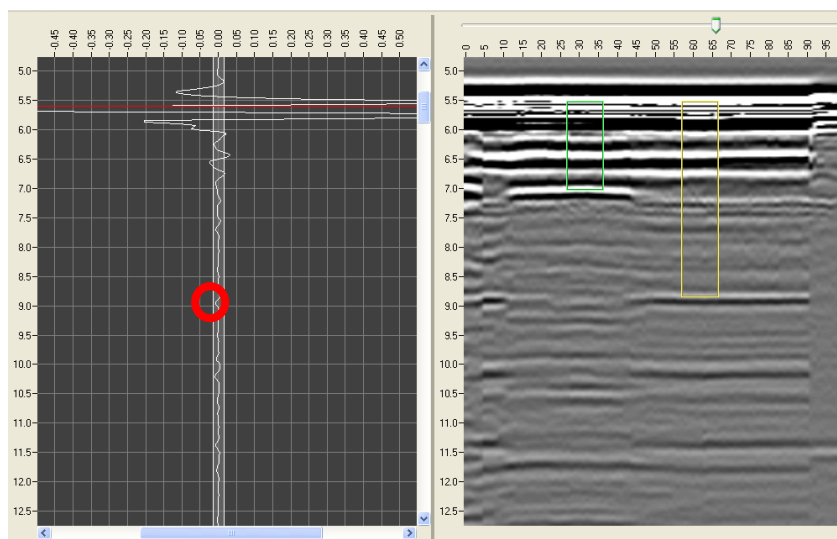


Рисунок 9 – Акустический образ выявленных отражателей в образце №2

Отражатель 1 выявленный по центру образца требует дополнительных разрушающих исследований.

Отражатель 2 подтвержден результатами металлографических исследований и по измеренным размерам не является критическим дефектом (рисунок 10).

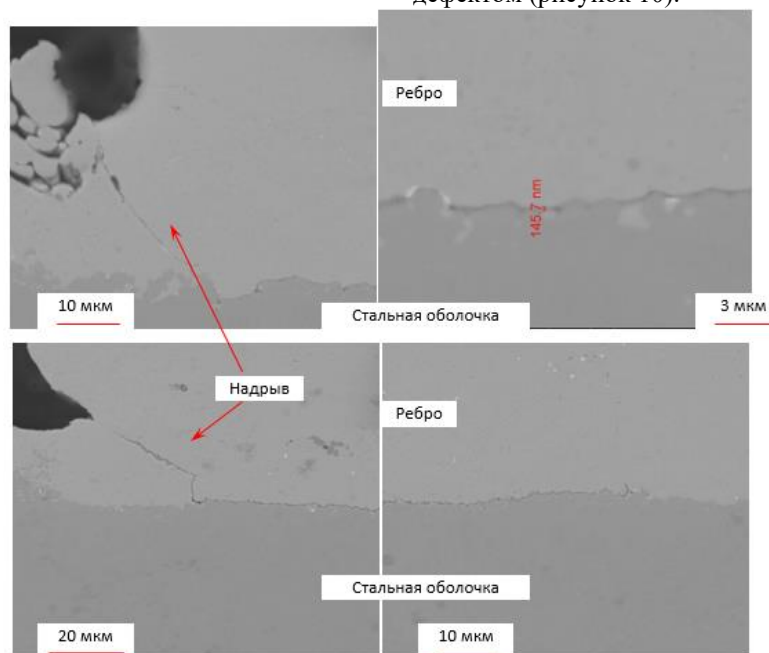


Рисунок 10 – Результаты металлографических исследований образца №2

Анализ полученных результатов контроля качества паяных соединений образцов из камеры сгорания двигателя РД-181 в зоне между 2 и 3 «завесами» показал работоспособность и достоверность разработанной методики. Подтверждено выявление непропая или отрыва с раскрытием более 2 мкм, шириной соответствующей ширине ребра и длиной вдоль ребра более 1,0 мм.

После внесения в методику необходимых корректировок, связанных с особенностями контроля качества паяных соединений двигателя РД-181 в условиях предприятия, был выполнен контроль качества паяных соединений двигателя РД-181 № 13А/1в зоне между 2 и 3 «завесами».

Для проведения УЗК и упрощения интерпретации результатов контроля объект контроля был разделен на 6 секторов (рисунок 11).

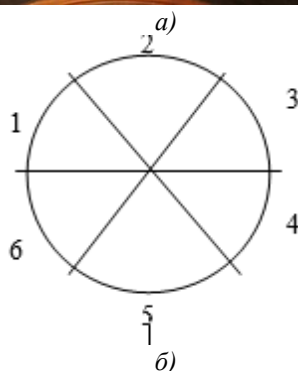


Рисунок 11 – Вид камеры сгорания двигателя РД-181 изнутри (а) и эскиз объекта контроля с разделением области контроля на секторы (б)

Перед проведением контроля для избегания попадания используемой при УЗК контактной жидкости (глицерин) в каналы камеры сгорания

завесы были заклеены специальной лентой, на ленту нанесена необходимая разметка (рисунок 12).

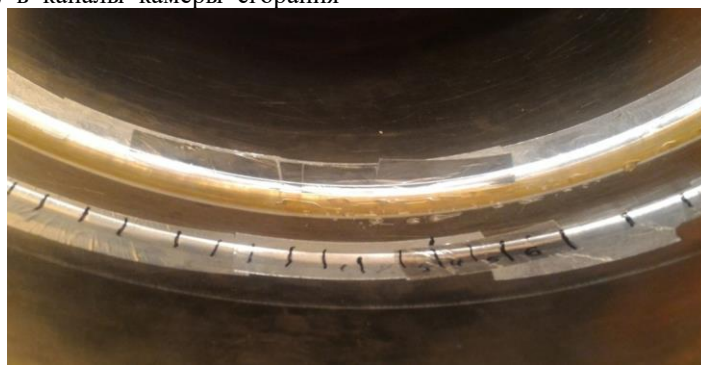


Рисунок 12 – Вид камеры сгорания с заклеенными завесами

Контроль выполнялся согласно методике в следующей последовательности:

- изоляция завес и разметка в секторах 1-4 (нижние сектора при горизонтальном расположении двигателя);
- контроль секторов 1-4 с помощью дефектоскопа OlympusOmniScanMX2;
- контроль спорных и неконтрольдоступных для фазированной антенной решетки участков лазерно-ультразвуковым дефектоскопом УДЛ-2М.
- удаление контактной жидкости и обезжиривание камеры сгорания;
- переворот камеры сгорания;
- изоляция завес и разметка в секторах 5 и 6 (нижние сектора при горизонтальном расположении двигателя после переворота);
- контроль секторов 5 и 6 с помощью дефектоскопа OlympusOmniScanMX2;
- контроль спорных и неконтрольдоступных для фазированной антенной решетки участков лазерно-ультразвуковым дефектоскопом УДЛ-2М;

- удаление контактной жидкости и изоляции каналов, обезжиривание камеры сгорания;
- анализ результатов контроля.

В ходе контроля качества паяных соединений двигателя РД-181 № 13А/1 в зоне между 2 и 3 «завесами» с помощью дефектоскопа OlympusOmniScanMX2 дефектов (непропай или отрыв с раскрытием более 2 мкм, шириной соответствующей ширине ребра и длиной вдоль ребра более 1,0 мм) обнаружено не было (рисунок 13). Красная зона на глубине соответствующей глубине возможных отражений от ребер является отражением от ребра находящегося в области конструктивной проточки (см. схему контроля эхометодом и соответствующая интерпретация результатов контроля полученных с использованием лазерно-ультразвукового дефектоскопа УДЛ-2М на рисунке 4).

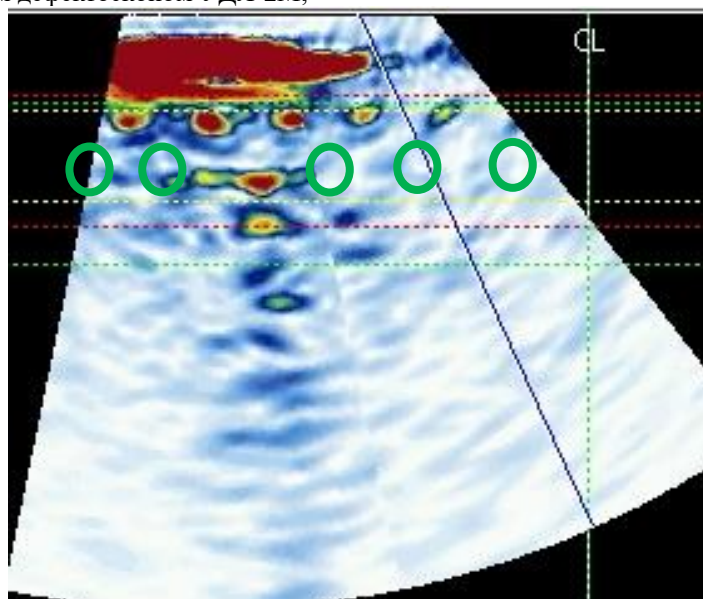


Рисунок 13 – Типовое акустическое изображение бездефектных паяных соединений двигателя РД-181 № 13А/1 в зоне между 2 и 3 «завесами»

Далее был выполнен выборочный контроль качества паяных соединений двигателя РД-181 № 13А/1 в зоне между 2 и 3 «завесами» с помощью

лазерно-ультразвукового дефектоскопа УДЛ-2М в 6 сечениях на границах между секторами согласно Методике. Непропай или отрыв с раскрытием более

2 мкм, шириной соответствующей ширине ребра и длиной вдоль ребра более 1,0 мм также обнаружены не были (рисунок 14). Зеленым маркером выделены области отражений от впадин между ребрами, а синим - от ребер в месте

конструктивных проточек (см. схему контроля эхо-методом и соответствующая интерпретация результатов контроля полученных с использованием лазерно-ультразвукового дефектоскопа УДЛ-2М на рисунке 4).

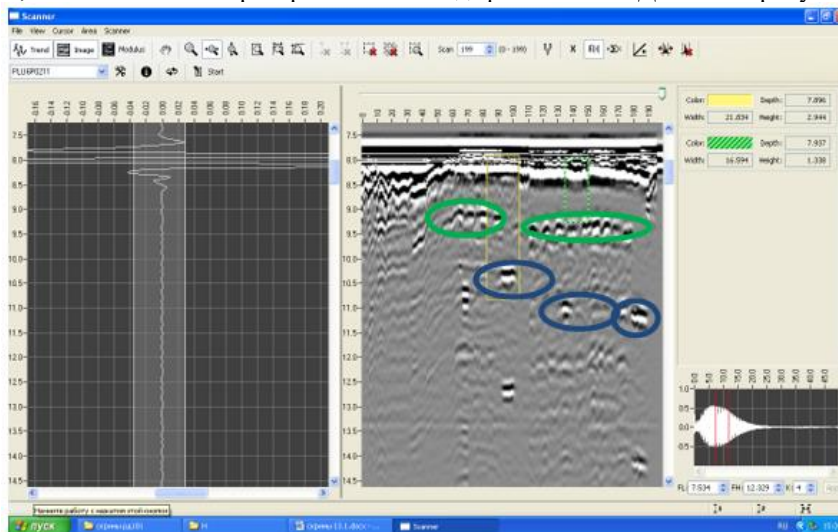


Рисунок 14 – Результаты контроля выполненного с помощью лазерно-ультразвукового дефектоскопа УДЛ-2М на границе между секторами 1-2

При отработке методики на образцах с дефектами были получены акустические изображения дефектных участков (рисунок 15а). По полученным в ходе контроля камеры сгорания двигателя РД-181 №13А/1 между 2 и 3 «завесами»

критических дефектов обнаружено не было. На рисунке 15б представлена типовая бездефектная акустическая картина соответствующая проконтролированной камере сгорания.

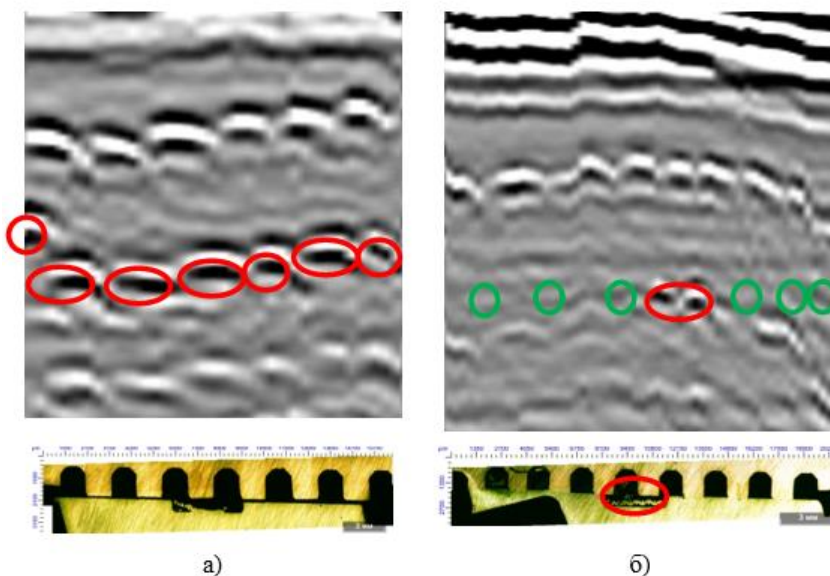


Рисунок 15 – Акустические изображения дефектных (а) и бездефектных (б) участков паяных соединений двигателя РД-181 в зоне между 2 и 3 «завесами»

При контроле качества паяных соединений образцов из камеры сгорания двигателя №13А и верификации методики были выявлены и подтверждены критические дефекты (с раскрытием более 2 мкм, шириной соответствующей ширине ребра и длиной вдоль ребра более 1,0 мм) и дефекты с размерами меньше принятых критическими, что подтверждает высокую чувствительность выбранных методов и средств и достоверность Методики.

По результатам контроля определена необходимость:

- разработки специальной оснастки и автоматизации контроля;
- проведения дополнительных разрушающих и неразрушающих исследований с изготовлением образцов с заложенными дефектами.

Выполнение данных работ позволит:

- обеспечить постоянство акустического контакта и, соответственно, повысить достоверность контроля;
 - снизить трудоемкость контроля;
 - разработать технологию контроля обеспечивающую выявление дефектов меньшего размера.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Быченко В. А., Кинжагулов И. Ю. Лазерно-ультразвуковой контроль тонкостенных паяных соединений камер жидкостных ракетных двигателей // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. – 2011. – Т. 54. – №. 7.

2. Астрединова Н.В., Баринов А.В., Сергеев Д.С. Возможность применения лазерно-ультразвуковой диагностики для контроля качества паяных соединений камер жидкостных ракетных двигателей // Вестник ВГУИТ. 2014. №3 (61).

3. Неразрушающий контроль: Справочник: В 8 т. / Под общ. ред. В. В. Клюева. Т. 3. И. Н. Ермолов, Ю. В. Ланге. Ультразвуковой контроль. М.: Машиностроение, 2006. 864 с.

4. Гусев В. Э., Карабутов А. А. Лазерная оптоакустика. М.: Наука, 1991. 304 с.

УДК 537.52

Мельник Вікторія Миколаївна

доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри біотехніки та інженерії,

Національний технічний університет України

“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”

ФОРМУВАННЯ ПОЛЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО РОЗРЯДУ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЛІНІЯХ ЗА ДОПОМОГОЮ ПЛОСКИХ СТРУМОПРОВІДНИХ КІНЦІВОК ЦЕНТРАЛЬНОГО ЕЛЕКТРОДУ

Mel'nick V.

doctor of technical sciences, professor,

Head of the Department of bioengineering and biotechnics,

National Technical University of Ukraine

"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

FORMATION OF THE FIELD OF ELECTRICAL DISTRIBUTION IN TECHNOLOGICAL LINES THROUGH THROUGH THE PLANE CIRCUMSTANCES OF THE CENTRAL ELECTRICITY

Анотація: Розкривається природа формування в робочому об'ємі центрального електроду свічки запалювання цілої низки плоских поверхонь електричного розряду. Вивчається можливість збільшення займистості робочої суміші та суттєвого підвищення електричного розряду. Аналізуються можливості використання пропонуємого технічного рішення для забезпечення цілковитого спалювання робочої суміші та зменшення рівня викидів в оточуюче середовище. Пропонується використання свічки запалювання з метою передчасного електрохімічного руйнування поверхні електроду. Зазначені шляхи підвищення потужності двигуна.

Abstract: The nature of formation in the working volume of the central electrode of a spark plug is revealed in a number of flat surfaces of an electric discharge. The possibility of increasing the flammability of the working mixture and a significant increase in the electric discharge is studied. The possibilities of using the proposed technical solution for the complete combustion of the working mixture and reducing the level of emissions into the environment are analyzed. The use of spark plugs for the purpose of premature electrochemical destruction of the surface of the electrode is proposed. The indicated ways of increasing the engine power.

Ключові слова: електричний розряд, центральний електрод, струмопровідні пластини, детонація.

Key words: electric discharge, central electrode, conductive plates, detonation.

1. Вступ

Свічка запалювання — це пристрій системи запалювання бензинового двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ), що слугує для створення іскрового проміжку в колі високої напруги з метою запалювання робочої суміші в циліндрі двигуна.

Свічка запалювання була винайдена у 1860 році Джоном Ленуаром і з того часу не зазнала значних зовнішніх змін. Вона являє собою пристрій, що складається із двох електродів, розташованих всередині циліндра двигуна. Висока напруга, що забезпечується системою запалювання призводить до виникнення іскри між цими електродами, яка і запалює паливо-повітряну суміш. Свічка запалювання працює у

високотемпературних умовах. Температура в камері згоряння може досягати 2500 °С, а тиск 50 атмосфер.

Корпус свічки виготовляється із сталі та має різьбу для вкручування у головку блока циліндрів та шестигранник для спеціального «Свічного» ключа. Поверхня корпусу нікелюється для запобігання корозії. На корпус свічки заправується ізолятор.

Для забезпечення нормальної роботи свічки важливе значення має матеріал, з якого виготовлені електроди, оскільки вони повинні забезпечувати появу іскри, бути стійкими до високотемпературного режиму у камері згоряння. Матеріалом для виготовлення центрального

електроду служить хромотитанова сталь 13X25TT або ніхром X20H80; бічні електроди виготовляють із нікель-марганцевого сплаву НИ5. Бічний електрод з'єднаний із стальним корпусом і має зазвичай прямокутний переріз або трапецеподібний [1].

Робота свічки запалювання залежить від чотирьох факторів:

- Матеріал, із якого виготовлені електроди свічки. Електроди із мідною серцевиною мають більш високу здатність до тепловіддачі.
- Довжина ізолятора центрального електрода. Довжиною ізолятора вважається відстань від кінця ізолятора до місця, де він з'єднується із тепловідною поверхнею.
- Довжина на яку виступає ізолятор в середину камери згоряння. Вона з'язана з ефектом додаткового охолодження пальною сумішшю.
- Відстань від ізолятора центрального електрода до корпусу. Цей параметр є дуже важливим, так як він визначає об'єм у якому циркулюють гази.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Пропонуємо технічне рішення відноситься до машинобудування, а саме до електрообладнання двигунів внутрішнього згоряння, зокрема, до свічок запалювання, призначених для запалювання робочої суміші.

Відома свічка запалювання, яка містить корпус з боковим електродом, установлений в його центральному отворі ізолятор з центральним електродом, торець якого утворює з боковим електродом іскровий проміжок, і з'єднаний з корпусом насадку, яка має внутрішню розширену назовні конусну поверхню, а також канал для бокового електрода, насадка закріплена в центральному отворі корпусу, а боковий електрод розташований зовні насадки, причому кінець бокового електрода, який утворює іскровий проміжок, розташований над насадкою, яка містить вентиляційні отвори [2].

Під час такту стиску виникає ущільнення робочої суміші, що слугує підвищенню тиску і температури. При подачі високовольтної напруги на центральний електрод, починається іонізація іскрового проміжку. В певний момент часу настає пробій іскрового проміжку.

Струм розряду іскри має високу температуру, що призводить до утворення плазменної кульки і займання робочої суміші. Незважаючи на присутність газового вихоря, потужне поле конусної насадки захищає від розповсюдження полум'я в камері згоряння. Горіння розвивається тільки у внутрішній порожнині свічки запалювання.

По завершенні такту стискання, свічка запалювання вистрілює накопиченою тепловою енергією у вигляді потужного розширеного плазменного факелу. При досягненні факелом центру камери згоряння, горіння розповсюджується симетрично і досить швидко.

Недоліком цього технічного рішення постає асиметричне горіння суміші, до того ж, на надмірно подовженній траєкторії, причому, при іскровому розряді значна доля енергії витрачається на випромінювання і утворення ударної хвилі. Дана конструкція свічки запалювання не дозволяє ефективно використовувати енергію іскрового розряду, внаслідок розсіювання її в об'ємі камери згоряння двигуна. Вказаний недолік знижує енергетичний потенціал свічки запалювання в розумінні швидкого і якісного займання робочої суміші, що, в свою чергу, не дозволяє створити надійну займистість робочої суміші в камері згоряння.

Відома також свічка запалювання, яка містить корпус з боковим електродом, встановлений у його центральному отворі ізолятор з центральним електродом, торець якого утворює з боковим електродом іскровий проміжок [3].

Свічка запалювання повинна гарантувати займистість робочої суміші в циліндрах двигуна при подачі на неї високої напруги. Розміщення свічки запалювання в головці блоку циліндрів і частково в камері згоряння створює надзвичайно напружені умови її роботи.

Недолік такого технічного рішення полягає у наявній лише поодинокій подовженій лінії електричного розряду, жорстких вимогах до обмежень величини робочого об'єму свічки запалювання, недостатній ефективності займистості робочої суміші при порушенні цієї вимоги і, крім того, у потребі використання електричних струмів підвищеного рівня, що підводиться до свічки запалювання, а також обмеження поверхні електричного розряду, що призводить до зниження потужності двигуна і до збільшення рівня шкідливих викидів в навколишнє середовище та виникнення передчасного електрохімічного руйнування поверхні електрода.

Вдосконалення свічки запалювання для двигунів внутрішнього згоряння можливе шляхом підвищення енергетичного потенціалу іскрового розряду свічки [4, 5] та формуванням зон концентрації теплової енергії [6, 7, 8].

Технічна реалізація оптимальної поверхні циліндричного стовпа вольтів на поверхні кривих четвертого порядку проаналізована в роботі [9, 10]. Розкриті можливості напівавтоматичного регулювання системи запалювання водієм в салоні машини [11, 12, 13].

3. Мета і задачі досліджень

За мету обрано пошук шляхів збільшення кількості і рівня ущільнення наявних форм поверхонь електричного розряду, скасування обмежень на величину робочого об'єму свічки запалювання, зростання іскрового проміжку, що збільшить потужність двигуна і зменшить рівень шкідливих викидів в навколишнє середовище, запобігання передчасному електрохімічному руйнуванню поверхні електрода, а також задачі ліквідації загрози детонації.

Задачі дослідження окреслюються формуванням свічкою запалювання такої поверхні стовпа вольтів, яка б забезпечила:

- підвищення ефективності займистості;
- цілковите спалювання робочої суміші і, як наслідок, зменшення рівня викидів в оточуюче середовище;
- збільшення потужності двигуна;
- зменшення потужності електричного імпульсу;
- уповільнення передчасного руйнування поверхні електроду;
- ліквідування детонації в широкому інтервалі зміни зовнішніх кліматичних умов – температури, вологості, октанового показника тощо.

4. Опис конструкції

Пропонуємо технічне рішення - свічка запалювання «Астра» містить корпус з боковим електродом, встановлений у його центральному отворі ізолятор з центральним електродом, торець якого утворює з боковим електродом іскровий проміжок, згідно заявленого винаходу центральний електрод рівномірно обладнаний по своїй довжині прямокутними радіальними струмопровідними пластинами, основна частина яких жорстко з'єднує центральний електрод і ізолятор, а незначна частина пластин виступає над поверхнею торця, причому ближні і протилежні кінцівки виступаючих частин пластин з'єднані між собою струмопровідними кільцями, центри яких знаходяться на осі центрального електроду.

Центральний електрод рівномірно обладнаний по своїй довжині прямокутними радіальними струмопровідними пластинами, основна частина яких жорстко з'єднує центральний електрод і ізолятор, а незначна частина пластин виступає над поверхнею торця, причому ближні і протилежні кінцівки виступаючих частин пластин з'єднані між собою струмопровідними кільцями, центри яких знаходяться на осі центрального електроду, що дозволяє в робочому об'ємі доповнити поодинокую потужну подовжену лінію електричного розряду цілою низкою плоских поверхонь розряду від пластин і суттєво підвищити ступінь ущільнення поверхонь електричного розряду в робочому об'ємі, значно спростити вимоги жорсткого обмеження величини робочого об'єму свічки запалювання, збільшити займистість робочої суміші, суттєво підвищити електричний розряд, що забезпечить значний приріст потужності двигуна і зменшить рівень шкідливих викидів в навколишнє середовище, запобігнути передчасному електрохімічному руйнуванню поверхні електроду, а також ліквідувати загрозу детонації.

На рис. 1 зображена свічка запалювання «Астра» в поздовжньому перерізі; на рис. 2 показаний поперечний переріз нижнього торця центрального електроду (збільшений).

Свічка запалювання «Астра» використовується для запалювання робочої суміші в двигунах внутрішнього згоряння і містить корпус 1 з порожниною 2, в якій розміщений центральний електрод 3, екранований від корпусу ізолятором 4 (рис. 1). До зовнішньої поверхні корпусу 1 приварено боковий електрод 5, який утворює іскровий проміжок δ з торцем 6 центрального електроду 3. Центральний електрод 3 рівномірно обладнаний по своїй довжині прямокутними радіальними струмопровідними пластинами 7, основна, більша, частина яких жорстко з'єднує центральний електрод 3 і ізолятор 4, а незначна частина пластин 7 виступає над поверхнею торця 6, причому ближні до поздовжньої осі 8 кінцівки 9 пластин 7, з'єднані струмопровідним кільцем 10 радіуса r , а віддалені кінцівки 11 пластини 7, з'єднані струмопровідним кільцем 12 радіуса R . Центр 13 кільця 10 і центр 14 кільця 12 знаходяться на поздовжній осі 8 центрального електроду 3 (рис. 1, рис. 2).

Робота свічки запалювання «Астра» здійснюється наступним чином.

При заповненні робочою сумішшю камери згоряння двигуна під час такту стиску, імпульс високої напруги подається на центральний електрод 3, де на його торці 6 формується збільшена поверхня електричного розряду, це дозволяє в робочому об'ємі доповнити поодинокую потужну подовжену лінію електричного розряду цілою низкою плоских поверхонь розряду від пластин 7 і суттєво підвищити ступінь ущільнення поверхонь електричного розряду в робочому об'ємі (рис. 1, рис. 2).

Надалі, наявність струмопровідних співвісних кілець 10 та 12 співвісних з поздовжньою оссю 8 центрального електроду 3 дозволяє додатково сформувати дві циліндричні поверхні стовпа вольтів радіуса r та R , причому в центрі робочого об'єму, завдяки цьому, здійснюється ущільнення цих двох циліндричних стовпів вольтів у робочому просторі, обмеженому величиною $(R - r)$, а також суттєве збільшення поверхні розряду всередині меншого стовпа вольтів радіуса r від поодинокій тонкої лінії електричного розряду до циліндричної поверхні стовпів вольтів. Отже, в середині робочого об'єму формується за допомогою двох циліндричних стовпів вольтів радіусами R та r ущільнення поверхонь електричного розряду, що слугує збільшенню потужності двигуна.

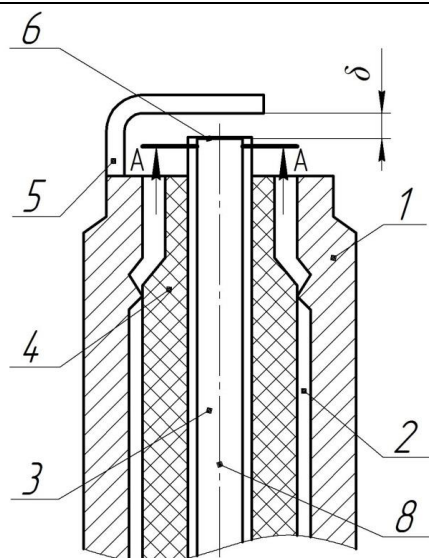


Рис. 1. Свічка запалювання «Астра»



Рис. 2. Поперечний переріз в поздовжньому перерізі нижнього торця центрального електроду

Крім того, в робочому об'ємі створюються реальні умови для ущільнення наявних форм поверхонь електричного розряду і тим самими скасовуються жорсткі умови до величини робочого об'єму свічки запалювання, підвищується ефективність займистості робочої суміші, збільшується поверхня електричного розряду і, як наслідок, підвищується потужність двигуна та неминуче зменшується рівень шкідливих викидів в навколишнє середовище та ліквідується загроза передчасного електрохімічного руйнування поверхні електрода.

Висновки

Таким чином, використання свічки запалювання «Астра» дозволить, за допомогою нових властивостей збільшити рівень ущільнення наявних форм поверхонь електричного розряду, скасувати жорсткі вимоги до обмеження величини робочого об'єму свічки запалювання, зменшити необхідну потужність електричного струму, що приведе до збільшення потужності двигуна, зменшить рівень шкідливих викидів в навколишнє середовище, запобігне передчасному електрохімічному руйнуванню поверхні електрода, а також ліквідує загрозу детонації.

Література

1. https://uk.wikipedia.org/wiki/Свічка_запалювання.
2. Пат. 74524 Російська Федерация, МПК7H01T 13/00 (2006.01). Свечи зажигания (испытания свечей зажигания G01M 19/02) [Текст]/ Бугаец Е.С.; Заявитель и патентообладатель Бугаец Е.С. - №2008104927/22; заявл. 13.02.2008; опубл. 27.06.2008. Бюл. №13; - 3 с.: ил.
3. Акимов, С.В. Электрооборудование автомобилей [Текст]: моногр./ С.В. Акимов, Ю.П. Чишков. - М.: ЗАО «КИСИ «За рулем», 2004. - С. 207 рис. 6.15.
4. Пат. на кор. модель 63641 Україна, МПК (2011. 01). Свічка запалювання для двигунів

внутрішнього згоряння НО1Т 13/00[Текст]/ Зайцев Г.І., Зайцев В.І.; заявники і патентовласники Зайцев Г.І., Зайцев В.І. №и 201105371.; заявл. 27.04.2011; опубл. 10.10.2011, Бюл. № 19. - 6 с.: іл.

5. Пат. на кор. модель 81817 Україна, МПК (2013. 01). Свічка запалювання НО1Т 13/00 [Текст]/ Мельник В.М.; заявник Мельник В.М.; патентовласник Нац. тех. ун-т. України «КПІ». - №и 201301243.; заявл. 01.02.2013; опубл. 10.07.2013. Бюл. № 13. - 1 с.: іл.

6. Мельник, В.М. Концентрування потужності іскрового розряду свічки запалювання [Текст]/ В.М. Мельник // materily ix mezinarodni vedecko-prakticka konference «aplikovane devecke novinky-2013», 27.07.2013-05.08.2013. Dil 14. Technicke vedy: Praha, Publishind House «Education and Scence», 2013. - Str. 17-19.

7. Мельник, В.М. Керування зони просторової концентрації електричної енергії електрода свічки запалювання [Текст]/ В.М. Мельник // materily ix mezinarodni vedecko-prakticka konference «predni vedecke novinky-2013», 27.08.2013-05.09.2013. dil 10. Technicke vedy: Praha, Publishind House Education and Scence», 2013. - Str. 46-50.

8. Пат. на кор. модель 85151 Україна, МПК НО1Т 13/00. Свічка запалювання [Текст]/ В.М. Мельник, В.В. Карачун, В.Ю.Шибєцький; заявники В.М. Мельник, В.В. Карачун, В.Ю. Шибєцький; патентовласник Нац. тех. ун-т. України «КПІ». - №и 201306285.; заявл. 21.05.2013; опубл. 11.11.2013. Бюл. № 21. - 1 с.: іл.

9. Пат. на кор. модель 81217 Україна, НО1Т 13/00. Свічка запалювання [Текст]/ В.М. Мельник; заявник і патентовласник В.М. Мельник; - №и 201310503; заявл. 28.08.2013; опубл. 27.01.2014. Бюл. № 2. - 1 с.: іл.

10. Виноградов, И.М. Кассини вал [Текст]/ Математическая энциклопедия /И.М. Виноградов // Советская энциклопедия. 1975-1985.

11. Советский энциклопедический словарь [Текст]/ Изд. Второе. –М.: Советская энциклопедия, 1982. –1600 с Гл. Ред.. А.М. Прохоров

12. Мельник, В.М. Підвищення займистості робочої суміші двигуна [Текст]/В.М. Мельник // «MADERN EORPEAN SCINCE-2014», June 30-July 7, 2014. Technical sciences: materials of xi

international research and practice conference. science and Education Ltd:Sheffield. UK, 2014. –Str. 44-46.

13. Korobiichuk, I., Mel'nick, V., Karachun, V. Modeling of voltaic pile surface formation using current-carrying cassini ovals // Engineering Science and Technology, an International Journal 22(1), 2019. c. 353-358/; DOI - <https://dx.doi.org/10.1016/j.jestch.2018.08.004>.

УДК 343.98

Molchanov Vaym

Forensic Expert

*Odesa Scientific-Research and Forensic Science Center
of the Ministry of Internal Affairs of Ukraine*

MODERN POSSIBILITIES OF JUDICIAL COMMODITY EXAMINATION

Молчанов Вадим Іванович

Судовий експерт

*Одеський науково-дослідний експертно-криміналістичний центр
Міністерства внутрішніх справ України*

СУЧАСНІ МОЖЛИВОСТІ СУДОВО-ТОВАРОЗНАВЧОЇ ЕКСПЕРТИЗИ

Summary. During investigation and legal proceedings of civil and criminal cases, we may need to use an expert knowledge in the field of commodity research, in other words-judicial commodity examination. Such experts are dealing with different categories of criminal cases regarding thieving, product piracy, etc. The success of the investigation depends largely on the extent to which possibilities of the expert research have been used. This dependence comes from the fact that generally, greater part of crimes are committed veiledly, i.e. by means of methods focused on changing and fabrication of material assets properties with a view to creating reserves for plundering: violation of test procedures, rejection, classifying; disfiguration of documentary data concerning parameters of accepted (sold) goods; alteration of labels content and other marks; understatement of the actual quantity of the goods being spoilt due to wrong storage conditions, transportation, etc. Exploration of such circumstances is impossible without calling for expert evidence in the field of commodity research.

Анотація. При розслідуванні і судовому розгляді кримінальних та цивільних справ часто виникає необхідність у застосуванні спеціальних знань в області товарознавства, тобто в проведенні судово-товарознавчої експертизи. Такі експертизи призначаються за різними категоріями кримінальних справ, пов'язаних з розкраданнями, фальсифікацією товарів, тощо. Успіх розслідування багато в чому залежить від того, наскільки повно вдалося використовувати можливості даної експертизи. Така залежність пояснюється тим, що більшість злочинів відбувається, як правило, завуалірованими способами, в числі яких прийоми, спрямовані на зміну, фальсифікацію властивостей матеріальних цінностей з метою створення резервів для розкрадання: порушення порядку та правил випробувань, розбракування, сортування; спотворення документальних даних про характеристики прийнятих (відпущених) товарів; зміна змісту товарних ярликів та інших способів маркування виробів; заниження фактичної кількості товарів, які зазнали псування через неправильні умови зберігання, транспортування та ін. Встановлення цих обставин неможливо без призначення судово-товарознавчої експертизи.

Keywords: *commodity examination, judicial commodity examination, forensic expert, expert in the field of commodity research, subject and methods of commodity examination.*

Ключові слова: *товарознавча експертиза, судова експертиза, судовий експерт, експерт-товарознавець, об'єкти та методи товарознавчої експертизи.*

Постановка проблеми. Багато експертиз проводиться у зв'язку з розглядом цивільних позовів по розділу майна, відшкодування шкоди при ушкодженні майна або псування, реалізації неякісних товарів.

Судово-товарознавча експертиза призначається у випадках, коли при розслідуванні та судовому розгляді кримінальних, цивільних, арбітражних справ та справ про адміністративні правопорушення виникає потреба в спеціальних знаннях у галузі товарознавства.

Джерелами доказової інформації нерідко є товари народного споживання, сировина, тара, тощо. Експертне дослідження таких об'єктів дає змогу вивчити можливі їх параметри, істотні ознаки, властивості, різні обставини, пов'язані зі споживчими якостями, відповідність нормативним документам, зразкам: установити способи фальсифікації зазначених об'єктів і шляхи запобігання різним правопорушенням [1].

Метою проведення судово-товарознавчого дослідження є вивчення за допомогою спеціальних знань про товар споживчої і мінової вартості.

Відповідно до поняття споживчої вартості товару (користь виробу (продукції, товару) його корисні властивості, притаманні в процесі експлуатації (споживання)) вивчаються товарні характеристики об'єкта з метою встановлення його товарної приналежності, відповідно до класифікації, прийнятої в товарознавстві, фактичний стан, і причини (умов, обставин) його зміни.

При проведенні експертизи по конкретній справі ця задача товарознавчого дослідження уточнюється в залежності від мети проведеного дослідження і обставин справи, наприклад, якщо є підстави вважати, що параметри, зафіксовані в сертифікаті якості, що не відповідають фактичним характеристикам, або фактичні характеристики досліджуваних об'єктів не відповідають маркуванню товару або характеристиками зразка.

З'ясування зазначених обставин визначає можливість і межі компетенції експерта-товарознавця.

Викладення основного матеріалу дослідження. За допомогою судово-товарознавчої експертизи вирішуються питання про рівень якості, фактичного стану товару [2]. Незадовільна якість продукції може бути обумовлена порушенням виробничого процесу (наприклад, технології), недотриманням правил збереження продукції при упакуванні, транспортуванні і зберіганні товару та іншими факторами.

Виходячи з поняття «товар» – як об'єкт судово-товарознавчої експертизи, виступає діалектичною єдністю двох сторін: вартості і споживчої вартості; до завдань судово-товарознавчої експертизи належать і завдання, пов'язані з визначенням вартості об'єкта судово-товарознавчої експертизи, в тому числі з урахуванням його фактичного стану, перш за все тому, що споживча вартість складається під впливом таких економічних чинників, як попит та пропозиція, і є результатом господарської економічної ситуації в цілому [3].

В рамках судово-товарознавчої експертизи можна виділити коло **задач**, рішення яких складає зміст судово-товарознавчої експертизи, що включають встановлення [4]:

- приналежності окремих одиниць або безлічі до однієї групи (виду, моделі, марки);
- сутності і ступеня зміни якості продукції (наявність дефектів і їх вплив на якість товару, псування продукції);
- відповідності-невідповідності якості продукції вимогам нормативної документації (стандартів та ін.), сертифікату якості або зразкам-еталонам;
- відповідності-невідповідності фактичних характеристик товару (склад, конструкція, вживані матеріали, параметри, в тому числі технічні та ін.), маркуванню, зазначеному на ярлику, етикетці, виробі, упаковці;
- обґрунтованості застосування і правильності обчислення норм природних втрат; можливості і допустимості списання природного убитку;

- відповідності-невідповідності упаковки (способу, засобів), умов і термінів транспортування і зберігання продукції нормативним вимогам;

- відповідності-невідповідності умов експлуатації вказівкам по експлуатації, викладених в інформації для споживача;

- впливу конкретних факторів на зміни якості продукції;

- відповідності-невідповідності порядку приймання та випробувань продукції за якістю та правилам, передбаченими нормативною документацією.

Спеціальні знання експертів використовуються для встановлення обставин, які сприяють на скоєння правопорушення або виникненню конфлікту інтересів громадян або юридичних осіб, пов'язаних з [5]:

- порушенням діяльності служб метрологічного контролю підприємств та організацій;

- оформленням і змістом нормативних документів, що не забезпечують права споживачів;

- порушенням господарської діяльності підприємств, що спричинило виготовлення і реалізацію неякісної продукції.

Для вирішення перерахованих завдань при призначенні судово-товарознавчої експертизи можуть бути поставлені наступні питання [6] – відповідає чи:

- наявність і якість фактично вказаної сировини документальними даними про виготовлення продукції. Якщо ні, то які є відмінності;

- фактичні характеристики продукції (сировина, склад, матеріали, технічні параметри, розмірні дані і ін.) маркуванні, зазначеному на ярлику, етикетці, упаковці. Якщо ні, то в чому їх відмінності;

- позначені на маркуванні символи характеристик продукції нормативним вимогам, встановленим для досліджуваного виду продукції. Якщо ні, то, які є відмінності;

- характеристики продукції, зазначені в супровідних документах, фактичним. Якщо ні, то в чому відмінності;

- фактичну якість продукції вимогам стандартів, встановленим для досліджуваного виду. Якщо ні, то в чому виражені відхилення. Можлива (допустима) чи її реалізація, переробка, утилізація;

- упаковка товару вимогам стандартів. Якщо ні, то як вона могла вплинути на зниження якості товару;

- умови, в яких транспортувався товар, що встановлені нормативною документацією. Якщо ні, то чи могло статися погіршення якості товару внаслідок неправильного транспортування;

- умови зберігання товару нормативним вимогам. Якщо ні, то чи могли вплинути конкретні умови зберігання товару на зниження його якості;

- приймання та випробування продукції правилам, передбаченим стандартам. Якщо ні, то, які порушення правил допущені.

- чи відповідають характеристики виробів таких же показників інших виробів, представлених як зразки. Якщо ні, то в чому відмінності;

а також:

- чи є на виробі дефекти. Якщо так, то є вони виробничими чи виникли в процесі експлуатації;

- чи впливають дефекти, наявні на пред'явлених для дослідження виробках, на їх якість. Якщо так, то яким чином;

- чи є виявлені дефекти допустимими. Якщо так, то на скільки відсотків знижується якість виробів;

- підібрані чи вироби в комплект або в набір за кількістю, розміром, забарвленням, відтінку і іншими показниками відповідно до встановлених правил. Якщо ні, то чи можлива їх подальша реалізація;

- чи правильно нарахований природний спад при конкретних умовах транспортування і зберігання;

- яка вартість виробів з урахуванням зносу на момент його пошкодження до пожежі, наводнення, тощо;

- яка вартість («залишкова вартість») виробів, пошкоджених в результаті наводнення, якщо вони придатні для використання за призначенням?

- яка ступінь зниження якості і вартості («збиток») виробів в результаті пошкодження?

Як видно, питання, які можуть бути вирішені за допомогою судово-товарознавчої експертизи, охоплюють широке коло обставин: характеристики об'єктів з точки зору їх призначення і області застосування; фактичний стан, чинники, що забезпечують збереженість продукції; обставини, при яких відбувається зниження якості товару; вартість продукції, в тому числі з урахуванням її фактичного стану.

У практиці судово-товарознавчої експертизи нерідко перед експертами ставляться питання про визначення належності окремих частин виробів до єдиного цілого, про встановлення підприємства (країни) виробника, спосіб виготовлення. Зазначені питання не можуть бути вирішені експертом-товарознавцем, так як вони відносяться до ідентифікаційних завдань і вимагають для свого рішення комплексного дослідження.

В межах своєї компетенції експерт-товарознавець вирішує завдання по встановленню приналежності двох і більше об'єктів до одного виду, моделі, марки (тобто груп). Наприклад, поставлений перед експертом питання: «Чи не становлять куртка та капюшон єдине ціле», може бути сформульований наступним чином: «Не чи належать куртка і капюшон до однієї моделі». Негативна відповідь на таке питання робить непотрібним ідентифікаційне дослідження.

Не відноситься до компетенції експерта-товарознавця питання про підприємство-виробника (країни) якого-небудь виробу. Для його вирішення необхідно встановити джерело походження виробу, тобто яким конкретно підприємством (країною) виріб виготовлено. Такі питання не належать до

компетенції експерта-товарознавця, вони пов'язані з процесом і організацією виробництва.

Питання про спосіб виготовлення виробів (кустарний або фабрично-заводської) також не відноситься до компетенції експерта-товарознавця. У процесі дослідження експерт-товарознавець визначає якість виробу, встановлюючи ознаки виготовлення і ступінь впливу їх на естетичні і функціональні властивості виробу. Для встановлення способу виготовлення, потрібні знання матеріалів, різних деталей, конструкції, опису моделі і перш за все – технології виготовлення виробу. Отже, це питання належить до компетенції експерта-технолога, знайомого з технологією виготовлення тих чи інших виробів на промислових підприємствах.

Нерідко перед експертами ставляться питання про можливість проведення ремонтних робіт по відновленню пошкоджених виробів і про вартість ремонту. Ремонтні роботи, що вимагають знання технології виготовлення виробів, здійснюються фахівцями відповідних галузей виробництва (наприклад, телерадіомеханіками при ремонті телерадіоапаратури). Разом з тим в межах своїх спеціальних знань експерт-товарознавець може визначити ступінь зниження якості і вартості виробів з урахуванням наявних дефектів, вивчаючи комплекс ознак, які свідчать про зміну (погіршення) якості виробу, при вирішенні питання: «яке зниження вартості виробу («збиток») в результаті його псування».

Крім зазначених, перед експертами ставляться питання довідкового або правового характеру, наприклад про винність конкретних осіб у псуванні товару (виробів) або про достовірність попередніх експертних висновків. Подібні питання не припустимі і не повинні вирішуватися судовим експерт-товарознавцем. Вирішення питань провини і винності, достовірності висновків експертів складають виключну прерогативу суду.

Отже, всі експертні товарознавчі завдання можна систематизувати наступним чином [2]:

1. Встановлення приналежності досліджуваних об'єктів до загальноприйнятого класу з відомим комплексом властивостей, що включає приватні задачі:

- визначення товарної приналежності об'єкта, його призначення та області застосування, в тому числі методом реконструкції об'єкта по його частинам;

- встановлення приналежності окремих одиниць або множин об'єктів до однієї товарної групи.

2. Встановлення фактичного стану об'єкта, в тому числі:

- наявності дефектів і їх вплив на якість;

- ступеня зниження якості з урахуванням наявних дефектів;

- відповідності-невідповідності властивостей об'єкта базовим (стандартним, еталонним) вимогам;

- придатності об'єкта для використання за призначенням;

- відповідності-невідповідності фактичних властивостей об'єктів таким же даним, що міститься в маркуванні або товаро-супровідних документах.

3. Встановлення фактичних даних (умов, обставин), пов'язаних з дотриманням-недотриманням правил здійснення операцій: пакування, маркування, зберігання, транспортування, приймання, випробуванням і експлуатації.

Приватні завдання включають встановлення відповідності-невідповідності нормативним вимогам: упаковки, маркування, умов транспортування, режиму зберігання, порядку приймання, методів випробувань, умов експлуатації.

4. Встановлення механізму зміни властивостей об'єкта: типу негативного впливу, можливих змін властивостей об'єкта при певних умовах або причини зміни властивостей об'єкта загалом.

5. Встановлення вартості об'єкта дослідження в тому числі з урахуванням його фактичного стану.

6. Профілактичні завдання.

Об'єктами експертного товарознавчого дослідження можуть бути будь-які товарні об'єкти: продовольчі та непродовольчі товари, вироби, що були у вжитку, вироби, які вже не використовуються в ужитку, частини виробів [5].

Разом з тим до об'єктів судово-товарознавчої експертизи можуть бути віднесені не всі об'єкти, а тільки ті, які мають властивості (сукупністю властивостей), складовими, що становили їх якісно-кількісну визначеність, що дозволяє однозначно віднести до відомої в товарознавстві класифікаційної одиниці: відсутність ознак, «визначаючих» товарну належність об'єкта, вказує на те, що він не може відноситися до об'єктів судово-товарознавчої експертизи (наприклад, залишки спаленої одягу не дають можливості пізнання таких властивостей, як конструктивні особливості виробу, його моделі, які дозволяють віднести його до конкретної товарної групи) [1].

Залежно від обставин справи, разом з об'єктами судово-товарознавчої експертизи (продукцією, виробами, їх частинами) експертам представляють зразки-еталони для порівняльного дослідження. Об'єктом експертного товарознавчого дослідження можуть бути і частини виробу, які вибули з ужитку. В цьому випадку експертом вирішується завдання: «Частиною якого виробу є представлений на експертизу об'єкт».

В якості вихідних даних при проведенні експертизи вивчається маркування, нанесене на упаковку, безпосередньо на виріб, або яке нанесена на ярлики, етикетки, тощо, і містить інформацію про товарні характеристики, виробника, спосіб поводження з вантажем або доглядом за виробом (маніпуляційні знаки). Дослідження маркування необхідно при вирішенні ряду питань, в тому числі пов'язаних з фальсифікацією товару.

Практика виробництва судово-товарознавчої експертизи свідчить, що на момент порушення або судового розгляду кримінальних або цивільних

справ в наявності іноді не виявляється готової продукції, виробів, упаковки, які необхідно подати для проведення дослідження. Всі операції, що відбуваються з товаром, також не можуть бути вивчені безпосередньо, оскільки ці процеси відбувалися в минулому. У таких випадках єдиним джерелом інформації для експерта служать документи, що містять відомості про стан об'єктів і здійснюваних операцій, що дають інформацію про товар в досліджуваній відрізку часу. До них відносяться: [7]

- товаро-супровідні документи, які характеризують якість товару і упаковки (сертифікати, посвідчення про якість, технічні паспорти, ярлики), специфікації, рахунки-фактури, пакувальні листи;

- товарно-транспортні (відвантажувальні) документи, які містять інформацію про умови та строки транспортування (товарно-транспортні накладні, квитанції про приймання вантажу, залізнична накладна, комерційний акт);

- прийомні документи (дані про приймання товару і методи випробувань (досліджень), дефектні відомості, журнали приймання та розбраковки товарів, приймально-витратні накладні, паспорти на товари, акти санепідемстанцій, тощо);

- складські документи, які містять відомості про умови зберігання товару;

- процесуальні документи (протоколи огляду, різні довідки, заяви).

Залежно від об'єкта та характеру вирішуваних експертом питань застосовуються різні приватні методики і методи експертного дослідження, в тому числі і методи, розроблені в матеріалознавстві, текстильній та харчовій промисловості та інших областях науки і техніки, детально висвітлені в стандартах та інших нормативних документах.

Основна умова вирішення експертного товарознавчого завдання - дослідження особливостей об'єкта, тобто виділення і вивчення тих властивостей, які мають практичне значення для вирішення поставленого питання [6]. У процесі дослідження експерт через виділені ознаки пізнає властивості об'єкта, його стан, причини зміни при певних умовах, при цьому використовує методики і методи дослідження взаємності від досліджуваного об'єкта.

Особливість судово-товарознавчої експертизи полягає в тому, що об'єктами дослідження є як безпосередньо представлена на дослідження продукція, вироби, частини виробів, упаковка, так і матеріали кримінальних і цивільних справ, що містять інформацію про об'єкт і різних процесах, що відбуваються з об'єктом, відображених в документах.

У зв'язку з цим необхідно виділити два напрямлення експертних товарознавчих досліджень, визначених об'єктами дослідження, специфічними методиками, зумовленими відмінностями в застосуванні методів дослідження зазначених об'єктів.

При безпосередньому дослідженні об'єктів: шляхом виявлення подібності (відмінності) властивостей виробів і порівняльних зразків; виробів і маркування; виробів і даних, зазначених в супровідних документах; виробів і даних, зазначених у нормативній документації, вирішуються **завдання** по встановленню [3]:

- товарної приналежності досліджуваного об'єкта;
- сутності і ступеня зміни якості об'єкта, придатності об'єкта для подальшого використання;
- впливу умов (упаковки, маркування про спосіб збереження і догляду за виробом) на зміну властивостей об'єкта;
- причини зниження якості або псування товару.

Причина зміни (або ураження) властивостей об'єкта визначається за характером ураженості властивостей об'єкта. Для встановлення обставин, які цікавлять слідство або суд, наприклад про можливості виникнення дефектів меблів в результаті транспортування, зберігання, необхідні додаткові дані про зазначені процеси, викладені в матеріалах справи.

При дослідженні об'єктів, представлених на дослідження, застосовують такі **методи**: [5]

- органолептичний - для визначення властивостей об'єкта за ознаками їх зовнішнього прояву;
- вимірювальний (інструментальний, лабораторний) - здійснюється за допомогою технічних засобів для визначення будови (структури), міцності забарвлення, розмірних ознак і інших властивостей;
- реєстраційний – для визначення показників якості продукції, заснований на підрахунку числа ознак властивостей об'єкта;
- розрахунковий – для визначення шуканих показників за формулою теоретичних і емпіричних залежностей з використанням параметрів, встановлених вимірювальним методом;
- експериментальний - заснований на дослідженні об'єкта і порівняльних експериментальних зразків, отриманих в результаті проведеного експерименту, з метою встановлення можливих причин зміни якості продукції і можливі наслідки;
- статистичний із застосуванням правил математичної залежності – для визначення чисельних показників властивостей об'єкта;
- аналогії – заснований на встановленні подібності (відмінності) характеристик об'єкта дослідження й аналога, який використовується при вирішенні задач, пов'язаних з визначенням вартості об'єкта;
- метод маркетингових досліджень фактичних продажів досліджуваного товару або аналогічного досліджуваного;
- метод вартостний – для визначення вартості продукції на відповідний період часу.

При безпосередньому дослідженні об'єкта судово-товарознавчої експертизи застосовується суцільний метод дослідження, тобто

досліджуються всі представлені об'єкти. У рідкісних випадках, коли на дослідження представляється велика партія товару одного найменування, моделі, використовується вибірковий метод дослідження, якщо в нормативних документах на відповідний вид продукції передбачений метод і методика відбору зразків (проб).

Якщо умови вибірки не дотримані, результати дослідження не можуть бути поширені на всю партію продукції, а будуть характеризувати лише якість вибірових зразків (проб).

Специфічною особливістю судово-товарознавчої експертизи є проведення дослідження тільки на підставі даних, викладених в представлених на дослідження документах. При цьому можливість проведення експертного дослідження визначається достатністю документів та їх придатністю для дослідження [7].

Враховуючи специфіку об'єкта, а саме, що експерт досліджує не сам об'єкт, а тільки інформацію (відомості) про нього, яка є результатом дослідження, раніше проведеного дослідження іншими особами, і може бути спотворена як в результаті непрофесійного підходу, так і наміру, тому методика дослідження при вирішенні завдань основана на виявленні, аналізі, порівнянні та оцінці властивостей, зафіксованих в документах.

Аналіз інформації, що міститься в документах, дозволяє експерту виявити достатність і придатність вихідних даних для проведення дослідження.

При порівняльному аналізі викладені показники зіставляються з нормативними документами з метою визначення: рівня якості продукції, відповідному-невідповідному нормі; відповідності-невідповідності проведення операцій приймання, випробувань, транспортування, зберігання нормативним вимогам; а також з аналогічними, наявними в різних документах, з метою встановлення їх збіжності або розбіжності [4]. Розбіжність в інформації може служити підставою для вирішення питання про обставини, що призвели до зміни якості продукції.

Заключним етапом проведення дослідження за документами є оцінка результатів дослідження з точки зору його повноти і аргументованості, необхідних для формування висновків.

Висновки. При експертному товарознавчому дослідженні документальних даних основними методами дослідження є:

- метод документальної перевірки з метою встановлення достатності та придатності інформації, що міститься в документах, для проведення дослідження;
- метод зустрічної перевірки, при якому порівнювальному дослідженню піддаються показники з однаковою назвою, відображені в різних документах. Зазначені показники досліджуються за всіма взаємопов'язаним документам. Виявлену розбіжність дозволяє

визначити етап, на якому могла статися втрата якості продукції;

- метод нормативної перевірки, тобто оцінки інформації, що міститься в документах, з точки зору вимог, що пред'являються у нормативно-технічній документації.

Список літератури:

1. Гончаренко В.Г. Експертиза в судовій практиці: навч. посіб. Київ: «Либідь», 1993. 197 с.
2. Гончаренко В.Г., Гора І.В. Експертизи у судочинстві України. Київ: Юрінком Інтер, 2015. 504 с.
3. Дубініна А.А. Методи визначення фальсифікації товарів: підручник. Київ: Видавничий дім «Професіонал», 2010. 272 с.
4. Гончаренко В.Г. Експертизи у судовій практиці: наук.-практ посіб – 2-ге вид. перероб. та допов. Київ: Юрінком Інтер, 2010. 400 с.
5. Селіванов А.А. Можливості судово-товарознавчої експертизи на сучасному етапі розвитку. Журнал: «Адвокат», 2006, № 2.
6. Попович І.І. Підготовка та призначення окремих видів судових експертиз: навч. посіб. Ужгород: Говерла, 2014.
7. Смахтін Є.В. Деякі тенденції розвитку судових експертиз. Журнал: «Експерт-криміналіст», 2006, № 2.

References:

УДК 629.039.58

1. Honcharenko V.H. Forensic research in the litigation practice: study guide [Ekspertiza v sudoviy praktitsi: navch. posib]. Kyiv: "Lybid", 1993, p.197.

2. Honcharenko V.H., Bora I.V. Forensic research in the judicial proceeding of Ukraine [Ekspertizi u sudochinstvs Ukrayini]. Kyiv: Yurincom Inter, 2015, p.504.

3. Dubinina A.A. Methods for determination of product piracy: educational book [Metodi viznachennya falsifikatsiyi tovariv: pidruchnik]. Kyiv: "Professional" publishing house, 2010, p.272.

4. Honcharenko V.H. Forensic research in the litigation practice: research to practice book-2nd amended edition [Ekspertizi u sudoviy praktitsi: nauk.-prakt. Posib. – 2-ge vid. pererob. ta dopov.]. Kyiv: Yurincom Inter, 2010, p.400.

5. Selivanov A.A. Possibilities of modern judicial commodity examination [Mozhливosti sudovo-tovarovnavchoyi ekspertizi na suchasnomu etapi rozvitku]. "Advocat" magazine, 2006, No.2.

6. Popovich I.I. Preparation and assigning of certain type of forensic analysis: study guide [Pidgotovka ta pryznachennya okremih vidiv sudovih ekspertiz: navch. posib.]. Uzhhorod: Hoverla, 2014.

7. Smakhtin E.V. Some trends in forensic analysis development [Deyaki tendentsiyi rozvitku sudovih ekspertiz]. "Ekspert-kriminalist" magazine, 2006, No.2.

Муравьева Людмила Викторовна

д.т.н., ассистент

Саратовского государственного политехнического университета им.Ю.А. Гагарина

ВОПРОСЫ АНАЛИЗА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЗАГЛУБЛЕННЫХ МОРСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ.

QUESTIONS OF SENSITIVITY ANALYSIS OF BURIED OFFSHORE PIPELINES TRANSPORTING.

Abstract: Dynamic behaviors of underground pipe lines during earthquakes remain unknown, while the structures in weak ground have suffered damages from large earthquakes. From the aseismic point of view, the problems lie in the fact that the dynamic behaviors of the structures have little relations to ground acceleration, but to ground deformation, and in the fact that such structures have two dimensional extension along the surface of ground. As many investigations of the earthquake engineering treated ground acceleration such as the one at a point, they give little information's for ground deformation or distribution of ground displacement along the surface. The article proposes a formula for determining the seismic load of a buried offshore pipeline.

Аннотация: Важным фактором, влияющим на безопасность эксплуатации заглубленных подземных трубопроводов, является взаимодействие заглубленного трубопровода и окружающего грунта. Во многих исследованиях землетрясений наземное ускорение, полученное в одной точке, дает неполную информацию о деформациях грунта. Автором предложена методика определения сейсмической нагрузки для заглубленных подводных трубопроводов. В статье предложены формулы по оценке усталости заглубленного трубопровода.

Ключевые слова: заглубленный морской трубопровод, сейсмическая нагрузка, усталость

Key word: Blown offshore pipeline, Seismic load, fatigue

Трубопроводы признаны надежным, экономичным и эффективным средством транспортировки газа и других коммерческих жидкостей [1-4]. Важным фактором, влияющим на безопасность эксплуатации подземных трубопроводов, является взаимодействие подземного трубопровода и окружающего грунта.

Поведение подземных трубопроводов во время землетрясений остается неизвестным. Необходимость заглубления трубопровода определяется требованиями обеспечения надежности и безопасности эксплуатации, вероятностью повреждения трубопровода от внешних и внутренних воздействий [4].

Статья посвящена вопросам определения сейсмической нагрузки для заглубленных морских трубопроводов, при землетрясениях.

Динамическое поведение трубопровода имеет отношение к ускорению грунтов, деформациям грунта. Следует учитывать, что трубопроводы испытывают двухмерные деформации вдоль поверхности земли. В исследованиях землетрясений анализируется наземное ускорение, полученное в одной точке. Акселерограммы дают неполную информацию о деформациях грунта, смещений грунта вдоль поверхности земли. Увеличение толщины стенки труб, повышение класса стали, защита трубы с помощью геотекстиля- это предлагаемые методы защиты трубопроводов землетрясений.

Расчетная модель заглубленного подводного трубопровода принята в виде цилиндрического стержня с жесткими закреплениями по концам. Масса толщи воды над заглубленным трубопроводом рассматривается как дополнительная присоединенная масса.

В работах японских исследователей [1] отмечено, что в трубопроводах большого диаметра напряжения изгибающих усилий сравнимы с осевыми напряжениями. При движении земной поверхности по закону $Y = a_0 \cdot \sin(p(t-x/V))$, деформации изгиба трубопровода определяются следующим соотношением;

$$\varepsilon = \frac{r_0}{v^2} \cdot A, \quad (1)$$

где r_0 -радиус трубы, v -наблюдаемая скорость сейсмической волны, A -сейсмическое ускорение.

Осевая деформация трубопровода является преобладающей [1]. Отношение осевой деформации к изгибным деформациям трубопровода запишется в виде [1].

$$\varepsilon = -a_0 \cdot \frac{p}{V} \cos p(t - x/V), \quad (2)$$

где p - круговая частота движения грунта (равная $\frac{2\pi}{T}$); a_0 -амплитуда движения поверхности земли; V -скорость сейсмической волны.

Выразим ускорение поверхности грунта;

$$A = -a_0 \cdot p^2 \sin p(t - x/V), \quad (3)$$

здесь T - период движения земной поверхности.

Максимальная деформация трубопровода равна,

$$\varepsilon = \frac{a_0 \cdot p/V}{a_0 \cdot p^2} \cdot A = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{T \cdot A}{V}. \quad (4)$$

Соотношение (4) подтверждается записями деформации труб в исследованиях [1].

При землетрясении, возникает относительное смещение трубопровода в осевом направлении. Величина деформации определяется следующим соотношением,

$$\frac{AT^2}{4\pi^2} = u_0 \left\{ 1 + \frac{1}{\left(\frac{p}{\omega_0}\right)^2 + \left(\frac{V_a}{V}\right)^2} \right\} = u_0, \quad (5)$$

здесь u_0 -значение предела прочности грунта ; V_a -скорость продольной волны, распространяющейся в трубопроводе ($\sqrt{\frac{E}{\rho}}$).

При землетрясении развивается сила трения [], по всей линии трубопровода. Деформации

прямолинейного трубопровода равны его относительному смещению,

$$\varepsilon_u = \frac{C_0 \cdot L}{4EA_0} = \frac{C_0 \cdot vT}{4EA_0}, \quad (6)$$

где C_0 значения трения, приходящиеся на единицу длины трубы.

Уравнение колебаний трубопроводов в осевом направлении при перемещениях в диапазоне $u < u_0$ описываются соотношением,

$$\rho A_0 \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} - EA_0 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + ky = k \cdot a_0 \sin p(t - x/v) \quad (7)$$

Решение уравнения (7) представим в виде

$$y(x, t) = \frac{1}{1 + \left(\frac{\rho}{\omega_0}\right)^2 \left(\frac{V_0}{V}\right)^2 - \left(\frac{\rho}{\omega_0}\right)^2} \cdot Y(x, t). \quad (8)$$

Частоты собственных колебаний трубопровода зависят от плотности жидкости, транспортируемой по трубопроводу. Среда, находящаяся в трубопроводе создает присоединенную к системе массу. Она оказывает понижающее воздействие на динамические характеристики трубопровода.

При анализе сейсмостойкости подводных трубопроводов оценивают уровень напряжений и допустимые деформации в стенках трубопровода.

Для определения сейсмической нагрузки и недопущения явления резонанса, необходимо знать собственные частоты конструкции.

Собственные частоты свободных колебаний заглубленного трубопровода транспортирующего газ, при защемлении по концам определяются,

$$\omega_n = \sqrt{a_1^2 \lambda_n^2 + b^2}; \quad (12)$$

здесь $a_T = EF/m$; $b^2 = \frac{\pi D_H k_x}{m}$; k_x - коэффициент линейной пропорциональности между касательными напряжениями τ_x , в окружающем грунте $\tau_x = k_x u(x, t)$.

Инерционная сейсмическая нагрузка на подводный заглубленный трубопровод, определяется в виде:

$$S_{ik}^* = k_A A \cdot g m_k \eta_{ik}^* \beta_{\varepsilon}(\omega_k^*) \cdot \tau_x, \quad (20)$$

здесь k_A - коэффициент учитывающий вероятность сейсмического события в течение назначенного срока службы сооружения;

g – ускорение свободного падения (9.81 м/с^2);

$\eta_{ik}^* = X_{ik}$ - коэффициент формы;

X_i - формы собственных колебаний трубопровода (балочные функции)

τ_x – касательными напряжениями;

A – выраженная в долях g расчетная амплитуда ускорения основания, определяется по таблице СП [6].

При определении величины инерционной сейсмической нагрузки учитываем коэффициент, зависящий от степени повреждений, допускаемых в сооружении при землетрясении [6]; значение угла направления сейсмической волны к сооружению [6] $\cos(U_i, \vec{U}_0)$; коэффициент, учитывающий демпфирующие свойства конструкций [6].

Более точно в виду малой изученности шельфа и отсутствия систематизации сейсмических данных

по стране, сейсмическую нагрузку на погруженные трубопроводы необходимо рассчитывать, с помощью спектрального метода, по следующей методике:

1. Выбираются наиболее нагруженные сечения для анализа напряженно-деформированного состояния трубы.

2. Строятся амплитудно-частотные характеристики, для определения деформаций в выбранных точках $\varepsilon_i(\omega)$ (с учетом демпфирующих свойств грунтов), где ω - частота возбуждающего сейсмического воздействия, ω_0 - частота свободных колебаний трубопровода.

3. Амплитудно-частотная характеристика равна: $|\Phi(i\omega)|^2 = \frac{1}{(\omega_0(l)^2 - \omega^2)^2 + (2(\xi_{st} + \xi_{gr}) \cdot \omega_0(l) \cdot \omega)^2}$

4. Спектральные плотности деформаций в i -й точке вычисляются,

$$S_{\varepsilon_i}(\omega) = \varepsilon_i^2(\omega) \cdot S_I(\omega), \quad (21)$$

где $S_I(\omega)$ - расчетная спектральная плотность сейсмического воздействия бальности $I[4]$ (прил.8)

5. Дисперсию деформаций в i -й точке,

$$D_{\varepsilon_i} = \int_0^\infty S_{\varepsilon_i}(\omega) d\omega \quad (22)$$

6. Искомое расчетное значение деформации определяется как

$$\varepsilon_{i.p} = \sqrt{D_{\varepsilon_i}} \quad (23)$$

7. Коэффициент динамичности заглубленного трубопровода равен:

$$\beta_\varepsilon(\omega_k) = \omega_{0k}^2 \sqrt{D_\varepsilon / D}.$$

Срок службы подводного трубопровода 50 лет, но сейсмические события не укладываются, не происходят по расписанию. На срок службы трубопровода влияет режим работы, коррозионные повреждения трубопровода.

Заглубленный трубопровод скрыт от глаз наблюдателей. Изменение давлений транспортируемого продукта, малоцикловое нагружение трубопровода, может привести к инициации дефектов конструкции.

Сейсмическое повреждение, нелокально, оно затрагивает всю конструкцию. С учетом низкочастотного нагружения, больших пластических деформаций, наблюдаемых в кольцевых сварных швах трубопроводов, необходимо выполнять оценку появления усталостной трещины в трубопроводе при анализе сейсмостойкости заглубленного трубопровода. Исследования усталостных параметров заглубленных морских трубопроводов не проводились. Предложенный в статье метод учета ресурса конструкции основан на оценке спектра напряжений конструкции.

Усталостные повреждения ассоциируются с полосой циклов напряжений

$$\delta_D = \frac{\delta_n}{N} = \frac{\delta_n}{A\sigma_r^{-m}} = \frac{n(\sigma_r/4m_0) \exp[-(\sigma_r^2/8m_0)] \delta\sigma_r}{A\sigma_r^{-m}}, \quad (24)$$

где n - число циклов напряжений; m - отрицательный наклон кривой усталости S-N; σ_r - диапазон напряжений, (разница между максимальным и минимальным напряжением в цикле); A - коэффициент кривой усталости металла трубопровода.

Усталостные повреждения для всех полос циклов напряжений определяется в виде:

$$D = \int_0^\infty \frac{n(\sigma_r/4m_0) \exp[-(\sigma_r^2/8m_0)] \delta\sigma_r}{A\sigma_r^{-m}}, \quad (25)$$

Здесь A - коэффициент кривой усталости металла трубопровода.

В статье представлены: методики определения сейсмической нагрузки для заглубленных подводных трубопроводов, соотношения для определения усталости подземных заглубленных трубопроводов, сделан вывод о необходимости проведения испытаний заглубленных трубопроводов на усталость.

Список литературы:

1. Sakurai A., Takahashi T. Dynamic stresses of underground pipe lines during earthquakes, Tokyo, 1967, Technical Laboratory, 15p.
2. American Lifelines Alliance (ALA), Buried Steel Pipes [Guidelines for the design of buried steel pipe]. Federal Emergency Management Agency (FEMA), American Society of Civil Engineers (ASCE) & Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2001-83p.
3. Muravieva L.V. Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote podogovoru № RS-13/2015/203-03503 "Razrabotkatrebovanij k sejsmostojkosti stal'nykh morskikh podvodnykh truboprovodov s povrezhdeniyami" [Report on research work under the contract No. PC-13/2015 / 203-03503 "Development of requirements for seismic resistance of steel offshore underwater pipelines with damages"] Saint-Petersburg. 2015. 35p.
4. Russian Maritime Register. Pravilaklassifikatsiiipostrojkimorskikhpodvodnykhtruboprovodov [ND №2-020301-004. Rules for the classification and construction of subsea pipelines]. Saint-Petersburg. Russian maritime register, 2017. 164 p.
5. Napetvaridze SH.G., Gekhman A.S. Sejsmostojkost' magistral'nykhtruboprovodovispetsial'nykhsooruzhenijneftjanogigazovojpromyshlennosti [Seismic resistance of main pipelines and special structures of the oil and gas industry]. Moscow, Nauka Publ., 1980. 172p.
6. SR14.13330.2014. Stroitel'stvo v sejsmicheskikh rajonakh. Updated version snip II-7-81*. Moscow. [Set of rules. Seismic Building Design Code]. Moscow. Federal'noeagentstvoprotekhnicheskommuregulirovaniyu imetrologii, 2014. 88p.
7. SR 36.13330.2012. Magistral'nyetruboprovody. Updated version SNIIP 2.05.06-85*. [Set of rules. Trunk pipelines]. Moscow. Federal'noeagentstvoprotekhnicheskommuregulirovaniyu imetrologii, 2012. 130p.
8. Chopra A.K. Dynamics of structures, Theory and applications to earthquake engineering. Berkley, Prentice-Hall, Inc., 2001. 450p.

Reference:

1. Sakurai A., Takahashi T. Dynamic stresses of underground pipe lines during earthquakes, Tokyo, 1967, Technical Laboratory, 15p.
2. American Lifelines Alliance (ALA), Buried Steel Pipes [Guidelines for the design of buried steel pipe]. Federal Emergency Management Agency (FEMA), American Society of Civil Engineers (ASCE) & Federal Emergency Management Agency (FEMA), 2001-83p.
3. Муравьева Л.В. Отчет НИР по договору № РС-13/2015/203-03503. – Санкт-Петербург: 2015. – 35с.
4. Правила классификации и постройки морских подводных трубопроводов [текст НД № 2-020301-004]: Российский морской регистр судоходства - Санкт-Петербург: Российский морской регистр судоходства, 2017. – 164с.
5. Напетваридзе Ш.Г., Гехман А.С. Сейсмостойкость магистральных трубопроводов и специальных сооружений нефтяной и газовой промышленности [Seismic resistance of main pipelines and special structures of the oil and gas industry]. Москва. Наука. 1980. 172с.
6. СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП 7-81* [текст]: нормативно-технический материал. Москва: Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. 2014. 88с.
7. СП 36.13330.2012. Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85* [текст]. Москва. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. 2012. 130с.

Molodid O. S.

*Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Kiev National University of Construction and Architecture, Kiev, Ukraine,
ORCID SD: 0000-0001-8781-6579*

Plokhuta R. A.

*PhD student,
Kyiv National University of Construction
and Architecture, Kiev, Ukraine,
ORCID SD: 0000-0002-3148-5376*

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL FACTORS ON QUALITY INDICATORS OF CRACKS IN CONCRETE SLAB STRUCTURES RENOVATED WITH THE HELP OF IMPREGNATION

Молодід Олександр Станіславович

*кандидат технічних наук, доцент,
Київський національний університет будівництва і архітектури,
Київ, Україна*

Плохута Руслана Олександрівна

*аспірант, Київський національний університет
будівництва і архітектури, Київ, Україна*

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ НА ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ ВІДРЕМОНТОВАНИХ ТРІЩИН ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТНИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРОСОЧУВАННЯМ

Abstract: A significant part of buildings and structures is erected of concrete or reinforced concrete. However, under the influence of various factors, such structures are destroyed and require repair and restoration of operational properties. The most frequent damages to structures are cracks. According to DBN B V.3.1-2: 2016 and EN-1504, cracks with disclosure exceeding 0.4 mm are subject to repair. However, in the case of the construction exploitation under moist or wet conditions, cracks with the disclosure of 0.3 mm require repair. This is due to impregnation of moisture into small cracks and subsequent corrosion of reinforcement. Repair of cracks in concrete and reinforced concrete structures is carried out using adhesion and filling with solutions in way of injection or impregnation.

In the laboratory of State Enterprise "Research Institute of Building Production", a series of experimental studies were performed to determine the impact of technological factors, namely: temperature and humidity of structures with cracks on their bonding with a repair solution using "trays".

A series of nine studies examined combinations of three humidity states of a crack (dry, wet, wet) and three temperature conditions (20 °C, - 10 °C, - 20 °C). Before conducting experimental studies, artificial cracks were formed on samples and the value of applied destructive effort was fixed. 96 years after soaking the specimen with Composition Liquid "Consolid 1", a destructive effort was re-applied and its value was fixed.

Established that for specimens restored at 20 °C, humidity of the cracks has almost no effect on the value of repeated destructive force. At the same time at an average, it equaled: for dry samples – 98% from the value of destructive effort applied before impregnation, for moist ones – 95% and for wet – 91% respectively. Reducing the temperature of samples to - 10 °C affected the value of re-destructive effort. It equaled: for dry samples – 84% from the value of destructive effort applied before impregnation, for moist – 57%, for wet – 51%. Reducing sample

temperatures to -20°C significantly affected the rates of re-applied effort. For dry samples, the value of the destructive effort applied to the samples after impregnation was 85%, for moist – 58%, for wet – 38% from the values of the destructive effort of the samples before the impregnation.

Анотація: значну частину будівель і споруд зведено з використанням бетону чи залізобетону. Проте, під дією різних чинників такі конструкції руйнуються та потребують ремонту і відновлення експлуатаційних властивостей. До найчастіших пошкоджень конструкцій належать тріщини. Згідно з ДБН Б В.3.1-2:2016 та EN – 1504, ремонту підлягають тріщини, ширина розкриття яких більше ніж 0,4 мм. Проте, в разі роботи конструкцій у вологих чи мокрих умовах ремонту потребують тріщини з шириною розкриття від 0,3 мм. Це зумовлено просоченням вологи у дрібні тріщини та подальшою корозією арматури. Ремонт тріщин у бетонних і залізобетонних конструкціях проводять за допомогою склеювання та заповнення розчинами способом ін'єктування чи просочення.

На базі лабораторії ДП «НДІБВ» було проведено ряд експериментальних досліджень зі встановлення впливу технологічних чинників температури та вологості конструкцій з тріщинами на їх склеювання ремонтним розчином за допомогою «лоточка».

Було виконано дев'ять серій досліджень, в яких розглядали комбінації трьох станів вологості тріщин (сухий, вологий, мокрий) та трьох температурних режимів (20°C , мінус 10°C , мінус 20°C). Перед проведенням експериментальних досліджень на зразках утворювали штучні тріщини та фіксували значення руйнівного зусилля. Через 96 год після просочення зразків композиційною рідиною «Консолід 1» до них повторно прикладали руйнівне зусилля з фіксуванням його значення.

Встановлено, що для зразків, відновлення яких відбувалося за температури 20°C вологість тріщин майже не впливає на значення повторного руйнівного зусилля. При цьому в середньому воно становило: для сухих зразків 98 %, для вологих – 95 %, для мокрих – 91 % від значень руйнівного зусилля зразків до просочення. Зниження температури зразків до мінус 10°C вплинуло на значення повторного руйнівного зусилля. Воно становило: для сухих зразків 84 %, для вологих – 57 %, для мокрих – 51 % від значень руйнівного зусилля зразків до просочення. Зменшення температури зразків до мінус 20°C істотно вплинуло на показники повторно прикладеного зусилля. Для сухих зразків значення руйнівного зусилля, прикладеного до зразків після просочення, становило 85 %, для вологих – 58 %, для мокрих – 38 % від значень руйнівного зусилля зразків до просочення.

Keywords: reinforced concrete structures; cracks; adhesion; impregnation; structures' humidity; structures' temperature.

Ключові слова: залізобетонні конструкції; тріщини; склеювання; просочення; вологість конструкції; температура конструкції.

Постановка проблеми. Значну частину будівель і споруд зведено з використанням бетону чи залізобетону, які зарекомендували себе як високоякісний будівельний матеріал. Проте, під дією різного роду чинників (фізичні, механічні, хімічні і т. ін.) такі конструкції руйнуються та потребують ремонту, а відтак і відновлення експлуатаційних властивостей. До найчастіших пошкоджень конструкцій належать тріщини.

Згідно з ДБН Б В.3.1-2:2016 «Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд» [2] та EN – 1504 «Product and system for the protection and repair of concrete structures – Definitions, requirements, quality, control and evaluation of conformity» [6], ремонту підлягають тріщини, ширина розкриття яких перевищує 0,4 мм. Проте, в разі функціонування конструкцій у вологих чи мокрих умовах ремонту потребують тріщини з шириною розкриття від 0,3 мм. Це зумовлено просоченням вологи у дрібні тріщини та подальшою корозією арматури. Ремонт тріщин у бетонних і залізобетонних конструкціях проводять за допомогою заповнення ремонтними розчинами з метою склеювання, зміцнення і захисту такої конструкції від впливу вологи та агресивного середовища.

Аналіз публікацій. Найрозповсюдженішим способом заповнення та склеювання тріщин у бетоні є їхнє ін'єктування [3], що полягає у

просвердлюванні отворів уздовж тріщини, встановленні в отвори пакерів та поступовому ін'єктуванні (заповненні) тріщини ремонтним розчином. Застосування цього способу доцільне за невеликої кількості тріщин або для ремонту зі значною шириною їх розкриття, що пов'язано з високою трудомісткістю. Для вирішення завдання з ремонту конструкцій з великою кількістю дрібних тріщин авторами було розроблено та досліджено спосіб поверхневого просочування тріщин у бетонних і залізобетонних конструкціях за допомогою спеціально розробленого пристрою – «лоточка» [4, 5].

Відповідно до рекомендацій нормативних та проектних документів, ремонтні роботи необхідно виконувати в суху теплу погоду. Проте трапляються випадки, коли такі роботи доводиться виконувати на вологих чи мокрих конструкціях, а інколи – навіть у зимових умовах. Але дослідження та будь-яка інша інформація щодо технології ремонту тріщин на мокрих конструкціях чи в зимових умовах відсутня.

Мета статті. На основі експериментальних досліджень встановити вплив температури та вологості конструкцій на здатність до склеювання бетону композиційною рідиною «Консолід 1» за допомогою «лоточка».

Виклад матеріалу. У лабораторії ДП «НДІБВ» було проведено ряд експериментальних досліджень зі встановлення впливу технологічних

чинників вологості та температури бетонних конструкцій з тріщинами на їх склеювання ремонтним розчином.

Для проведення експерименту було виготовлено зразки з бетону класу С 20/25 та фізичними розмірами 250 x 100 x 65 мм. Армування залізобетонних зразків показано на рис. 1.

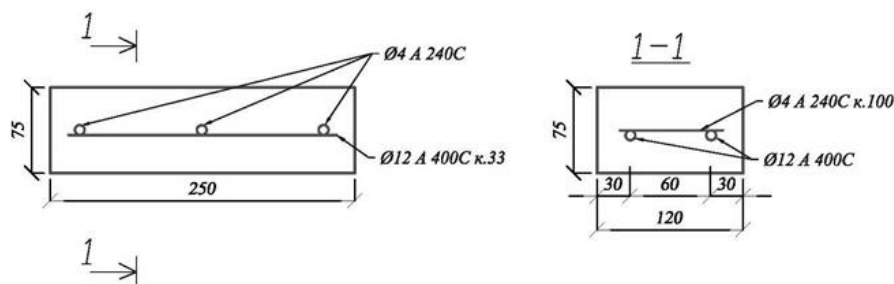


Рисунок 1. Схема зразків та їх армування: а) армування зразка – поздовжній розріз; б) вид 1-1

Для утворення штучних тріщин на нижній (розтягнутій) поверхні зразків за допомогою преса

ПСУ 5 прикладали зусилля до верхньої поверхні зразків, установлених на двох опорах (рис. 2).

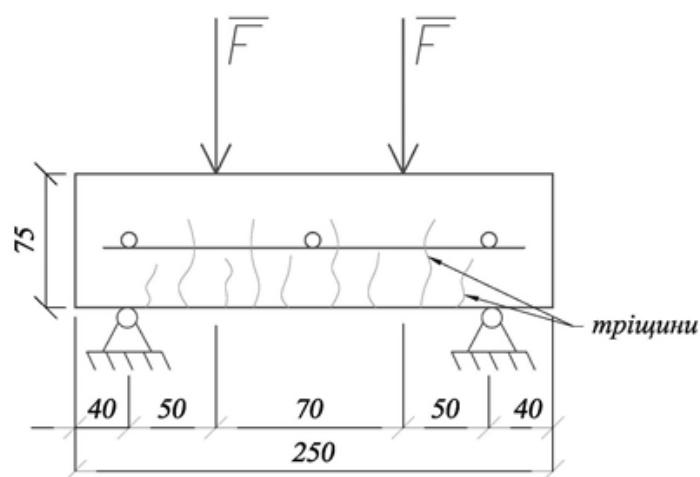


Рисунок 2. Схема прикладання руйнівного зусилля до залізобетонного зразка

На зразках після прикладання руйнівного зусилля утворювалися тріщини з шириною розкриття від 0,15 до 0,75 мм. Кількість тріщин на кожному зі зразків становила від 6 до 9 шт. Середня

ширина розкриття тріщин на зразку становила 0,45 мм.

Значення руйнівних зусиль наведено у табл. 1.

Таблиця 1

ЗНАЧЕННЯ РУЙНІВНИХ ЗУСИЛЬ, ПРИКЛАДЕНИХ ДО ЗРАЗКІВ ДО ПРОСОЧЕННЯ

Номер серії досліджень	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Середнє значення руйнівного зусилля до просочення $2F_1$, кгс	4160	4105	4125	4140	4065	4100	4135	4095	4110

У європейському нормативному документі EN 1504-5:2013 [1] визначено чотири можливі стани вологості тріщин: сухий, вологий, мокрий та з активним протіканням води. Оскільки ремонтний розчин «Консолід 1», відповідно до рекомендацій виробника, не призначено для усунення активних протікань, то в експериментальних дослідженнях було розглянуто три стани вологості тріщин, а саме: сухий, вологий, мокрий. Крім вологості, на міцність конструкцій, тріщини яких підлягають

склеюванню, може впливати їх температура. Для виконання експерименту було узяті три температурні режими: 20 °С, мінус 10 °С та мінус 20 °С.

Експериментальні дослідження заплановано виконати дев'ятьма серіями.

Комбіновані серії досліджень з вологістю основи та температурою конструкцій представлено у табл. 2

Таблиця 2

СЕРІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ З ВОЛОГІСТІЮ ОСНОВИ ТА ТЕМПЕРАТУРОЮ КОНСТРУКЦІЙ

Вологість основи	Температура конструкції, °C		
	20	мінус 10	мінус 20
суха	№ 1	№ 4	№ 7
волога	№ 2	№ 5	№ 8
мокра	№ 3	№ 6	№ 9

Перед початком усіх серій досліджень виконано підготовку зразків, що полягала в очищенні поверхні бетону від пилу, бруду, цементного молочка. Для уникнення витікання ремонтного розчину через тріщини зразки обмашували з усіх сторін, окрім сторони, що підлягала просоченню акриловою шпаклівкою. Після чого зразки витримували дві доби за температури 20 ± 2 °C та відносної вологості повітря 60 ± 5 %.

Детальніший опис підготовки зразків кожної серії досліджень наведено далі.

1. Серія досліджень № 1 – сухі зразки з тріщинами.

2. Серія досліджень № 2 – вологі зразки з тріщинами. Сухі зразки занурювали повністю у воду. Через 30 хв їх виймали та через 10 хв просочували.

3. Серія досліджень № 3 – мокрі зразки з тріщинами. Сухі зразки занурювали повністю у воду. Через 30 хв їх виймали та відразу просочували.

4. Серія досліджень № 4 – сухі зразки з тріщинами, заморожені. Сухі зразки клали у морозильну камеру на 2 доби за температури мінус 10 °C.

5. Серія досліджень № 5 – вологі зразки з тріщинами, заморожені. Сухі зразки занурювали

повністю у воду. Через 30 хв їх виймали з води та відстоювали 10 хв, після чого клали у морозильну камеру на 2 доби за температури мінус 10 °C.

6. Серія досліджень № 6 – мокрі зразки з тріщинами, заморожені. Сухі зразки занурювали повністю у воду. Через 30 хв їх виймали з води та відразу клали у морозильну камеру на 2 доби за температури мінус 10 °C.

7. Серія досліджень № 7 – сухі зразки з тріщинами, заморожені. Сухі зразки клали у морозильну камеру на 2 доби за температури мінус 20 °C.

8. Серія досліджень № 8 – вологі зразки з тріщинами, заморожені. Сухі зразки занурювали повністю у воду. Через 30 хв їх виймали з води та відстоювали 10 хв, потім клали у морозильну камеру на 2 доби за температури мінус 20 °C.

9. Серія досліджень № 9 – мокрі зразки з тріщинами, заморожені. Сухі зразки занурювали повністю у воду. Через 30 хв зразки виймали з води та відразу клали у морозильну камеру на 2 доби за температури мінус 20 °C.

Перед кожним просочуванням було виміряно вологість залізобетонних зразків за допомогою вологоміра «Digital Moisture Meter MS – 300» (табл. 3).

Таблиця 3

СЕРЕДНЄ ЗНАЧЕННЯ ВОЛОГІСТІ ЗРАЗКІВ ПЕРЕД ПРОСОЧЕННЯМ

Номер серії досліджень	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Вологість зразків за ГОСТ 33762 - 2016	суха	волога	мокра	суха	волога	мокра	суха	волога	мокра
Вологість зразків перед просоченням	10,5	17,5	26,7	11,3	19,3	20,2	10,9	19,8	20,7

Поверхнєве просочення зразків виконували за допомогою спеціально сконструйованої та запатентованої системи «лоточок» [4, 5], яку прикріплювали до зразка за допомогою систем

затяжок (рис. 3). За допомогою стисненого повітря в «лоточок» подавали заздалегідь приготовану композиційну рідину «Консолід 1» з постійним тиском 0,5–0,6 атм. протягом 5–10 хв.



Рисунок 3. Просочення залізобетонного зразка за допомогою «лоточка»

Відразу після поверхневого просочення всі зразки поміщали в умови, в яких вони перебували до просочення. Тобто зразки, що перебували у морозильній камері, після поверхневого просочення повертали назад у відповідний температурний режим та залишали їх на 4 доби.

Через 96 год після проведення просочення виконували повторне прикладання руйнівного зусилля. Під час візуального огляду зруйнованих

конструкцій помічено, що тріщини з шириною розкриття до 0,5 мм склеїлися повністю. Причому в деяких місцях під час повторного прикладання зусилля на зразках з'явилися тріщини паралельні склеєним. Деякі тріщини з шириною розкриття понад 0,5 мм були не заповнені ремонтним розчином. Результати досліджень наведено у табл. 4.

Таблиця 4

ЗНАЧЕННЯ РУЙНІВНИХ ЗУСИЛЬ, ПРИКЛАДЕНИХ ДО ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЗРАЗКІВ ДО ТА ПІСЛЯ ЇХНЬОГО ПРОСОЧЕННЯ

Номер серії досліджень	Середнє значення руйнівного зусилля до склеювання $2F_1$, кгс	Температура зразка перед склеюванням t , °C	Вологість тріщин за ГОСТ 33762 - 2016	Середня вологість зразків за приладом, %	Середнє значення руйнівного зусилля після склеювання $2F_2$, кгс	Відношення середнього значення руйнівного зусилля після та до склеювання, (F_2/F_1)	Зниження руйнівного зусилля після склеювання, %
1	4160	20	суха	10,5	4085	0,9820	1,80
2	4105	20	волога	17,5	3900	0,9501	4,99
3	4125	20	мокра	26,7	3755	0,9103	8,97
4	4140	мінус 10	суха	11,3	3480	0,8406	15,94
5	4065	мінус 10	волога	19,3	2310	0,5683	43,17
6	4100	мінус 10	мокра	20,2	2115	0,5159	48,41
7	4135	мінус 20	суха	10,9	3500	0,8464	15,36
8	4095	мінус 20	волога	19,8	2390	0,5836	41,64
9	4110	мінус 20	мокра	20,7	1555	0,3783	62,17

Як видно з табл. 4, вологість зразків та їхня температура істотно впливають на значення повторно прикладеного руйнівного зусилля після їх поверхневого просочення.

За результатами отриманих даних побудовано залежності, які відображають зниження руйнівного зусилля зразків за різної вологості після склеювання тріщин та їх температури у разі зміни показників технологічних чинників (рис. 4-6).

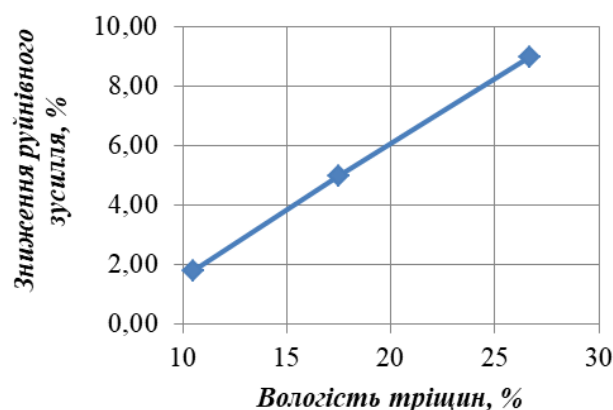


Рисунок 4. Зниження руйнівного зусилля після склеювання зразків залежно від вологості тріщин за температури 20 °C

Як видно з графіка (рис. 4), зі збільшенням вологості зразків з тріщинами за їх температури 20 °C, значення повторного руйнівного зусилля, прикладеного до зразків після їх заповнення композиційною рідиною «Консолід 1», знижується

майже до 9 %. Відношення середнього значення руйнівного зусилля до та після поверхневого просочення для сухих зразків становило 0,98, для зразків з вологими тріщинами – 0,95, для зразків з мокрими тріщинами – 0,91.

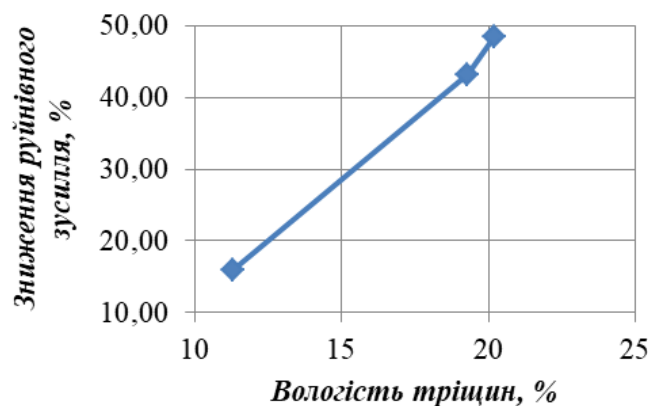


Рисунок 5. Зниження руйнівного зусилля після склеювання зразків залежно від вологості тріщин за температури мінус 10 °C

На графіку (рис. 5) показано, що вологість зразків з тріщинами за температури мінус 10 оC впливає на значення повторного руйнівного зусилля, прикладеного до зразків після поверхневого просочення їх композиційною рідиною «Консолід 1», та знижує його значення

майже на 49 %. При цьому, відношення середнього значення руйнівного зусилля до та після поверхневого просочення для сухих зразків становило 0,84, для зразків з вологими тріщинами – 0,57, для зразків з мокрими тріщинами – 0,52.

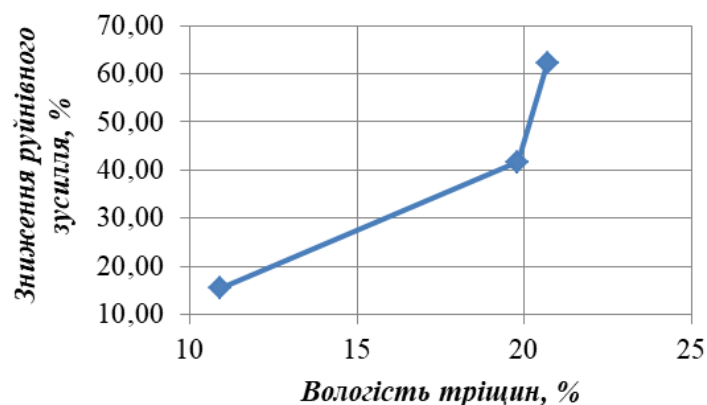


Рисунок 6. Зниження руйнівного зусилля після склеювання зразків залежно від вологості тріщин за температури мінус 20 °C

Як видно з графіка (рис. 6), зміна вологості тріщин за температури зразків мінус 20 °С істотно впливає на значення повторно прикладеного руйнівного зусилля до зразків після поверхневого просочення їх композиційною рідиною «Консолід 1» та знижує його на 62,2 %. Середнє значення відношення руйнівного зусилля до та після просочення для сухих зразків становило 0,85, для

зразків з вологими тріщинами – 0,58, для зразків з мокрими тріщинами – 0,38.

Крім цього, побудовано тривимірну залежність руйнівного зусилля зразків після їх поверхневого просочення від впливу одразу двох технологічних чинників – вологості зразків та їх температури (рис. 7).

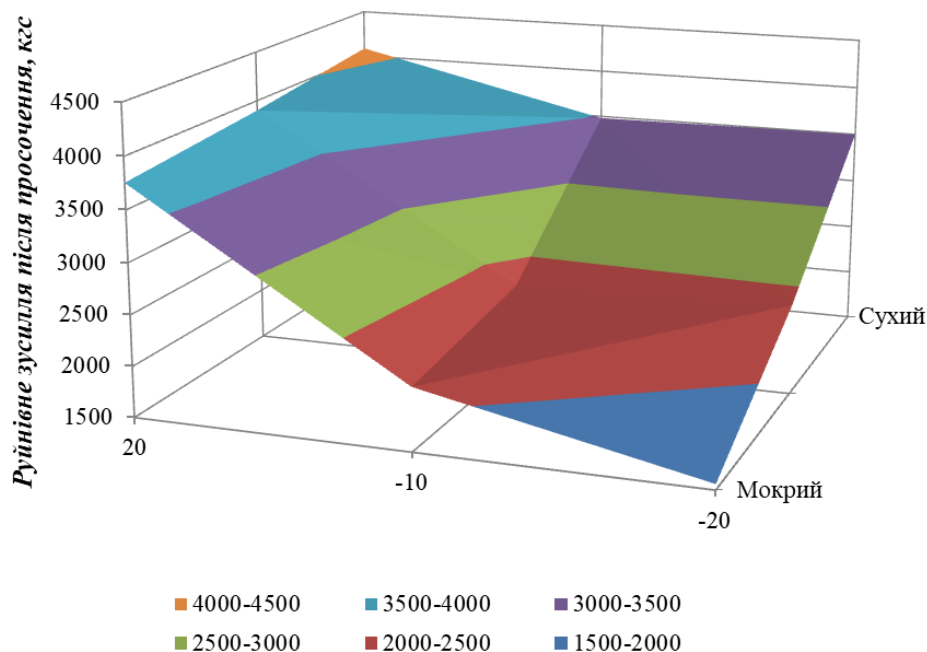


Рисунок 7. Залежність середнього значення руйнівного зусилля після просочення зразків композиційною рідиною «Консолід 1» від температури зразків та вологості тріщин

Як видно з графіка (рис. 7), температура та вологість конструкцій з тріщинами суттєво впливає на середні значення руйнівних зусиль, прикладених до залізобетонних зразків, після їх просочення композиційною рідиною «Консолід 1». Встановлено, що для зразків із сухими тріщинами температура конструкцій суттєво не впливає на показники значень руйнівних зусиль, прикладених до зразків після заповнення тріщин, та становить 98 % для зразків, просочених за температури 20 °С, 84 % – для зразків, просочених за температури мінус 10 °С, та 85 % – для зразків, просочених за температури мінус 20 °С від руйнівних значень, прикладених до зразків до поверхневого просочення.

Збільшення вологості тріщин конструкцій суттєво впливає на значення руйнівних зусиль, прикладених до зразків після їхнього заповнення та склеювання.

Для зразків з вологими тріщинами значення руйнівних зусиль після їх заповнення становило: 95 % для зразків, просочених за температури 20 °С, 57 % – для зразків, просочених за температури мінус 10 °С, та 58 % – для зразків, просочених за температури мінус 20 °С від руйнівних значень,

прикладених до зразків до поверхневого просочення.

Для зразків з мокрими тріщинами значення руйнівних зусиль після їх заповнення та склеювання становило: 91 % для зразків, просочених за температури 20 °С, 52 % – для зразків, просочених при температурі мінус 10 °С, та 38 % – для зразків, просочених при температурі мінус 20 °С від руйнівних значень, прикладених до зразків до поверхневого просочення.

Висновок. Згідно з аналізом результатів проведених досліджень встановлено:

1. Міцність на згин конструкцій з вологими тріщинами, які заповнено та склеєно за плюсових температур, майже не знизилась. Значення руйнівного зусилля, прикладеного до зразків після заповнення та склеювання, зменшилося: для сухих тріщин в 1,02; для вологих – в 1,05; для мокрих – в 1,1 рази.

2. Зниження температури конструкцій до мінус 10 °С суттєвіше впливає на їх міцність на згин у разі зміни вологості конструкції під час поверхневого просочення. При цьому, значення руйнівного зусилля, прикладеного до зразків після заповнення та склеювання, зменшилося: для сухих

тріщин в 1,19; для вологих – в 1,76; для мокрих – в 1,94 раза.

3. Зниження температури конструкцій до мінус 20 °С істотно впливає на значення руйнівного зусилля після заповнення та склеювання тріщин у разі зміни вологості конструкцій. Так його значення зменшилося: для сухих тріщин в 1,18; для вологих – в 1,71; для мокрих – в 2,64 раза.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Материалы и системы для защиты и ремонта бетонных конструкций. Требования к инъекционно-уплотняющим составам и уплотнениям трещин, полостей и расщелин: ГОСТ 33762 – 2016 (EN 1504-5:2013, NEQ), издание официальное. – Действителен с 01.01.2017. – М.: Стандартинформ, 2016. – 80 с.

2. Ремонт і підсилення несучих і огорожувальних будівельних конструкцій та основ будівель і споруд: ДСТУ Б В.3.1-2:2016 видання офіційне. – Чинний з 01.04.2017. – Київ ДП «УкрНДНЦ», 2017. – 72 с.

3. Маруха В. І. Ін'єкційні технології відновлення роботоздатності пошкоджених споруд тривалої експлуатації / В. І. Маруха, В. В. Панасюк, В. П. Силованюк. – Львів: вид-во «СПОЛОМ», 2009. – Том 12. – 260 с.

4. Молодід О. С. Експериментальні дослідження ремонту тріщин балочних залізобетонних конструкцій просочуванням / О. С. Молодід, Р. О. Плохута // Міжвід. наук.-техн. зб. (техн. науки) «Будівельне виробництво». – Київ, 2017. – вип. 63. – с. 11 – 19.

5. Спосіб ремонту та захисту горизонтальних залізобетонних конструкцій з великою кількістю тріщин ін'єктуванням за допомогою «лоточка»: пат. 114090 Україна: МПК E04B 1/62 (2006.01) / Молодід О. С., Плохута Р. О., Колесніков В. О. (Україна); заявник і власник Молодід О. С. – заявл. 22.09.2016; опубл. 27.02.2017, Бюл. № 4. – 5 с.

6. EN 1504 «Product and system for the protection and repair of concrete structures – Definitions, requirements, quality, control and evaluation of conformity». – Was approved by CEN on 2 June 2005. – 214 pp.

Моисеев Дмитрий Владимирович

*доктор технических наук, доцент кафедры Черноморского высшего
военно-морского училища имени П.С. Нахимова
г. Севастополь*

Поляков Александр Александрович

*адъютант очной адъюнктуры Черноморского высшего
военно-морского училища имени П.С. Нахимова
г. Севастополь*

КОМПЛЕКС МЕТОДИК ДЕКОМПОЗИЦИИ СТРУКТУРНО-СЛОЖНЫХ СИСТЕМ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Moiseyev Dmitry Vladimirovich

*doctor of engineering, associate professor of the Black Sea highest naval school of P.S. Nakhimov
Sevastopol*

Polyakov Alexander Aleksandrovich

*adjunct of the Black Sea highest naval school of P.S. Nakhimov
Sevastopol*

COMPLEX OF METHODS OF DECOMPOSITION OF STRUCTURALLY-COMPLEX SYSTEMS FOR VARIOUS PURPOSES

Аннотация: В работе рассматривается комплекс методик полной и неполной декомпозиции топологии структурно-сложных систем различного назначения для автоматизированного вычисления показателей: надежности изолированных систем; живучести открытых систем; степени (показателя) реализации решения организационных и планирующих процессов.

Annotation: The paper discusses a set of techniques for the complete and incomplete decomposition of the topology of structurally-complex systems of various purposes for the automated calculation of indicators: the reliability of isolated systems; open systems survivability; degree (indicator) of implementation of the decision of organizational and planning processes.

Ключевые слова: теория вероятностей, общий логико-вероятностный метод, теория автоматизированного структурно-логического моделирования, теория графов, алгебра логики, теория надежности, автоматизация поддержки принятия решения.

Keywords: probability theory, the general logiko-probabilistic method, the theory of the automated structural and logical modeling, the theory of counts, logic algebra, the theory of reliability, decision-making support automation.

В современном мире, когда потоки информации измеряются не килобайтами и не мегабайтами, а гигабайтами и терабайтами выработать и принять руководителю (начальнику)

обоснованное и грамотное решение становится всё трудней. В кратчайшие сроки поступающую информацию необходимо обобщить, скомпоновать, отделить достоверную информацию

от ложной, проанализировать полезные данные, выработать различные варианты реагирования на сложившуюся обстановку, провести вычисления по каждому из них. Всё это неизбежно приводит к необходимости разработки, внедрения и поиска новых путей, а также совершенствование технологий направленных на оптимизацию, автоматизацию, автоматизирование систем, средств, программного обеспечения поддержки принятия решения [1].

Говоря о технических, организационных, организационно-технических системах различных видов, классов и назначений, необходимо отметить, что их надежность и живучесть является важной составляющей качества и необходимым условием обеспечения эффективности решения поставленных задач в современных условиях. Отметим, что главной конечной целью анализа их надежности является своевременное получение достоверной информации о безотказности, ремонтпригодности и долговечности. Данная информация необходима для выработки и обоснования управленческих решений в области обеспечения высокой устойчивости и эффективности систем различных видов, классов и назначений [9].

Современная практика проектирования структурно-сложных систем различного назначения предлагает структуры, содержащие многие десятки и даже сотни тысяч элементов, связанных и взаимодействующих между собой сложным образом. Примером могут служить информационные сети связи, сети ЭВМ, большие системы энергетики [8].

На данный момент в системах поддержки принятия решений существуют различные методы и методики, основанные на различных вычислительных принципах и временных режимах работы. В статье поднимается вопрос - применение методики полной и неполной декомпозиции топологии структурно-сложных систем различных видов, классов и назначений.

Проводя научные исследования в вопросах декомпозиционного аппарата, авторы столкнулись лишь с разрозненной информацией по декомпозиции топологии структурно-сложных систем. Квинтэссенцией настоящей работы является компиляция декомпозиционных методик в единый комплекс методик декомпозиции, позволяющий проводить полную и/или неполную декомпозицию структурно-сложных систем различного назначения для аналитического автоматизированного вычисления показателей их надежности, живучести и степени реализации решения организационных и планирующих задач.

Любая гипотеза или теория опираются на совокупность различных понятий, определений, терминов и показателей, которые должны быть строго регламентированы в государственных стандартах или нормативных документах [2].

Термины и определения даются к систематизированным объектам целевого

назначения применительно к техническим, организационным, организационно-техническим системам, рассматриваемым в периоды проектирования, планирования, производства, эксплуатации и применения.

Выделим некоторые термины и понятия, применяемые в заявленных методиках декомпозиции.

Под системой – будем понимать совокупность взаимосвязанных элементов некоторого системного объекта или организационного (планирующего) процесса, предназначенного для выполнения определенных функций или направленного для решения поставленных задач [8].

Отдельные части системы (конструктивно обособленные) называются элементами. Стоит обратить особое внимание, что одну и ту же систему в зависимости от той или иной задачи, которую решает исследователь, возможно, рассматривать как систему или как элемент некой более крупной системы.

Отсюда следует, что к одной и той же рассматриваемой системе, возможно, применить несколько принципов декомпозиции ее структуры.

Следовательно, необходимо дать еще одно более полное определение элемента.

Элемент – это объект, представляющий собой простейшую часть системы, отдельные части которой не представляют самостоятельного интереса в рамках конкретного рассмотрения.

Наиболее известными способами графического моделирования структурно-сложных систем являются последовательно-параллельные схемы, блок-схемы, графы связности, деревья событий или деревья отказов, Марковские графы состояний и переходов, схемы функциональной целостности.

Прототипом вычисления показателя надежности и живучести декомпозиционных методик структур систем послужили:

- (ГОСТ Р 51901.14-2007), наименование стандарта «Структурная схема надежности и булевы методы». Настоящий стандарт устанавливает методы построения модели надежности системы и использования этой модели для вычисления показателей ее безотказности и готовности.

- Общий логико-вероятностный метод, послужил прототипом построения логической функции работоспособности системы (далее ЛФРС) на основании логического критерия функционирования (далее ЛКФ).

Под ЛФРС будем понимать - точное и однозначное аналитическое представление состояний системы, в которых она реализует свое заданное функциональное назначение.

Настоящий стандарт, схемы функциональной целостности, деревья событий, деревья отказов подразумевают проводить декомпозицию рассматриваемой структуры системы на - функциональные элементы (где

коммуникационные связи рассматриваются в составе функциональных элементов или как связующие их логические условия).

Рассмотрим предлагаемые авторами декомпозиционные методики.

Методики декомпозиции систем различных видов, классов и назначений включают в себя:

- методику полной декомпозиции структуры системы;
- методики неполной декомпозиции структуры системы.

Методика полной декомпозиции подразумевает разделение структуры рассматриваемой системы на отдельно представляемые:

- функциональные элементы, где каждый элемент имеет свой показатель надежности для изолированных технических систем, показатель живучести для открытых технических систем или показатель устойчивости для организационных систем;

Под устойчивостью будем понимать - способность структурного подразделения сохранить способность для гарантированного выполнения полученной задачи [1].

- коммуникационные связи, где каждая связь имеет свой показатель надежности, живучести и где состояния переходов коммуникационных связей представлены как полная группа несовместных событий.

Методики неполной декомпозиции подразумевают разделение структуры системы по трем принципам:

Первый принцип:

- функциональные элементы, где каждый элемент имеет свой показатель надежности для изолированных технических систем, показатель живучести для открытых технических систем или показатель устойчивости для организационных систем;

- коммуникационные связи, где состояния переходов связей, представлены как полная группа несовместных событий.

Второй принцип:

- коммуникационные связи, где каждая связь имеет свой показатель надежности, живучести и состояния переходов связей представлены как полная группа несовместных событий.

Третий принцип:

- коммуникационные связи, где состояния переходов связей представлены как полная группа несовместных событий.

В качестве объекта исследования рассматриваем структурно-сложную систему, представленную в форме графовой структуры – комбинации вершин (функциональных узлов) и ребер. Узлы графа описывают все возможные состояния компонентов системы и их соответствующие детерминированные характеристики, ребра – связи компонентов между собой, граф взвешенный ориентированный [5].

Рассмотрим методику полной декомпозиции топологии структурно-сложной системы.

Для вычисления показателя надежности, живучести структурно-сложных систем по формуле полной вероятности аналитическим способом на основе ориентированного взвешенного графа, существует и применяется только традиционные (неавтоматизированные, ручные) методики моделирования и вычисления.

С усложнением топологии ориентированного взвешенного графа в традиционной методике по вычислению аналитического показателя надежности, живучести структурно-сложных систем по формуле полной вероятности проявляются следующие недостатки:

теряется наглядность и прозрачность вычисления;

время на анализ структуры графа, анализ причинно-следственных связей, построение вероятностной функции увеличивается;

уменьшается точность проведения аналитического вычисления;

снижается эффективность проведения вычисления, при необходимости внести изменения в графическую модель;

отсутствует вариативность в моделировании и при проведении вычисления;

возникают сложности с проведением верификации.

Рассмотрим техническую систему (далее ТС), которая представляется в виде ориентированного взвешенного графа, веса на ребрах и количественные показатели узлов детерминированы, заданные вероятности являются ничем иным как, численными мерами степени объективной возможности данных частных показателей.

Функционирование элемента технической системы называется событие, которое в результате опыта должно произойти, с вероятностью согласно (1):

$$0 < P(A) \leq 1. \quad (1)$$

Таким образом, при рассмотрении функционирования единичного узла, коммуникационной связи не равной нулю, будем говорить, что данный элемент структуры системы, работоспособен с детерминированной или вычисленным показателем надежности для периода нормальной эксплуатации элементов, когда можно принять интенсивность отказов $\lambda(t) = \lambda = const$ по формуле (2):

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (2)$$

Невозможным называется событие V , которое в результате опыта не может произойти. Для системы, детерминированный показатель равный (3), означает, что данный элемент структуры неисправен и не функционирует.

$$P(V) = 0. \quad (3)$$

Критерии исходящих весов ребер из узла образуют полную группу несовместных событий

(4) и равны единице, таким образом, для промежуточного элемента ТС входящего в ЛФРС должна быть определена одна или несколько коммуникационных связей, что в результате опыта непременно должна произойти хотя бы одна из них:

$$P(A_1) + P(A_2) + \dots + P(A_k) = 1. \quad (4)$$

Под сложным событием будем понимать - некое подмножество множества элементарных событий. Сложное событие в результате испытания наступает тогда и только тогда, когда в результате испытаний произошло элементарное событие, принадлежащее сложному. Случай является благоприятным событием, если появление этого случая влечет за собой появление последующих событий [3].

Между случайными событиями и множествами существует связь, так совокупность элементарных событий, возможно назвать множеством (пространством) элементарных исходов, и соответственно, пространство элементарных исходов рассматривается как универсальное множество по отношению к случайным событиям. Любое случайное событие A состоит из одного и более элементарных исходов. Если элементарный исход обозначить через ω , тогда случайное событие A можно рассматривать как подмножество пространства Ω (5):

$$A = \{\omega \in \Omega \mid \omega \subset A\}. \quad (5)$$

Вероятность произведения нескольких событий равна произведению вероятностей этих событий, причем вероятность каждого следующего по порядку события вычисляется при условии, что все предыдущие имели место (6):

$$P(A_1 \cdot A_2 \cdot \dots \cdot A_k) = P(A_1) \cdot P(A_2/A_1) \cdot P(A_3/A_1 A_2) \dots P(A_k/A_1 A_2 \dots A_{k-1}). \quad (6)$$

При последовательном соединении элементов вероятность безотказной работы системы за время t при известных вероятностях безотказной работы определена:

$$P_c(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \dots \cdot P_n(t) = \prod_{k=1}^n P_k(t), \quad (7)$$

где $P_1(t), P_2(t), \dots, P_n(t)$ — показатели вероятности безотказной работы 1, 2, 3, ..., n -го элементов системы за время t .

Событие A может наступить при условии одного из несовместных событий $H_1, H_2, \dots, H_n$, образующих полную группу событий, называемых гипотезами. Пусть известны вероятности гипотез: $P(H_1), P(H_2), \dots, P(H_n)$ и условные вероятности: $P(A/H_1), P(A/H_2), \dots, P(A/H_n)$. Вероятность события A , которое может наступить лишь при условии появления одного из несовместных событий $H_1, H_2, \dots, H_n$, образующих полную группу, равна сумме произведений вероятностей каждого из этих событий на соответствующую условную вероятность события A (8) [4].

$$P(A) = \sum_{i=1}^n P(A \cdot H_i) = \sum_{i=1}^n P(H_i)P(A/H_i). \quad (8)$$

Проанализировав представленную методику, становится очевидным утверждение того, что оптимизация и автоматизация данного процесса повысит эффективность оценки показателя функционирования дискретной технической системы, путем декомпозиции её структуры.

Содержание оптимизации методики состоит в применении графоаналитической методики моделирования при представлении задачи в графическом виде на основе ориентированного взвешенного графа.

Содержание автоматизации методики состоит в минимизации действий исследователя в вычислительном процессе и выдачи обоснованных аналитических рекомендаций в принятии решений по выбору эффективной стратегии решений при проведении количественной оценки показателя надежности, живучести структурно-сложной системы.

Вывод:

Проблема моделирования систем различных видов, классов и назначений не решается одним только накопленным заранее разработанным, готовым подходом декомпозиции топологии структурированных задач. Ежедневная практика и необходимость все время ставят такие задачи исследования, проектирования, эксплуатации и управления, для осуществления которых старые, трафаретные решения (модели) уже непригодны, и постоянно требуется создание и применение во многом совершенно новых, ранее не известных подходов и способов.

Одним из перспективных методов анализа безопасности и надежности, живучести систем является комплексный подход к декомпозиции структур сложных систем. Преимущество данного подхода заключается в том, что он позволяет исследователю:

- глубоко проанализировать количественные и качественные аспекты безопасности, надёжности, живучести;
- провести оценку опасности технологических процессов;
- выбрать правильные управленческие решения при оценке ситуаций;
- получить графический наглядный материал для практического принятия решения.

Список литературы:

1. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. «Задачи и упражнения по теории вероятности» М. «Академия» 2003. — 443 с.
2. ГОСТ Р 51901.14-2007 «Структурная схема надежности и булевы методы» М., «Стандартинформ», 2008 г.
3. Егорова Э. В. «Математика и информатика» Тольятти ТГУ, 2008 г., с. 95.
4. Колмогоров А. Н. «Основные понятия теории вероятностей» М., 1974. — 120 с.

5. Лоптин К. К. «Методология разработки специального математического программного обеспечения» СПб. ВМА 2001 г., с. 244.

6. Можаяев А. С. Автоматизированное структурно - логическое моделирование систем // Учебник. – СПб.: ВМА им. Кузнецова Н.Г., 2006. – 572 с.

7. Патент RU 188 000 U1 Российская Федерация, МПК G06F 17/18 (2006.01) G06F 7/57 (2006.01). Вероятностное устройство нахождения аналитической вероятности для полной группы

несовместных событий в неориентированном графе / Д.В. Моисеев, А.А. Поляков, А.А. Перепадин / ФГБВОУ ВО ЧВВМУ им. П.С. Нахимова МО РФ (RU).

8. Рябинин И. А. «Логико-вероятностные методы исследования надёжности структурно-сложных систем» Москва «Радио и связь» 1981 г., с. 265.

9. Стариков В.А. «Оценка безопасности систем «человек-машина-среда» логико-вероятностным методом» Тюмень. ТюмГНГУ, 2014 г., с. 89.

Эшмурадов Дилишод Эльмурадович

РАЗРАБОТКА МАРШРУТА ПОЛЕТА ВОЗДУШНОГО СУДНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЗОНАЛЬНОЙ НАВИГАЦИИ

Eshmuradov Dilshod Elmuradovich

DEVELOPMENT OF AIRCRAFT FLIGHT ROUTE WITH APPLICATION OF ZONAL NAVIGATION

Аннотация: Во время обеспечения самолетовождения необходимо выполнять большое количество задач, в частности, полет по выбранному маршруту. При составлении маршрута полета необходимо учитывать множество факторов влияющие, на полет воздушного судна, особенно, влияние метеорологических факторов. Поэтому для обеспечения эффективного полета важное значение имеет составление маршрута полета. Проанализирован составление маршрута и приведен реальный маршрут воздушного судна из аэропорта Ташкент на аэропорт Самарканд с применением зональной навигации.

Abstract: While providing navigation, it is necessary to perform a large number of tasks, in particular, a flight along the chosen route. In drawing up the flight route, it is necessary to take into account many factors affecting the flight of an aircraft, especially the influence of meteorological factors. Therefore, in order to ensure an effective flight, the preparation of a flight route is important. The compilation of the route has been analyzed and the actual route of the aircraft from Tashkent Airport to Samarkand Airport using area navigation has been given.

Ключевые слова: лэг, маршрут, самолетовождение, воздушные трассы, воздушный поток, факторы, автоматический радиокompас, радионавигация, зональная навигация, company routes.

Key words: leg, direction, navigation, airways, airflow, factors, automatic radio compass, radio navigation, RNAV, company routes.

Известно, при управлении воздушным движением на воздушном пространстве выбираются воздушные трассы, где упорядочиваются потоки воздушных судов. Для конкретного рейса воздушного судна формируется

маршрут полета. Маршрут полета составляется заранее и может быть разным в разные дни.

Маршрут полета состоит из последовательности так называемых **промежуточных поворотных пунктов** и **«лэгов»** (от англ. leg) – участков между ними (рис.1).



Рис.1. Сеть воздушных трасс над Узбекистаном.

На заре авиации необходимость выполнения полета по маршруту была связана исключительно с

выполнением навигационных задач. Базовый метод навигации представляет собой полет от одного

характерного наземного ориентира к другому. Такой метод применим при условии видимости земли, т.е. в визуальных метеоусловиях. Необходимо отметить, что визуальная навигация до сих пор активно применяется в «малой авиации». С развитием авиации появилась необходимость выполнять полеты и в условиях отсутствия видимости земной поверхности, т.е. исключительно по приборам. Так появился метод навигации, называемый **радионавигация**. Суть этого метода состоит в том, что в определенных точках маршрута устанавливались радиостанции, экипаж на борту определял направление на радиостанцию и выполнял полет на нее. Со временем был разработан прибор, называемый **автоматический радиокompас (АРК)**, который позволяет с высокой точностью определить направление на наземную радиостанцию. Сами радиостанции стали называть «приводными» или по-английски **NDB** (non-directional beacon). Радиус

действия таких передатчиков составляет около 250 километров, что обуславливало необходимость создания довольно обширной сети станций.

Со временем появились более продвинутые и точные радиомаяки **VOR**, дальность действия которых составляет до 350 километров. Именно этими расстояниями обусловлена длина участка трассы, при этом надо понимать, что выдерживать направление можно не только выполняя полет на радиостанцию, но и от радиостанции (**рис.2**).

Методы навигации, основанные на наземных радиосредствах широко применяются в гражданской авиации, однако сегодня новым методом навигации является зональная навигация. Полет по-прежнему выполняется от точки к точке, но теперь они представляют собой лишь условное название и географические координаты, установка каких-либо наземных средств между конечными точками не требуется.



Рис.2. Приводная радиостанция и воздушные трассы.

Формирование маршрута конкретного рейса национальной авиакомпании Uzbekistan Airways осуществляет отдел аэронавигационного обеспечения, который из имеющейся сети точек и трасс формирует несколько вариантов маршрутов для каждого рейса, как правило двух маршрутов.

Эти маршруты сохраняются в базе данных авиакомпании и загружаются в бортовые навигационные системы воздушных судов, их называют «**company routes**», например, маршрут Ташкент-Самарканд (**рис.3**).



Рис.3. Вариант маршрута Ташкент-Самарканд.

Подготовкой конкретного рейса уже в день вылета занимается **полетный диспетчер**, именно этот специалист выбирает оптимальный маршрут, оценивая все ограничения по маршруту и

метеорологические условия. Зачастую получается, так, что полет по более длинному маршруту значительно выгоднее за счет различной скорости и направления ветра в разных районах. Выбранный

маршрут утверждается и передается в службу обслуживания воздушного движения, т.е. диспетчерам.

Перед полетом пилоты получают готовый маршрут полета, в соответствии с которым и будет выполняться рейс. В процессе выполнения полета в маршрут могут вноситься изменения, например, при наличии возможности диспетчер может разрешить так называемое «спрямление», т.е. исключить из маршрута одну или несколько промежуточных точек [2].

Анализируя воздушные потоки над территорией Республики Узбекистан, определено более загруженная трасса воздушного пространства Республики Узбекистан – основной поток. На этой трассе приходится около 200 ВС в смену, поэтому очень сложно для диспетчера особенно ночное время, примеру 3 часа ночи, на точки TMD (Тамдыбулак) в единицу времени приходится нагрузка на диспетчера около 20 ВС, которые прямо сливаются в одну кучу. Как мы отметили, для внедрения зональной навигации

достаточно государство полностью покрывалось спутниковыми навигационными средствами. В нашем случае настолько плотно установлены навигационные средства, в Самарканде и в Намангане установлены ультрасовременные навигационные средства, т.е. территория Узбекистана полностью покрыта. Даже при отказе спутниковых навигационных систем можно переключиться на систему наземного позирирования или выполнять полеты по совокупности, используя обе эти системы, для чего будет очень высокая точность обеспечена.

Кроме того, по решению командира может выполняться обход опасных метеоявлений, как правило, гроз. На сегодняшний день во всех аэродромах Узбекистана (они почти все международные) используются системы посадки ILS и ОПС. На основе вышеприведенного анализа с применением зональной навигации, предлагаем реального маршрута из аэропорта Ташкент на аэропорт Самарканд.

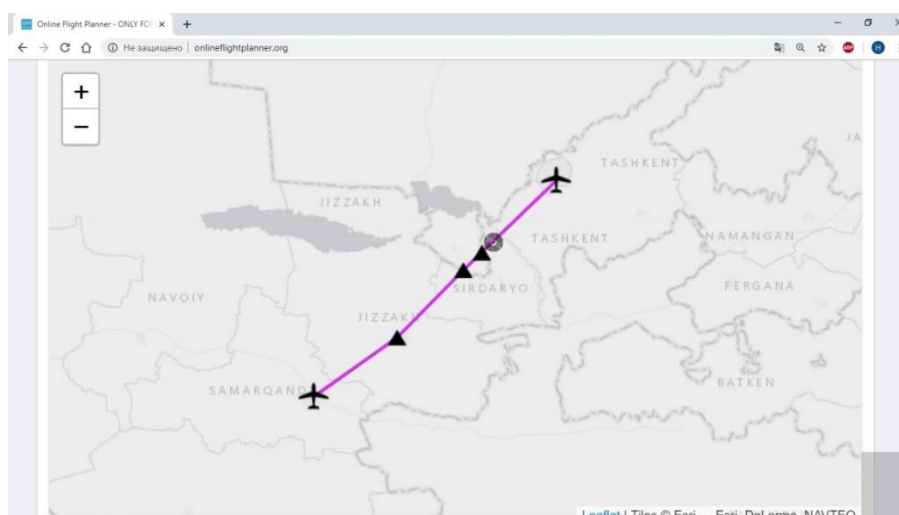


Рис. 4. Фактическая линия пути. Ташкент-Самарканд.

UTTT CV1A CV/A117 TITAR/TITA1W UTSS

Здесь:

UTTT-четырёх буквенный адрес (ИКАО) аэропорта Ташкент.
CV1A-стандартный выход (SID)
CV-пункт обязательного донесения (NDB)
A117-воздушная трасса
TITAR-граница района РЦ
TITA1W-стандартный подход (STAR)
UTSS-четырёх буквенный адрес (ИКАО) аэропорта Самарканд.

Обозначение трассы уже включает в себя последовательность точек, само название точки или приводной радиостанции указывается в маршруте при смене трассы. Сокращение **DCT** (direct to — «прямо на») применяется в тех случаях, когда невозможно выполнить полет по трассе, либо органом обслуживания воздушного движения разрешено планирование полетов вне трасс. При формировании маршрута используются приводные

радиостанции, установленные в определенных расстояниях от аэродромов, однако наряду с ними применяются и немаркированные навигационные точки.

В процессе подготовки к вылету пилот вносит в бортовой навигационный компьютер маршрут в виде последовательности точек. Данные каждой точки (название, координаты, позывные) уже содержатся в бортовой базе данных. Если перевозчик применяет предварительно спланированные маршруты **company routes**, пилоту достаточно выбрать индекс маршрута, например, «UTTTUTSS01». Нетрудно догадаться, что UTTT – это аэропорт вылета (Ташкент), а UTSS – аэропорт назначения (Самарканд), 01 – порядковый номер варианта маршрута.

Возможно вместо воздушных трасс публикуется только информация о навигационных точках. Планирование полета осуществляется по любому маршруту, проходящему через опубликованные точки, при этом достаточно

выбрать только две точки – входа и выхода из зоны [3].

В настоящее время осуществлено перспективная разработка, ее суть заключается в упразднении границ между различными секторами управления воздушным движением в части планирования маршрутов. В результате можно выполнить полет через весь европейский регион по прямой (зональная навигация).

При этом достигается уменьшения времени полета воздушного судна и экономии расхода

топлива, которое дает большой экономический эффект авиакомпаниям.

Литература:

1. Uzbekistan High/Low Altitude Enroute Chart. 29.03.2018
2. Эшмурадов Д.Э. Зональная навигация в Республике Узбекистан: монография. Т., 2016. 123 с.
3. www.Skynav.ru “Маршрут полета самолета”. 14.06.2016

Zaynidinov Kh. N.

doctor of technical sciences, professor,

Tashkent University of Information Technology

Yuldashev A. X.

scientific researcher,

Andijan Machine-Building Institute

ADAPTIVE TEST RESULTS WITH THE USE OF THE SOFTWARE COMPLEX TO GUARANTEE THE QUALITY OF STUDENTS' KNOWLEDGE

Зайнидинов Х. Н.

доктор технических наук, профессор,

Ташкентский университет информационных технологий

Юлдашев А. Х.

научный сотрудник,

Андижанский машиностроительный институт

РЕЗУЛЬТАТЫ АДАПТИВНОГО ИСПЫТАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ГАРАНТИИ КАЧЕСТВА ЗНАНИЙ СТУДЕНТОВ

Abstract: this article describes the processing of the results of mathematical statistics of students' knowledge using adaptive testing software.

Аннотация: настоящая статья описывает обработку результатов математической статистики знаний студентов с использованием программного обеспечения адаптивного испытания.

Key words: *adaptive tests, mean value, standard deviation, experimental frequency, theoretical frequency.*

Ключевые слова: *адаптивные испытания, среднее значение, стандартное отклонение, экспериментальная частота, теоретическая частота.*

INTRODUCTIONS.

Until recently, written and verbal exams were used as the basic methods of diagnosis and control of teaching in higher education institutions in the Republic. In addition to this, in the first five years of our independence, the pedagogical test [1] has been added as a more objective way. But he did not find his place as a unique method. It has its own reason and consequences, and it has its roots and weaknesses. The value of written and oral examinations is not only easy to simplicity and utilization, but also allows students to examine the student's deception. Written exam develops the student's ability to work independently, to express his / her thoughts in a fluent and expressive manner, to analyze, analyze, synthesize, and argue his / her arguments. In the event of a dialogue between a student and a student, the evaluator will have the opportunity to resolve the problem of the inquiry process. However, in the current scientific and methodological literature, the written exam and the oral examination are unable to provide adequate assessment [2-4].

The theory of classical theory is widely used in advanced foreign countries. According to the theory test scores, the Gauss distribution law should have a normal distribution according to the test results. This means that the minimum and maximum results are low (20%) and the average is 80%. The principal quality indicator of the classical test theory is reliability and validity coefficients [5-7].

THE RESEARCH METHODOLOGY AND OBJECT

Adaptive test control and adaptive learning are a modern computer version of the implementation of the well-known pedagogical principle of individualization of education, one of the most important for the preparation of qualified specialists. This principle could not be implemented in any effective manner in the context of traditional class-lesson forms of classes — lecture and group. In the modern version, adaptive forms appeared recently as a result of the interrelation of three progressive trends: computerization of education, the increasing role of autodidactics and the

development of the theory of pedagogical measurements [8,9].

Computerization of education makes it possible to reduce the unproductive costs of the living work of teachers, to preserve the methodological potential of professors of the older generation, to reuse the results of materialized labor in the form of computer training and monitoring programs. It can also help teachers transform from the lessor to the technologist of the modern educational process, in which the leading role is given not so much and not only to the teaching activity of the teacher, but to the teaching of the students themselves.

The feasibility of adaptive control arises from considerations of rationalization of traditional testing. A trained student does not need to give easy tasks, because the probability of their correct solution is high. Lightweight materials do not have a noticeable developmental potential, while difficult tasks for most students reduce learning motivation. Symmetrically, due to the high probability of a wrong decision, there is no point in giving difficult tasks to a weak student. The use of tasks corresponding to the level of preparedness significantly increases the accuracy of measurements and minimizes the time of individual testing to about 5-10 minutes. Adaptive training allows you to ensure that training tasks are issued at the optimal 50% difficulty level [10].

Since the adaptive test itself is a version of an automated testing system in which the parameters of difficulty and the differentiating ability of each task are known in advance. This system is created in the form of a computer bank of tasks, ordered according to the characteristics of the tasks. The most important

characteristic of the tasks of the adaptive test is the level of their difficulty obtained experimentally, which means: first get to the bank, each task must be empirically tested on a sufficiently large number of subjects [11,12]. To this end, in our opinion, it is convenient to use the method of invariant test items, which are easily fed to the variation in both form and content using the new method and tools developed by us [13].

In order to implement this method, we have developed a software framework to test the quality of students' knowledge by using test tasks. [14]

This software package is designed to develop students' creative activity with targeted use of invariant test items with guaranteed quality indicators, providing an objective assessment of knowledge and motivating students, without the participation of an examiner, and serves to create distance learning technology and adaptive testing.

The program complex creates the possibility of processing the experimental results given in educational and research centers with predetermined accuracy. The results of digital signal processing in the form of a graph and a table of compression ratios.

THE RESULT OF THE STUDY.

As a result of experiments, observations and gathering information about the phenomenon of interest to us, statistical material accumulates, i.e. A set of values for one or more parameters, usually in a chaotic state. This is the so-called unordered variation series of values. Information was gathered about the students' knowledge, and such an unordered variation series of values was obtained by their examinations by statements. Total data obtained for 25 students:

12	9	17	19	16
16	16	14	19	11
21	25	17	14	12
13	17	22	19	11
17	20	18	20	9

This random set of numbers must be put in a certain order. To do this, first of all, it is necessary to determine the smallest and largest values of the evaluation points. In this example, this is 0 point and 30 point. The difference between these values is called the range of the variation series $R = 30$ points. [15]

The next processing operation is to divide the variation series into intervals. Usually almost the number of intervals is chosen 5-12, but you can determine the number of intervals by an approximate formula.

$$K = 1 + 3,3 \log N$$

Where N is the sample size, i.e. the number of available values of the trait.

In our example, $K = 6$. Since the span of $R = 30$, the width of the interval $h = 3.75$. It should be noted, however, that the above formula for the number of intervals does not always give a successful number. Sometimes he uses the formula or even selects the number of intervals without any calculation within the above limits.

From the set of values of attributes, their number is calculated, which fall into each interval, putting in the corresponding line of table 1. The strokes must be grouped into five units so that it is more convenient, then counted. This frequency table should have six columns:

Table 1.

№ interval	Border spacing	Mid interval	Frequency		Frequency
			Strokes	Number	
1	2	3	4	5	6
1	0-3,75	1,875		0	0,00
2	3,75-7,5	5,625		0	0,00
3	7,5-11,25	9,375	IIII	4	0,13
4	11,25-15	13,125	IIIII	5	0,22
5	15-18,75	16,875	IIIIII	8	0,34
6	18,75-22,5	20,625	IIIIII	7	0,24
7	22,5-26,25	24,375	I	1	0,07
8	26,25-30	25,125		0	0,00

Further processing of the variation series consists in calculating the average value of the attribute or reliability index and the dispersion characteristic around this average value, i.e. standard deviation or standard values. The calculation is carried out according to the formulas, the type of which depends on the number of observations or the sample size.

If the sample is small $N < 30$, then calculations are carried out on unweighted values of the mean and standard deviation; if the sample size is significant, i.e. $N > 30$ then the calculation takes into account the average values of the intervals of the variation series and their weight. A summary of the formulas for calculating the mean and standard deviation are shown in Table 2.

Table 2.

№	Indicators of variation range	Small sample $N < 30$	Large sample $N > 30$
1	Mean value $\bar{X}$	$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$	$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_{cpi} m_{\text{oi}}$
2	Standard deviation S_X	$S_X = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum (X_i - \bar{X})^2}$	$S_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N X_{cpi}^2 m_{\text{oi}}}{N} - \bar{X}^2}$

Note: in the formula of the table: K is the number of intervals of the variation series;
 X_{cpi} - the average value of the interval;
 m_{oi} - experimental frequency of the i -th interval

An important characteristic of the dispersion of random variables, including reliability indicators, is its relative value, i.e. coefficient of variation, which is calculated by the formula:

$$V = \frac{S_X}{\bar{X}}$$

Having the data in Table 1, you can build a histogram of the distribution of the studied reliability index, for example, as in the example above, the reliability of the tests. For this, the values of the

exponent and the boundaries of the intervals of the variational series are plotted on the abscissa axis, and the frequency m_{oi} or frequency in absolute values or in percentages is plotted along the ordinate axis. Rectangles are built on each interval, the height of which is equal to the frequency or frequency in this interval.

The histogram for the given example of the variation series is built in Fig.1. apparently, it has a fairly regular symmetric shape [8,9].

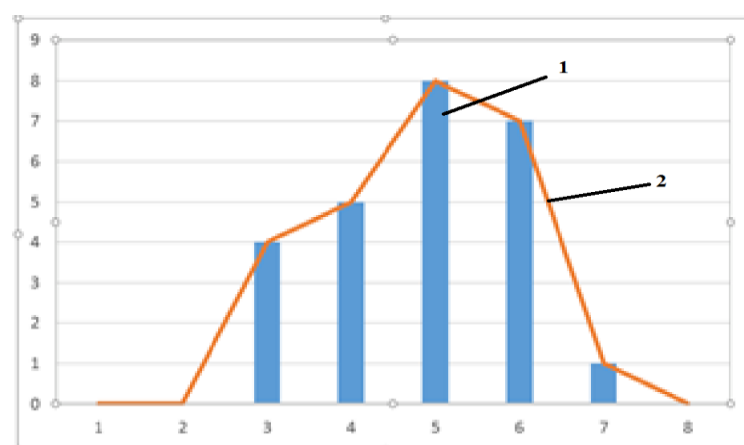


Figure 1. The histogram, the distribution of the more experienced frequency (1) and a flattening curve of the theoretical curve (2).

The obtained histogram is approximated by a curve of the theoretical distribution law of a random variable. This is necessary to accomplish in order to obtain a more general distribution, which could be extended to the entire set of objects studied. In addition, the creative laws of distribution are well studied, so they can be used to more fully characterize the studied reliability indicators.

The most common in the theory of reliability are the law of normal distribution, the Weibull law, the exponential law, and some others. The choice of the most appropriate theoretical distribution law is made by the appearance of the histogram and the magnitude of the coefficient of variation. Close to symmetric histograms and when most likely approximated by a normal law. Constantly decreasing histograms with $V=1$ indicate an indicative law. The Weibull distribution law is usually best suited for asymmetric histograms at $V = 0.5...0.7$ [16].

When choosing a theoretical distribution law, it is necessary to take into account the physical nature of the phenomenon being studied, the observation of which gave a variation series of values of the indicator.

If observations were made of gradual object failures caused by a series of independent causes and the influence of many random factors, then the normal distribution law should be used; distribution of failures due to aging of materials are in good agreement with the Weibull law. The combined effects of aging and wear lead to the distribution of failures close to the log-normal law. Distributions of sudden failures are in good agreement with the indicative law.

To verify the correctness of the choice of the theoretical distribution law, it is necessary to calculate the so-called compliance criteria, which indicate the degree of discrepancy between the theoretical and experimental frequencies or frequencies. For each distribution law considered further, specific instructions will be given on determining the criteria for compliance.

Data processing according to the normal distribution law

The appearance of the histogram in the example of section 1 shows that it can be approximated by a normal distribution curve, the formula for which is as follows:

$$f(L) = \frac{N \cdot \Delta L}{S_L \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(L-\bar{L})^2}{2S_L^2}}$$

To calculate the parameters of the normal distribution and build its theoretical curve, table 3 is compiled.

Definitions of the sample mean i. average student knowledge:

$$\bar{L} = \frac{\sum_{i=1}^k L_i m_{\pi i}}{N} = 16.29$$

Since $N > 30$, the calculation of the standard deviation is carried out according to the uncorrected formula:

$$S_L = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k L_i^2 m_{\pi i}}{N} - \bar{L}^2} = 4.39$$

Knowing the mean value and standard deviation for each interval, we determine the value of the parameter and fill in the column of the 7th table 3.

Table 3.

№ interval	Mid interval L_{pi}	Experimental frequency $m_{\pi i}$	$L_i^* m_{\pi i}$	$L_{2i}^* m_{\pi i}$	$L_i - \bar{L}$	Para- meter $t = \frac{L_i - \bar{L}}{S_i}$	Normalized function $f(t)$	Theoretical		Accumulated frequencies		Frequency difference
								Frequency, m_{Ti}	Frequency, $m_{\pi i}$	Experimental	Theoretical	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1,875	0	0	0	-14,40	-3,429	0,0011	0	0,0251	0	0	0
2	5,625	0	0	0	-10,65	-2,536	0,0161	0	0,3600	0	0	0
3	9,375	4	37,5	351,6	-6,90	-1,643	0,1042	1	2,3251	4	1	3
4	13,13	5	65,625	861,3	-3,15	-0,750	0,3032	1	6,7668	9	2	7
5	16,88	8	135	2278,1	0,60	0,143	0,3975	1	8,8735	8	3	5
6	20,63	7	144,375	2977,7	4,35	1,036	0,2349	1	5,2431	17	4	13
7	24,38	1	24,375	594,1	8,10	1,929	0,0625	0	1,3960	18	4	14

According to the obtained values of t in the table of the normalized function $f(t)$, we determine its values (entered in column 8).

Now we determine the constant coefficient in the density formula for the normal distribution, equal to:

$$\frac{N \cdot \Delta L}{S_L} = \frac{25 \cdot 3.75}{4.2} = 22,32143$$

where ΔL is the width of the interval of the variation series.

We multiply the values of the normalized function (column 8) by the value of this coefficient and put the result in column 9, rounding it to an integer - these will be the theoretical frequencies mt_i , and divided by their sum, i.e. $\sum m_T$ will have theoretical frequencies in column 10.

Having in table 3 the values of the experimental and theoretical frequencies of the normal distribution of operating time, it is possible to calculate the agreement

criteria for checking the correctness of the choice of the theoretical distribution that approximates the empirical histogram.

Consider the three criteria of consent.

Pearson Consensus Criteria [17,18] or χ^2 . This criterion represents the sum of the squares of the deviations of the theoretical frequencies from those experienced in each interval, referred to the theoretical frequency in this interval.

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(m_{\text{э}i} - m_{Ti})^2}{m_{Ti}}$$

When calculating according to this formula, it should be borne in mind that the absolute frequency in

$$\begin{aligned} \tau = K - \Pi_{\text{св}} - 1 = 4 - 2 - 1 = 1 \\ \chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(m_{\text{э}i} - m_{Ti})^2}{m_{Ti}} = \frac{(0-0)^2}{0} + \frac{(0-0)^2}{0} + \frac{(4-2)^2}{2} + \frac{(5-7)^2}{7} + \frac{(8-9)^2}{9} + \\ + \frac{(7-5)^2}{5} + \frac{(1-1)^2}{1} = 3,48254 \end{aligned}$$

According to the proposed formula, the probability values $P(\chi^2) = 0.31$

It is known [10,11] that for $P(\chi^2) < 0.3$, i.e. at 30% probability of discrepancy is considered significant and the law of normal distribution cannot be used

Thus, in our example, we obtained a condition $P(\chi^2) > 0.30$ satisfying that the discrepancy between the theoretical and experimental frequencies is insignificant and we can accept the curve of the law of normal distribution for smoothing experienced histograms.

The consent criteria of Professor Romanovsky [17,18]. For its calculation, the ratio $\frac{|\chi^2 - \tau|}{\sqrt{2\tau}}$ is determined, where τ - is the number of degrees of freedom.

If the indicated ratio in absolute value is less than two, then the discrepancy between the theoretical and experimental frequencies can be considered insignificant and a normal distribution law can be adopted. For the applied Romanovsky criterion is

$$\frac{|3,48254 - 2|}{\sqrt{2 \cdot 2}} = 0.74$$

those. less critical ($0.74 < 2$)

The consent criteria of Academician Kolmogorov [17,18] establish the closeness of theoretical frequencies by an experimental method of comparing their integral distribution functions. The calculation of the criterion λ is carried out according to the formula

$$\lambda = \frac{D}{\sqrt{N}}$$

where D is the maximum value of the modulus of the difference of the accumulated theoretical experimental frequencies, N is the sample size (the number of observations)

in our example, the value $D = 3$ and therefore, the criterion λ is equal to:

$$\lambda = \frac{3}{\sqrt{25}} = 0.6$$

In the probability table $P(\lambda)$, we find the corresponding value. $P(\lambda) = 0.9983$, which means that the discrepancies between the theoretical and experimental frequencies are random and the curve of

the interval should be at least five, therefore, with its smaller values, adjacent intervals should be combined. In our example, the first and last intervals have an absolute frequency equal to three, so these intervals are combined: the first in the second and sixth with the seventh. Thus, in the calculation is taken $K = 4$

According to the table, the probability $P(\chi^2)$ of coincidence of the experimental and theoretical frequencies is determined, which should be as close as possible to unity. To determine it, it is necessary to know the number of degrees of freedom, which is equal to:

the law of normal distribution approximates the experimental histogram well.

CONCLUSIONS.

Thus, we can conclude that all three criteria of agreement gave us when checking our results. This is an evidence of the correctness of the complex program developed by us and the reliability of the results obtained. Further development of the method requires testing it in various academic disciplines of educational systems.

REFERENCES.

- [1] Джумабаева Ф.А. Повышение качество обучения и объективности знание студентов на основе инвариантных тестов / автореф. канд. дисс., Ташкент, -1999, -18с.
- [2] Фарберман Б.Л., Мусина Р.Г., Джумабаева Ф.А. Олий ўқув юртлирида ўқитишнинг замонавий усуллари (Ўқув услубий қўлланма, ўзбекча рус тилларида) Т., 2002, -192 б.
- [3] Джумабаева Ф.А., Сўфихужаев Н., Турсунова З.М. Талабаларнинг жодий фикрлашини ривожлантириш (ўқув қўлланма). Андижон-2002-117б.
- [4] Беспалько В.П. Слагаемые педагогической технологии. М.: Педагогика 1989. 190 с.
- [5] Аванесов В.С. Основы научной организации педагогического контроля в высшей школе. -М.:1989. -166с.
- [6] Ингенкамп К. Педагогическая диагностика. М.: Педагогика 1991.-238 с
- [7] Чельшкова М.Б. Разработка педагогических тестов на основе современных математических моделей. М.: ИЦПКПС, 1995.-31 с.
- [8] Lord F.M. Application of Item Response Theory to Practical Testing Problems. Hillsdale N – J. Lawrence Erlbaum Ass., Publ, 1980, - 266 pp,
- [9] Бобков А.И., Далматов С.Б., Преснякова Г.В., Шашин Г.В., Принципы построения адаптивных аналоговых систем обучения и контроля знаний. Учеб. пособие. Л.: Лен. инст. авиац. приборостроения, 1987.- 80с.

- [10] Аванесов В.С. Научные проблемы тестового контроля знаний. Моногр. М.: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 1994.-135с.
- [11] WimJ.vanderLinden, RonaldK. Hambleton. Handbook of modern item response Theory. 1997 Springer-Verlag New York Inc. p. v.
- [12] АванесовВ.С. Композициятестовыйзнаний. Учебная книга. 3 изд., доп.,М., Центр тестирования, 2002 г. -240с
- [13]А.Х.Юлдашев,Н.А.Алиева,З.З.Джумабаев а Объективная оценка знания студентов и гарантирование качества тестовых заданий в процессе обучения агроинженерных дисциплин.
- [14] № DGU 05089. Программный комплекс для гарантированными качественными знаниями студентов при использования тестовых заданий. А.Х.Юлдашев и др. УзР ПИРА-2018
- [15] Величко О.Н.,Хакимов О.Ш., Гордиенко Т.Б., Джабборов Р.Р. Оценка результатов прецизионных и технических измерений. Учеб.пособие. Агентство «Узстандарт», НИИСМС, 2012. -314с.
- [16] Я.Х.Закин, Н.Р.Рашидов Основы научного исследования. Ташкент «Укитувчи» 1981. -207с.
- [17] Математическое моделирование: Учебное пособие /Г.Г. Пенина, О.В. Шепеленко – Донецк: ДонГУЭТ, 2006. – 189 с.
- [18] <http://topuch.ru/uchebnoe-posobie-dlya-studentov/index21.html>.

#7 (47), 2019 część 8
Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe
(Warszawa, Polska)
Czasopismo jest zarejestrowane i publikowane w Polsce. W czasopiśmie publikowane są artykuły ze wszystkich dziedzin naukowych. Czasopismo publikowane jest w języku polskim, angielskim, niemieckim i rosyjskim.

Artykuły przyjmowane są do dnia 30 każdego miesiąca.

Częstotliwość: 12 wydań rocznie.

Format - A4, kolorowy druk

Wszystkie artykuły są recenzowane

Każdy autor otrzymuje jeden bezpłatny egzemplarz czasopisma.

Bezpłatny dostęp do wersji elektronicznej czasopisma.

Zespół redakcyjny

Redaktor naczelny - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

Rada naukowa

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)

Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Peter Clarkwood (University College London)

#7 (47), 2019 part 8
East European Scientific Journal
(Warsaw, Poland)
The journal is registered and published in Poland. The journal is registered and published in Poland. Articles in all spheres of sciences are published in the journal. Journal is published in **English, German, Polish and Russian.**

Articles are accepted till the 30th day of each month.

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Each author receives one free printed copy of the journal

Free access to the electronic version of journal

Editorial

Editor in chief - Adam Barczuk

Mikołaj Wiśniewski

Szymon Andrzejewski

Dominik Makowski

Paweł Lewandowski

The scientific council

Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)

Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Peter Cohan (Princeton University)

Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)

Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)

Kolub Frennen (University of Tübingen)

Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)

Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)

Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)

Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)

Peter Clarkwood (University College London)

Igor Dzedzic (Polska Akademia Nauk)
Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)
Alexander Rogowski (Uniwersytet Jagielloński)
Kehan Schreiner(Hebrew University)
Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)
Anthony Maverick(Bar-Ilan University)
Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)
Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)
Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)
Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków Międzynarodowych)
Redaktor naczelny - Adam Barczuk

1000 kopii.

Wydrukowano w «Aleje Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warszawa, Polska»

Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe

Aleje Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warszawa, Polska

E-mail: info@eesa-journal.com ,

<http://eesa-journal.com/>

Igor Dzedzic (Polska Akademia Nauk)
Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)
Alexander Rogowski (Uniwersytet Jagielloński)
Kehan Schreiner(Hebrew University)
Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)
Anthony Maverick(Bar-Ilan University)
Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)
Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)
Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)
Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków Międzynarodowych)
Editor in chief - Adam Barczuk

1000 copies.

Printed in the "Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw, Poland»

East European Scientific Journal

Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw, Poland

E-mail: info@eesa-journal.com ,

<http://eesa-journal.com>