

#5 (33), 2018 część 1

**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)**

#5 (33), 2018 part 1

**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**

**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](mailto:info@eesa-journal.com) ,

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

**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 copies.**

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

**East European Scientific Journal**

Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw, Po-  
land

**E-mail:** [info@eesa-journal.com](mailto:info@eesa-journal.com) ,

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

# СОДЕРЖАНИЕ

## ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>Kurovets S. , Artym I.</b> RESEARCHING THE MICROFRACTURING OF THE CARPATHIAN REGION RESERVOIRS .....	4
--	---

## ИСТОРИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>Хидирнабиев Р.Х.</b> РОЖДЕНИЕ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ, КАК НОВАЯ ОТРАСЛЬ НАУЧНОГО ЗНАНИЯ. ....	10
<b>Магомедова Р.М., Хурдаев Н.А., Магомедмансурова К.Б.</b> ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОЛИТИКА В ОБЛАСТИ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ В ПЕРИОД ПЕРЕСТРОЙКИ.....	12

## ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>Юрчиньски В., Сорокин С. В.</b> УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОСЛОЙНОЙ УКЛАДКИ ПРОДУКТОВ В ТАРУ .....	16
<b>Бурмака И.А., Пятаков Э.Н.</b> МАНЕВР ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО РАСХОЖДЕНИЯ С ДВУМЯ ЦЕЛЯМИ ИЗМЕНЕНИЕМ КУРСА И ПАССИВНЫМ ТОРМОЖЕНИЕМ .....	19
<b>Пасечнюк С.С.</b> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАНЕВРА СНИЖЕНИЯ СКОРОСТИ ОДНОГО ИЗ СУДОВ ПРИ ВНЕШНЕМ УПРАВЛЕНИИ ПРОЦЕССОМ РАСХОЖДЕНИЯ.....	25
<b>Ворохобин И.И.</b> ВЛИЯНИЕ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ БОКОВОГО ОТКЛОНЕНИЯ НА ВЕРОЯТНОСТЬ БЕЗОПАСНОГО ПРОХОЖДЕНИЯ СУДНОМ СТЕСНЕННОГО МАРШРУТА .....	30
<b>Богданова Н.В.</b> КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ РЕВЕРБЕРАЦИОННОГО ПРОЦЕССА В ЗАКРЫТОМ ПОМЕЩЕНИИ.....	37
<b>Казимиренко Ю.О., Лебедева Н.Ю.</b> ВПЛИВ ВИСОКОТЕМПЕРАТУНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА СТРУКТУРУ ПОРОЖНІХ МІКРОСФЕР .....	41
<b>Панаско О.М., Бурмістров С.В.</b> ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ФОРМ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЛОГІЧНИХ ФУНКЦІЙ В ЗАДАЧАХ СИНТЕЗУ ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ .....	50
<b>Тепляков А.А.</b> АВТОМАТИЗАЦІЯ І ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ .....	55

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>Алиев Г.Г., Алиев А.Г.</b> ОБОБЩЕННОЕ УСЛОВИЕ НАВЬЕ В НАНОГИДРОДИНАМИКЕ.....	60
<b>Даниленко Е.Л.</b> ТЕОРИЯ КОНТРОЛЯ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ И ПРИЛОЖЕНИЯ .....	65

## ГЕОЛОГО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

**S. Kurovets,**

*Dr. Sci. (Geol.), Prof.*

*Chair of the Department of Geology and Survey of Oil and Gas Deposits  
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas  
15 Karpatska Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine*

**I. Artym,**

*Postgraduate Student*

*Department of Geology and Survey of Oil and Gas Deposits  
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas  
15 Karpatska Str., Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine*

### RESEARCHING THE MICROFRACTURING OF THE CARPATHIAN REGION RESERVOIRS

#### Summary

Physical processes occurring in different strata, affect both the change in the form of occurrence, and on the properties of rocks. The following studies are aimed at determining the influence of these processes on the reservoir properties of rocks. Analysis of the results of radial filtration researches allows us to estimate the rock permeability, depending on its size, character and type of stress state due to changes in the structure and size of microfractures. We carried out experimental researches on cylindrical core with a central opening. The core was studied under conditions of water pressure influence on permeability with the change of radial directions of stream jets - convergent and divergent. The obtained results allow us to estimate the influence of pressures on the permeability of the rock sample.

*Keywords: Fracturing, reservoir rock, pressure, microfracture, seam.*

#### Introduction.

The question of researching and searching for the causes of the conditions for the formation of hydrocarbon accumulations in various conditions has now become extremely acute. It is necessary to solve this issue in order to succeed in exploring and researching already existing deposits and successful exploration of new fields of oil and gas. To this end, it is necessary to pay more attention to researching the causes of migration of oil and gas, especially lateral, as vertical migration has been studied in more detail in many scientific works. But it is not a secret that reservoir pressure has a significant influence on the formation of oil and gas accumulations and the reservoir properties of rocks. In order to better understand the range of displacements and the formation of fracture within reservoirs, it is necessary to determine the value of the reservoir pressure that will allow moving hydrocarbons inside the formation (internal migration), but equally important is the study of reservoir pressure values that allow hydrocarbons to move between the layers, in other words it is called external migration. The direction of migration can be predicted and the approximate distance of displacement can be further determined if it is known the value of the formation pressure. In other words, can be predicted places of oil and gas accumulation, which is an extremely important issue for solving the problems of the oil and gas state of our country. It is important to not forget about the effect of formation pressure on reservoir properties of rocks. These properties include porosity and permeability. But fracturing of rocks, which is also a way of hydrocarbon migration and places of its accumulation, is often underestimated. This article is devoted to the research of fracturing and its relationship with formation pressure. After all, high filtration and

capacitive properties is the key to the movement, accumulation and formation of oil and gas accumulations. These properties include fracturing of rocks.

#### Setting of the problem.

Geodynamic processes play an important role in the formation of reservoir rocks in sections of sedimentary rocks of oil and gas provinces of the world. That is, the combined processes of deformation of rocks in time and space influence not only their deformation and the formation of structural traps, but also their reservoir properties. A characteristic feature of the distribution of large fields is their association with the zones of intersection faults. In particular, researching the spatial location of oil and gas reserves in the Pre-Carpathian foredeep showed that their maximum concentrations are associated with the three largest tectonic nodes, with which the Dolyna, Bytkiv-Babchyn and Boryslav deposits are connected [1, 2, 3, 4].

Changes in reservoir properties are mainly related to the geodynamic processes of the Carpathian region. As a result, any sediment can acquire the properties of the reservoir, regardless of its lithological characteristics. Consequently, the reservoir properties of the rock do not have a definite relationship with the material composition, because they depend on two groups of factors: primary factors (genetic), which are related to the material composition of the rocks, and secondary factors - transformation as a result of geological processes. Mechanisms and the influence of these geological processes for different structures are different.

On the influence of these factors we can judge by the actual characteristics of capacitive and filtration parameters of productive objects, obtained on the basis of exploitation of the reservoir (flow rate, exploration, hydrodynamic testing of wells, etc.). It should be noted that the successful use of hydrodynamic methods gives

good results in the evaluation of capacitance and filtration properties. But this is possible if exact quantities of pressure are determined not only in the oil- and gas-saturated but also in the water-saturated parts of the deposit. The determination of pressure must be carried out both during drilling and systematically during the exploration period. Unfortunately, such measurements are rarely and irregular. Thus, the reservoir pressure was the same before the development of the Menilite deposit in the oil saturated part of all blocks according to the measurements in the wells of the Pasichna deposit. This indicated a single hydrodynamic reservoir, the common conditions and source of traps filling with fluids. The deposit is associated with a linearly elongated asymmetric anticline fold of the III structural layer, which is divided by transverse displacements into three blocks: Starun, Bytkiv and Pasichna. The deposits of oil and gas are concentrated in the lower- and middle-Menilite sediments of all three blocks. Slight inflow of gas was obtained from the Vygoda sediments of the Eocene. The current analysis of the reservoir pressure dynamics in the wells confirmed the unity of the Bytkiv and Pasichna blocks, whereas the Strun block is characterized by a rapid rate of reduction of reservoir pressure indicating small residual reserves, low energy potential of the block and its hydrodynamic isolation from others, and of course, low reservoir properties.

An American geologist D. Sekor studied the physical confirmation of the active influence of fluid dynamical processes on the improvement of capacitive and filtration properties due to the formation of fractures. He studied the conditions for the formation of fractures in the crust under the action of fluids and concluded that hydraulic fracturing can occur in natural conditions, if the pressure of the liquid is close to the formation pressure of rocks. The process of origin of fractures consists of numerous short episodes of their formation, which alternate with longer periods of filling them with fluid due to leakage from the surrounding rocks and subsequent cracking. D. Sekor believes that in most cases the rocks contain sufficient fluid to form fractures in them.

There is another feature of the fractures development in conditions of high pressure, which are caused by underground fluids. During the rock masses fracturing the total area of undisturbed bonds (which separate cracks) is reduced. At the same time, the shear stress increases in the area where the connections are maintained. This is expressed by the ratio derived from the mechanics of rocks:

$$\frac{\tau' - \tau}{\tau} = \frac{m}{1-m} \left( 1 - f \frac{\delta}{\tau} \right),$$

where:  $\tau$  - shear stress;

$\delta$  - normal tension, which is equal to hydrostatic load;

$f$  - coefficient of friction;

$m$  - the coefficient expressed by the ratio of the splitting working area to the total amount of fractures.

This formula is valid for rocks in which there is no fluid. In the case of filling pore and fracturing space by fluid, it should take into account the pressure of porous water -  $\rho$  and, consequently, the ratio will be as follows:

$$\frac{\tau' - \tau}{\tau} = \frac{m}{1-m} \left( 1 - f \frac{\delta - \rho}{\tau} \right),$$

that is, the relative growth of shear stresses will increase with pore pressure increasing. Accordingly, the increase in fluid pressure contributes to faster growth of the fracture formation in rock strata, including when the pressure is less than geostatic.

Thus, with increasing of fluid pressure in the pore-fractured space, the frictional shear resistance decreases, which facilitate fracturing of the rock. When the pressure reaches the corresponding value, further development of fractures occurs under the action of a hydraulic fracturing. In addition, physic-chemical processes affect the deformation process. In particular, such an affect has a phenomenon of adsorption decreasing in the strength of solids, which was discovered by Rebinder. The strength of solids depends on the so-called surface energy. It is significantly reduced by the action of surface-active substances that are absorbed on the free surface of a solid and reduce its strength. Under the influence of surface-active substance the shape of deformations changes – the plastic state becomes fragile, which accelerates the destruction. The formation water with sodium chloride, soda and some other salt can act as a hardness reducer.

Consequently, the formation of fractures under the influence of fluids can occur in natural conditions. If fracturing of the rock strata passes under the fluid pressure, then the total area of undisturbed bonds in the rock is reduced. This, in turn, causes stresses increasing and promotes rapid fracturing of the strata not only when the reservoir pressure reaches the values of the formation pressure, but also at lower values of the porous fluid pressure.

### Results.

Physical processes occurring in different strata, affect both the change in the form of occurrence, and on the properties of rocks. We carried out experimental researches on cylindrical core with a central opening. The core was studied under conditions of water pressure influence on permeability with the change of radial directions of stream jets - convergent and divergent. The pressure was greater on the periphery of the sample than in the opening during the tests of the first type. And in the second case, on the contrary - in the central opening the pressure was greater. In this case, the lines of jets of the stream remained the same as in the previous case, but with the opposite sign. The strain in the rock samples is proportional to the fluid pressure, but in the first case they were as compressible forces, and in the second – as the tensile forces.

An effective method for evaluating the permeability of microfractures and the influence of stress on them is the method of radial filtration. Laboratory researches of low porous fractured rocks are recommended at the installation shown in Figure 1. It is necessary to use large cylindrical samples ( $D = 40 - 100$  mm,  $h = 1 - 1,5$  D), with a central opening ( $D=10-12$  mm). The problem with these researches is that it has to deal with very low fluid consumption (less than  $0.01$  cm<sup>3</sup> / h). Unwanted changes to the samples may cause an increase in fluid flow. In laboratory measurements, the pressure gradient

varies within 1 ... 1000 MPa, and under natural conditions this value does not exceed 10 MPa. The studies are carried out with a radial convergent and divergent flow of fluid. In the first case, the pressure on the periphery of the cylinder is larger than in the opening of the sample, in the second - on the contrary, while the flow lines remain the same, only their orientation changes to the opposite. The stresses in the rock are

proportional to the magnitude of the pressure drop, and in the first case they are caused by compression forces, and in the second - by the forces of tension.

Analysis of the results of radial filtration researches allows us to estimate the rock permeability, depending on its size, character and type of stress state due to changes in the structure and size of microfractures.

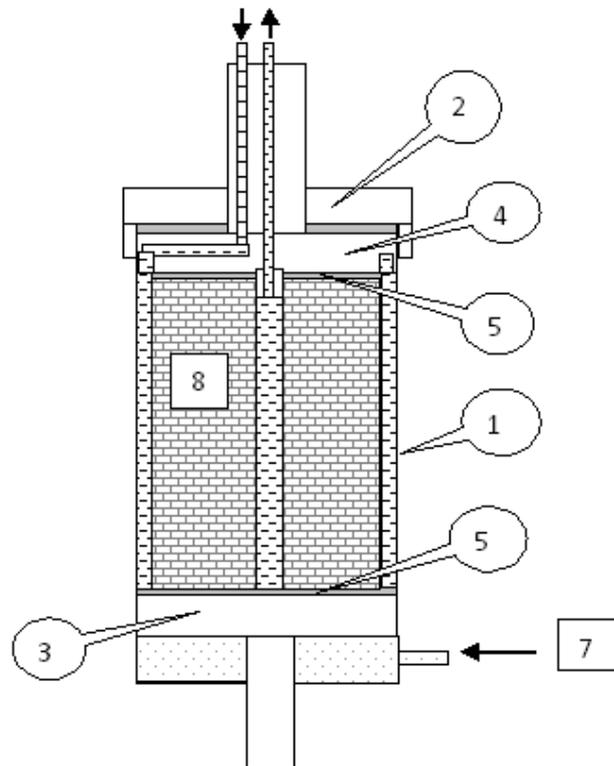


Fig. 1 - Scheme of the device for radial filtration research

Symbols: 1 - camera body; 2 - roller nut; 3 - piston axial load; 4 - piston of the supply of filtering fluid; 5 - polyurethane substrates; 6 - pressure control system and measurement of permeability parameters; 7 - system of creation and adjustment of axial load on the sample; 8 - core sample.

The obtained results (fig. 2) allow us to estimate the influence of pressures on the permeability of the rock sample.

Comparison of the filtration experiments results in rocks with "granular" pores and developed fracturing showed that for the rock of the first type (sandstone),

the filtration coefficient  $K_p$  is the same for both convergent and divergent water movements. The permeability remained constant, and the results of experiments are completely reversible until the sample began to develop stretching deformations that led to its destruction (sample-1, sample -2, sample -3).

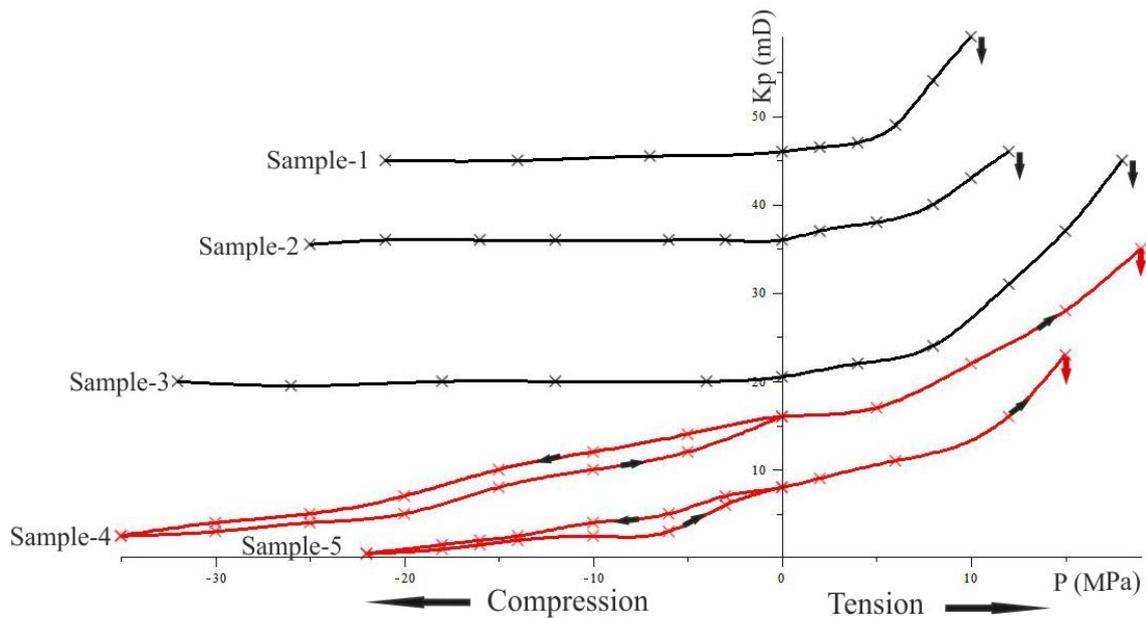


Fig. 2 - Rock samples with different type of pore space for radial filtration research results

The samples (sample - 4, sample - 5) are represented by layered rocks, in which interbedding layers of multi-grained siltstones of 1-0.5 mm thickness, with a large number of thin fractures and macrocracks that are parallel to the layers. The permeability of these siltstones sharply decreases with increasing pressure. The process was reversible. As the direction of filtration changed, the permeability quickly increased until the sample destroyed. The compression passed to the stretching gradually. Therefore, on the dependency curve there is no sharp change. In the area of tension, the nature of the process was irreversible, which is clearly noticeable on the curves. But the process became inverse again with the changing to compression.

According to the experiments, it can be concluded that in the rocks with granular porosity the coefficient of filtration depends little on the fluid pressure. It is also worth noting that it decreases markedly with increasing pressure in the presence of microfractures in the rock.

These microfractures are elongated in one direction, for example, by stratification. Obviously, changes in the filtration mode from laminar to turbulent occur with pressure increasing in sample fractures. These modes are closed. This reflects the correspondence of the experiment results and the results of research wells. In both cases, it indicates the presence of fractures in the porous area.

The permeability of the samples was experimentally researched by us. This research was conducted at various stressed states. As a result, the process of increasing the microfracturing of the rock during the increase in load was discovered. This increase occurs prior to the appearance on the test sample of external signs of destruction based on the corresponding changes in permeability (Fig. 3). The load boundary is clearly fixed on the permeability and stress curves. After this value exceeded the development of microfractures began. In our case, the magnitude of the critical stress does not exceed 20-25% of the destructive.

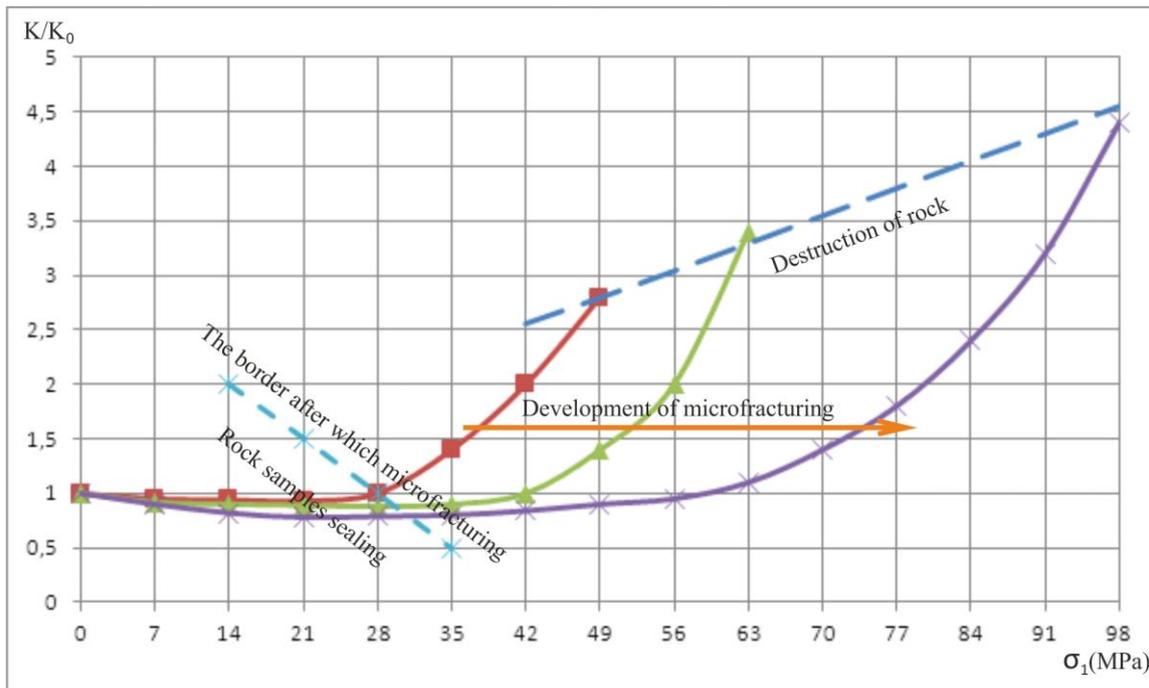


Fig. 3 – Impact of hard-pressed /  $\sigma_1 > (\sigma_2 = \sigma_3)$  / state on the character of the pore space change in the rock - the rock is first densificated, and after reaching the corresponding load for this rock microfractures develop, due to which permeability increases and occurs until the load is not reach destructive ( $K_0$  - permeability under normal conditions,  $K_i$  - permeability at the corresponding load).

#### Discussion and conclusion.

Thus, with increasing pore pressure, the fluid that saturates the rock reduces its strength. At the same time, deformation dissipation increases. It is associated with micro-fracturing, especially for abnormally high reservoir pressure. While the stresses that provide such a process, according to our research, are much less than the strength parameters of the same composition rock with no fluid inside.

For reservoir formation in dense rocks, sufficient fluid and appropriate pressure are required. These conditions are possible in layered rocks with alternating dense and clay layers. With increasing pressure, clay rocks are suppliers of water, which in dense layers reduces their strength and consolidation. Under such conditions the corresponding power level of the layers for the given depth should be kept. Any deviations can lead the system out of balance. Then the process of changing the capacitive filtration properties can take place in the direction of consolidation reducing or its increasing. Thus, the thin-layered nature of the deposits section is an important prerequisite for the formation of a useful capacity in weak areas along the boundaries of different lithotypes, which leads to the layered fracturing formation. Menilite deposits are most characteristic for such section. Productive strata are represented mainly by the interbedding of thin cemented sandstones, argillites or other impermeable layers. These layers are composed of sandy and argillite seams, where it is impossible to talk of uniformity, isotropy of the granular pore system or its presence as such. Improvement of capacitive properties is related to the geodynamic processes of the Carpathian region development. As a result, different deposits can be reservoirs under the appropriate

conditions for their development and occurrence, regardless of their lithological characteristics. It was also discovered that in wells where Eocene rocks are exploited, water content is growing faster than in wells that develop deposits of oligocene deposits. In further research it is necessary to establish the causes of the revealed signs. The first feature is described in the above-mentioned materials, where the second feature is partially characterized. The productive Eocene deposits layer is represented by the interbeddings of fine and coarse-grained materials alternating with interlayers of different thickness and permeability. Thus, on the boundaries of different facies, in particular, more and less sandy, zones of sub-vertical fracture are formed due to different sands and clays densification. These zones can contribute to the vertical flow of fluids within the one-aged deposits, and to combine them with the lower ones. The result is a complex fracturing system. This system consists of sub-vertical channels at the boundary of the facies and subhorizontal at the lithological boundaries. In the absence of a developed network of fractures, such stratum is almost unsuitable for further exploration. And the presence of fractures promotes the development of rocks with good reservoir properties. The flow in such a rock can be parallel to the layering and perpendicular to it. The deposit in such a situation acquires the properties of the porous reservoir, because the fractures network in the stratum has a random character. This means that the fractures are not oriented in one direction and do not have direct connection with the water-oil contact.

The productive seam of the Eocene deposits contains several deposits. Thus, in the Eocene deposits of

the Dolyna field Vygoda and Maniava deposits are isolated and developed by different wells. The existence of the relationship between the Vygoda and Maniava deposits is given on the basis of the geological structure and the actual materials for the development of deposits. The correspondence of the initial pressure of the Maniava and the current reservoir pressure of the Vygoda deposits is due to the extraction of oil from the wells drilled for the Vygoda deposit.

The hydrodynamic association between the Vygoda and Bystrytsa deposits and the presence of interlayer flows between them indicate the data of testing and research of wells 234, 250, 625, 229, 300, and others. These wells exploit the Bystrytsa deposits. Despite the fact that all wells are situated in the crest of the deposit where there is no pressure of reservoir water, the water content of the extracted products is 10-17%. Initial reservoir pressures corresponded to the current reservoir pressures of the Vygoda deposit, and the gas factor was in the range of 150-180 m<sup>3</sup> / t. This corresponded to the amount of dissolved gas at the current reservoir pressure. Similar gas factors were also obtained on adjacent wells of the Vygoda deposit.

The actual data confirm the hydrodynamic association between the deposits, despite the presence of clay sublayers that do not affect the formation characteristic of the as a whole. Consequently, the reservoirs have a direct connection with the water-oil contact through fractures.

In theory, the dynamics of water production should be considered depending on the amount of oil selected from the original geological reserves. However, due to a certain convention of the received reserves and the complexity of obtaining such materials and keeping them in mind, it is problematic to use them in the analysis. The magnitude of the current water production and its change over the entire period of operation depend on many factors that operate at one time, therefore, it is difficult to assess the impact of each of them on the dynamics of water production. Most researchers attributed the nature and rate of water product to the structure and properties of the productive strata (lithological composition of the beds, their number, capacity, the presence of layers with reduced reservoir parameters (sometimes impermeable), structural and geometric parameters of the field or the deposit, the presence and nature of the transition zone).

Secondary porosity (fractures, cavities) has low values compared to the value of primary porosity. As a result, secondary porosity practically does not affect the amount of saturated hydrocarbon strata. In any case, it can be assumed that the fracture is 100% saturated with

the appropriate fluids: water in the water zone, oil in the oil, etc. Thus, in the direction of motion, the extrusion agent tends to move in fractures at a higher speed than in the direction of matrix blocks, which causes a high heterogeneity in the saturation of the fluids. On the other hand, the continuous penetration of the squeezing fluid from the fracture to the blocks results in a speed difference decreasing of the extrusion agent movement in fractures as well as in porous blocks. Fractures provide the transfer of hydrocarbons from the matrix to the wells. The pressure drop around the extraction well (the depression) in the fractured reservoirs is very small, that is why the high permeability of the fractures allows getting high debits at minor depressions. For the flow of oil through fractures small pressure gradients are sufficient, but they are so small that they are not able to control the processes of exchange of liquids between the matrix and fractures.

The main mechanism for extracting oil from reservoirs is capillary soaking [5]. Due to the large difference between matrix permeability and fractures, water first enters the fracture, and then it is absorbed by the matrix. In fractured reservoirs, the matrix blocks can exchange liquids only through fractures that are adjacent to them. Consequently, due to the fact that the productive layers in the Menilite deposits are directly linked by fractures, and in the Eocene deposits, the same connection exists, then there is always the probability of a breakthrough of water through fractures and this process is difficult to predict.

#### References

1. Бойко Г.Е. Прогнозирование нефтегазоносности по генетическим показателям. - К.: Наук. думка, 1982. – 252 с.
2. Бойко Г.Е. Тектоногенез и нефтегазоносность осадочных бассейнов.- К.: Наук. думка, 1989. – 204 с.
3. Бойко Г.Е., Аникеев С.Г. Структура Карпатского поднадвига/ по данным решения обратной гравиметрической задачи// Тектоника и нефтегазоносность поднадвиговых зон.- М.: Наука, 1990. - С. 35-41.
4. Маєвський Й., Окрепкий І.Р. Перспективні зони глибинного нафтогазоагромадження в Передкарпатському прогині // Нафтова і газова промисловість. - 1997. - №1. - С. 7-10.
5. Голф-Рахт Т. Д. Основы нефтепромысловый геологии и разработки трещиноватых коллекторов: Пер. с англ. – М.: Недра, 1986. – 608 с.

## **ИСТОРИЧЕСКИЕ НАУКИ**

*Хидирнабиев Р.Х.*

*Магистрант исторического факультета Дагестанского государственного педагогического университета исторического факультета.*

### **РОЖДЕНИЕ ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ, КАК НОВАЯ ОТРАСЛЬ НАУЧНОГО ЗНАНИЯ.**

Образование и педагогическая наука насчитывают несколько тысячелетий своей истории. На этом пути педагогика постепенно из разрозненных взглядов, идей и теоретических положений превращалась в науку. Развитие воспитательно-образовательных институтов было многообразным, противоречивым и неоднозначным процессом. Изучение истории образования и педагогических учений - важное условие формирования общей и педагогической культуры будущего специалиста, поскольку оно дает знание о процессе развития теории и практики образования и воспитания и содействует становлению мировоззрения и педагогического профессионализма.[1]

История педагогики и образования как учебная дисциплина давно является неотъемлемой частью педагогического образования, это одна из самых старых отраслей педагогического знания, которая выделилась внутри педагогики уже в середине XIX в. История педагогики и образования изучает развитие теории и практики образования, воспитания и обучения в различные исторические эпохи, включая и современность в контексте ее исторического развития. Вместе с тем историко-педагогические исследования не сводятся только к хронологическому обзору явлений прошлого и рассказу о великих педагогах или великих педагогических идеях. Главная задача науки - выяснить, какова была роль образования в обществах прошлых эпох и почему философы и педагоги создали в определенный период времени определенные теории.

История педагогики и образования как часть педагогической науки выполняет следующие функции: а) фиксирует историю выявления и решения проблем воспитания и обучения в теории и практике образования; б) выступает критерием достоверности педагогических теорий и ориентиром в создании новых педагогических систем; в) представляет путь развития образования и накопления педагогических взглядов, теорий, идей; г) раскрывает процесс возникновения и изменения образовательных традиций; д) прослеживает взаимосвязь и влияние педагогических идей, концепций, теорий, систем в различные исторические эпохи.

Объектом истории педагогики и образования является всемирный историко-педагогический процесс, рассматриваемый в единстве теории и практики воспитания, обучения и образования. Иными словами, в истории педагогики и образования педагогические явления прошлого анализируются в тесной взаимосвязи с генезисом культуры, науки, общественной мысли, и на этой основе выявляются тенденции развития этих явлений в будущем.[3]

Предметом истории педагогики и образования выступает сложный процесс становления и развития педагогической теории и практики образования в различные исторические периоды, в условиях различных цивилизаций, стран и культур. Исходя из данного определения предмета науки в структуре историко-педагогических знаний можно выделить две основные предметные зоны: исследование теории и практики. Каждая из этих зон как область исследования обладает относительной самостоятельностью, но в своей сущности они едины, поскольку педагогика представляет собой одну из форм духовного и практического освоения мира, а педагогическая практика (от политики государства в области образования до образовательной деятельности семьи, школы и др.) является источником и сферой реализации педагогических идей. Синтез знаний, полученных в каждой из этих предметных зон, позволяет воссоздать целостную картину историко-педагогического процесса и раскрыть закономерности его развития.

Понять образовательные достижения эпохи Возрождения невозможно без анализа экономической и социокультурной ситуации, сложившейся в XIV–XVI вв. в странах Западной Европы. Различный характер экономического развития в разных странах (например, экономически мощная Италия и Франция и замедленное развитие торгового капитала в Германии) определил уникальную социокультурную ситуацию в каждой из них и, как следствие, по-разному отразился как в педагогических идеях итальянских, немецких и французских педагогов-гуманистов, так и в образовательной практике разных стран. [3]

Родиной одного из величайших движений, которое когда-либо переживало человечество, – Возрождения – стала Италия. В XIV–XV вв. Италия представляла собой государство, в котором сосредоточилась политическая, экономическая, религиозная, культурная, образовательная жизнь. Широкие торговые и иные экономические отношения Италии, ряд сделанных итальянцами географических открытий, сравнительно широкое распространение образования среди населения вызывали в людях иные по сравнению со Средневековьем стремления и запросы: у человека пробудились вера в себя, стремление к самопознанию и проявлению силы духа. Важнейшей предпосылкой к формулированию нового по сравнению со средневековым пониманием человека стало творчество Данте, Петрарки, Боккаччо и др. Пристальное внимание к проблемам человека, его духовности, осознание его

места в мире отразились в художественном творчестве Микеланджело, Леонардо да Винчи, Рафаэля и др.

Среди итальянских гуманистов эпохи Возрождения особенно выделяется Витторино да Фельтре (1378–1446). Сын бедных родителей, Витторино, закончив Падуанский университет, был назначен профессором философии. В 1424 г. да Фельтре получил приглашение в г. Мантую, где он должен был стать воспитателем детей падуанского герцога Гонзаго. Так возникла знаменитая дворцовая школа «Дом счастья», которой В. да Фельтре отдал всю свою жизнь. Школа представляла собой воспитательно-образовательное учреждение пансионного типа, деятельность которого была подчинена основной цели – гармоничному развитию человека, его «тела, ума и характера». [4 С.48]

Ядром содержания обучения В. да Фельтре делает классические языки, изучение литературы он строит на принципе сознательного усвоения и самостоятельного творчества. Педагог стремится давать энциклопедические знания, поэтому в программу обучения входят алгебра, астрономия, геометрия, черчение, естественная история и др. Как говорил о В. да Фельтре один из его современников, «он восхвалял то, что греки называют энциклопедией, так как, по его словам, наука и образованность слагаются из многих и разнообразных знаний». [4 С.49]

Особое внимание В. да Фельтре уделял физическому развитию детей. С этой целью проводились спортивные игры, детей обучали верховой езде, борьбе, фехтованию, стрельбе из лука, плаванью (рыцарское воспитание). Среди форм и методов обучения Витторино отдавал предпочтение тем, которые наиболее полно раскрывали возможности учащихся, активизировали их познавательную деятельность – это игры, экскурсии, занятия на природе и беседы с детьми.

В основу организации жизни детей были положены идеи самоуправления. Вместе с тем школа В. да Фельтре сохраняла сильный элемент религиозного воспитания с ярко выраженным средневековым аскетизмом. По воспоминаниям современника, «со строгостью сурового аскета заперся он каждое утро в своей комнате, где молился с коленопреклонением и бичевал себя. Он часто исповедовался, сам преподавал закон Божий, увещевал учеников молиться и ежедневно посещать вместе с ним обедню». [4С.48]

Современник Витторино Пьетро Паоло Верджеро (1350–1444) главным в развитии личности считал нравственное воспитание, которое понималось им широко и многогранно. Оно включало в себя религиозный, собственно нравственный и физический компоненты. В трактовке П.П. Верджеро умственное воспитание имеет тесную связь с нравственным и значимо только в этой связи: знания без нравственного воспитания не ценны, даже более того – опасны. По мысли педагога, воспитание гуманно только тогда, когда оно выстраивается в соответствии с индивидуальными особенностями ребенка (практическое выражение эта идея в полной

мере нашла значительно позднее в воспитательно-образовательных системах Я. Корчака, С.Т. Шацкого, В.А. Сухомлинского и др.).

Немецкая педагогическая мысль была представлена именем крупнейшего гуманиста эпохи Возрождения, чье влияние распространялось далеко за пределы родины, Дездекия Эразма (Эразма Роттердамского) (1469–1536). Начальное образование он получил в монастыре, затем в «школе братьев» в Давентаре, позже в Парижском и Оксфордском университетах, где глубоко овладел языками и литературой. Многие годы Эразм Роттердамский вел образ жизни странствующего ученого, живя во Франции, Англии, Италии. Последние 25 лет жизни он провел в г. Базеле. Эразм Роттердамский оставил след в истории как яркий публицист, высмеивающий пороки современного ему общества («Похвала глупости»). Педагогические взгляды он излагал в работах «Беседы», «Цицеронианцы», «Метод изучения», «Свободное воспитание детей», «О благовоспитанности детей». [5С.300]

Формулируя цель воспитания, Эразм Роттердамский превыше всего ставил благочестие и нравственность, он выдвинул идею всеобщего обучения. По его мысли, широким массам населения, которым недоступно научное образование, необходимо религиозное воспитание, но для того, чтобы все могли читать Библию, нужно всеобщее обучение. Определяя содержание обучения, он на первое место ставит грамматику, далее следуют история и литература, география и естествознание.

Эразм Роттердамский резко протестует против суровой школьной дисциплины, побоев, требует, чтобы учение доставляло ребенку радость и удовольствие. Он настаивает, чтобы образование было доступно и мужчинам, и женщинам, особое место в образовании женщин должны занимать классические языки.

В массовом своем проявлении практика образования в эпоху Возрождения сохраняет черты средневековой школы, однако к XVI в. некоторые гуманистические идеи воплощаются в жизнь и появляются новые типы школ.

К середине XVI в. огромное развитие получили школы иеронимитов – монашеского ордена братьев общей жизни. Школы учреждались религиозными общинами, процесс обучения и его организация основывались на гуманистических идеях и возглавлялись крупными педагогами-гуманистами. В содержание образования включались классические языки и литература, родной язык, разнообразные науки, исключалась схоластика. Позднее новые типы учебных заведений, возникшие в позднем Возрождении, развивались и трансформировались в период Реформации.

#### Литература:

1. История образования и педагогической мысли. Режим доступа: <http://tulpar.kpfu.ru> Дата обращения: 10 июня 2017 г

2. Шмидт К. История педагогики, изложенная во всемирно-историческом развитии и в органической связи с культурною жизнью народов. - Т. 3. История педагогики от Лютера до Песталоцци. - М., 2000. - С. 759.

3. Пиков Г.Г. Средневековая система образования и университеты. Режим доступа: <http://gklass.nsu.ru/koi/gum/medieval/univer.htm>  
Дата обращения: 10 июня 2017 г.

4. Нечаева С.В. Студенческие нации в позднесредневековых итальянских университетах // Традиции образования и воспитания в Европе XI-XVII веков. - Иваново: ИвГУ, 1995. - С. 48.

5. Таценко Т.Н. Немецкие студенты-юристы в итальянских университетах в XV-XVI вв. // Средние века. Вып. 60. - М.: Наука, 1997. С. 300.

*Магомедова Роза Мусаевна*

*Дагестанский государственный педагогический университет  
Доцент кафедры Истории, Доктор исторических наук.*

*Хурдаев Нариман Абдулганурович*

*К.и.н.,*

*Дагестанский государственный педагогический университет*

*Магомедмансурова Кистаман Баймирзаевна*

*Дагестанский государственный педагогический университет  
магистрант исторического факультета*

## ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОЛИТИКА В ОБЛАСТИ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ В ПЕРИОД ПЕРЕСТРОЙКИ

**Аннотация.** Важнейшим итогом глубоких всеобъемлющих глобальных трансформаций середины 80-х – начала 90-х годов явилось создание новой единой системы мирохозяйственных и геополитических связей и зависимостей. На этой основе сложилась определенная система социальных, экономических и функционально-региональных различий, обусловленных уровнями развития. На основе анализа статистических данных, публикаций и трудов отечественных и исследователей, также анализе политики государства (СССР, РФ), обеспечивающей интеграцию в систему высшего образования, осуществления государственной власти по отношению к производству знаний, развитию экономики и культуры в статье исследуются основные аспекты государственной политики в период перестройки в развитии системы высшего образования и вузовской науки в стране. Авторы попытались раскрыть особенности развития и необходимость совершенствования вузовской науки и системы образования в период перестройки;

**Annotation.** The most important outcome of the deep transformations of comprehensive global mid 80 's-early 90-ies was the establishment of a new unified system of global economic and geopolitical ties and dependencies. On this basis, has developed a system of social, economic and functional-regional differences caused by levels of development. Based on the analysis of statistical data, publications and works of domestic and researchers, policy analysis also States (USSR, RF), providing integration into the higher education system of public authorities vis-à-vis the production of knowledge, development of economy and culture of this article takes a look at key aspects of public policy during the transition period in the development of higher education and high school science in the country. The authors tried to uncover features of development and the need to improve University Science and education during the adjustment period;

*Ключевые слова : наука, политика, государство, перестройка, образование.*

*Keywords: science, politics, State restructuring, education.*

Новый этап развития народного хозяйства страны определял важность научного анализа социально-экономических процессов, протекавших в социалистическом обществе. Как итог многих застойных явлений – в стране снизился общественный статус науки и престиж научной деятельности, а по ряду ведущих направлений произошло не только отставание науки, но и сформировалась ориентация на «догоняющее» развитие. «Ненормальным является то обстоятельство, что на долю академического сектора науки, выполняющего основной объем фундаментальных исследований, приходилось лишь 6,8% средств, выделяемых для научных исследований». [7 С.16]

Недостаточная в целом обеспеченность советской науки ресурсами привела к отставанию в развитии ее опытно-экспериментальных баз, моральному старению научного инструментального оснащения, снижению мобильности целей и методов науки, а в результате – к ряду отмечавшихся диспропорций в формировании научной политики и недостатков в уровне эффективности использования потенциальных возможностей науки.

В стране назрела потребность в изменении политики в отношении финансирования НИОКР. Отсутствие или слабость организованного взаимодействия научных сил на местах приводит к неоправданному дублированию работ, отсутствию какой-либо кооперации в использовании дефицитного

оборудования и развитии маломощной экспериментально-производственной базы, эпизодичности в обмене научным опытом, искусственно усугубляемой нехваткой научных кадров отдельных специальностей. Все это относится к числу важнейших социальных резервов эффективности науки в решении как отраслевых, так и региональных проблем.

Академик С.Г. Струмилин утверждал, что «эффективность науки в качестве производительной силы прямо пропорциональна объему внедряемых знаний, умноженному на глубину их усвоения и широту распространения среди трудящихся». [11 С.45]

Стыковка вузовской науки с предельно централизованной промышленностью оказалась сложной, а главная причина этого – маловосприимчивость производства к научным достижениям. Экстенсивная экономика не в состоянии органично соединить науку и производство, она мало заинтересована в научных разработках.

Анализируя ситуацию, академик Л.И. Абалкин писал в 1984 году: «Становится все более ясным и очевидным, что советское общество подошло к рубежам, которые в определенном смысле имеют переломный характер. Назрели глубокие, революционные сдвиги в материально-технической базе и во всей сфере общественных отношений. Необходимость осуществить эти преобразования и отражает идея слияния двух революций – научно-технической и социальной». [1 С.68]

11 июня 1985 года в ЦК КПСС состоялось совещание по вопросам ускорения НТП. В нем приняли участие крупные ученые, партийные и правительственные деятели, производственники. В докладе «Коренной вопрос экономической политики партии» острейшей критики М.С. Горбачев направил в основном в производство, отталкивающее, по существу, достижение науки и техники. Причиной такого положения, по мнению генсека, являлись: жесткость плана, отсутствие маневра в финансово-хозяйственной деятельности предприятий, погоня за пресловутым «валом», рост себестоимости и цены продукции, большой риск внедрения разного рода новшеств, слабое знание своей компетенции Госкомитета по науке и технике и др. Отметив важную роль создаваемых в рамках Академии наук комплексных межотраслевых научно-технических центров, М.С. Горбачев высказал надежду на более полное использование возможностей АН СССР, вузовской и отраслевой науки. [10 С.101]

Довольно серьезный упор делался на техническое перевооружение производства. По этим проблемам было принято постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О широком распространении новых методов хозяйствования и усиления их воздействия на ускорение научно-технического прогресса» от 12 июля 1985 года. [8 С. 29] Однако этот важный документ оставил в стороне проблемы собственно науки. Никаких заданий и предложений АН СССР, Минвузу и соответствующим республиканским органам дано не было. Даже Госкомитету СССР по науке и технике было поручено лишь одно

– принять меры по улучшению работы по аттестации продукции. Но, учитывая атмосферу всеобщего оптимизма по поводу грядущих перемен, следует отметить, что данное постановление ЦК партии и правительства явилось для того периода достаточно радикальным, его решения виделись средством серьезного прорыва в области НТП. Расширяя самостоятельность предприятий, постановление разрешило их руководителям перераспределять средства фонда развития производства и единого фонда развития науки и техники. За 1985-1986 гг. государственные расходы на науку были резко сокращены – с 28,6 до 21,2 млрд. руб., причем на гражданский сектор науки расходы составили только 6,8 млрд. руб. [9 С.25]

К середине 80-х годов становился более очевидным тот факт, что решение ряда первоочередных по своей принципиальной важности научных проблем невозможно только путем накопления значительного объема информации и ее переработки на основе идей и методов данного научного направления. Настала необходимость выработки качественно новых идей, отличавшихся от принятых ранее несравненно большей широтой и универсальностью.

В 1985-1987 гг. планы научных институтов и вузов были по-прежнему перегружены недостаточно актуальными и малоперспективными темами. Тематика НИОКР была слабо увязана с планами производства и капитального строительства. Порядок планирования и финансирования исследований характеризовался централизацией принятия всех управленческих решений в этой области, что по-прежнему приводило к значительным затратам труда и времени на согласование планов НИОКР, отвлекая научных работников от решения перспективных вопросов.

Перестройка управления экономикой, вызревшая в недрах кризиса, трам.: появились признаки мо-|||, нежели движение экономики страбовала серьезного обновления политических институтов, слома бюрократических настроений в деятельности государственного и хозяйственного аппарата. Она предполагала последовательное обновление КПСС, ведение демократизации, гласность, коренные изменения в социальных отношениях, включая неуклонное соблюдение принципа распределения по труду, возвышения авторитета честного высокопроизводительного труда. Именно эти вопросы и стояли в центре внимания участников XIX Всесоюзной партконференции (июль 1988 г.) и XXVIII съезда КПСС (июль 1990 г.), Пленумов ЦК партии, Съездов народных депутатов СССР и РСФСР 1989-1991 гг., означавших начало качественно нового этапа развития общества - практической реализации идей перестройки. Речь шла не о частичных усовершенствованиях системы управления, административной реорганизации, а о качественных изменениях в содержании, функциях, формах и методах работы. В идейно-теоретическом плане - это конкретизация концепции перестройки. В практическо-политическом плане - это реформа

системы управления, которая диктовалась потребностями самой жизни, в том числе и ее научной сферы.

Какой характер приобретала государственная политика в области науки и НТП в процессе генезиса перестройки? Во главу угла ставилась задача обеспечения разработки и реализации комплексной программы научно-технического прогресса, целевых программ по решению важнейших научно-технических проблем. В качестве основных направлений НТП выделялись: усиление связи науки с производством; расширение автоматизации самих НИР; усиление взаимодействия общественных, естественных и технических наук; повышение эффективности использования научного потенциала вузов; совершенствование организационной структуры научных учреждений; улучшение системы научно-технической информации и патентно-лицензионной работы; развитие массового творчества изобретателей и рационализаторов.

Прогнозирование научно-технического прогресса, как справедливо отмечает Г.М. Добров, - дело сложное и ответственное. Оно требует не только глубокого проникновения в сущности и закономерности развития науки и техники, но и ясного представления о взаимодействии их с общественными условиями использования достижения НТП. [ 6 С.10 ]

Для научной революции в новых условиях часто используют, перерабатывая до конца, старое. Как указывает В.И. Вернадский, «...в старом давно уже таились и подготавливались элементы нового. Часто сразу и внезапно это старое появляется в новом облике, старое сразу освещается. Это и есть образ созидания, но не разрушения, образ невидимого нам решения, но явно закономерно шедшего процесса, ожидавшего для своего выявления своего завершения». [ 5 С.232 ]

Тенденции оторванности основных наукоемких производств друг от друга стали более уязвимыми в регионах. Особенностью научного потенциала республик является высокий удельный вес научных работников, имеющих ученую степень.

Научный потенциал, призванный удовлетворять потребности народного хозяйства республики необходимыми исследованиями и разработками, был довольно значителен.

Создание нового облика советской науки связывалось с тремя стратегическими целями государственной политики в научной и научно-технической сфере. Первая - совершенствование аттестации научных кадров. Вторая - демократизация всех звеньев Академии наук СССР. Третья - поиск новых форм и механизмов организации научных исследований.

Первая цель затрагивала деятельность диссертационных советов и Высшей аттестационной комиссии при Совете Министров СССР. Она приобрела еще большую актуальность в связи с предьявляемыми в условиях "перестройки" к науке новыми требованиями. Они были обусловлены: введением в научный оборот огромного количества новых до-

кументов, новой информации, расширением научного кругозора, что настоятельно требовало пересмотра многих сложившихся представлений.

В новом "Положении...", утвержденном Советом Министров СССР в декабре 1989 года отмечено, что критерием присуждения ученой степени являются только профессионализм, высокая компетентность соискателя, соблюдения им законов страны. Также подчеркивалось, что система аттестации должна не подавлять, а поощрять свободное научное творчество в самом высоком смысле этого слова, должна способствовать формированию нестандартных, оригинальных идей, стимулировать плюрализм мнений, здоровое соревнование научных школ. [ 4 С.2-3 ]

Принятие нового "Положения..." внесло новые требования в процедуру представления, принятия спецсоветами диссертаций к защите. В преддверии принятия новых требований, в 1988 - 1989 гг., число утвержденных ВАК докторских диссертаций снизилось по историческим (со 190 до 168), химическим (с 228 до 212), биологическим (с 306 до 288), геолого-минералогическим (с 126 до 118), географическим (с 41 до 27), юридическим (с 67 до 46), медицинским (с 645 до 628) фармацевтическим (с 24 до 18) наукам. Но в целом по стране и по Российской Федерации число лиц, получивших докторские степени, постоянно росло: в 1987г. соответственно - 3190 и 1952, 1988г. - 4149 и 2230, 1989г. - 4193 и 2314, 1990г. - 5067 и 3064, 1991г. - 6326 и 3086. По кандидатским диссертациям, как по СССР (с 31860 до 29541), так и по России (с 28920 до 16518) заметно в 1988 - 1989 гг. [ 3 С.16. ]

Особую озабоченность ВАК вызывало положение дел в общественных и гуманитарных науках, чему был посвящен пленум ВАК СССР 5 июля 1991г. Речь шла не просто об исправлении конкретных деформаций и искажений в этой области знаний, вызванных догматизмом теории в эпоху застоя, а было необходимо придать ему статус свободной научной деятельности.

Общая картина состояния практики аттестации научных и научно-педагогических кадров в области общественных и гуманитарных наук была в рассматриваемые годы неоднозначной, даже противоречивой. Наблюдался постоянный, стабильный рост количества специализированных советов по защите диссертаций: в 1985 г. их было 750, в 1990 г. - более 1100. В то же время, около 45% всех спецсоветов было в вузах и НИИ Москвы, около 20-25% - Ленинграда. Слабо в этом смысле были представлены города провинции.

Все рассматриваемые годы наблюдалась общая тенденция к росту количества защит кандидатских и докторских диссертаций по общественным и гуманитарным наукам. Обобщенные цифры выглядели следующим образом: в 1988г. ВАК СССР снял с контроля 7965 кандидатских диссертаций, в 1989г. - 7510, в 1990г. - 8164. В 1988г. президиум ВАК СССР присудил ученую степень доктора наук 863 ученым, в 1989г. - 904, в 1990г. - 1214. Как видно, наблюдался весьма существенный рост докторских диссертаций. Наибольший прирост в

1990г. по сравнению с 1989г. дали экономисты: 380 докторских диссертаций утверждено в 1990г. (по сравнению с 251 - в 1989г.) и историки, соответственно 234 - в 1990г. и 168 - в 1989г. [4 С.3 ]

В целом, есть основания утверждать, что работа по аттестации научных кадров в стране за рассматриваемые годы усилилась. Конъюнктуре и идеологической заданности науки были противопоставлены профессионализм, компетентность, скрупулезное изучение данных опытов и экспериментов, документальных источников, известная отстраненность от сиюминутных политических и идеологических требований.

В целом, рассмотренный в главе период интересен не только тем, что хронологически завершал целую эпоху в истории СССР. Это период глубокого поиска, огромного творческого напряжения ученых по оптимизации общественных, прежде всего, экономических отношений, реализации задач научно-технического прогресса. Научная сфера сохранила свою силу и источники саморазвития. Поиск ученых во многом способствовал тому, что в недрах так называемого застоя вызревали ростки нового понимания сущности экономического строя в СССР и необходимости перестройки всей системы общественного устройства. Наука много сделала в разработке концепции перестройки и в попытках преодоления стихии в ее реализации.

Но перестройка потерпела крах. С ним стали ненужными все поиски науки. Главная причина этого состояла в том, что борьба вокруг экономической реформы имела громкое политическое звучание и серьезные политические выводы. Смысл их, по свидетельству Г.Шахназарова, точно передал Председатель Советского Правительства Н.И.Рыжков: никакая реформа не будет иметь успеха, если до ее начала не вернуть государству хотя бы минимум авторитета и эффективность функционирования. [12 С.18-19] Иначе говоря, власть Горбачевым была по существу потеряна еще осенью 1990г.

Попытки первого Президента СССР, одновременно Генсека КПСС, а также партией власти усилить административное давление, привело к обратному результату. Непонимание своих прямых

функций, ошибки в решении многих глобальных и частных вопросов науки и НТП, формализм руководстве КПСС - все это дискредитировало государственную политику в научной и научно-технической сфере. В глазах научной интеллигенции такая политика привела к потере политического авторитета КПСС как лидера общества.

### Литература

1. Абалкин Л.И. Формирование современного экономического мышления //Коммунист. 1984. №18. С. 68.
2. Бюллетень Высшей аттестационной комиссии при Совете Министров СССР. 1991. №6.С.2-3.
3. Бюллетень Высшей аттестационной комиссии при Совете Министров СССР. 1998. №3.С. 16.
4. Бюллетень Высшей аттестационной комиссии при Совете Министров СССР. 1991. №6.С. 3.
5. Вернадский В.И. Избранные труды по истории науки. М., 1981. С. 232.
6. Добров Г.М. Наука о науке. Киев.1989. С. 10.
7. Горбачев М.С. О ходе реализации решений XXУ11 съезда КПСС и задачи по углублению перестройки //Коммунист. 1988. №10. С. 16. К
8. КПСС в резолюциях... Т. 15.С. 29-35.
9. Наука СССР в цифрах: 1990 г. М., 1991. С. 25.
10. Ускорение социально-экономического развития страны – задача всей партии, всего народа. Сб. докладов. М., 1986. С. 70-101
11. Проблемы мира и социализма. 1963. №4. С. 45.
12. Шахназаров Г. Реформы Горбачева глазами его помощника (неизданная рукопись) Гл.9. С.18-19. Цит. по Боффа Дж. От СССР к России. История неоконченного кризиса. 1964 -1994. М., 1996. С.219.

## **ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**Владислав Юрчиньски**

*канд. техн. наук, ст. wykł. PWSZ w Kaliszu*

*техн. наук*

**Сорокин С. В.**

*ст. wykł. ПГАУ-МСХА им. К. А. Тимирязева*

### **УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОСЛОЙНОЙ УКЛАДКИ ПРОДУКТОВ В ТАРУ**

Изобретение относится к агропромышленному оборудованию, в частности, к укладчикам штучных продуктов в тару, устанавливаемых в роботизированных линиях фасования, укладки и упаковки различных продуктов в тару (коробки, контейнеры). В последние годы наблюдается широкое внедрение автоматизированной укладочной техники, позволяющей исключить монотонный ручной труд. Изобретение позволяет повысить производительность и надежность работы устройства. Предлагаемое устройство для послойной укладки продуктов в тару содержит транспортеры подачи продукта, его отвода в упаковочную машину, механизм укладки продуктов в тару, снабженный вакуумным схватом с присосками и систему автоматического управления. Для достижения заявленного технического результата механизм укладки содержит два серводвигателя, приводящих последовательно соединенные синусные механизмы, к выходным звеньям которых смонтирован четырехзвенный шарнирный механизм, оснащенный вакуумным схватом, перемещающимся без динамических ударов. При этом второй серводвигатель установлен на выходном звене первого серводвигателя и четырехзвенный шарнирный механизм выполнен в виде параллелограмма со стабильным горизонтальным положением плоскости удержания продукта над подающим и отводящим транспортерами. Структура и кинематика механизма укладки позволяют повысить производительность, исключить подъемник тары и воспроизводить траекторию схвата при многослойной укладке продукта в тару близкую к вертикали, что значительно повышает надежность его работы.

#### **УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОСЛОЙНОЙ УКЛАДКИ ПРОДУКТОВ В ТАРУ**

Изобретение относится к укладочной технике и может быть использовано в упаковочных линиях, например, для послойной укладки мучнисто-кондитерских, молочных, мясных и других продуктов в торговую тару. Известно устройство для укладки штучных продуктов [1,2] ( прототип), механизм укладки которого содержит два ползуна, совершающих возвратно – поступательное циклическое движение по неподвижной горизонтальной направляющей, а также два шатуна, каждый из которых шарнирно связан с соответствующим ползуном. При этом шатуны также шарнирно соединены между собой. Выходным звеном в данном механизме служит шатун, на конце которого установлен вакуумный схват с присосками. Работа устройства осуществляется следующим образом. Ползуны, являясь ведущими звеньями, приводятся в движение

от двух серводвигателей, управление которыми выполняет программируемый контроллер. В начальном положении схват находится над продуктом на подающем транспортере. Под действием созданного вакуума схват захватывает продукт и осуществляет рабочий ход по криволинейной траектории до остановки над тарой, расположенной на транспортере упаковочной машины. После снятия вакуума продукт освобождается от присосок и помещается в тару. Холостой ход к начальному положению схвата осуществляется при реверсивном движении ползунов. Недостатками этого устройства являются невозможность многослойной укладки продукта и, следовательно, незначительная производительность, жесткие динамические удары в моменты реверсирования двигателей, а также отличный от вертикали угол опускания продукта в тару, что снижает надежность работы данного устройства. Для реализации многослойной укладки ряд устройств содержит подъемник тары [3,4], периодически опускающий тару на высоту продукта. Его наличие усложняет конструкцию, а также снижает надежность ее работы. Сущность изобретения заключается в том, что предлагаемое устройство для послойной укладки продуктов в тару содержит транспортеры подачи продукта, его отвода в упаковочную машину, механизм укладки продуктов в тару, снабженный вакуумным схватом с присосками и систему автоматического управления. Механизм укладки состоит из двух серводвигателей, приводящих последовательно соединенные синусные механизмы, к выходным звеньям которых смонтирован четырехзвенный шарнирный механизм, оснащенный вакуумным схватом, перемещающимся без динамических ударов. При этом второй серводвигатель установлен на выходном звене первого синусного механизма и четырехзвенный шарнирный механизм выполнен в виде параллелограмма со стабильным горизонтальным положением плоскости удержания продукта над подающим и отводящим транспортерами. Кроме того, структура и кинематика механизма укладки воспроизводят траекторию схвата при многослойной укладке продукта близкую к вертикали, что значительно повышает надежность его работы.

Заявляемое изобретение позволяет повысить производительность и надежность работы устройства.

Устройство для послойной укладки продуктов в тару содержит (фиг. 1) станину 0, периодически движущийся транспортер 1 подачи продукта, также шаговый, синхронно движущийся с первым транс-

портер 2 подачи тары 3, серводвигатели с редукторами 4,5, кривошипы 6, 7 и ползуны (выходные звенья) 8,9 двух синусных механизмов, шатун 10, шатуны 11, 12, 13, образующие параллелограмм, и вакуумный схват 14. Система автоматического управления состоит из датчиков наличия продукта на подающем транспортере 1 и тары на транспортере 2 упаковочной машины, величины вакуума в присосках и программируемого двухосного контроллера, задающего перемещения выходных звеньев 8, 9 синусных механизмов. В случае отсутствия продукта или тары работа устройства блокируется. Эта система также обеспечивает создание вакуума в присосках при захвате продукта и сброс вакуума при его помещении в тару. Вакуумный схват, гарантирующий сохранение формы и структуры низкопрочных продуктов (печенье, кекс, пастила и др.), представляет собой тонкую прямоугольную коробку, снабженную легкодеформируемыми силиконовыми присосками. Коробка присоединена к вакуумной системе, содержащей гибкий шланг и вакуумный насос. Глубина вакуума в коробке назначается с учетом массы продукта, числа присосок, диаметра отдельной присоски и ускорения коробки при рабочем ходе. Высокая надежность и качество укладки такой продукции могут быть обеспечены только при безударном движении схвата с сохранением его горизонтальной ориентации. Наличие синусных механизмов позволяет воспроизвести безударные законы движения звеньев и схвата. Требуемая стабильная ориентация схвата достигается тем, что в механизм укладки вводится четырехзвенный шарнирный механизм в виде параллелограмма. Механизм укладки работает следующим образом. Кривошип 6 получает вращательное движение через редуктор от серводвигателя 4, а кривошип 7 соответственно от аналогичного двигателя 5. Двигатель 4, его редуктор и кривошип 6, установленные на станине 0, приводят в возвратно – поступательное движение ползун 8. Двигатель 5, его редуктор и кривошип 7, смонтированные на выходном звене 8 первого синусного механизма, также сообщают возвратно – поступательное движение ползуну 9. Кинематическая связь кривошипов 6,7 с выходными звеньями 8, 9 осуществляется посредством роликов. Таким образом, выходное звено 9 второго синусного механизма совершает составное движение, которое можно представить в виде суммы переносного с кинематическими параметрами звена 8 и относительного (при мысленно неподвижном ползуне 8) с параметрами звена 9. Задаваемые системой управления перемещения ползун 8, 9 определяют положение параллелограмма 11, 12, 13 и одновременно траекторию (фиг.2) центра М схвата. Углы поворота кривошипов 6 и 7 согласованы и они вращаются по законам:  $\varphi_1(t) = \omega t$ ;  $\varphi_2(t) = 2\omega t$ , здесь  $\omega$  – угловая скорость кривошипа 6. Кинематический цикл –  $T = t_{px} + t_{xx}$  состоит из времени рабочего хода (рх) в пределах  $0 \leq t_{px} \leq \frac{T}{2}$  и

холостого хода (хх)  $\frac{T}{2} \leq t_{xx} \leq T$ . При групповой однослойной укладке в коробку, например, 4 штук и производительности  $Q = 120 \frac{шт}{мин}$  равноделенный кинематический цикл составит  $T = 2c$ . В момент начала рабочего хода при  $t_{px} = 0$ , углы поворота кривошипов составляют:  $\varphi_1(t) = 0$ ;  $\varphi_2(t) = 0$ , то есть оба ведущих звена 6 и 7 находятся в левом горизонтальном положении. В течение рабочего хода ( $t_{px} = 1c$ ) схват 14 осуществляет захват продуктов на транспортере 1, их перемещение и укладку в тару 3, расположенную на транспортере 2. За это время углы поворота кривошипов составят:  $\varphi_1(t) = \pi$ , то есть кривошип 6 займет крайнее правое положение;  $\varphi_2(t) = 2\pi$ , что означает возврат кривошипа 7 в начальное положение. После снятия разряжения в присосках продукты оказываются в таре 3. За время холостого хода ( $t_{xx} = 1c$ ) при одностороннем вращении кривошипов 6,7 происходит возврат схвата в начальное положение, при котором  $\varphi_1(t) = 0$ ,  $\varphi_2(t) = 0$  и оба кривошипа располагаются в левом предельном положении. В течение этого времени транспортер 1 подает очередную группу продуктов, а транспортер 2 новую тару. В случае однослойной укладки по схеме 4x1 полный рабочий цикл, соответствующий указанной производительности, с учетом времени последовательной подачи двух тар составит 8с. С целью повышения производительности предлагаемое устройство обеспечивает многослойную укладку продуктов без дополнительного подъемника тары.

Заявляемый технический результат достигается следующим образом. Программируемый контроллер подает на серводвигатели 4 и 5 управляющие сигналы, которые определяют представленные функции перемещений ползун 8 и 9:

$$X_8 = f_1 \left[ P_1 \sin^2 \left( \frac{\pi t}{T} \right) \right];$$

$$X_9 = f_2 \left[ P_2 \sin^2 \left( \frac{\pi t}{T} \right) + P_3 \sin^2 \left( \frac{2\pi t}{T} \right) \right].$$

Здесь  $P_1, P_2, P_3$  – параметры, зависящие от

числа слоев в таре и высоты продукта  $h$ . Если рабочий цикл (время заполнения одной тары) включает трехслойную укладку, то для первого кинематического цикла (продукты помещаются на дно тары) в контроллер вводятся указанные параметры при  $h = 0$ , для второго цикла другие параметры, например, при  $h = 0,1m$  и для третьего цикла соответственно  $h = 0,2m$ . Рабочий цикл предлагаемого устройства при той же производительности и одинаковом кинематическом цикле для схемы

укладки 4x3 будет равен 6с. Таким образом, производительность заявляемого устройства больше на 25%.

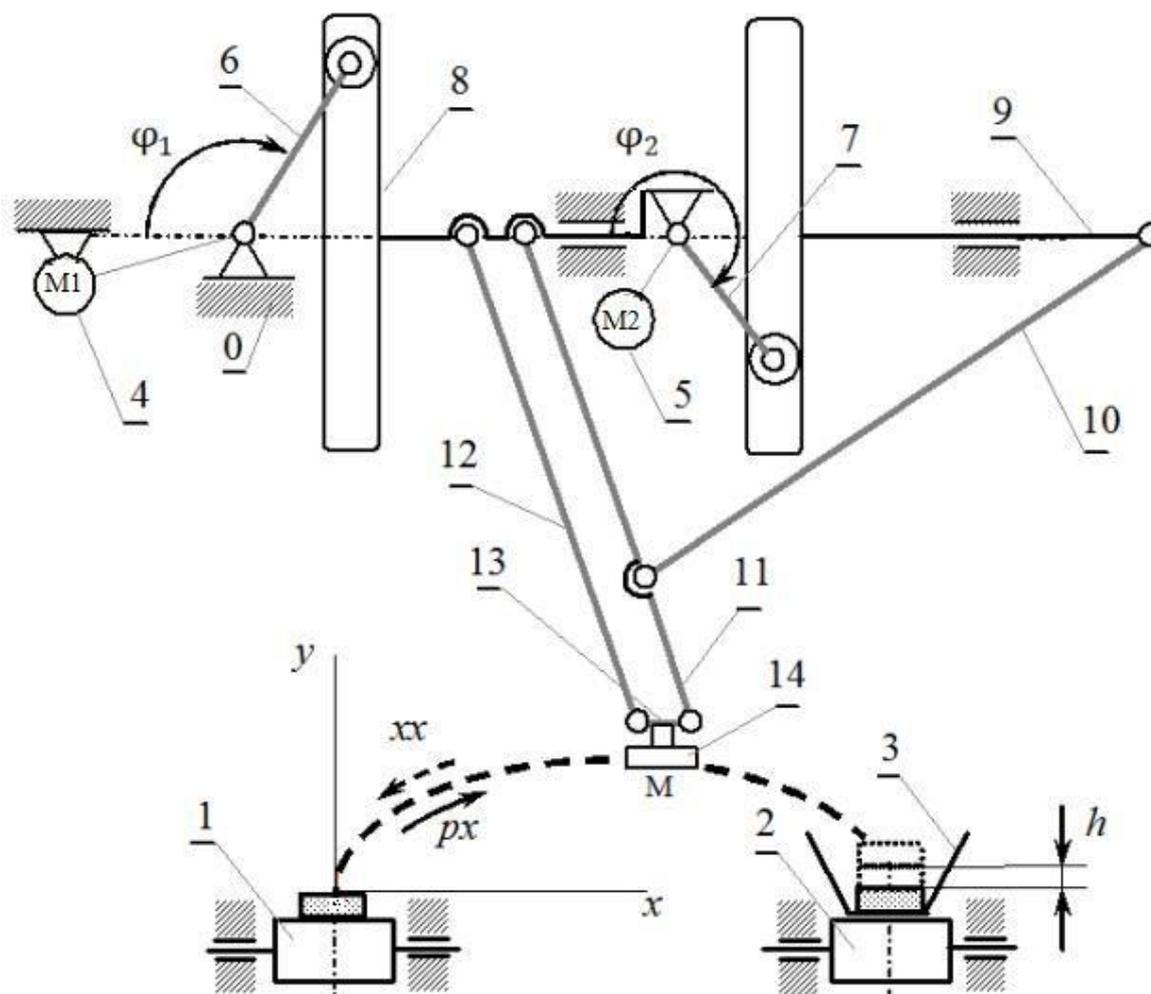
Структура и кинематика механизма укладки позволяют воспроизводить семейство траекторий центра М схвата при многослойной укладке продукта в тару близкую к вертикале, что значительно повышает надежность его работы.

Таким образом, предлагаемое изобретение содержит существенные отличия, обеспечивающие повышение производительности и надежности работы устройства.

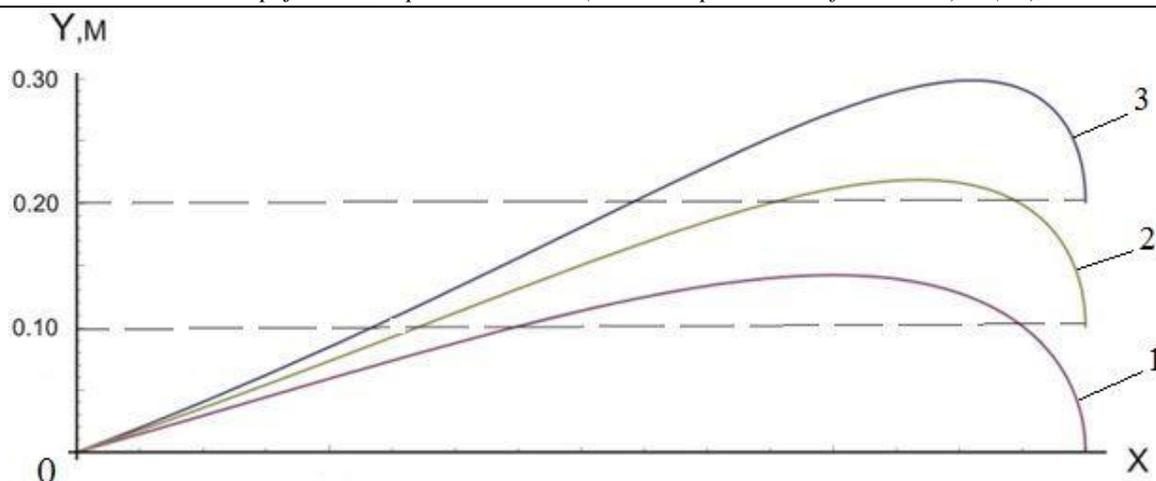
#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Устройство для послойной укладки продуктов в тару, включающее транспортеры подачи продукта, его отвода в упаковочную машину, механизм

укладки продуктов в тару, снабженный вакуумным схватом с присосками и систему автоматического управления, отличающееся тем, что механизм укладки содержит два серводвигателя, приводящих последовательно соединенные синусные механизмы, к выходным звеньям которых смонтирован четырехзвенный шарнирный механизм, оснащенный вакуумным схватом, перемещающимся без динамических ударов. 2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что второй серводвигатель установлен на выходном звене первого синусного механизма. 3. Устройство по пп.1 и 2, отличающееся тем, что четырехзвенный шарнирный механизм выполнен в виде параллелограмма со стабильным горизонтальным положением плоскости удержания продукта над подающим и отводящим транспортерами.



Фиг.1



Фиг.2

**Перечень фигур** Фиг.1. Предлагаемое устройство для послойной укладке продуктов в тару  
Фиг.2. Траектории центра схвата при укладке: 1– первый слой; 2–второй; 3–третий.

#### Источники информации

1. Robotic stacker of piece products / Pavlov A. E., Sorokin S. V., Pavlova L. A. // European Science and Technology [Text]. Materials of the VI interna-

tional research and practice conference. Vol. 1, Munich–Germany, 2013. P.16–23. –ISBN 978-3-941352-29-2

2. Строение и кинематика укладчиков штучных продуктов / М.И. Белов, А.Е. Павлов, С.В. Сорокин // Тракторы и сельхозмашины. –ISSN 0235-8573.-2013.–№ 2. С.25–28.

3. Патент RU № 135621 U1 МПК B65B 5/10, 2013 г.

4. Патент RU № 2378168 C2 МПК B65B 5/10, 2007 г.

**Burmakа I.A.**

*PhD, associate professor,  
National University «Odessa Maritime Academy»*

**Ryatakov E.N.**

*PhD, associate professor,  
National University «Odessa Maritime Academy»*

**Бурмака Игорь Алексеевич**

*кандидат технических наук, доцент,  
Национальный университет "Одесская морская академия"*

**Пятаков Эдуард Николаевич**

*кандидат технических наук, доцент,  
Национальный университет "Одесская морская академия"*

## MANOEUVRE OF SUCCESSIVE DIVERGENCE WITH TWO TARGETS BY CHANGE OF COURSE AND PASSIVE BRAKING

### МАНЕВР ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО РАСХОЖДЕНИЯ С ДВУМЯ ЦЕЛЯМИ ИЗМЕНЕНИЕМ КУРСА И ПАССИВНЫМ ТОРМОЖЕНИЕМ

**Summary:** The combined maneuver of divergence of ship with two dangerous targets is considered by the successive change of course, and then decline of speed by the passive braking. Analytical expressions and algorithm of calculation of parameters of safe maneuver of divergence are got. For the situations of divergence of ship with two targets the combined maneuver of successive change of course and speed offers procedure of forming of region of dangerous values of parameters of strategy of divergence.

Expressions for formalization of scopes of region of impermissible values of courses and speeds of ship of the combined maneuver at the decline of speed by the passive braking are got. The numeral example of forming of region of impermissible parameters of the combined maneuver of divergence of ship by the decline of speed by the passive braking is resulted.

*Keywords: safety of navigation, divergence of vessels at dangerous rapprochement, combined maneuver of divergence, region of dangerous parameters of motion of ship.*

**Аннотация:** Рассмотрен комбинированный маневр расхождения судна с двумя опасными целями последовательным изменением курса, а затем снижением скорости пассивным торможением. Получены аналитические выражения и алгоритм расчета параметров безопасного маневра расхождения. Для ситуаций расхождения судна с двумя целями комбинированным маневром последовательного изменения курса и скорости предложена процедура формирования области опасных значений параметров стратегии расхождения.

Получены выражения для формализации границ области недопустимых значений курсов и скоростей судна комбинированного маневра при снижении скорости пассивным торможением. Приведен численный пример формирования области недопустимых параметров комбинированного маневра расхождения судна снижением скорости пассивным торможением.

*Ключевые слова:* безопасность судовождения, расхождение судов при опасном сближении, комбинированный маневр расхождения, области опасных параметров движения судна.

### **Постановка проблемы.**

Важнейшей проблемой повышения безопасности судовождения является снижение аварийности судов при плавании в стесненных водах.

Быстротекущее изменение навигационной обстановки при плавании судна в стесненных водах требует разработки оперативных методов оценки опасности сближения и расчета параметров безопасного маневра расхождения в ситуациях сближения как с одной, так и с несколькими целями. Следовательно, разработка способов управления судами, которые опасно сближаются, чему посвящена данная статья, является актуальным и перспективным научным направлением.

### **Анализ последних достижений и публикаций.**

Вопросам предупреждения столкновений судов посвящены многие работы отечественных и зарубежных ученых.

Принципы локально-независимого и внешнего управления процессом расхождения опасно сближающихся судов рассмотрены в работе [1], а также приведен анализ методов их реализации, причем в работе [2] приведено подробное исследование методов локально-независимого управления и предложен метод формирования гибких стратегий расхождения. В работе [3] рассмотрены взаимодействия судов в ситуации опасного сближения и выбор стратегии расхождения для предупреждения их столкновения, а экстренная стратегия расхождения в ситуации чрезмерного сближения судов предложена в работе [4]. В монографии [5] освещен ряд особенностей задачи расхождения судов в море и приведен метод предупреждения столкновения судов путем смещения на параллельную линию пути.

Управления тремя судами для безопасного расхождения рассмотрено в работе [6], а в публикации [7] указывается, что СУДС, как правило, не имеет технических возможностей контролировать движение судов на участках их скопления и для уклонения от столкновения в статье предложен новый фуззи-метод. Используя аналитическую модель морской системы GIS может быть получено точное прогнозирование времени столкновения и позиции. Предложенный метод дает оператору СУДС возможность принятия решений по предупреждению столкновения судов.

В работе [8] излагается теоретическое обоснование автономной судовой системы уклонения от

столкновения СА. Отмечается, что исследования по автоматизации управления судном могут быть представлены классическим подходом, основанным на математических моделях и алгоритмах, или компьютерной технологией, использующую искусственный интеллект. Метод оценки риска столкновения с использованием режима истинного движения рассматривается и обсуждается в работе [9]. В статье вводятся линия прогнозируемого столкновения (ЛОПС) и зона препятствий по цели (OZT) для оценки риска столкновения, эти значения связаны с истинным движением, и это дает возможность выявить ситуации опасного сближения и обеспечить безопасное плавание в стесненных водах.

Особенности внешнего управления процессом расхождения опасно сближающихся судов рассмотрены в работах [10, 11], для реализации которого используются области опасных курсов и опасных скоростей пары судов.

### **Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.**

В рассмотренных работах выбор стратегии расхождения судна производится в ситуациях его опасного сближения с одной целью, хотя при плавании в стесненных водах с интенсивным движением зачастую возникают ситуации опасного сближения судна с двумя целями. В лучшем случае судну удастся произвести маневр расхождения общим уклонением от обеих целей, однако зачастую такой маневр невозможен и судну приходится выполнять два последовательных маневра расхождения с каждой из целей.

В данной статье рассмотрим расхождение судна с двумя опасными целями последовательными маневрами: изменением курса для расхождения с первой целью, а затем - снижением скорости пассивным торможением производится безопасное расхождение со второй целью.

### **Цель статьи.**

Цель статьи заключается в разработке метода последовательного расхождения судна с двумя целями изменением курса и пассивным торможением.

### **Изложение основного материала.**

Допустим, в начальный момент времени судно с параметрами движения  $K_C$  и  $V_C$  опасно сближается с двумя целями, параметры движения которых  $K_1, V_1, K_2$  и  $V_2$ . Относительная позиция

судна и целей характеризуется пеленгами  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ , а также дистанциями  $D_1$  и  $D_2$ . Сближение судна с целями характеризуется относительными курсами  $K_{oto1}$  и  $K_{oto2}$ , которые, как следует из

рис. 1, проходят внутри предельно - допустимых кругов радиусом  $D_d$ , что свидетельствует об опасности сближения.

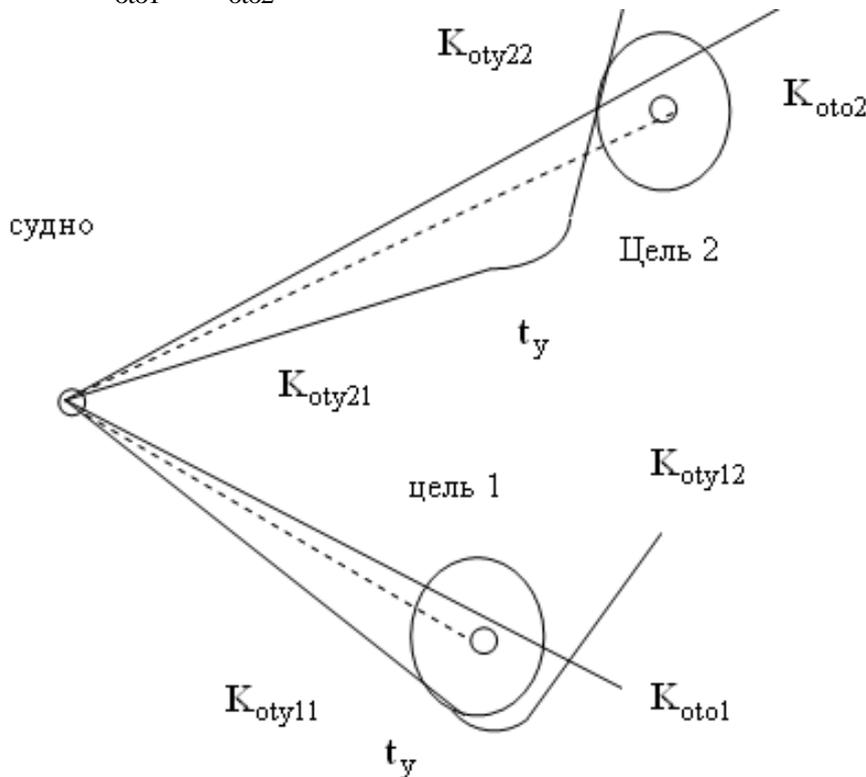


Рис. 1. Ситуация опасного сближения судна с целями

В приведенной ситуации рассмотрим комбинированный маневр расхождения судна с целями последовательно изменением курса для уклонения от первой цели и пассивным торможением для того, чтобы пропустить вторую цель.

Безопасный относительный курс уклонения (вправо, влево) относительно первой ближайшей цели определяется с помощью очевидного выражения:

$$K_{oty11}^{(s,p)} = \alpha_1 \pm \arcsin\left(\frac{D_d}{D_1}\right),$$

а соответствующий истинный курс [1]:

$$K_y^{(s,p)} = K_{oty11}^{(s,p)} + \arcsin[\rho^{-1} \sin(K_1 - K_{oty11}^{(s,p)})].$$

$$\text{где } \rho = \frac{V_c}{V_1}.$$

При повороте судна с постоянной угловой скоростью приращение его координат  $\Delta x_c$  и  $\Delta y_c$  рассчитывается по следующим формулам [2]:

$$\Delta x_c = \frac{V_c}{a_\omega} (\cos K_c - \cos K_y),$$

$$\Delta y_c = \frac{V_c}{a_\omega} (\sin K_y - \sin K_c),$$

где  $a_\omega$  - угловая скорость поворота судна.

Изменение координат первой цели  $\Delta x_1$  и  $\Delta y_1$  за время поворота  $\tau$ , учитывая неизменные параметры ее движения, определяются следующими очевидными выражениями:

$$\Delta x_1 = V_1 \tau \sin K_1,$$

$$\Delta y_1 = V_1 \tau \cos K_1,$$

$$\text{где время поворота } \tau = \frac{K_y - K_c}{a_\omega}.$$

С учетом полученных выражений  $\Delta x_1$ ,  $\Delta y_1$ ,  $\Delta x_c$  и  $\Delta y_c$ , а также длительности поворота  $\tau$  приращения относительных координат  $\Delta x_{ot1}$  и  $\Delta y_{ot1}$  между судном и первой целью принимают следующий вид:

$$\Delta x_{ot} = \frac{V_c}{a_\omega} (\cos K_c - \cos K_y) - V_1 \frac{K_y - K_c}{a_\omega} \sin K_1,$$

$$\Delta y_{ot} = \frac{V_c}{a_\omega} (\sin K_y - \sin K_c) - V_1 \frac{K_y - K_c}{a_\omega} \cos K_1,$$

где первая составляющая - криволинейное движение судна при повороте, а вторая составляющая - прямолинейное движение цели без изменения параметров движения.

Момент времени  $t_y$  завершения расхождения с первой целью и начала торможения для расхождения со второй целью определяется как момент времени достижения траверзного расстояния с первой целью, т. е.:

$$t_y = \frac{D_{1y} \cos[\alpha_{1y} - K_{oty11}^{(s,p)}]}{V_{oty11}^{(s,p)}},$$

где  $\alpha_{y1}$  и  $D_{y1}$  - пеленг и расстояние до первой цели на момент времени завершения поворота судна, которые учитывают приращения относительных координат  $\Delta X_{ot1}$  и  $\Delta Y_{ot1}$ ;

$V_{oty11}^{(s,p)}$  - относительная скорость сближения судна с первой целью на участке уклонения.

Чтобы убедиться в безопасности движения судна при уклонении от первой цели на рассчитанный момент времени  $t_y$  следует определить расстояние до второй цели  $D_2(t_y)$  с помощью выражения:

$$D_2(t_y) = \sqrt{\Delta X_{ot2}^2 + \Delta Y_{ot2}^2},$$

где  $\Delta X_{ot2}$ ,  $\Delta Y_{ot2}$  - приращение относительных координат между судном и второй целью, причем:

$$\Delta X_{ot2} = D_2 \sin \alpha_2 - V_{oty21} t_{yo} \sin K_{oty21};$$

$$\Delta Y_{ot2} = D_2 \cos \alpha_2 - V_{oty21} t_{yo} \cos K_{oty21},$$

где  $K_{oty21}$  и  $V_{oty21}$  - относительные курс и скорость сближения судна со второй целью на участке уклонения.

Затем производится сравнение значений  $D_2(t_y)$  и  $D_d$ , причем в случае  $D_2(t_y) < D_d$  следует увеличивать значение приращения курса уклонения  $K_y^{(s,p)}$  до тех пор, пока  $D_2(t_y) > D_d$ . Для данного расстояния определяется пеленг  $\alpha_2(t_y)$  на вторую цель, причем сближение со второй целью при данном курсе является опасным. Маневр скоростью для расхождения со второй целью производится следующим образом. Задаемся начальными координатами судна  $X_c$ ,  $Y_c$  и второй

цели  $X_2$ ,  $Y_2$ , исходя из их относительной позиции на момент времени  $t_y$ :

$$X_c = 0, Y_c = 0, X_2 = D_2(t_y) \sin[\alpha_2(t_y)],$$

$$Y_2 = D_2(t_y) \cos[\alpha_2(t_y)].$$

Проверяем возможность безопасного расхождения остановкой судна в результате торможения. Для этого определяем выбег судна  $S$  и интервал времени  $\tau$  до остановки судна с учетом режима торможения. Координаты судна  $X_{cf}$ ,  $Y_{cf}$  и второй цели  $X_{2f}$ ,  $Y_{2f}$  на момент остановки судна  $t_y + \tau$  принимают значения:

$$X_{cf} = S \sin K_c, Y_{cf} = S \cos K_c,$$

$$X_{2f} = D_2(t_y) \sin[\alpha_2(t_y)] + V_2 \tau \sin K_2,$$

$$Y_{2f} = D_2(t_y) \cos[\alpha_2(t_y)] + V_2 \tau \cos K_2.$$

При этом дистанция между судном и второй целью  $D_{2f}$ :

$$D_{2f} = \sqrt{(X_{cf} - X_{2f})^2 + (Y_{cf} - Y_{2f})^2}$$

сравнивается с  $D_d$ . Если  $D_{2f} < D_d$ , то необходимо увеличить изменение курса уклонения судна от первой цели, в противном случае следует определить пеленг  $\alpha_{2f}$  на вторую цель в момент остановки  $t_y + \tau$ . Учитываем, что в данной ситуации относительный курс равен обратному курсу второй цели и определяем дистанцию кратчайшего сближения:

$$D_{\min 2f} = |D_{2f} \sin[\alpha_{2f} - K_2]|.$$

Если  $D_{\min 2f} \geq D_d$ , то безопасное расхождение со второй целью остановкой судна возможно. Более того, если  $D_{\min 2f} > D_d$ , то возможно расхождение снижением скорости до определенного значения  $V_{cy}$ , при котором справедливо равенство:

$$D_{\min 2f}(V_{cy}) = D_d.$$

В этом случае для пассивного торможения сниженному значению скорости соответствуют продолжительность переходного процесса  $\tau(V_{cy})$  и пройденное за это время расстояние  $S(V_{cy})$ , которые определяются выражениями:

$$\tau(V_{cy}) = \frac{(1+k)m}{\mu V_c} \left( \frac{V_c}{V_{cy}} - 1 \right),$$

$$S(V_{cy}) = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left| \frac{V_c^2}{V_{cy}^2} \right|.$$

Задаваясь различными курсами уклонения  $K_y^{(s,p)}$ , и соответствующими им скоростями  $V_{cy}$ , при сочетании которых дистанции кратчайшего сближения судна с обеими целями не меньше предельно – допустимой дистанции  $D_d$ , на плоскости  $K_y^{(s,p)} \times V_{cy}$  получаем границу области допустимых комбинированных маневров, позволяющей оперативно выбрать безопасный комбинированный маневр расхождения.

В качестве примера рассмотрим ситуацию опасного сближения судна с двумя целями со следующими параметрами (рис. 2):

$K_c = 80^\circ$ ,  $V_c = 23 \text{ уз}$ ,  $K_1 = 190^\circ$ ,  $V_1 = 20 \text{ уз}$ ,  $K_2 = 10^\circ$ ,  $V_2 = 21 \text{ уз}$ . Относительная позиция судна и целей характеризуется пеленгами  $\alpha_1 = 40^\circ$ ,  $\alpha_2 = 135^\circ$ ,  $D_1 = 3 \text{ мили}$  и  $D_2 = 5 \text{ миль}$ .

Для данной ситуации была сформирована область допустимых комбинированных маневров для уклонения судна вправо, граница которой показана на рис. 3. На этом же рисунке выбран комбинированный маневр уклонением вправо на курс  $100^\circ$ , которому соответствует скорость пассивного торможения  $12,8 \text{ уз}$ , причем торможение начинается на  $335 \text{ с}$  маневра, как показано на рис. 3.

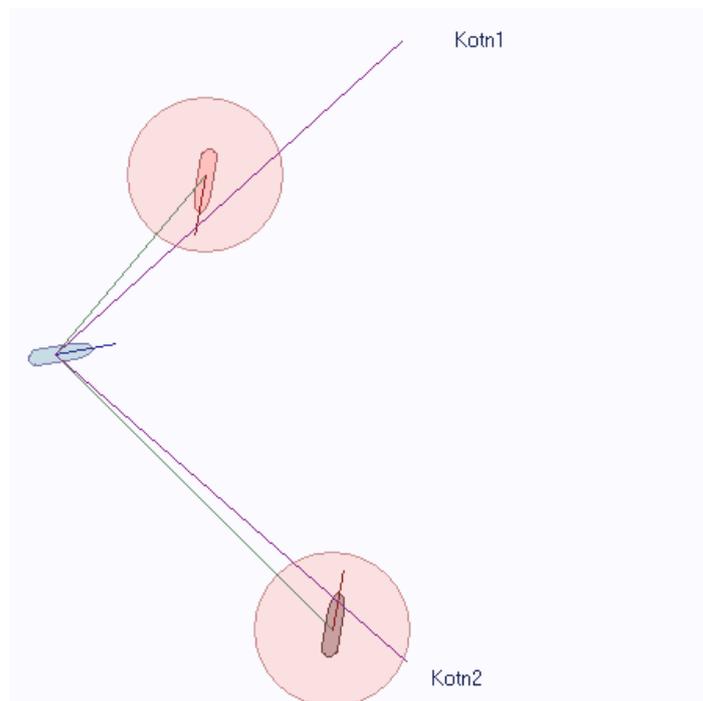


Рис. 2. Начальная ситуация опасного сближения

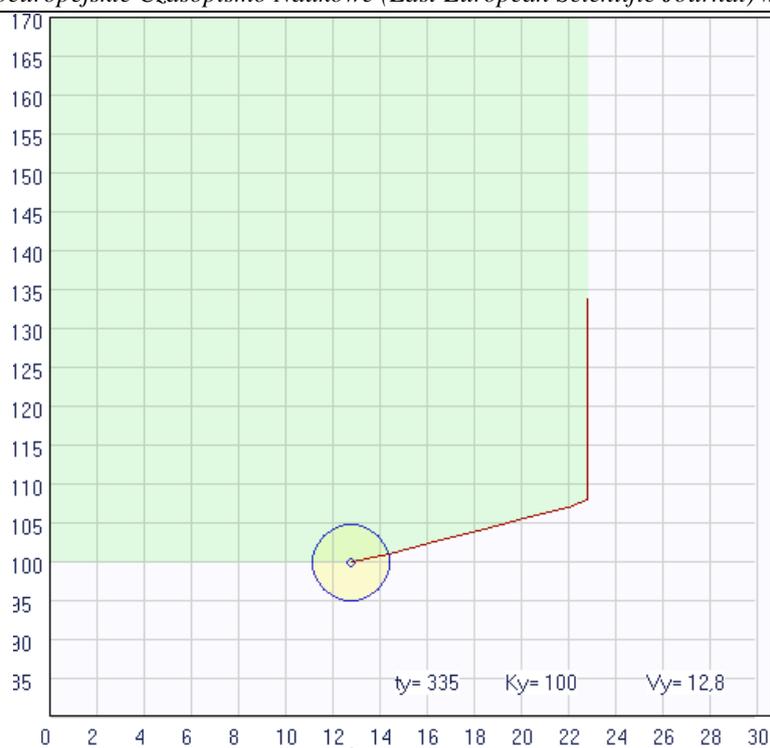


Рис. 3. Область допустимых комбинированных маневров уклонением вправо

На рис. 4 показаны относительные траектории расхождения судна с целями на дистанции кратчайшего сближения равной 1 миле.

#### Выводы и предложения.

1. Рассмотрен комбинированный маневр расхождения судна с двумя опасными целями последовательным изменением курса, а затем снижением

скорости пассивным торможением. Получены аналитические выражения и алгоритм расчета параметров безопасного маневра расхождения

2. Для ситуаций расхождения судна с двумя целями комбинированным маневром последовательного изменения курса и скорости предложена процедура формирования области опасных значений параметров стратегии расхождения.

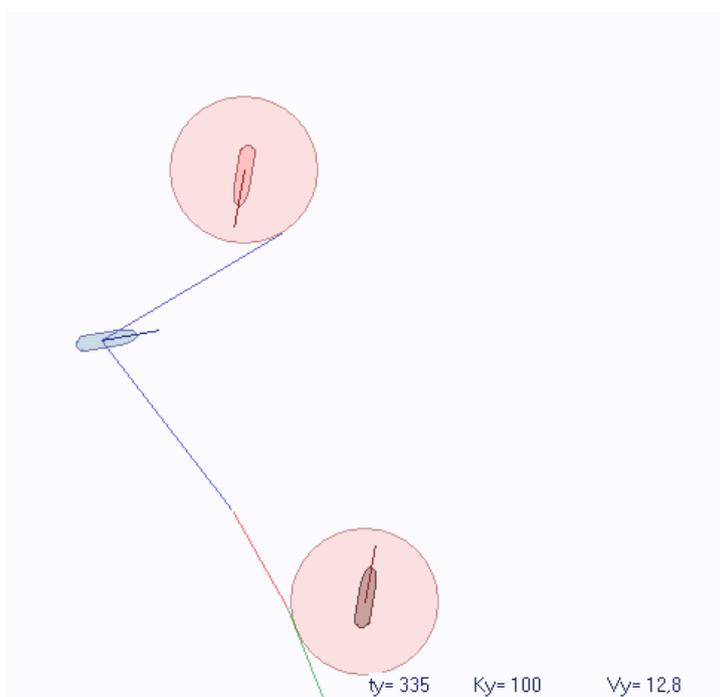


Рис. 4. Относительные траектории расхождения судна с целями

3. Получены выражения для формализации границ области недопустимых значений курсов и скоростей судна комбинированного маневра при снижении скорости пассивным торможением.

4. Приведен численный пример формирования области недопустимых параметров комбинированного маневра расхождения судна снижением скорости пассивным торможением.

#### Список литературы:

1. Бурмака И.А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И.А. Бурмака., Э.Н. Пятаков., А.Ю. Булгаков - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), – 2016. - 585 с.

2. Цымбал Н.Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н.Н. Цымбал, И.А. Бурмака, Е.Е. Тюпиков. - Одесса: КП ОГТ, 2007. – 424 с.

3. Пятаков Э.Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Пятаков Э.Н., Бужбецкий Р.Ю., Бурмака И.А., Булгаков А.Ю. – Херсон: Гринь Д.С., 2015. - 312 с.

4. Бурмака И.А. Экстренная стратегия расхождения при чрезмерном сближении судов / Бурмака И.А., Бурмака А. И., Бужбецкий Р.Ю. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 202 с.

5. Вагущенко Л.Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути / Л.Л. Вагущенко. – Одесса: Фенікс, 2013. – 180 с.

6. Бурмака И.А. Маневр расхождения трех судов изменением курсов/ И.А. Бурмака, А.Ю. Булгаков // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2014. – Вып. 20. Одесса: ОНМА. - С. 18 -23.

7. Kao Sheng-Long. A fuzzy logic method for collision avoidance in vessel traffic service / Kao Sheng-Long, Lee Kuo-Tien, Chang Ki-Yin, Ko Min-Der// J. Navig. 2007. 60, № 1, p. 17-31.

8. Statheros Thomas. Autonomous ship collision avoidance navigation concepts, technologies and techniques / Statheros Thomas, Howells Gareth, McDonald-Maier Klaus. // J. Navig. 2008. 61, № 1, p. 129-142.

9. Imazu H. Evaluation Method of Collision Risk by Using True Motion / Imazu H.// TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. 2017, Vol. 11, No. 1, p. 65-70.

10. Бурмака И.А. Предупреждение столкновений судов методами внешнего управления процессом расхождения / Бурмака И.А., Калиниченко Г.Е., Кулаков М.А. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 132, 2017.- С. 56 - 60.

11. Бурмака И.А. Применение областей недопустимых значений параметров для предупреждения столкновений судов при их внешнем управлении./ Бурмака И.А., Кулаков М.А., Пасечнюк С.С.// East European Scientific Journal, №11 (27), 2017, part 1.- С. 40-48.

**Pasechnyuk S.S.**

*PhD student,*

*National University «Odessa Maritime Academy»*

**Пасечнюк Сергей Сергеевич**

*аспирант,*

*Национальный университет "Одесская морская академия"*

## USE OF MANOEUVRE OF DECLINE OF SPEED OF ONE OF SHIPS AT EXTERNAL PROCESS CONTROL OF DIVERGENCE

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАНЕВРА СНИЖЕНИЯ СКОРОСТИ ОДНОГО ИЗ СУДОВ ПРИ ВНЕШНЕМ УПРАВЛЕНИИ ПРОЦЕССОМ РАСХОЖДЕНИЯ

**Summary:** The method of forming of region of impermissible values of course of one of ships and speed of other ship taking into account his inertia-brake descriptions at the external process control of their divergence is offered. Depending on the parameters of situation of dangerous rapprochement and mode of braking of ship analytical expressions for the calculation of scopes of region of impermissible values of course and speed of the drawn together vessels are got.

The results of application of the computer program are represented for forming of region of dangerous courses of one ship and speeds of the second ship with account inertia - brake descriptions of ship reducing speed. The examples of choice of safe strategy of divergence of vessels taking into account the active and passive braking are shown.

*Key words: safety of navigation, divergence of vessels at dangerous rapprochement, external process control of divergence, region of dangerous parameters of motion.*

**Аннотация:** Предложен способ формирования области недопустимых значений курса одного из судов и скорости другого судна с учетом его инерционно-тормозных характеристик при внешнем управлении процессом их расхождения. В зависимости от параметров ситуации опасного сближения и режима торможения судна получены аналитические выражения для расчета границ области недопустимых значений курса и скорости сближающихся судов

Представлены результаты применения компьютерной программы для формирования области опасных курсов одного судна и скоростей второго судна с учетом инерционно - тормозных характеристик

судна, снижающего скорость. Показаны примеры выбора безопасной стратегии расхождения судов с учетом активного и пассивного торможения.

*Ключевые слова:* безопасность судовождения, расхождение судов при опасном сближении, внешнее управление процессом расхождения, области опасных параметров движения.

### Постановка проблемы.

В стесненных районах плавания с особенно интенсивным движением устанавливаются станции управления движением судов, предназначенные для контроля процесса судовождения и управления движением опасно сближающихся судов. Этим обуславливается актуальность и перспективность разработки способов внешнего управления опасно сближающимися судами для предупреждения их столкновений, чему посвящена данная статья.

### Анализ последних достижений и публикаций.

В работе [1] отмечается, что столкновения судов или возникновение ситуаций их опасного сближения часто вызваны человеческой ошибкой из-за неполной или доминирующей информации. На принципах полного внешнего управления процессом расхождения судов рассмотрены основанные подходы формирования безопасных траекторий движения судов с помощью экспертных знаний. В статье предлагается процедура планирования траекторий движения судов с использованием специализированных алгоритмов их согласования путем предварительных договоренностей и поиска решения, приемлемого для всех судов.

В работах [2, 3] рассмотрен процесс расхождения судов в ситуации опасного сближения с применением области опасных курсов и области опасных скоростей, которые позволяют также оценить опасность ситуации сближения пары судов.

В публикации [4] указывается, что СУДС, как правило, не имеет технических возможностей контролировать движение судов на участках их скопления и для уклонения от столкновения в статье предложен новый фuzzi-метод, который, используя аналитическую модель морской системы GIS точно прогнозирует время столкновения и позиции. Предложенный метод дает оператору СУДС возможность принятия решений по предупреждению столкновения судов.

В работе [5] предложена формализация МППСС-72, а также обобщено понятие взаимодействия судов при возникновении угрозы столкновения.

Метод предупреждения столкновения судов путем смещения на параллельную линию пути приведен в монографии [6], в которой также освещены особенности расхождения судов в море.

### Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.

Как правило, выбор стратегии расхождения судна в рассмотренных работах производится в рамках локально-независимого принципа управления процессом расхождения, который определяет их взаимное поведение в процессе расхождения.

Однако при управлении процессом расхождения судов с помощью СУДС исчезает необходимость во взаимном согласовании маневров судов, так как реализуется принцип полного внешнего управления процессом расхождения, для реализации которого целесообразно применение методов формирования областей недопустимых значений параметров движения пары сближающихся судов [7]. Дальнейшие исследования в этом направлении являются актуальными и перспективными, чем и обусловлена тематика данной статьи.

### Цель статьи.

Цель статьи заключается в разработке метода формирования области опасных курсов одного судна и скоростей второго судна, при сочетании которых дистанция кратчайшего сближения с учетом инерционно - тормозных характеристик второго судна меньше предельно-допустимой дистанции для обеспечения их безопасного расхождения.

### Изложение основного материала.

При внешнем управлении процессом расхождения опасно сближающихся судов маневр расхождения может выполняться изменением курсов судов [8] или их скоростей [9].

Возможен еще один способ безопасного расхождения, при котором одно из судов изменяет курс, сохраняя неизменной скорость, а второе судно на постоянном курсе снижает свою скорость. При этом необходимо учитывать инерционно - тормозные характеристики судна, снижающего скорость. В данном случае целесообразно рассмотреть область опасных курсов одного судна и скоростей второго судна, при сочетании которых дистанция кратчайшего сближения с учетом инерционно - тормозных характеристик второго судна меньше предельно-допустимой дистанции, т. е. сближение судов является опасным. Рассмотрим принцип формирования такой области, которую обозначим  $\Omega_{KVj}$ . Очевидно, что границу области  $\Omega_{KVj}$  на плоскости  $K_1 \times V_2$  составляют точки  $(K_1, V_2)$ , удовлетворяющие условию  $\min D(K_1, V_2) = d_d$ . Расчет границы области  $\Omega_{KVj}$  с учетом инерционно - тормозных характеристик второго судна производится с помощью следующего алгоритма.

Для каждого из курсов уклонения первого судна вправо  $K_{1y}^{(s)}$ , принадлежащего интервалу  $[K_1 + 30, K_1 + 70]$ , т. е.

$K_{1y}^{(s)} \in [K_1 + 30, K_1 + 70]$ , определяется возможность безопасного расхождения остановкой второго судна активным или пассивным торможением. Для этого предполагается, что торможение

второго судна начинается в нулевой момент времени, как и следование первого судна курсом уклонения  $K_{1y}^{(s)}$ .

Для начальной скорости второго судна  $V_2$  и режима торможения (активного или пассивного) рассчитывается выбег судна  $S$  и интервал времени  $\tau$  до остановки судна. Координаты первого  $X_1, Y_1$  и второго  $X_2, Y_2$  судов на момент времени остановки второго судна принимают значения:

$$X_2 = S \sin K_2, \quad Y_2 = S \cos K_2,$$

$$X_1 = D \sin \alpha - V_1 \tau \sin K_1,$$

$$Y_1 = D \cos \alpha - V_1 \tau \cos K_1,$$

где  $\alpha$  и  $D$  - начальные пеленг и дистанция между судами.

На момент времени остановки второго судна дистанция между судами  $D_f$  определяется выражением:

$$D_f = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2}.$$

Сравниваем полученную дистанцию  $D_f$  с предельно- допустимой дистанцией сближения  $D_d$ . Если  $D_f < D_d$ , то расхождение остановкой второго судна невозможно, и точка границы области  $\Omega_{KVj}$  с координатами  $(K_{1y}^{(s)}, V_2)$  не существует. В противном случае ( $D_f > D_d$ ) рассчитываем дистанцию кратчайшего сближения первого судна с остановившимся вторым судном  $D_{\min f}$ :

$$D_{\min f} = \left| D_f \sin[\alpha_f - K_{1y}^{(s)}] \right|,$$

где  $\alpha_f$  - пеленг на второе судно в момент его остановки.

Если  $D_{\min f} > D_d$ , то возможно расхождение снижением скорости второго судна до определенного значения  $V_{2y}$ , при котором выполняется равенство:

$$D_{\min f}(V_{2y}) = D_d.$$

Значение скорости  $V_{2y}$  рассчитывается методом последовательных приближений, в котором скорость торможения второго судна принимается равной  $V_{2y} = V_2 - 0,1i$  на каждом  $i$ - м цикле вычислений. Продолжительность переходного про-

цесса  $\tau(V_{2y})$  и пройденное за это время расстояние  $S(V_{2y})$  для активного торможения рассчитываются с помощью следующих выражений:

$$\tau(V_{2y}) = \frac{(1+k)m}{\sqrt{\mu P}} \left[ \arctg\left(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_2\right) - \arctg\left(\frac{\sqrt{\mu}}{\sqrt{P}} V_{2y}\right) \right],$$

$$S(V_{2y}) = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left| \frac{V_2^2 + \frac{P}{\mu}}{V_{2y}^2 + \frac{P}{\mu}} \right|,$$

где  $(1+k)m$  - масса второго судна с присоединенными массами воды;

$P$  - упор его винта;

$\mu$  - коэффициент сопротивления.

В случае пассивного торможения:

$$\tau(V_{2y}) = \frac{(1+k)m}{\mu V_2} \left( \frac{V_2}{V_{2y}} - 1 \right),$$

$$S(V_{2y}) = \frac{(1+k)m}{2\mu} \ln \left| \frac{V_2^2}{V_{2y}^2} \right|.$$

Процесс вычислений продолжается до тех пор, пока не наступает справедливость равенства:

$$D_{\min f}(V_{2y}) = D_d.$$

Таким образом производится расчет точек границы для всех курсов  $K_{1y}^{(s)}$  уклонения первого судна  $K_{1y}^{(s)} \in [K_1 + 30, K_1 + 70]$ . Аналогично рассчитывается граница области  $\Omega_{KVj}$  для курсов уклонения судна влево.

Для формирования области  $\Omega_{KVj}$  опасных курсов одного судна и скоростей второго судна с учетом инерционно - тормозных характеристик второго судна была разработана компьютерная программа, реализующая предложенный в статье алгоритм расчета границы области.

В качестве примера была рассмотрена ситуация опасного сближения судов с параметрами:  $\alpha = 130^\circ$ ,  $D = 3$  мили,  $K_1 = 130^\circ$ ,  $V_1 = 22$  узла,  $K_2 = 315^\circ$ ,  $V_2 = 18$  узлов,  $D_d = 1$  мили, графическое изображение которой представлено на рис. 1. Прогнозируемое значение дистанции кратчайшего сближения равно  $D_{\min} = 0,1$  мили, что свидетельствует об опасном сближении судов.

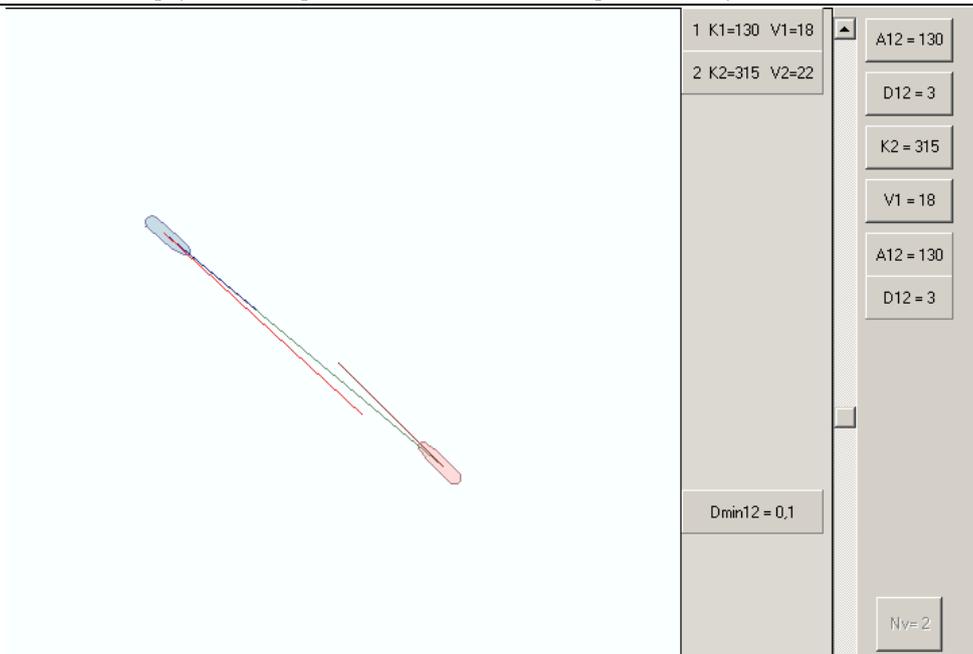


Рис. 1. Ситуация опасного сближения судов

Для приведенной ситуации опасного сближения судов на рис. 2 показана область  $\Omega_{KVj}$  при снижении скорости второго судна пассивным торможением. Сочетание параметров расхождения судов  $K_{1y}^{(s)}$  и  $V_{2y}$  на границе области обеспечивает дистанцию кратчайшего сближения  $D_{minf} = 1$  миля.

На рис. 2 выбрана стратегия расхождения судов с параметрами  $K_{1y}^{(s)} = 163^\circ$  и  $V_{2y} = 15,6$  узла (точка границы показана концентрическими окружностями), которые обеспечивают кратчайшую дистанцию расхождения  $D_{minf} = 1,01$  мили.

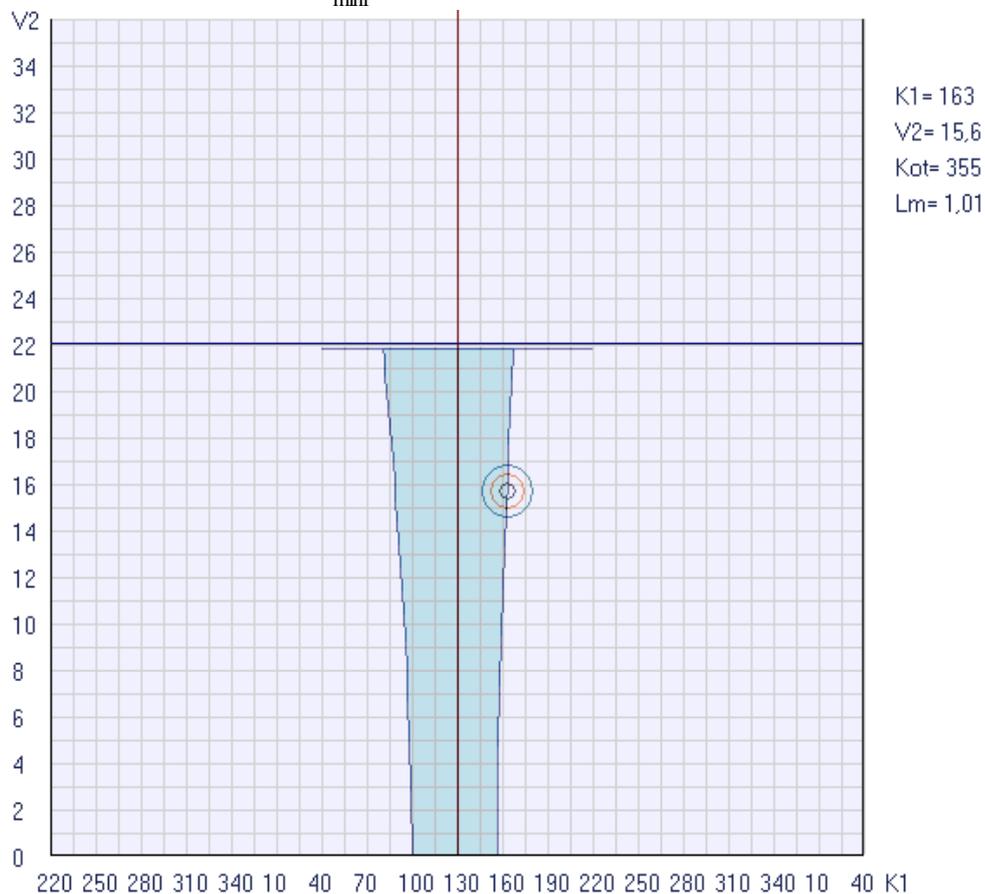


Рис. 2. Область  $\Omega_{KVj}$  при пассивном торможении второго судна

При уклонении первого судна вправо на  $33^\circ$  для безопасного расхождения вторым судном потребовалось снизить скорость пассивным торможением на 6,4 узла.

Для той же ситуации опасного сближения программой была сформирована область  $\Omega_{KVj}$  при активном торможении второго судна, показанная на рис. 3.

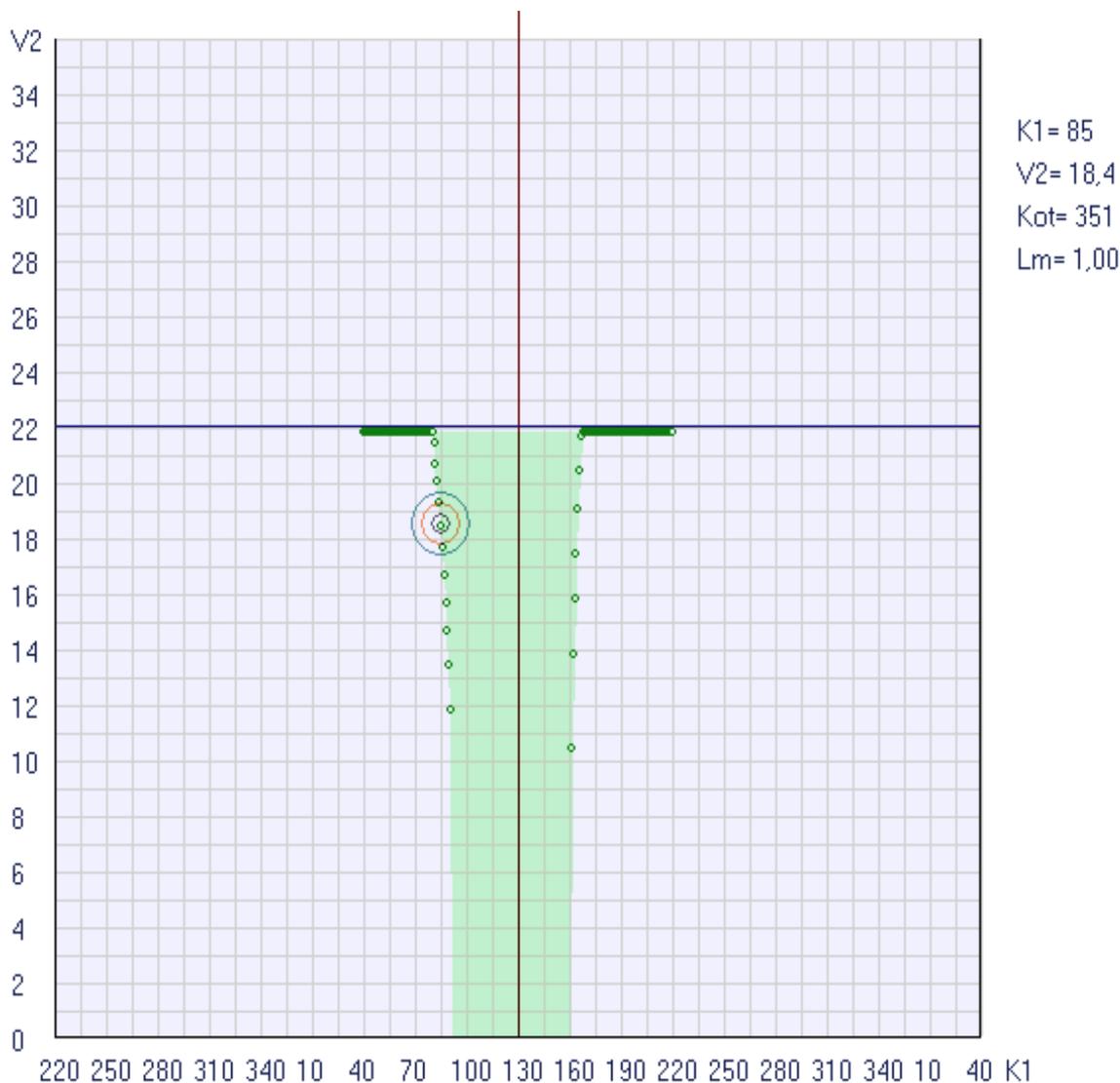


Рис. 3. Область  $\Omega_{KVj}$  при активном торможении второго судна

На границе области  $\Omega_{KVj}$  выбрана точка соответствующая параметрам стратегии расхождения судов  $K_{1y}^{(p)} = 85^\circ$  и  $V_{2y} = 18,4$  узла, при которых достигается  $D_{\min f} = 1,00$  мили.

В данном случае при уклонении первого судна влево на  $35^\circ$  для безопасного расхождения вторым судном потребовалось снизить скорость активным торможением всего на 3,6 узла.

#### Выводы и предложения.

1. Предложен способ формирования области недопустимых значений курса одного из судов и скорости другого судна с учетом его инерционно-тормозных характеристик при внешнем управлении процессом их расхождения.

2. Для расчета границ области недопустимых значений курса и скорости сближающихся судов получены аналитические выражения в зависимости от параметров ситуации опасного сближения и режима торможения судна.

3. Представлены результаты применения компьютерной программы для формирования области опасных курсов одного судна и скоростей второго судна с учетом инерционно - тормозных характеристик второго судна. Показаны примеры выбора безопасной стратегии расхождения судов с учетом режима торможения.

#### Список литературы:

1. Hornauer S. Trajectory Planning with Negotiation for Maritime Collision Avoidance / Hornauer S.,

Hahn A., Blaich M., Reuter J. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 9, No. 3, 2015, page 335-341.

2. Бурмака И.А. Управление парой судов в ситуации опасного сближения / Бурмака И.А., Калиниченко Г. Е., Кулаков М. А. // Вестник Государственного университета морского и речного флота им.адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург.– 2016. – выпуск 3 (37). – С. 64 - 71.

3. Бурмака И.А. Использование областей опасных курсов и опасных скоростей для выбора маневра расхождения / Бурмака И.А., Пасечнюк С. С., Кулаков М. А. // Эксплуатация, безопасность и экономика водного транспорта. Вестник Государственного морского университета им.адмирала Ф. Ф. Ушакова. Новороссийск.– 2017. – выпуск 2 (83). – С. 76 - 80.

4. Kao Sheng-Long. A fuzzy logic method for collision avoidance in vessel traffic service / Kao Sheng-Long, Lee Kuo-Tien, Chang Ki-Yin, Ko Min-Der // J. Navig. 2007. 60, № 1, p. 17-31.

5. Пятаков Э.Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения /

Э.Н. Пятаков, Р.Ю. Бужбецкий, И.А. Бурмака, А.Ю. Булгаков – Херсон: Гринь Д.С., 2015.- 312 с.

6. Вагущенко Л.Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути / Л.Л. Вагущенко. – Одесса: Фенікс, 2013. – 180 с.

7. Бурмака И.А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И.А. Бурмака., Э.Н. Пятаков., А.Ю. Булгаков - LAP LAMBERT Academic Publishing, - Саарбрюккен (Германия), – 2016. - 585 с.

8. Бурмака И.А. Предупреждение столкновения судов методами внешнего управления процессом расхождения / Бурмака И.А., Калиниченко Г.Е., Кулаков М.А. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 132, 2017.- С. 56 - 60.

9. Бурмака И.А. Применение областей недопустимых значений параметров для предупреждения столкновений судов при их внешнем управлении. / Бурмака И.А., Кулаков М.А., Пасечнюк С.С. // East European Scientific Journal, №11 (27), 2017, part 1.- С. 40-48.

**Vorokhobin I.I.**

*PhD, associate professor,*

*National University «Odessa Maritime Academy»*

**Ворохобин Игорь Игоревич**

*кандидат технических наук, декан факультета МПУТ,  
Национальный университет "Одесская морская академия"*

#### **INFLUENCE OF LAW OF DISTRIBUTING OF ERROR OF LATERAL DECLINATION ON PROBABILITY OF SAFE PASSING BY SHIP OF THE STRAITENED ROUTE**

#### **ВЛИЯНИЕ ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ БОКОВОГО ОТКЛОНЕНИЯ НА ВЕРОЯТНОСТЬ БЕЗОПАСНОГО ПРОХОЖДЕНИЯ СУДНОМ СТЕСНЕННОГО МАРШРУТА**

**Summary:** Analytical expression of numeral estimation of probability of the safe wiring of ship is resulted by the set straitened route. For the law of Gauss and mixed laws of distributing of the first and second type dependence of probability of the safe wiring of ship is explored by the set straitened route from the parameters of law of distributing of error of lateral declination of ship in relation to the programmatic trajectory of motion.

The numeral example of estimation of probability of the safe passing by the ship of the set straitened route is considered at distributing of error of lateral declination with unchanging dispersion by law of Gauss and to the mixed laws of distributing of the first and second type with different substantial parameters. Collected dependence of probability from the values of substantial parameter of the mixed laws. For the receipt of results of research the computer program was developed and applied.

*Key words: navigation safety, laws of distributing of random error terms, probability of the safe wiring of ship, sailing in the straitened waters.*

**Аннотация:** Приведено аналитическое выражение численной оценки вероятности безопасной проводки судна заданным стесненным маршрутом. Для закона Гаусса и смешанных законов распределения первого и второго типа исследована зависимость вероятности безопасной проводки судна заданным стесненным маршрутом от параметров закона распределения погрешности бокового отклонения судна относительно программной траектории движения.

Рассмотрен численный пример оценки вероятности безопасного прохождения судном заданного стесненного маршрута при распределении погрешности бокового отклонения с неизменной дисперсией по закону Гаусса и смешанным законам распределения первого и второго типа с различными существенными параметрами. Получена зависимость вероятности от значений существенного параметра смешанных законов. Для получения результатов исследования была разработана и применена компьютерная программа.

*Ключевые слова: навигационная безопасность, законы распределения случайных погрешностей, вероятность безопасной проводки судна, плавание в стесненных водах.*

### Постановка проблемы.

Одной из наиболее актуальных проблем безопасности мореплавания является обеспечение безаварийного плавания судов в стесненных районах. Решение этой проблемы способствует снижению числа аварий, возникающих по причине посадок судов на мель и навалов на причал. Существенным аспектом решения указанной проблемы является разработка и анализ математической модели формирования вероятности безаварийного плавания судна по выбранному маршруту, который позволяет выявить существенные факторы и предупредить их отрицательное влияние на безопасность процесса судовождения.

### Анализ последних достижений и публикаций.

Влияние позиционной погрешности судна на навигационную безопасность впервые рассматривалось в работе [1], в которой учитывалась только позиционная векториальная погрешность определения места судна, а в качестве навигационной опасности рассматривалось точечное препятствие. Дальнейшее развитие этой тематики отражено в работах [2, 3], причем в работе [2] показаны два эквивалентных подхода к определению вероятности безаварийного плавания судна по заданному стесненному маршруту, а критерий навигационной безопасности предложен в работе [3].

Необходимость применения усовершенствованных компьютерных систем производится в работе [4], в которой указывается, что средства прогноза движения судов, успешно применявшиеся в течение длительного времени, отличаются упрощенными моделями прогноза движения судна. Указанное обстоятельство ограничивает их использование в части текущего отображения движения судна при изменении положения руля и оборотов двигателя, а также требует разработки усовершенствованных прогнозных моделей движения судна.

В работе [5] рассмотрена разработка информационной системы имитационного моделирования движения судов со сложными динамическими моделями. По мнению авторов, данная система позволит обеспечить новый тип планирования маневров судна, а также осуществлять контроль выполнения заданного маневра. Предусмотрено текущее отображение заданного маневра одновременно с фактическим движением судна и с индикацией прогнозируемой траектории.

В работе [6] рассмотрена интеллектуальная система прогнозирования движения судна, которая имитирует процесс обучения автономного блока управления, созданного с помощью искусственной нейронной сети. Входные сигналы наблюдаются блоком управления, который вычисляет значения требуемых параметров маневрирования судна в стесненных водах. Основной задачей системы явля-

ется непрерывный контроль навигационных параметров судна, и прогноз их значений после определенного интервала времени.

Вопросам идентификации судовых моделей маневрирования посвящена работа [7], в которой сформирована нелинейная модель маневрирования судна, основанная на анализе его гидродинамики. Для оценки параметров модели используется теория идентификации систем, причем расчет параметров модели производится по алгоритму, который основан на расширенной теории фильтра Калмана. Получение входных и выходных данных системы, необходимых для идентификации параметров, производилось с использованием циркуляции и зигзагообразного маневра.

Альтернативно нормальному закону распределения для описания случайных погрешностей навигационных измерений в работе [8] предложены смешанные законы первого и второго типов, а в работе [9] представлены статистические материалы по точности определения места судна с помощью приёмника спутниковой радионавигационной системы, которые показали, что предположение о распределении случайных погрешностей определения широты и долготы по закону Гаусса не является корректным.

В работе [10] для описания случайных погрешностей предложен обобщенный закон Пуассона, причем в работе [11] приведены результаты исследования возможности описания систем зависимых случайных величин с помощью обобщенного распределения Пуассона с базовым нормальным распределением.

### Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.

При плавании в стесненных водах, которые недостаточно оборудованы навигационными средствами, судоводителям необходимо располагать средствами оценки вероятности безопасного прохождения судном стесненного маршрута для принятия решения следования им. При оценке такой вероятности существенным фактором является закон распределения позиционной погрешности проводки судна относительно программной траектории движения, влияние которого на величину вероятности является предметом исследования данной статьи.

### Цель статьи.

Целью статьи является анализ зависимости вероятности безопасного прохождения судном стесненного маршрута от закона распределения погрешности его бокового отклонения от программной траектории.

### Изложение основного материала.

В работе [2] было получено выражение для вероятности безаварийной проводки судна  $P$  в допустимой области, которое имеет следующий вид:

$$P = \exp \left\{ s \int_{b_{\min}}^{b_{\max}} \varphi(b) \ln \left\{ \int_{\delta_{b\min}}^{\delta_{b\max}} \gamma(\delta_b, b) \left[ F\left(\frac{b}{2} - \delta_b\right) + F\left(\frac{b}{2} + \delta_b\right) \right] d\delta_b \right\} db \right\}, \quad (1)$$

где  $S$  - длина программной траектории;  
 $\varphi(\mathbf{b})$  - распределением частот нормальной ширины допустимой области;

$\mathbf{b}_{\min}$  и  $\mathbf{b}_{\max}$  - минимальное и максимальное значения ширины  $\mathbf{b}$ ;

$\gamma(\delta_b/\mathbf{b})$  - условное распределение частот смещения  $\delta_b$ ;

$F(x)$  - функция распределения погрешности  $X$  бокового отклонения  $\Delta_b$ .

Как следует из выражения (1), вероятность  $P$  зависит от закона распределения погрешности бокового отклонения  $X$  судна относительно заданной траектории. В данной статье рассмотрим нормальный закон распределения, плотность  $f_N(x)$  которого выражается следующим образом:

$$f_N(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right).$$

Помимо нормального распределения погрешности бокового отклонения  $X$  могут подчиняться смешанным законам первого и второго типа [8]. Плотность распределения погрешностей бокового отклонения при смешанном законе первого типа имеет следующий вид:

$$f_1(x) = \frac{2^n \alpha^{n+\frac{1}{2}} n!}{\sqrt{2\pi} 1 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (2n-1)} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^{n+1}}, (n \leq 6)$$

с дисперсией

$$\mu_2 = \frac{2\alpha}{2n-1}.$$

Если же погрешности бокового отклонения распределены по смешанному закону второго типа, то плотность их распределения  $f_2(x)$  и второй центральный момент (дисперсия)  $\mu_2$  имеют вид:

$$f_2(x) = \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot (2n+1) \alpha^{n+1}}{\sqrt{2} 2^{n+1} n!} \frac{1}{(x^2/2 + \alpha)^{n+3/2}}, (n \leq 5)$$

$$\mu_2 = \frac{\alpha}{n}.$$

Для оценки вероятности безаварийной проводки судна  $P$  в допустимой области с помощью формулы (1) необходимо рассчитывать значение выражения  $F(\frac{\mathbf{b}}{2} - \delta_b) + F(\frac{\mathbf{b}}{2} + \delta_b)$ , для чего следует располагать возможностью вычислять функции распределения нормального закона и смешанных законов обоих типов. Для нормального закона функция распределения не выражается в элементарных функциях. Значение функции распределения нормального закона может быть получено с помощью функции Лапласа

$$F_{1n}(x) = \int_{-\infty}^x f_1(t) dt = \frac{2^n \alpha^{n+\frac{1}{2}} n!}{\sqrt{2\pi} 1 \cdot 3 \cdot \dots \cdot (2n-1)} \int_{-\infty}^x \frac{dt}{(x^2/2 + \alpha)^{n+1}}, (n \leq 6)$$

В работе [8] получено выражение функции распределения смешанного закона первого типа, которое имеет вид:

$$F_{1n}(x) = \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} \arctg \frac{x}{\sqrt{2\alpha}} + \sum_{i=1}^n \frac{2^{n-i} \alpha^{(n-i)+\frac{1}{2}} (n-i)!}{\sqrt{2\pi} 1 \cdot 3 \cdot \dots \cdot [2n - (2i-1)]} \frac{x}{(\frac{x^2}{2} + \alpha)^{n+1-i}}, (n \leq 6)$$

Аналогично для смешанного закона второго типа:

$$F_{2n}(x) = \int_{-\infty}^x f_2(t) dt = \frac{1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot (2n+1) \alpha^{n+1}}{\sqrt{2} 2^{n+1} n!} \int_{-\infty}^x \frac{dt}{(x^2/2 + \alpha)^{n+3/2}}, (n \leq 5)$$

$$\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt,$$

которая в соответствующих пособиях представлена в табличном виде. Функция распределения смешанного распределения первого типа  $F_{1n}(x)$  может быть получена с помощью выражения для плотности распределения  $f_1(x)$ :

а выражение функции распределения для смешанного закона распределения второго вида в явном виде имеет следующий вид [8]:

$$F_{2n}(x) = 1 - 2^n \cdot 1 \cdot 3 \cdot 5 \cdot (2n + 1) \left\{ \sum_{j=0}^n \frac{(-1)^j}{j!(n-j)!(n+1+j)} \frac{a^{n+1+j}}{(x^2 + 2\alpha + x\sqrt{x^2 + 2\alpha})^{n+1+j}} \right\}. \quad (n \leq 5)$$

Пользоваться для расчета приведенными выражениями функции распределения неудобно из-за их громоздкости. Поэтому в статье расчет функций распределения производился численным интегрированием методом Симпсона.

На базе алгоритма расчета вероятности безопасного прохождения стесненного участка была написана компьютерная программа, содержащая процедуру расчета определенных интегралов мето-

дом Симпсона. В программе помимо точного расчета вероятности безаварийной проводки судна  $P$  по формуле (1) предусмотрена оценка вероятности  $P$  с помощью приближенной формулы, которая учитывает средние значения нормальной ширины  $b_m$  и смещения  $\delta_{bm}$ , причем приближенную оценку обозначим  $P_{пр}$ :

$$P_{пр} = \left[ \int_{-b_m/2}^{b_m/2} f(x - \delta_{bm}) dx \right]^s = \left[ 2 \int_0^{b_m/2} f(x - \delta_{bm}) dx \right]^s.$$

Для оценки влияния закона распределения вероятностей погрешности бокового отклонения для одного и того же маршрута рассчитывались вероятности  $P$  и  $P_{пр}$  для нормального закона, а также

смешанных законов первого и второго типов. Так, для первого маршрута, показанного на рис. 1,

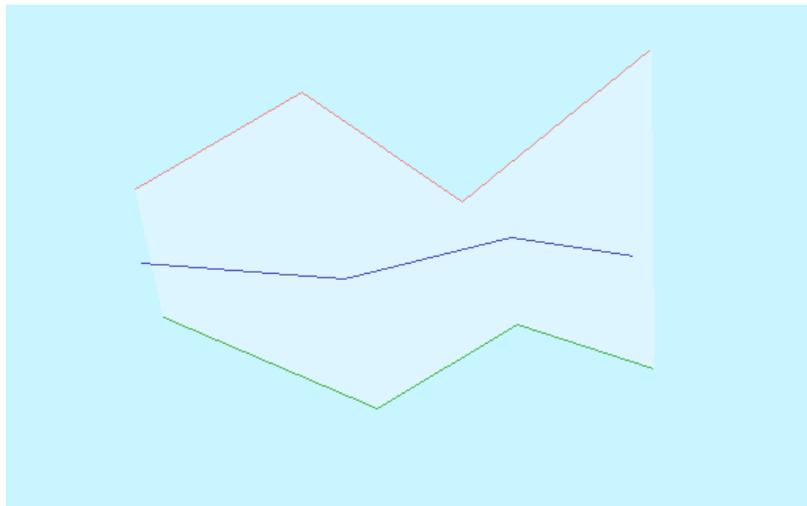


Рис. 1. Отображение безопасной области и траектории

после определения его характеристик выводятся информация по вероятности безаварийного плавания по первому маршруту (рис. 2) с учетом

нормального распределения погрешностей бокового отклонения.

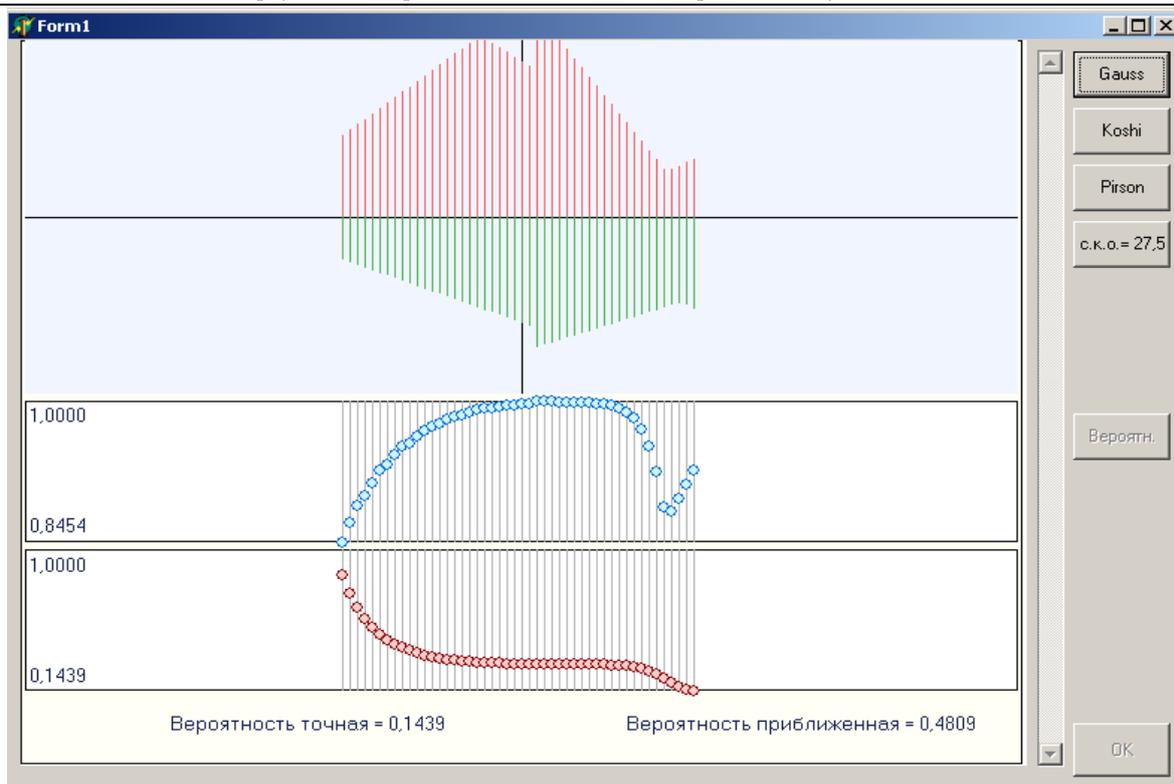


Рис. 2. Информация о вероятности  $P$  при нормальном законе

В верхней части экрана представлена диаграмма распределения нормальной ширины по протяженности маршрута проводки. Ниже показан график вероятностей безопасного прохождения элементарных участков маршрута проводки. Нижний график показывает зависимость вероятности безопасной проводки пройденной части маршрута. В нижней части экрана приведена информация о точной и приближенной вероятностях безопасного прохождения всего маршрута. В рассматриваемом

примере они равны соответственно  $P = 0,1439$  и  $P_{\text{пр}} = 0,4809$ .

При выборе смешанного закона первого типа, значение существенного параметра которого в данном примере равно 1, результаты расчета вероятностей представлены на рис. 3, из которого видно, что точная и приближенная вероятности принимают значения  $P = 0,9846$  и  $P_{\text{пр}} = 0,9914$ .

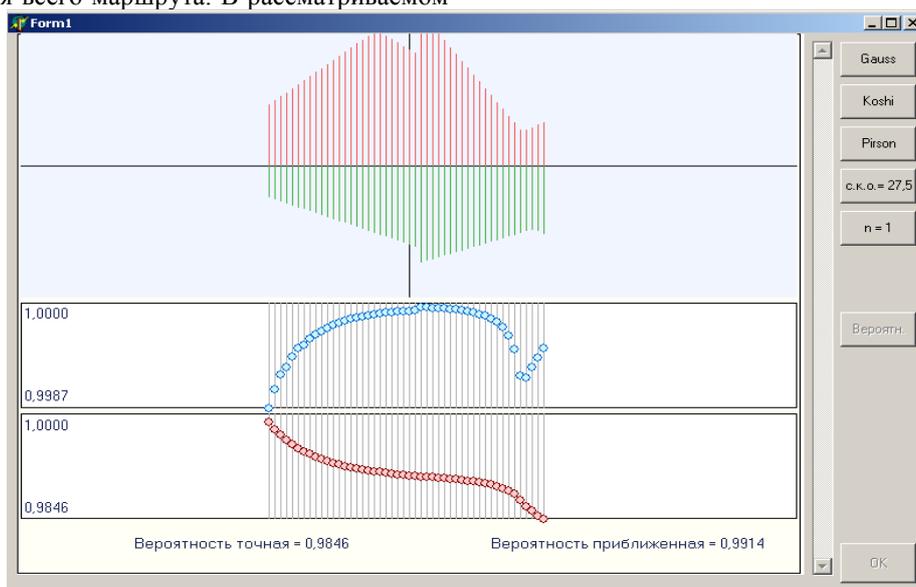


Рис. 3. Информация о вероятностях  $P$  и  $P_{\text{пр}}$  при смешанном законе 1-го типа

В случае распределения погрешности бокового отклонения по смешанному закону второго типа, значения существенного параметра которого также равно 1, информация о вероятности безопасного плавания по маршруту показана на рис. 4, причем значения функции распределения текущей нормальной ширины варьируются в пределах от

0,9993 до 1, чем обеспечивается точная вероятность  $P = 0,9937$ . Приближенная оценка значения вероятности составляет  $P_{пр} = 0,9975$ . Обращаем внимание, что самая низкая вероятность безопасного плавания выбранным маршрутом имеет место при

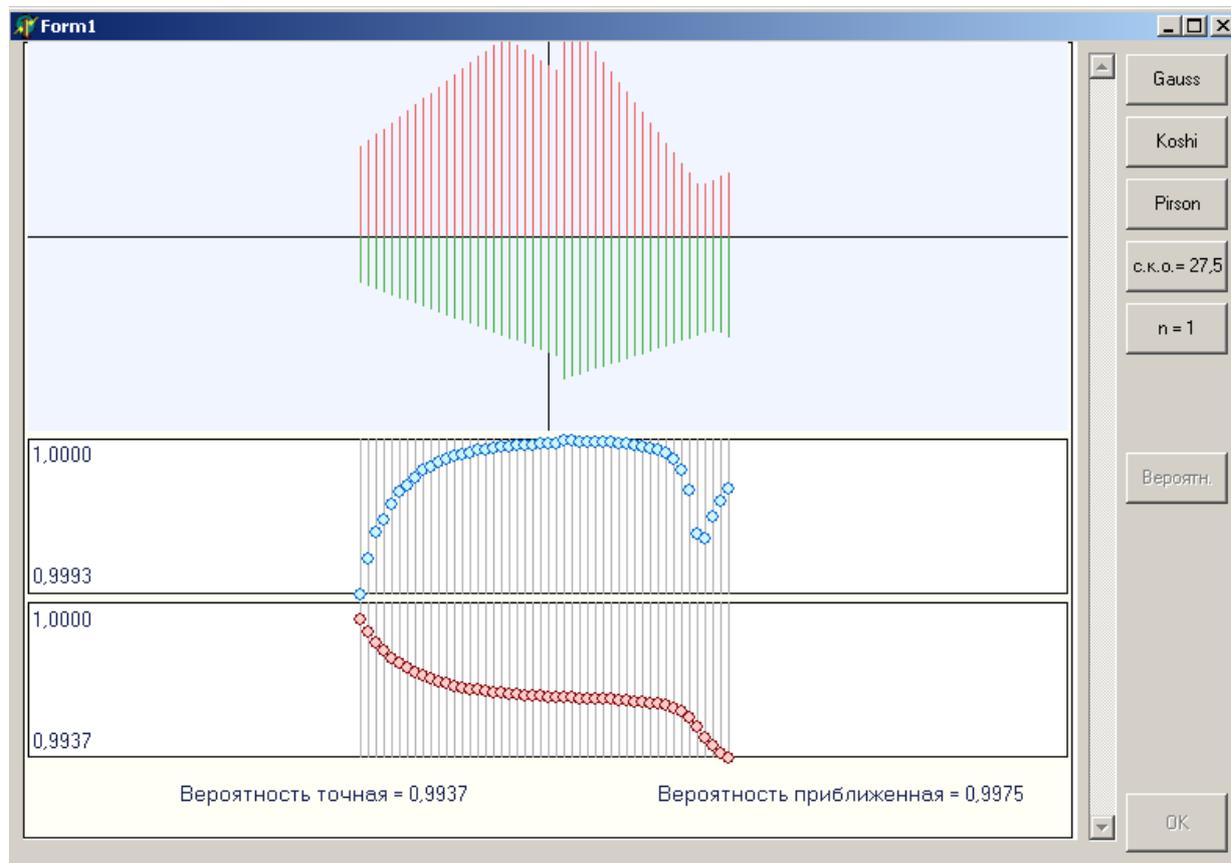


Рис. 4. Информация о вероятностях  $P$  и  $P_{пр}$  при смешанном законе 2-го типа

законе Гаусса, а ее максимальное значение достигается при смешанном законе второго типа. Во всех случаях приближенная оценка вероятности превосходит точную оценку, а вероятность  $P$  не является достаточной для безопасной проводки.

Для исследования влияния закона распределения погрешностей бокового отклонения и точности их определения на вероятность безопасной проводки судна по маршруту были произведены расчеты вероятности  $P$  смешанных законов обоих типов с различными существенными параметрами  $n_1$  и  $n_2$ , а также значениями  $\sigma$  от 20 до 50. Результаты расчета для данного маршрута приведены в табл. 1.

Анализ данной таблицы показывает, что вероятность  $P$  увеличивается с ростом существенного параметра, и при плавании маршрутом вероятность  $P \geq 0,999$  при точности  $\sigma = 20$  обеспечивается в случае распределения погрешности по смешанному закону первого типа при  $n_1 > 3$  и второго типа при  $n_2 > 2$ . При среднем квадратическом отклонении  $\sigma = 30$  вероятность  $P \geq 0,999$  достигается при  $n_1 > 3$  и  $n_2 > 3$ , для  $\sigma = 40$  та же вероятность имеет место, если  $n_1 > 4$  и  $n_2 > 4$ . Для  $\sigma = 50$  только при  $n_1 = 6$  вероятность  $P \geq 0,999$ .

Зависимость вероятности  $P$  от закона распределения погрешности

Закон	$\sigma=20$	$\sigma=30$	$\sigma=40$	$\sigma=50$
Первый тип $n_1=1$	0,9903	0,9825	0,9733	0,9632
Второй тип $n_2=1$	0,9966	0,9925	0,9871	0,9803
Первый тип $n_1=2$	0,9987	0,9966	0,9934	0,9890
Второй тип $n_2=2$	0,9994	0,9983	0,9963	0,9933
Первый тип $n_1=3$	0,9997	0,9991	0,9978	0,9956
Второй тип $n_2=3$	0,9998	0,9994	0,9985	0,9970
Первый тип $n_1=4$	0,9999	0,9996	0,9990	0,9978
Второй тип $n_2=4$	0,9999	0,9997	0,9993	0,9983
Первый тип $n_1=5$	0,9999	0,9998	0,9994	0,9987
Второй тип $n_2=5$	0,9999	0,9999	0,9996	0,9989
Первый тип $n_1=6$	0,9999	0,9999	0,9997	0,9991

**Выводы и предложения.**

1. Приведено аналитическое выражение для количественной оценки вероятности безопасного прохождения судном стесненного маршрута при заданных значениях существенных параметров.

2. Исследована зависимость вероятности безопасного прохождения судном стесненного маршрута от закона распределения погрешности его бокового отклонения от программной траектории, причем в качестве законов распределения выбраны закон Гаусса и смешанные законы распределения первого и второго типа.

3. Рассмотрен численный пример оценки вероятности безопасного прохождения судном заданного стесненного маршрута при распределении погрешности бокового отклонения с неизменной дисперсией по закону Гаусса и

смешанным законом распределения первого и второго типа с различными существенными параметрами. Получена зависимость вероятности от значений существенного параметра смешанных законов.

4. Для получения результатов исследования была разработана и применена компьютерная программа, которую можно использовать в судовой навигационной информационной системе при плавании в стесненных районах.

**Список литературы:**

1. Кондрашихин В.Т. Определение места судна / Кондрашихин В.Т. - М.: Транспорт, 1989. – 230 с.
2. Ворохобин И.И. Эквивалентность оценки вероятности безаварийного плавания судна в стесненном районе / И.И.Ворохобин, В.В. Северин, Ю.В. Казак // Судовождение: сб. научн. трудов ОНМА, - 2015. - Вып. 25. – С. 47 - 55.
3. Мельник Е.Ф. Обоснование выбора критерия навигационной безопасности судовождения/ Мельник Е.Ф.// Судовождение. – 2002. - № 5. – С. 65 - 73.
4. K. Benedict. Manoeuvring Simulation on the Bridge for Predicting Motion of Real Ships and as

Training Tool in Ship Handling Simulators/ K. Benedict, M. Kirchhoff, M. Gluch, S. Fischer, M. Baldauf // TransNav, International magazine on marine navigation and safety of marine transport, Vol. 3, № 1, page 25-30, 2009.

5. K. Benedict. Simulation Augmented Manoeuvring Design and Monitoring – a New Method for Advanced Ship Handling/ K. Benedict, M. Kirchhoff, M. Gluch, S. Fischer, M. Schaub, M. Baldauf, S. Klaes // TransNav, International magazine on marine navigation and safety of marine transport, Vol. 8, № 1, page 131-141, 2014.

6. M. Ljacki. Intelligent Prediction of Ship Manoeuvring / M. Ljacki // International magazine on marine navigation and safety of marine transport, Vol. 10, № 3, page 511-516, 2016.

7. C.J. Shi. Identification of Ship Maneuvering Model Using Extended Kalman Filters/ C.J. Shi, D. Zhao, J. Peng, C. Shen // TransNav, International magazine on marine navigation and safety of marine transport, Vol. 3, № 1, page 105-110, 2009.

8. Астайкин Д.В. Идентификация законов распределения навигационных погрешностей смешанными законами двух типов / Астайкин Д.В., Алексейчук Б.М. // Автоматизация судовых технических средств: науч. -техн. сб. – 2014. – Вып. 20. Одесса: ОНМА. – С. 3 – 9.

9. Monteiro Luis. What is the accuracy of DGPS? / Sardinia Monteiro Luis, Moore Terry, Hill Chris. // J. Navig. 2005. 58, № 2, p. 207-225.

10. Сикирин В.Е. Описание навигационных погрешностей с помощью обобщенного распределения Пуассона/ Сикирин В.Е.// Судовождение: Сб. научн. трудов./ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «Изд-тИнформ», 2016 - С. 152 – 156.

11. Астайкин Д.В. Оценка точности координат судна при избыточных измерениях/ Астайкин Д.В., Сикирин В.Е., Ворохобин И.И., Алексейчук Б.М. – Saarbrücken, Deutschland/Германия: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 274 с.

**Bogdanova.N.V.***Philosophiae doctor, Department of Acoustics & Acoustoelectronics,  
National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"***Богданова Наталья Владимировна***Кандидат технических наук,  
доцент кафедры Акустики и акустоэлектроники,  
Национального технического университета  
«Киевский политехнический институт им. Игоря Сикорского»***COMPUTER MODELING OF MATHEMATICAL PROCESSING ALGORITHMS PROCESS  
REVERBERATION IN A CLOSED INDOORS****КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ОБРАБОТКИ  
РЕВЕРБАЦИОННОГО ПРОЦЕССА В ЗАКРЫТОМ ПОМЕЩЕНИИ**

**Summary:** The methods of measuring the reverberation time indoors was researched in the work, the comparison of methods for building envelope reverberation process was conducted, their advantages and disadvantages was defined. Based on mathematical measurement methods were developed simulation software for process reverberation in the room and conducted model experiments. Analysis of the results showed that the envelope of reverberation curves built on by Schroeder's method, have less value standard deviation from the set exponential decrease compared to the quadratic detection method and the method of calculating the envelope of Hilbert. This means that using it can get a more accurate value reverberation time.

*Key words:* reverberation, envelope reverberation processes, standard hour reverberation, Schroeder's method, Hilbert's method.

**Аннотация:** В работе исследованы методы измерения времени реверберации в помещениях, проведено сравнение методов построения огибающей реверберационного процесса, определены их преимущества и недостатки. Основываясь на математических методов измерений были разработаны программы для моделирования процесса реверберации в помещении и проведены модельные эксперименты. Анализ полученных результатов показал, что огибающие реверберационного процесса построенные по методу обратного интегрирования, имеют меньшее значение среднеквадратического отклонения от заданного экспоненциального спада по сравнению с методами квадратичного детектирования и метода вычисления огибающей Гильберта. А это значит, что используя его можно получить более точные значения времени реверберации.

*Ключевые слова:* реверберация, огибающая реверберационного процесса, стандартное время реверберации, метод Шредера, метод Гильберта.

**Актуальность темы исследования.** Одним из важных элементов пост-обработки звука является эффект звукового эхо [1, 2]. Он создает впечатление присутствия слушателя в каком-то определенном

типе помещения, звуковые волны в котором преотражаются, искажаются, частично поглощаются, и доходят до наблюдателя в виде вторичных и последующих звуков, даже после того как оригинальный звук прекратился (рис. 1).

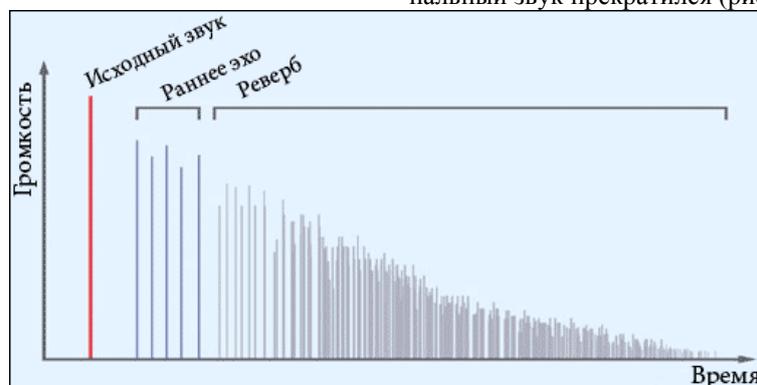


Рис. 1. Изображение распространения результирующего звука [1]

Такое явление называется реверберацией, а время, которое необходимо для спада средней по пространству плотности звуковой энергии в ограниченном объеме на 60 дБ от первоначального

уровня после включения источника излучения – временем реверберации. Реверберационный процесс является достаточно весомой характеристикой закрытых помещений. и целью данной работы это

выяснить методы нахождения времени реверберации. Под помещениями можно рассматривать жилые комнаты, лестничные площадки и пролеты, мастерские, производственные цехи, классные комнаты, офисы, рестораны, выставочные центры, спортивные залы, железнодорожные вокзалы и аэропорты [3].

Время реверберации измеряют с целью определения в помещении поправки звукопоглощения, необходимой при различных видах акустических измерений, таких как измерение звукоизоляции и звуковой мощности источников шума [3], а поскольку на сегодняшний день есть несколько стандартизированных способов [3-5], то необходимо выяснить какой из них является наиболее эффективным.

**Цель работы** является выявить преимущества и недостатки каждого из основных математических моделей, которые описывают огибающую реверберационного процесса в закрытых помещениях, с помощью оценки времени реверберации.

**Материал и методы исследования.** В работе [6] рассмотрены три способа которые можно разделить на две категории. К первой относится метод прерывания шума. Он заключается в том, что в помещении подается непрерывный шумовой сигнал, который моментально выключается и по спаду уровня звукового давления, аппроксимируется прямой линией, определяется стандартизированный время реверберации в данном помещении.

Однако, этот метод имеет несколько недостатков. Во-первых, для применения его необходимо чтобы соотношение сигнал-шума составлял более 35 дБ в данном помещении, в некоторых случаях это довольно сложно сделать. А во-вторых, для получения усредненного значения частоты реверберации нужно делать несколько измерений в одной и той же точке.

На смену этому методу европейскими учеными был разработан метод интегрирования импульсных откликов.

Этот метод заключается в том, что записывается той же реверберационный процесс, а затем проводится его обратное интегрирование. То есть происходит накопление или суммирование энергии сигнала начиная с конца. И таким образом мы можем увидеть, более менее прямолинейный спад накопительной суммы.

При измерении времени реверберации возникает еще одна проблема, это корректная оценка полученных данных, для этого рассмотрим математические методы моделирования сгиба реверберационного процесса.

Широко распространёнными методами выделения огибающей сигнала при измерении времени реверберации являются метод квадратичного детектирования [9], методы вычисления огибающей Гильберта [7] с последующей аппроксимацией прямой по методу наименьших квадратов, а также интегрирования Шредера [2,8].

Для выяснения недостатков и преимуществ каждого из них было проведено математическое моделирование реверберационного процесса и установлена в соответствии оценка времени реверберации. Алгоритмы обработки кривых спада базируются на выделении огибающей измеренного реверберационного процесса и её аппроксимации.

**Результаты и исследование.** Для этого смоделируем белый шум, который затем подвергаем экспоненциальному затуханию умноженному на  $e^{-\alpha \cdot t}$ , далее этот процесс отфильтруем третичным октавным фильтром на частоте 1000 Гц. (рис. 2.).

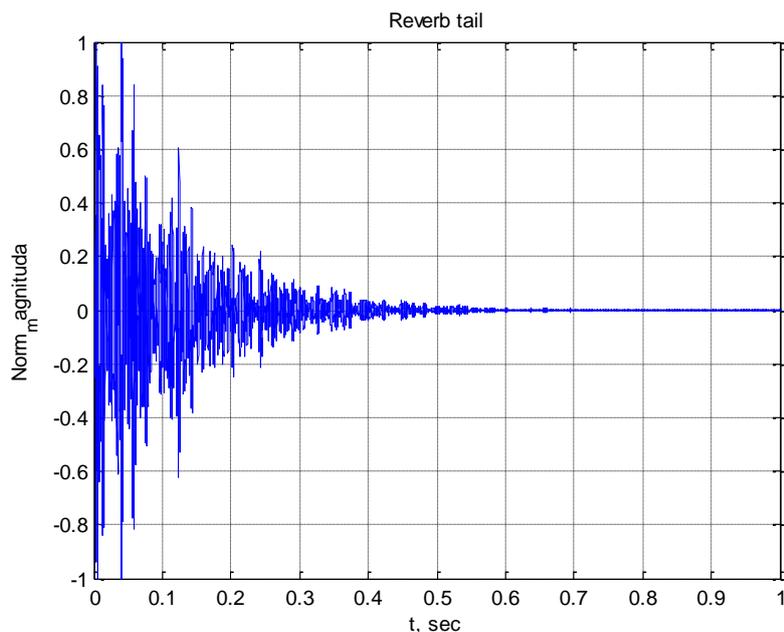


Рис. 2. Модель реверберационного процесса

Квадратичный детектор огибающей строит на программном аналоге двухполупериодного выпрямителя со сглаживающим фильтром. Данный метод не зависит от статистических характеристик сигнала, он фильтрует только нижние компоненты

квадрата спектра. Результат выделения огибающей приведен на рис. 3 а).

На рис. 3 б) представлен результат выделения огибающей Гильберта, на рис. 3 в) – огибающая, полученная в результате интегрирования по методу Шредера.

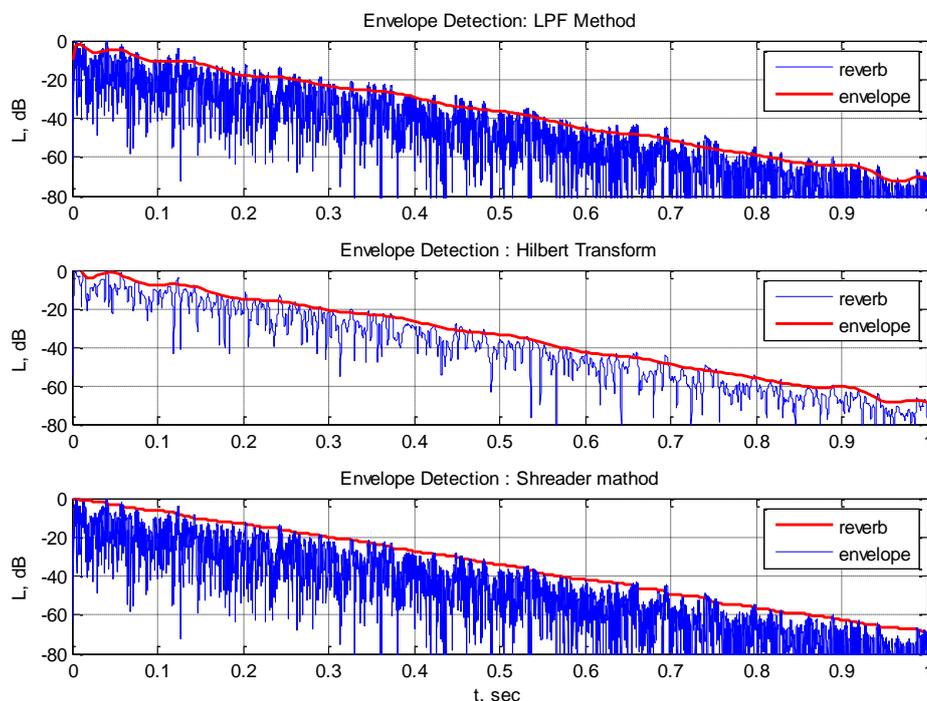


Рис. 3. а) Формирование огибающей по методу квадратичного детектирования; б) формирование огибающей по методу вычисления преобразования Гильберта; в) формирование огибающей по методу интегрирования Шредера

На рис. 4 можно оценить качество огибающих сигнала, полученных разными методами, относительно заданного экспоненциального спада.

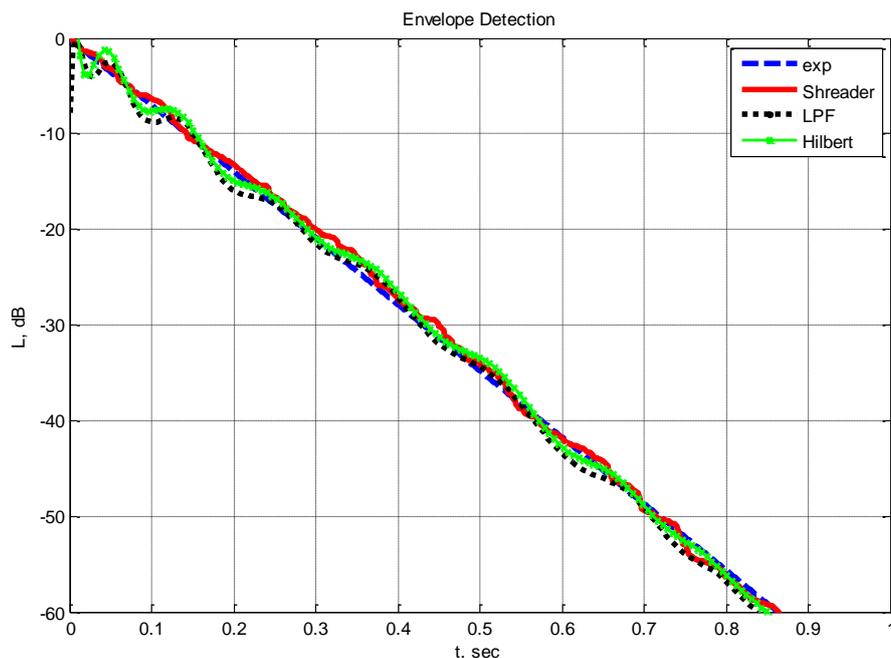


Рис. 4. Исходный экспоненциальный спад и огибающие спада, полученные разными методами

В таблице 1 представлены результаты времени реверберации, полученные разными методами.

Значение стандартного времени реверберации заданной функции экспоненциального спада, составляет 0,86 с.

Таблица 1.

Значение стандартного времени реверберации	
Метод выделения огибающей	Время реверберации, Т, с
Квадратичный детектор	0,84
Преобразование Гильберта	0,85
Интегрирование Шредера	0,86

В таблице 2 представлено среднеквадратическое отклонение значений огибающих, полученных

разными методами, от заданного экспоненциального спада.

Таблица 2.

Среднеквадратическое отклонение от заданного экспоненциального спада	
Метод выделения огибающей	Среднеквадратическое отклонение, $\Delta L$ , дБ
Квадратичный детектор	5,5
Преобразование Гильберта	5,79
Интегрирование Шредера	0,6

Все методы дают результаты близкие к заданному. Наилучшее качество огибающей и точное значение времени реверберации дает метод интегрирования Шредера. Среднеквадратическое отклонение значений огибающей, полученной по методу Шредера, составляет 0,6 дБ, по сравнению с 5,5 дБ и 5,79 дБ для метода квадратичного детектирования и метода вычисления огибающей Гильберта соответственно. Для последующих исследований будем использовать метод интегрирования Шредера. Equation Chapter 1 Section 1

**Выводы.** Применяя математические алгоритмы измерения времени реверберации в помещении были построены в программной среде Matlab виртуальные модели измерительных процессов.

Для первых двух методов необходима последующая аппроксимация огибающей спада прямой линией, что усложняет процедуру выделения огибающей. Метод Шредера не требует дополнительных вычислений.

По результатам проведенных исследований установлено, что кривые огибающей реверберации, построенные по методу обратного интегрирования, имеют меньшее значение среднеквадратического отклонения от заданного экспоненциального спада по сравнению с методами квадратичного детектирования и метода вычисления огибающей Гильберта, т.е. составляет 0,6 дБ, по сравнению с 5,5 дБ и 5,79 дБ для двух других соответственно.

А это значит, что используя его можно получить более точные значения времени реверберации.

## Литература

1. Процедурная генерация звука в реальном времени. Основы.1. [Электронный ресурс]. Режим доступа к материалу: [http://www.gamedev.ru/community/rt\\_proc\\_sound/articles/rt\\_softsynth\\_basics?page=3](http://www.gamedev.ru/community/rt_proc_sound/articles/rt_softsynth_basics?page=3).
2. Богданова Н.В. Математическое моделирование огибающей реверберационного процесса с помощью алгоритма Шредера / Н.В. Богданова, И.В. Богданов, К.Д. Богатыренко, И.В. Швестко. // Адаптивні системи автоматичного управління. - 2016. - № 1(28). - С. 3-9.
3. ISO 3382-2-2008 Акустика. Измерение акустических параметров в помещениях. Часть 2. Время реверберации в обычных помещениях.
4. ДСТУ ISO 354:2007 Акустика. Вимірювання звукопоглинання у ревербераційній камері.
5. ГОСТ Р 54579—2011 Применение новых методов измерений в акустике зданий и помещений.
6. И.В. Богданов. Измерение реверберации в закрытых помещениях. VIII Міжнародна науково-технічна конференція молодих вчених «Електроніка-2015». Збірка статей. С.86.
7. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. Пер. с англ. — М.: Мир, 1989. — 450 с.
8. Schroeder M. R. New Method of Measuring Reverberation Time // J. Acoust. Soc. Am. — 1965. — V. 37. — Issue 6. — p. 1187-1188.
9. D’Orazio D. Measuring reverberation time using preprocessed energy detection / D’Orazio D., De Cesaris S., Garai M. / Proc. Inter-Noise 2012, New York. — 2012. — № 353. — p. 1-11.

**Kazymyrenko Y.O.**

Associate Professor Department of  
Materials Science and Technology of  
Metals Dept Admiral Makarov  
National University of Shipbuilding

**Lebedeva N.Y.**

Associate Professor Department of  
Materials Science and Technology of  
Metals Dept Admiral Makarov  
National University of Shipbuilding

**Казимиренко Юлія Олександрівна**

кандидат технічних наук, доцент  
кафедри матеріалознавства і технології металів  
Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова

**Лебедева Наталія Юріївна**

кандидат технічних наук, доцент  
кафедри матеріалознавства і технології металів  
Національний університет кораблебудування  
імені адмірала Макарова

## THE INFLUENCE OF HIGH-TEMPERATURE TECHNOLOGIES ON THE STRUCTURE OF HOLLOW MICROSHERES ВПЛИВ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ НА СТРУКТУРУ ПОРОЖНІХ МІКРОСФЕР

**Summary:** The article reveals the theoretical preconditions for sintering technologies and electric-arc spraying, in which hollow glass and ceramic microspheres are used. The processes of sintering of glass microspheres, which contain sodium silicate and sodium-boron silicate, with bronze powder, babbitt, and aluminum have been investigated. The regularities of the formation of electric-arc coatings on the basis of Sv-08G2S and 65G, which are based on the results of investigations of structural heterogeneity of glass and ceramic microspheres, have been established.

**Keywords:** glass microspheres, ceramic microspheres, structure, sintering, electric-arc spraying

**Анотація.** Стаття розкриває теоретичні передумови для технологій спікання і електродугового наплення, у яких застосовано порожні скляні і керамічні мікросфери. Досліджено процеси спікання скляних мікросфер натрійсилікатного і натрійборсилікатного складу з порошками бронзи, бабіту, алюмінію. Встановлено закономірності формування електродугових покриттів на основі Св-08Г2С і 65Г, які ґрунтуються на результатах досліджень структурної неоднорідності скляних і керамічних мікросфер.

**Ключові слова:** скляні мікросфери, керамічні мікросфери, структура, спікання, електродугове наплення.

Постановка проблеми.

Порожні мікросфери вважаються важливою сировиною для створення функціональних композиційних матеріалів з особливими властивостями, введення яких дає змогу знизити щільність, коефіцієнт теплопровідності [1], підвищити радіопрозорість [2] та здатність працювати в умовах вібрацій та динамічних навантажень [3]. Відомі виробники цієї продукції, зокрема зарубіжні фірми «Dupont» і «Ceno Technologies» (США), «Fuyi», «Toshiba», «Carasu K.K.» і «Hata Hisao K.K.» (Японія), «Mineralien-Werke» і «Ilmenau» (Німеччина) та інші випускають великий асортимент скляних, керамічних, силікатних, фенольних мікросфер, вартість і властивості яких безпосередньо залежать від вихідної сировини. Зростаючий попит на порожні скляні мікросфери (ПСМ) пов'язано з розвитком суднобудівних технологій, важливим напрямком яких є розробка теплоізоляційних матеріалів плавучості [4]. Більш дешеві за них алюмосилікатні мік-

росфери (АСПМ) застосовуються у енергозберігаючому будівництві як легковажний теплоізоляційний наповнювач [1].

Аналіз останніх публікацій досліджень.

Більшість технологій формування полімерних композицій та бетонних сумішей на основі мікросфер є низькотемпературними: це нанесення лакофарбових покриттів фарбопультом, пневматичне розпилення [3,4], вільна заливка [5], лиття під тиском [6], що виключає структурні зміни у неметалевих компонентах, а на якість матеріалів впливає саме стан поверхні скляних і керамічних частинок, що обумовлює адгезійні процеси. Існуючий досвід високотемпературних методів формування матеріалів на основі мікросфер обмежений і включає в себе тільки технології спікання та електродугове наплення покриттів, за допомогою яких одержано метал-скляні та метал-керамічні композиції [7–10]. Їх структура і властивості безпосередньо залежать від структурно-фазових перетворень і розм'якшення скляних частинок, проте це не висвітлюється у роботах авторів.

Виділення невіршених раніш частин загальної проблеми.

Виходячи з аналізу сучасних підходів до вирішення проблеми створення нових матеріалів і покриттів з використанням як наповнювачів порожніх скляних і керамічних мікросфер, слід відмітити відсутність досліджень щодо впливу їх складу на процеси структуроутворення спечених матеріалів і напиленних покриттів та формування міцного зв'язку напиленого покриття з підкладкою, що забезпечує надійне функціонування розроблених композицій. У наукових роботах також недостатньо надається уваги структурному стану та процесам розм'якшення неметалевих наповнювачів – керамічних і скляних мікросфер, які під час термічних навантажень можуть зазнавати структурних змін та впливати на фізико-хімічні процеси утворення міцних зчеплень різнорідних компонентів, зокрема метал–скло, метал–кераміка.

З огляду на вище викладене важливим є з'ясування механізму впливу спікання і газотермічних методів напилення на структурний стан і розм'якшення неметалічних наповнювачів, що дає змогу регулювати фазовий склад композицій та впливати на їх властивості.

**Метою дослідження** є порівняльний аналіз структурних змін та процесів розм'якшення, які відбуваються у порожніх скляних і керамічних мікросферах під час спікання та газотермічного напилення.

Для досягання поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- 1) дослідити та проаналізувати структуру порожніх скляних і керамічних мікросфер у відповідності з діаграмами стану силікатних систем;
- 2) на підставі одержаних теоретичних і експериментальних даних визначити закономірності спікання порожніх скляних мікросфер з порошками металів;
- 3) проаналізувати фізико-хімічні процеси, які відбуваються під час електродугового напилення з додаванням до складу покриттів порожніх скляних та керамічних мікросфер.

Виклад основного матеріалу.

*Теоретичні передумови активізації процесів у зоні з'єднання метал–скло, метал–кераміка.* На даний час не існує єдиного уявлення про фізико-хімічні процеси у з'єднанні металів зі склом та керамікою. Сучасні розробки нових композицій ґрунтуються на оксидній, дендритній та адсорбційній теорії формування міцного зв'язку на поверхні поділу. Крім фізико-хімічних процесів, які відбуваються під дією високих температур, на формування структури і властивостей суттєво впливає різниця у термічних коефіцієнтах лінійного термічного розши-

рення, що призводить до утворення термічних напружень. Теоретичні передумови поєднання у одній композиції металевих і скляних компонентів ґрунтуються на гіпотезі про мікронеоднорідну будову окисних стекел як простих, так і складних систем, висунуту Р.Л. Мюллером у роботі [11] та науковому досвіді з'єднання скла та кераміки з металами через дифузійне зварювання [12].

*Методи досліджень.* Морфологію мікросфер досліджено за допомогою методів оптичної та електронної мікроскопії [13]; середній розмір у виборці визначено за статистичною обробкою цифрових мікрофотографій, зроблених на оптичному мікроскопі MMP-2P, укомплектованому цифровою камерою *Delta Optical HDCT-20C* і програмним забезпеченням для обробки зображень *Scope Image 9.0* з використанням методів комп'ютерної металографії. Електронно-мікроскопічні знімки виконані за допомогою растрового електронного мікроскопа-мікроаналізатора РЭММА 102-02 з роздільною здатністю 5 нм; для створення електричного контакту навішення мікросфер у вигляді однорідної суспензії у етиловому спирті нанесено на алюмінієву фольгу. Фазовий склад мікросфер визначено методом рентгенівської дифракції [14], ідентифікація кристалічних фаз проведена порівнянням міжплощинних відстаней та інтенсивностей максимумів на дифрактограмах зразка з даними картотеки ASTM (Published by the American Society for testing materials). Скляні мікросфери досліджено на установці УРС-50И, для чого вони зазнавали попереднього термооброблення у графітовому тиглі печі з окисною атмосферою СНОЛ-1,6.2.08/9-М1. Алюмосилікатні мікросфери досліджено методами оптичної мікроскопії на мікроскопі БИОЛАМ-И, мікрорентгеноспектрального аналізу (МРСА) з використанням растрового електронного мікроскопа-мікроаналізатора РЭММА 102-02 та рентгеноструктурного аналізу (РСА) за допомогою рентгенівської установки ДРОН-3 у випромінюванні  $M_{\alpha_1} = 0,170696$ .

*Результати досліджень порожніх скляних мікросфер.* На основі аналізу сировинної бази, яку в Україні застосовано для одержання матеріалів плавучості для підводної техніки, для досліджень в роботі обрано три види порожніх скляних мікросфер, які одержано за однаковими фізико-хімічними принципами [15]. Технологія одержання включає в себе приготування шихти і варіння скла при температурі 1300 °С, грануляцію розплаву у воду, здрибнення та просівання гранулята крізь сито з наступною подачею до полум'я газоповітряного пальника з температурою 1150 °С. Дослідні мікросфери відрізняються хімічним складом скляної шихти (табл. 1) та наявністю силанового аперету ( $\gamma$ -амінотриетоксисилану  $H_2N(CH_2)_3Si(OC_2H_5)_3$ ) на поверхні.

Порожні мікросфери	Хімічний склад порожніх мікросфер
Зразок 1	Хімічний склад, мас. %
Порожні скляні мікросфери, МСО-А9 (ТУ 6-48-108-94)	SiO <sub>2</sub> – 77,0; Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 23,0
Зразок 2	
Порожні скляні мікросфери МС-ВП-А9 (ТУ 6-48-108-94)	SiO <sub>2</sub> – 69,0; Na <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 13,5; CaO – 6,0; B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 7,5; ZnO – 2,0; F – 2,0
Алюмосилікатні порожні мікросфери МПк 200-400 (ТУ 5717-001-11842486-2006)	SiO <sub>2</sub> – 74,9%; Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 13,9%; K <sub>2</sub> O – 2,8%; Na <sub>2</sub> O – 1,9%; Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> – 0,9%; CaO – 1,2%; FeO – 0,6%; TiO <sub>2</sub> – 0,2%

Порожні скляні мікросфери являють собою складні натрійсилікатні системи, хімічний склад і одержання яких регламентовано однаковими технічними умовами (ТУ 6-48-108-94). Температурний діапазон їх розм'якшення вже було досліджено методом диференціального термічного аналізу (ДТА) в роботі [7], проте попередні рентгеноструктурні дослідження показали лише загальну рентгеноаморфність, що недостатньо для розроблення високотемпературних технологій нових композицій метал-скло. Крім того, залишається невиявленою вплив силанового апрету на термодформаційні процеси скляних мікросфер.

За базову модельну систему прийнято діаграму стану Na<sub>2</sub>O–SiO<sub>2</sub> [16], саме до якої й відносяться мікросфери натрійсилікатного складу (зразок № 1). Згідно з результатами РСА зразки № 1 містять три поліморфні модифікації кремнезему: α-кварц, α-тридиміт, α-кристобаліт. Тобто слід зазначити, що дослідні мікросфери у вихідному стані і після відпалювання при температурах 525 і 700 °С не є повністю аморфними (кількість аморфної фази складає близько 80 %), а крім поліморфних модифікацій SiO<sub>2</sub> містять ще кристалічні фази системи Na<sub>2</sub>O–SiO<sub>2</sub>: це α-Na<sub>2</sub>O·2SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O·4SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O·SiO<sub>2</sub>, 3Na<sub>2</sub>O·8SiO<sub>2</sub>, а також лінії, що належать оксиду Na<sub>2</sub>O, наявність якого можна зв'язати з нестабільністю ортосиліката Na<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub> при підвищених температурах та його розпаду на 3Na<sub>2</sub>O·2SiO<sub>2</sub> і Na<sub>2</sub>O. Наявність аморфної складової SiO<sub>2</sub> у кремнеземистих породах створює передумови для протікання процесів силікато- і склоутворення при температурах, які наближаються до рівноважних [17].

Хімічний склад зразку № 2 є більш складним, тому його структурні особливості проаналізовано за допомогою діаграм потрійних систем Na<sub>2</sub>O–SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>O–CaO–SiO<sub>2</sub> [16]. Фазовий аналіз показав, що крім фаз, які належать зразку № 1 (поліморфні модифікації SiO<sub>2</sub>, сполуки системи Na<sub>2</sub>O–SiO<sub>2</sub> і оксид Na<sub>2</sub>O) у мікросферах цього складу відбувається утворення нових фаз. До двокомпонентних систем відносяться борати Na<sub>2</sub>O·B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 3Na<sub>2</sub>O·B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; Na<sub>2</sub>O·2B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> і воластоніт CaO·SiO<sub>2</sub>, більш складними є трьохкомпонентні фази Na<sub>2</sub>O·B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub> і 2Na<sub>2</sub>O·CaO·SiO<sub>2</sub>. Утворення кристалічних фаз α-Na<sub>2</sub>O·2SiO<sub>2</sub>, α-тридиміта і Na<sub>2</sub>O·B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·2SiO<sub>2</sub> відповідає рівноважному стану діаграми Na<sub>2</sub>O–B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>–SiO<sub>2</sub>. Наявність сполуки Na<sub>2</sub>Ca<sub>2</sub>(SiO<sub>3</sub>)<sub>3</sub> підтверджує той факт, що всередині дослідних ПСМ знаходиться SO<sub>3</sub>, введений через

сірчано-кислий натрій. Дослідження відпалених при температурі 650 °С зразків вказують на зникнення ліній боратів натрію та зменшення інтенсивності інших кристалічних фаз, що свідчить про їх перехід у склоподібний стан. У процесі досліджень висунуто припущення, що зовнішня поверхня мікросфер збагачена оксидами лужних металів, а внутрішня – фазами кремнезему.

Нанесення апретів на поверхню ПСМ (0,3 %) згладжує дефекти, зменшує шорсткість, підвищує гідролітичну стійкість і гідростатичну міцність, товщина плівки складає 10...30 нм [18], і тому дослідження її впливу на термодформаційну поведінку ПСМ за допомогою аналітичних методів є неможливим. В роботі аналіз впливу апрету, нанесеного на мікросфери натрійборсилікатного складу (зразок № 2) здійснено шляхом досліджень термодформаційних процесів, виконаних за допомогою (авторського зразку) установки [19], яка складається з шахтної печі з номінальною температурою 900 °С та окисною атмосферою і відрізняється від існуючих аналогів механічним пресуючим пристроєм з індикатором переміщення пуансону прес-форми для досліджень температурних деформацій. Для цього навішення мікросфер масою 2,0 г засипалося у графітову прес-форму 13 (рис. 1) діаметром 22 мм і висотою 47 мм, разом з якою піддавалося нагріванню до 800 °С; для найбільш точного контролю температури всередину навішення ПСМ вставлена термopара градування ХА (ДСТУ 2837-94, ГОСТ 3044-94), яку виведено крізь отвір у технологічній кришці 4. Прикладання через пуансон мінімального зусилля 0,1 МПа дає змогу контролювати усадку як один з наочних показників початку температурної деформації скляної сферичної оболонки. Дослідження показали, що усадочні процеси при нагріванні апретованих мікросфер починаються при температурі 490...500 °С, а неапретованих – на 50 °С вище (550 °С). Це пояснюється відносно низькими температурними характеристиками γ-амінотриетоксисилану: його температура плавлення складає 70 °С; температура розпаду – 217 °С, температура кипіння – 194 °С [20]. Силани апретів, що нанесені на поверхню скла або SiO<sub>2</sub>, з'єднуються з силанольними групами поверхні силансановими зв'язками, які є стійкими до дії повітря або водяної пари, слабо піддаються гідролізації у киплячій воді, тому застосування апретованих мікросфер у технологіях виготовлення захисних матеріалів є більш переважним.

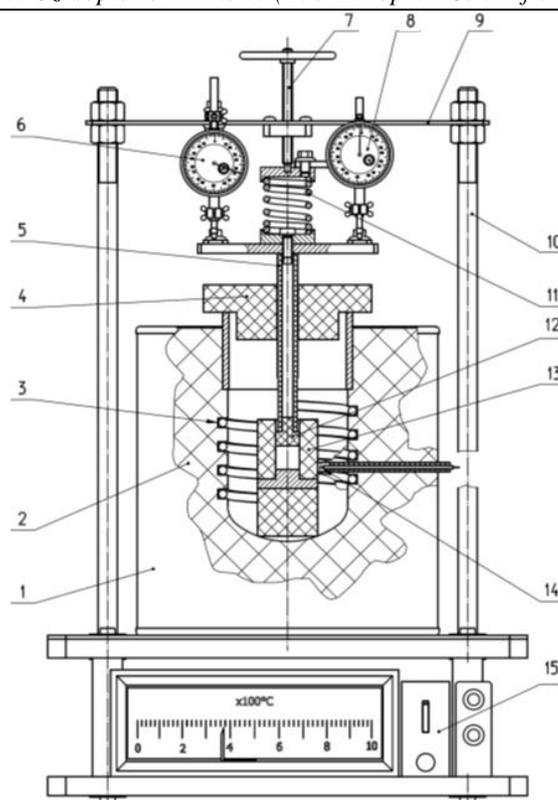


Рис. 1. Деталізована схема установки: 1 – корпус печи; 2 – теплова ізоляція; – ніхромова електрична спіраль; 4 – кришка печи; 5 – шток; 6 – індикатор переміщення пуансона; 7 – навантажувальний гвинт; 8 – індикатор стиснення пружини; 9 – траверза; 10 – силова штанга; 11 – пружина; 12 – пуансон прес-форми; 13 – прес-форма; 14 – перетворювач термоелектричний; 15 – блок управління

Результати досліджень алюмосилікатних порожніх мікросфер. АСПМ за хімічним складом (табл. 1) являють собою більш тугоплавкі системи з температурою плавлення не нижче 1400 °С, вихідною сировиною для їх виготовлення є легкі фракції золи теплоелектростанцій, де процес спалювання вугілля відбувається в діапазоні температур 1500...1800 °С [21]. Результати РСА показали їх загальну рентгеноаморфність з наявністю кристалічних модифікацій (близько 40 %)  $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\alpha$ -кристаліту,  $\alpha$  і  $\beta$ -кварцу, що відповідає діаграмам стану  $\text{K}_2\text{O-SiO}_2$  і  $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$  [16], мікрорентгеноспектральний аналіз підтвердив наявність у хімічному складі мікросфер спектрів Si, Al, Na, Fe. Статистична обробка цифрових мікрознімків показала розбіг за розмірами у межах: 200...300 мкм – 80 % і 300...400 мкм – 20 %, а також схильність мікросфер до утворення конгломератів, що необхідно врахувати при розробці технологічних заходів щодо їх напilenня.

Дослідження процесів спікання ПСМ з порошками металів. Гіпотезу про мікрогетерогенну будову порожніх скляних мікросфер підтверджено результатами теоретичних і експериментальних досліджень їх спікання з порошками металів. Виходячи з вимог корозійної стійкості, зносостійкості, радіаційної стійкості для досліджень обрано порошки бронзи марки Пр-Бр-АМц9-2 (ГОСТ 28377-89), бабіту марки Пр-Б-83 (ТУ 14-22-91-95), алюмінію марки ПА-4 (ГОСТ 6058-73) і пудри алюмінію

марки АПС-1А (ГОСТ 5494-95). Для вибору температури спікання проаналізовано діаграми стану кольорових сплавів Cu-Al-Mn, Sn-Sb, Al-Si [22] та ДТА-криві нагрівання [8], які містять інформацію про температурні інтервали розм'якшення мікросфер: 515...865 °С для зразків № 1 і 485...745 ° – для зразків за № 2. Знизити температурні діапазони спікання порошкових сумішей можливо шляхом прикладання тиску до розігрітої до певної температури маси (гаряче пресування), що робить процес спікання більш інтенсивним. Для виключення систематичних помилок формувальна суміш містить 50 % об'ємн. ПСМ і 50 % об'ємн. металевого порошку, яка засипається у прес-форму 13 і закривається пуансоном 12 (рис. 1). За допомогою блока управління, винесеного за межі установки, задається температура проміжного прогрівання – 375 °С, до якої робочий простір печі розігрівається зі швидкістю 20 °С/хв. Після витримки формувальної суміші при цієї температурі для повного прогрівання протягом певного часу (у даному випадку 30 хв) за допомогою навантажувального гвинта 7 задається тиск пресування 0,7 МПа. Задане зусилля передається через пристрій з силовою пружиною 11 на шток 5 і пуансон прес-форми 12, а потім температур підіймається до температури ізотермічної витримки. За показаннями індикатора 6 переміщення пуансону кожену хвилину фіксується величина деформації, за результатами побудовано кінетичні криві усадки (рис. 2).

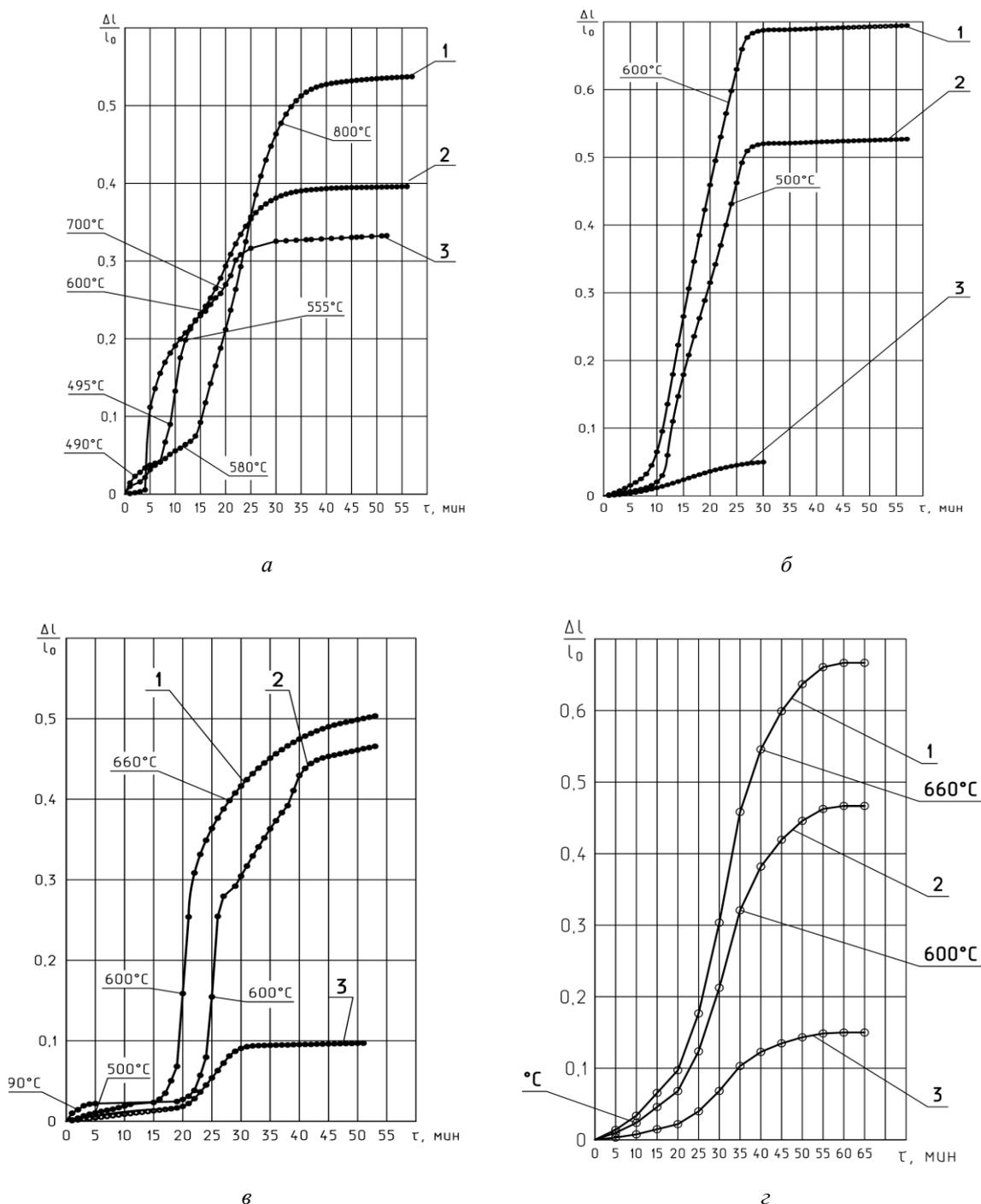


Рис. 2. Кінетичні криві усадки процесів спікання ПСМ з порошками: а – бронзи; б – бабіту; в – алюмінію; г – алюмінієвої пудри: 1 – апретовані мікросфери натрійборсилікатного складу; 2 – неапретовані мікросфери натрійборсилікатного складу; 3 – мікросфери натрійсилікатного складу

Формувальна суміші ПСМ з порошками бронзи зазнавала нагрівання до температури 800 °С (рис. 2, а), з порошком бабіту – до температури 600 °С (рис. 2, б), з порошком алюмінію та алюмінієвою пудрою – до температури 660 °С (рис. 2, в і г). Порівнюючи на прикладі кожного з порошків металів різні складу порожніх скляних мікросфер, слід зазначити, що на відміну від ПСМ натрійсилікатного складу (криві 3) процес спікання натрійборсилікатних мікросфер (криві 1 і 2) є більш інтенсивним, що пояснюється багатокомпонентним хімічним складом, зокрема наявністю окислів  $\text{B}_2\text{O}_3$ , які у процесі

синтезу при варінні скла мікросфер повністю змішуються та в результаті грануляції у воду утворюють борати та борсилікати; відбувається часткова заміна кисню на фтор, який відрізняється високою електронегативністю і низькою поляризованістю, сприяє формуванню в процесі синтезу цінних властивостей [17].

При формуванні композиції «скло-бронза» найбільш легкоплавким компонентом є скляні мікросфери, які при нагріванні до температури 800 °С переходять у склоподібний стан, втрачаючи сфери-

чну форму, в той час коли порошок бронзи у відповідності з діаграмою стану Cu–Al–Mn залишається твердим. На всіх дифрактограмах, знятих на установці ДРОН-4-07 у випромінюванні  $Fe_{\alpha}$ , видні піки Cu і Al, виділення яких безпосередньо пов'язано з хімічним складом порошку бронзи Пр-Бр-АМц9-2, та піки  $\alpha$ -кристобаліту, інтенсивність яких нижче за вихідний стан. Композиційний матеріал формується за механізмом «контактного плавлення» [23] та характеризується низькою щільністю ( $\rho = 3580 \text{ кг/м}^3$ ) та високою пористістю ( $\approx 20\%$ ), що не дозволяє рекомендувати його для подальшого використання без додаткового просочення, наприклад, рідким склом, що удвічі збільшить його вагові показники та тим самим обмежить застосування в умовах судна.

В композиції «скло – бабіт» найбільш легкоплавким компонентом є бабіт з температурою плавлення  $360^\circ\text{C}$  [22] і, як можна побачити з діаграми стану Sn–Sb, при досягненні температури  $600^\circ\text{C}$  порошок повністю перетворюється на рідину, яка змочує сферичні скляні частинки. Оскільки спікання компонентів відбувається під тиском, структура матеріалу являє собою каркас зі спечених між собою мікросфер, у точках контакту яких виділяються лінії  $\alpha$ -кристобаліту, пори між якими заповнено розплавом бабіту, для якого є характерним наявність ліній Sn. Щільність сформованої композиції складає  $2380 \text{ кг/м}^3$ , відкрита пористість –  $12\%$ . Корозійні випробування у натуральному морському середовищі показали можливість його застосування у суднобудівних технологіях.

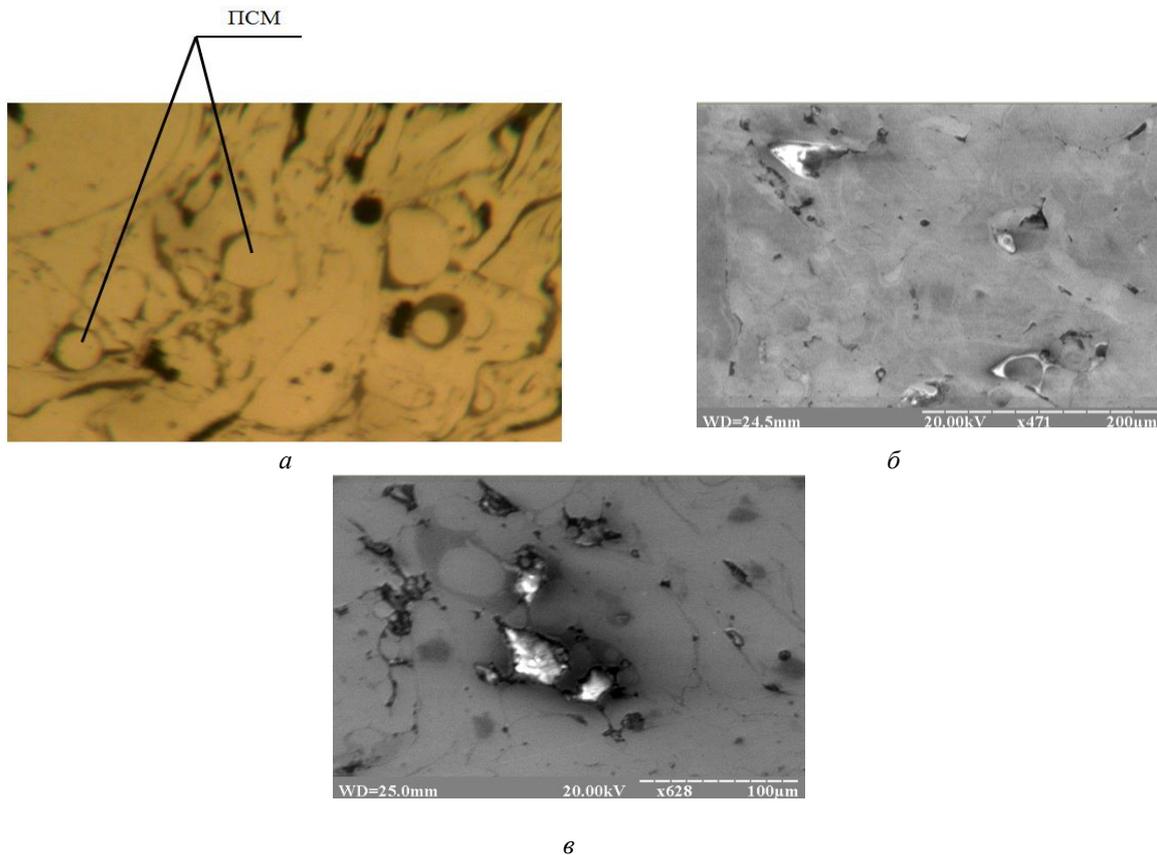
Формування композицій «скло – алюміній» відбувається за рахунок розм'якшення аморфної фази мікросфер, у стінці яких утворюються ультрамікропори, які, завдяки капілярному ефекту та зовнішньому тиску, заповнюються рідким алюмінієм. При виході на режим ізотермічної витримки розплавлений алюміній розтікається по поверхні мікросфери та заповнює пори, утворені при підготовці формувальної суміші; припинення усадочних процесів свідчить про завершення спікання. У межах обраних технологічних діапазонів мікросфери зберігають свою сферичну форму, залишаються рентгеноаморфними і не вступають у взаємодію з алюмінієм; зона контакту Al–скло має чітку поверхню поділу – стінку ПСМ товщиною 1 мм, тобто утворюється ефект «металізованих мікросфер», який надає підвищених рентгенозахисних властивостей.

Таким чином, при спіканні порожніх скляних мікросфер натрійсилікатного та натрійборсилікатного складу з порошками бронзи, бабіту, алюмінію (у тому числі й алюмінієвою пудрою) не відбувається активної взаємодії між компонентами з наступним синтезом гетерогенної структури.

*Вплив електродугового напилення на структуру порожніх скляних та керамічних мікросфер*

Формування зразків електродугових покриттів відбувалося на сталеві підкладці розміром  $140 \times 100 \times 3,5 \text{ мм}$  з вуглецевої сталі звичайної якості марки Ст3 (ГОСТ 380–2005), поверхня якої зазнала попередньої струменево-абразивної обробки на установці «Ремдеталь» моделі 026-7 за наступними режимами: тиск стиснутого повітря –  $0,4 \dots 0,6 \text{ МПа}$ ; діаметр сопла –  $10 \text{ мм}$ ; відстань до поверхні зразка –  $10 \text{ мм}$ ; кут нахилу сопла до поверхні –  $90^\circ$ . Як абразив використаний електрокорунд марки 7Б зі шліфувальним номером 125 (ОСТ 5.9957-85). Напилення покриттів проводилось на установці КДМ-2, у комплект до якої входить електродуговий апарат ЕМ-14М з центральною сопловою системою подачі стисненого повітря та джерело живлення «Тимез-500». Для напилення застосовано зварювальні дроти марок Св-08Г2С (ГОСТ 2246-70) і 65Г (ГОСТ 2246-70Г). Варіювання технологічними режимами (сила струму дуги –  $80 \dots 140 \text{ мА}$ ; напруга на дузі –  $25 \dots 28 \text{ В}$ ; тиск повітря –  $0,4 \dots 0,6 \text{ МПа}$ ; діаметр основного сопла –  $6 \text{ мм}$ ; додаткового –  $8 \text{ мм}$ ; дистанція напилення –  $90 \dots 100 \text{ мм}$ ) [9] дозволяє отримувати покриття з об'ємним вмістом скла ( $10 \dots 35$ ) $\pm 7\%$  та кераміки до  $20\%$ ; товщина напиленого шару складає від  $0,5$  до  $2 \text{ мм}$ . Мікрорельєф поверхні покриттів досліджено методом електронної мікроскопії та МРСА за допомогою растрового електронного мікроскопу РЭММА-102-02, для виконання мікроструктурних досліджень також за стандартними методиками було підготовлено поперечні нетравлені мікрошліфи. Міцність зчеплення покриттів з підкладкою визначено шляхом рівномірного поздовжнього розтягування пластини [186], де величина адгезії ( $\sigma_{\text{відр}}$ ) характеризується силою, віднесеною до одиниці площі контакту, для чого використано розривну машину ИР 5057-50; швидкість навантаження –  $2,5 \text{ мм/хв}$ .

При напиленні Св-08Г2С порожні скляні мікросфери (рис. 3, а), потрапляючи у зону електродугового розряду, перемішуються з краплями розплавленого металу та зазнають короточасних температурних навантажень, які призводять до вигорання апрету, і через ліквідаційні процеси у стінках мікросфер на поверхні поділу сталь–скло у відповідності з діаграмою стану Fe–Si (за перитектичною реакцією при температурі  $1090^\circ\text{C}$ ) утворюється нова ультрадисперсна фаза  $Fe_5Si_3$  з розміром ОКР  $87 \text{ нм}$ , яка є стійкою до  $t = 825^\circ\text{C}$  [24]. При напиленні скляні частинки зазнають часткового оплавлення через термічну дію під час обволікання рідким розплавленим металом, проте вони залишаються рентгеноаморфними. При додаванні у зону дуги неапретованих мікросфер, вони втрачають свою сферичну форму, перетворюючись на суцільні частинки, тим самим втрачаючи такі цінні функціональні властивості як щільність, демпфувальну здатність, низьку теплопровідність тощо.



6

*Рис. 3. Мікроструктури електродугових покриттів:*

*а – оптична мікрофотографія Св-08Г2С–PCM ( $\times 350$ ); б – електронно-мікроскопічний знімок поверхні покриття Св-08Г2С–АСПМ; в – електронно-мікроскопічний знімок поверхні покриття 65Г–АСПМ*

У порівнянні зі скляними керамічні мікросфери мають більш високу теплостійкість та в процесі виробництва після флотації зазнають термічного оброблювання при температурі 1600 °С, що у свою чергу виключає термічні навантаження під час наплення. Мікроструктура електродугових покриттів на основі Св-08Г2С і 65Г (рис. 3 б, в) складається з пористої металевої матриці і керамічних сферичних частинок, які, як показали результати МРСА, під час наплення не змінюють свого хімічного складу. Проте технологічні труднощі пов'язані з низьким коефіцієнтом використання керамічних мікросфер, де втрати складають більше 50 % та низькою міцністю зчеплення зі сталеву підкладкою, яка для покриттів композиції Св-08Г2С–АСПМ складає 12 МПа, для 65Г–АСПМ – 14 МПа,

в той час коли для Св-08Г2С–PCM – 20...25 МПа, що пояснюється перебуванням під температурним впливом PCM у склоподібному стані. Підвищенню міцності зчеплення та ущільненню покриття сприяє утворення і накопичення склофази; вільний Si шляхом дифузії переходить до сталеву підкладки, про що свідчить зменшення його концентрації на зворотній поверхні покриття. На рис. 4 наведено спектрограму – рентгенівський енергодисперсійний спектр, отриманий зі зворотної поверхні покриття після його відриву від підкладки СтЗ, де зафіксовано велику кількість Fe ( $\approx 92,9\%$ ), а також спектри Si, Al і Fe, O, які вказують на формування оксидів, що може знижувати адгезійну міцність.

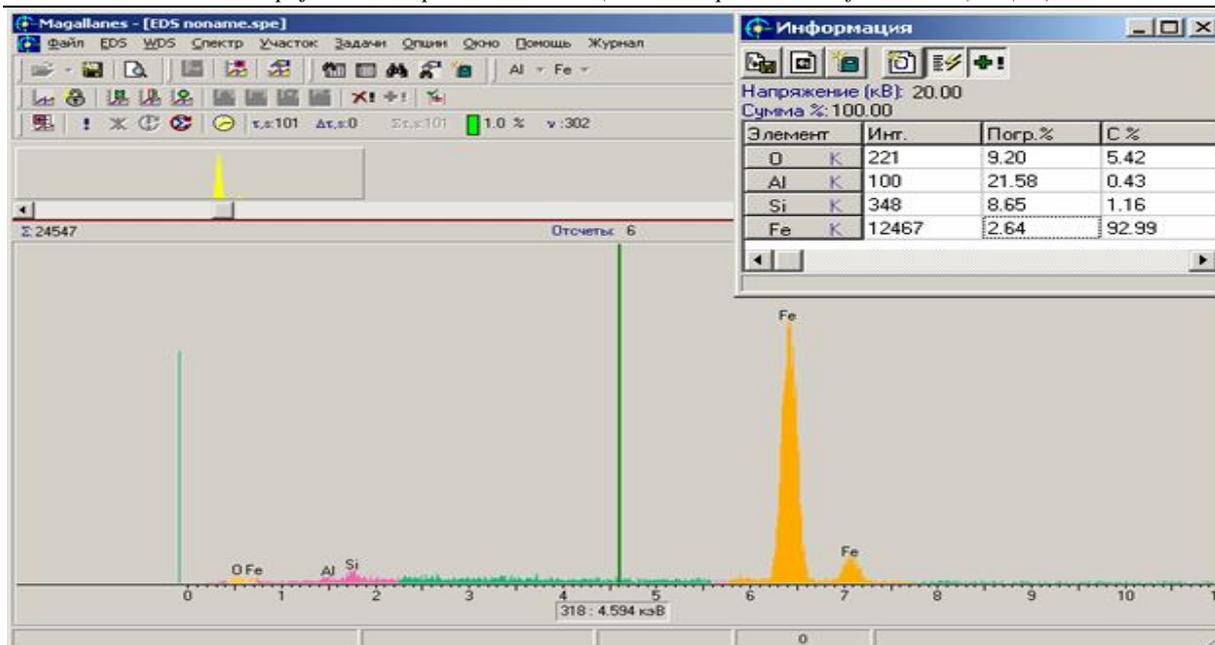


Рис. 4. Спектрограма зворотної поверхні покриття композиції Св-08Г2С–ПСМ

Одержані у роботі результати поглиблюють наукові уявлення про вплив високотемпературних технологій, зокрема спікання та електродугового напилення, на структурні зміни порожніх скляних і керамічних мікросфер; про визначення температурних полів на поверхні ПСМ при їх попаданні у зону електродугового розряду та формування міцного зв'язку на поверхні поділу метал–скло і метал–кераміка. Подальші дослідження пов'язані з визначенням функціональних властивостей матеріалів і покриттів, одержаних з використанням порожніх скляних та керамічних мікросфер.

#### Висновки і пропозиції

1. Порожні скляні мікросфери натрійсилікатного і натрійборсилікатного складу являють собою складні системи з мікрогетерогенною будовою, мікрокристалічні області яких містять фази різної природи: кремнезему, окисли, силікати, борати, що є наслідком ліквідаційних процесів, – підвищення температури відпалювання до 650...700 °С сприяє переходу у склоподібний стан. Встановлено, що температурні деформації у апретованих мікросферах починаються при температурі 500 °С, що на 50 °С нижче ніж у неапретованих, що пояснюється температурними характеристиками  $\gamma$ -амінотриетоксисилану та характером його зв'язку з пористою поверхнею ПСМ.

2. Алюмосилікатні порожні мікросфери марки МПк 200-400 є взагалі рентгеноаморфними, проте мають мікрогетерогенну будову з наявністю кристалічних модифікацій  $Al_2O_3$ ,  $\alpha$ - і  $\beta$ -квартцу,  $\alpha$ - і  $\beta$ -кварцу; схильні до утворення конгломератів під час напилення.

3. Спікання порожніх скляних мікросфер з порошками кольорових металів, а саме бронзою, бабітом, алюмінієм, відбувається за механізмом рідкофазного спікання (контактне плавлення), під час

якого відбуваються усадочні процеси. Найбільш інтенсивним слід вважати процес спікання з апретованими натрійборсилікатними мікросферами.

4. Створено теоретичні передумови для технологій формування рівномірного електродугового шару композицій Св-08Г2С–ПСМ, Св-08Г2С–АСПМ і 65Г–АСПМ по поверхні сталі марки Ст3, що ґрунтуються на структурній неоднорідності порожніх скляних і керамічних мікросфер обраного складу, які зазнають часткового оплавлення в результаті термічної дії під час обволікання рідким розплавленим металом, не змінюючи хімічного складу і залишаючись рентгеноаморфними.

5. На відміну від інших на поверхні поділу Св-08Г2С–ПСМ утворюється ультрадисперсна фаза  $Fe_3Si_3$  з розміром ОКР 87 нм; утворення і накопичення склофази сприяє підвищенню міцності зчеплення та ущільненню покриття, вільний Si шляхом дифузії переходить до сталевій підкладки, про що свідчить зменшення його концентрації на зворотній поверхні покриття.

#### Література

1. Дослідження мікроструктури теплозахисного покриття на основі скляних і керамічних мікросфер [Текст] / А. М. Березюк, К. Б. Дікарев, Р. Б. Папірник, О. М. Кузьменко, Д. О. Ямпольський // Науковий вісник будівництва. – 2014. – № 2. – С. 119–121.
2. Напыляемые теплозащитные покрытия на основе полиуретановых водных суспензий, полимерных и стеклянных микросфер [Текст] / О. В. Черваков, А. Н. Симбиркина, А. М. Потапов, А. И. Мацука, Д. О. Черваков // Космическая техника. Ракетное вооружение: научно-технический сборник : Днепр. – 2015. – Вып. 3 (110). – С. 65–70.
3. К экспериментальному определению эффективной плотности поверхностной энергии в дина-

- мических задачах разрушения [Текст] / Г. Г. Савенков, А. А. Груздков, Б. К. Барахтин, Н. В. Лебедева // Журнал технической физики. – 2013. – том 83, вып. 2. – С. 59–64.
4. Юреско, Т. А. Сферопластик как тепловая изоляция обитаемых подводных технических средств [Текст] / Т. А. Юреско // Вестн. АГТУ. Сер. Морская техника и технология. – Астрахань, 2014. – № 2. – С. 21–26.
5. Структура, обобщенные параметры и реологические свойства эпоксидных сферопластиков [Текст] / А. Н. Трофимов, А. Ю. Зарубина, И. Д. Симонов-Емельянов // Пластические массы. – 2014. – № 11-12. – С. 3–8.
6. Изготовление методом сферолитографии и изучение свойств синтактических пен, содержащих полые стеклянные микросферы [Текст] / Т. Рок-Карм, Ф. Маршал, А. Жигант, С. Корбель // Успехи химии. – 2009. – № 78 (4). – С. 402–415.
7. Казмиренко, Ю. А. Особенности спекания полых стеклянных микросфер при различных условиях [Текст] / Ю. А. Казмиренко // 36. наук. праць УДМУ. – Миколаїв : УДМУ, 2001. – № 6 (378). – С. 109–119.
8. Казмиренко Ю. А. Структурные особенности формирования металлостеклянных композиционных материалов на основе полых стеклянных микросфер [Текст] / Ю. А. Казмиренко, Г. В. Волков // 36. наук. праць НУК: Миколаїв: НУК. – 2006. – Вип. № 6 (411). – С. 81–86.
9. Казмиренко, Ю. А. Формирование ультрадисперсной структуры в композиционных электродуговых покрытиях, наполненных полыми стеклянными микросферами [Электронный ресурс] / Ю. А. Казмиренко, А. А. Карпеченко, А. А. Жданов, К. О. Тумаков // «Вісник Національного університету кораблебудування». – Миколаїв : НУК, 2012, № 3. – Режим доступа: \www/ URL: <http://ev.nuos.edu.ua>
10. Исследование возможности получения электродугового покрытия из стали 65Г с алюмосиликатными полыми микросферами [Текст] / Н. Ю. Лебедева, А. А. Карпеченко, Ю. А. Казмиренко, Ю. Г. Трофименко // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: VIII Міжнар. наук.-техніч. конф. 24–27 вересня 2016: тези доп. – Миколаїв НУК, 2016 р. – С. 145–147.
11. Мюллер, Р. Л. Электропроводность стеклообразных веществ [Текст] / Р. Л. Мюллер. – Л. : Изд-во ЛГУ, 1968. – 251 с.
12. Бачин, В. А. Диффузионная сварка стекла и керамики с металлами [Текст] / В. А. Бачин. – М. : Машиностроение, 1986. – 184 с.
13. Анисович, А. Г. Практика металлографического исследования материалов [Текст] / А. Г. Анисович, Н. И. Румянцева. – Минск : Беларус. Навука, 2013. – 221 с.
14. Физические основы рентгеноструктурного исследования кристаллических материалов : монография [Текст] / А. А. Клопотов, Ю. А. Абзаев, А. И. Потекаев и др. – Томск : Изд-во ТПУ, 2013. – 263 с.
15. Будов, В. В. Физико-химические процессы в технологии полых стеклянных микросфер [Текст] / В. В. Будов // Стекло и керамика. – 1990. – № 3. – С. 9–10.
16. Торопов, Н. А. Диаграммы состояния силикатных систем : справочник. Вып. 1. Двойные диаграммы [Текст] / Н. А. Торопов, В. П. Борзаковский, В. В. Лапин. – М. ; Л. : Наука, 1965. – 545 с.
17. Анфилогов, В. Н. Силикатные расплавы [Текст] : монография / В. Н. Анфилогов, В. Н. Быков, А. А. Осипов. – М. : Наука, 2005. – 357 с.
18. Суханов, П. П. О механизме структурирования олигоэфиракрилат-сульфидных композиций в присутствии алкисилана АГМ-9 [Текст] / П. П. Суханов, Л. Р. Джанбекова, Е. П. Суханов // Вестн. Казанского технологического ун-та. – Казань, 2006. – № 4. – С. 211–222.
19. Пат. 99331 Україна, МПК В22F3/14. Установка для виготовлення порошкових виробів [Текст] / Ю. О. Казмиренко ; заявник і патентовласник Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова. – у 2014 14197 МПК В22F3/14 ; заявл. 30.12.2014 ; опубл. 25.05.2015, Бюл. № 10.
20. Исследование модификации сополимеров этилена алюмосиланами методом ИК-спектроскопии НПВО [Текст] / Н. Е. Тихишкова, С. Н. Русанова, Ю. С. Тафеева и др. // Вестн. КТУ. – Казань, 2011. – № 19. – С. 112–124.
21. Алюмосиликатные микросферы зольных уносов ТЭС и их использование для очистки воды от нефти и фенола. [Текст] / Л. Ю. Новосёлова, Е. Е. Сироткина, Н.И.Погабаева, И.В.Русских // – Академиздатцентр «Наука» РАН – 2008. — № 3. 63-69 с.
22. Мальцев, М. В. Металлография промышленных цветных металлов и сплавов [Текст] / М. В. Мальцев: 2-е изд. – М. : Металлургия, 1970. – 364 с.
23. Гегузин, Я. Е. Физика спекания [Текст] / Я. Е. Гегузин. – М. : Наука, 1967. – 360 с.
24. Банных, О. А. Диаграммы состояния двойных и многокомпонентных систем на основе железа : справочник [Текст] / О. А. Банных, П. Б. Будберг, С. П. Алисова. – М. : Металлургия, 1986. – 860с.

*Panasko O.M.<sup>1</sup>, Ph.D., associate professor*

*Burmistrov S.V.<sup>2</sup>, Ph.D.,*

*<sup>1</sup>Cherkasy State Technological University  
Shevchenko blvd., 460, Cherkassy, 18006, Ukraine*

*<sup>2</sup>Cherkasy State Business-College  
Chornovil street, 243, Cherkassy, 18024, Ukraine*

*Панаско О.М.<sup>1</sup>,*

*к.т.н., доцент*

*Бурмістров С.В.<sup>2</sup>,*

*к.т.н.,*

*<sup>1</sup>Черкаський державний технологічний університет,  
б-р Шевченка, 460, м. Черкаси, 18006, Україна*

*<sup>2</sup>Черкаський державний бізнес-коледж,  
вул. Чорновола, 243, м. Черкаси, 18024, Україна*

**ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ФОРМ ПРЕДСТАВЛЕННЯ  
ЛОГІЧНИХ ФУНКЦІЙ В ЗАДАЧАХ СИНТЕЗУ ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ  
PERSPECTIVES OF ALTERNATIVE FORMS REPRESENTATION FOR LOGICAL  
FUNCTIONS APPLICATION IN THE PROBLEMS OF  
DIGITAL DEVICES SYNTHESIS**

**Анотація:** В статті розглянуто можливості та перспективи застосування альтернативних форм представлення логічних функцій в задачах синтезу цифрових пристроїв, розглянуто концепцію оптимальної форми представлення логічних функцій як важливого напрямку структурного вдосконалення цифрових пристроїв на основі реалізації логічних функцій в альтернативних формах представлення. Дана концепція враховує різноманітні форми представлення логічних функцій, обумовлює високу ефективність застосування альтернативних форм представлення з точки зору параметрів структурної складності реалізації комбінаційних схем у порівнянні з традиційною класичною формою представлення. В статті окреслено чинники для подальшого вдосконалення концепції оптимальної форми представлення шляхом наповнення її новими науковими досягненнями, що дозволить повністю або частково зняти труднощі відносно впровадження оптимальної форми представлення в широку інженерну практику.

*Ключові слова:* логічні функції, форма представлення, оптимальна форма представлення, показники структурної складності реалізації, підмножини пріоритетів, диференціація логічних функцій.

**Summary:** Opportunities and perspectives of alternative forms application for logical functions presentation in synthesis of digital devices are considered in this article. The concept of logical functions optimal presentation as an important direction of structural improvement for digital devices on the basis of logical functions realization in alternative forms of representation is considered. This concept takes into account the various forms of representation of logical functions, which determines the high efficiency of the application of alternative forms of presentation in terms of parameters of the structural complexity of the implementation of combinational schemes in comparison with the traditional classical form of representation. The article outlines the factors for further improvement of the concept of optimal form of presentation by filling it with new scientific achievements, which will allow to completely or partially eliminate the difficulties in implementing the optimal form of presentation in the broad engineering practice.

*Key words:* logical functions, form of representation, optimal form of representation, indicators of structural complexity of implementation, subset of priorities, differentiation of logical functions.

**Постановка проблеми.** Широке впровадження обчислювальної техніки та систем управління в усі сфери людської діяльності, а також ускладнення задач, які розв'язуються цими системами, обумовлюють необхідність постійного пошуку шляхів вдосконалення технічних компонентів комп'ютерних систем. Покращення загальної якості відповідних об'єктів, наслідком яких є мініатюризація, зменшення енергоспоживання, збільшення швидкодії та ін. можливе на основі прогресу як в області технологій, так і шляхом оптимізації структур інтегральних мікросхем, як основної елементної бази технічних компонентів комп'ютерних систем. Оскільки, на думку більшості фахівців, можливості сучасної мікроелектроніки наближаються

до своєї фізичної межі, гостро постає проблема пошуку потенційних шляхів вдосконалення технічних компонентів комп'ютерних систем саме за рахунок структурних змін мікросхем. Оптимізація на структурному рівні може виявитися більш ефективною і здатною компенсувати обмеження щодо розвитку надвеликих інтегральних схем, які визначаються технологічними межами мікромініатюризації на рівні процесів з «розривами» струмів, проблемами розсіювання тепла в кристалі та ін.

Структурна реалізація суттєво залежить від аналітичного представлення логічних функцій, як основних математичних моделей пристроїв сучасної техніки. Розробники в галузі проектування намагаються отримати якомога простіше представлення логічної функції, оскільки існує залежність

між простотою формули логічної функції та компактністю схеми, що її реалізовує. Як впливає з численних досліджень вчених та спеціалістів в галузі логічного проектування, формульне представлення логічних функцій в основному визначається їх формою представлення.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Протягом останнього часу дослідження з теорії логічних функцій, що пов'язані з представленням функцій різними способами, достатньо інтенсивно розвиваються. Серед робіт, присвячених структурному вдосконаленню дискретних пристроїв, значне місце посідають роботи дослідників С.В.Яблонського, В.П.Сігорського, В.П.Тарасенка, П.М.Бібіла, А.Д.Закревського, А.А.Шалита, В.М.Супруна, Ю.О.Кочкарьова[1-4]. Зазначені науковці обирають шлях нетрадиційних підходів до представлення та перетворення логічних функцій, до яких, зокрема, належать: концепція багатозначного алфавіту, кінечних предикатів, логічних шкал, інтерполяційних поліномів, спектрального представлення, концепція оптимальної форми представлення. Зазначені методи продемонстрували позитивний ефект в задачах аналізу та синтезу дискретних пристроїв та довели достатньо потужний потенціал нових підходів до представлення логічних функцій в аспекті зменшення їх параметрів складності структурної реалізації. Серед останніх досліджень в цій сфері слід відзначити роботи закордонних науковців Wang P., Almaini A.E.A., Mizuki T. та інших[5,6]. У зазначених роботах основна увага приділяється підходам щодо способів представлення

логічних функцій, оскільки дослідження доводять залежність між структурною оптимізацією мікросхем та формами представлення логічних функцій.

Проте залишається невирішеним досить широкий спектр важливих задач, що пов'язані із застосуванням альтернативних представлень логічних функцій в задачах аналізу і синтезу дискретних пристроїв, а також комплексом супутніх завдань, які пов'язані з їх появою. Це стосується, зокрема, розробки нових методів мінімізації логічних функцій, які повинні бути реалізовані в програмних пакетах для проектувальників і розробників інтегральних схем дискретних пристроїв, а також відповідних схемотехнічних реалізацій.

**Мета статті** полягає у вирішенні важливої науково-технічної задачі – дослідженні перспективи застосування альтернативних форм представлення логічних функцій в задачах синтезу цифрових пристроїв.

Ця задача є кінцевою метою і змістом розширення концепції оптимальної форми представлення логічних функцій. Вона полягає в реалізації логічних функцій в найбільш доцільних для них формах представлення з точки зору параметрів структурної складності реалізації. В [1] для проведення якісної оцінки структурної реалізації логічних функцій із використанням різних форм представлення, введені певні об'єктивні критерії, які використовуються в осередку виробників мікросхем, а також в даній роботі (табл.1).

Таблиця 1

Параметри структурної складності реалізації логічних функцій

Параметр	Пояснення
$S_{ad}$	– кількість доданків в запису ЛФ, яка визначає кількість виходів ПЛМ1 (рис.1) (підматриці формування кон'юнкцій) та кількість входів підматриці додавання кон'юнкцій ПЛМ2;
$S_{sh}$	– кількість доданків в запису ЛФ, що являють собою фактичні кон'юнкції вхідних аргументів, яка визначає кількість потрібних лінійок в ПЛМ1;
$S_l$	– кількість букв в запису ЛФ, яка являється класичним критерієм порівняння при мінімізації ЛФ;
$S_s$	– габаритна площа ПЛМ1 в умовних одиницях, яка визначається як: $S_s=2nS_{ad}$ – для КФП; $S_s=nS_{ad}$ – для АФП та РМФП, де $n$ – кількість вхідних аргументів ПЛМ1;
$S_{ac}$	– площа активних елементів ПЛМ1, яка визначається як $S_{ac}=2nS_{sh}$ – для КФП; $S_{ac}=nS_{sh}$ – для АФП та РМФП.

В роботах [1,2] наявність різних варіантів структурної реалізації ЛФ в першу чергу обумовлена існуванням традиційного класичного та так званих альтернативних – АФП та РМФП способів представлення ЛФ. Відповідно термін «альтернативні форми представлення» в зазначених роботах означає способи представлення логічних функцій, що є відмінними від класичної реалізації ЛФ у вигляді об'єднання операцій диз'юнкцій, кон'юнкцій та заперечень над вхідними аргументами.

В даній роботі розглядається поширений варіант реалізації ЛФ в КФП – програмовані логічні матриці (ПЛМ), типова структура яких приведена на

рис. 2. Складовими ПЛМ є матриці елементів І (ПЛМ1) та АБО (ПЛМ2). До ПЛМ також входять блоки вхідних та вихідних буферних каскадів, які перетворюють однофазні вхідні сигнали в паразитні та формують вихідні сигнали відповідно. Основними параметрами ПЛМ є кількість входів  $n$ , кон'юнкцій  $k$  та виходів  $m$ . Архітектура ПЛМ реально може дещо відрізнятися від наведеної, зокрема, для сприяння більш гнучкому програмуванню ПЛМ.

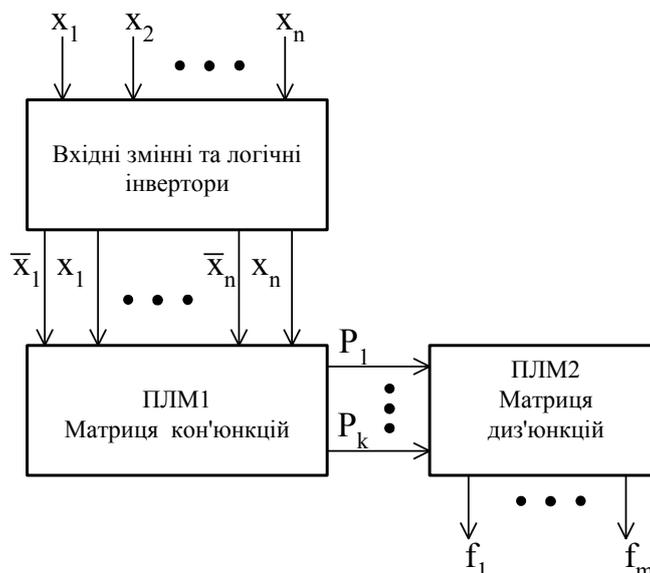


Рис. 1. Типова структура ПЛМ

Розширення концепції оптимальної форми представлення ЛФ стає можливим завдяки розробці нових форм представлення та оцінки їх параметрів структурної складності реалізації ЛФ, методів мінімізації логічних функцій у відомих альтернативних та нових формах представлення, а також розробки нових схемотехнічних рішень на основі альтернативних форм представлення.

#### Виклад основного матеріалу.

Як зазначалося вище, структурна реалізація цифрових блоків в значній мірі обумовлена аналітичними представленнями логічних функцій (ЛФ), як основних математичних моделей дискретних пристроїв. В свою чергу аналітичні представлення ЛФ залежать від форми представлення (ФП) ЛФ. На сьогоднішній день при проектуванні схем дискретних пристроїв логічні функції переважно представляються у класичній формі – із застосуванням операцій диз'юнкції, кон'юнкції та заперечення. Позитивними рисами класичної форми є простота, різноманітність та зручність елементної бази, великий досвід роботи з нею, адже така форма представлення була ґрунтовно досліджена на протязі тривалого часу чималою кількістю вчених та дослідників. Для класичної форми представлення напрацьовано великий арсенал методів по мінімізації.

В [1,2] продемонстровано, що класична форма (КФП) не є єдиною можливою формою представлення ЛФ та наведено особливості реалізації логічних функцій в відомих альтернативних формах представлення – алгебраїчній (АФП) та Ріда-Мюллерівській (РМФП).

Для досягнення поставленої метивизначальну роль доцільно відводити концепції оптимальної форми представлення (ОФП) ЛФ, яка полягає в реалізації ЛФ в найбільш доцільній для неї ФП з точки зору забезпечення мінімальності параметрів складності реалізації ЛФ. В [7] показано, що потенціал ОФП є значно вищим, ніж окремо взятої форми

представлення ЛФ та окреслено фактори, що стримують на даний час застосування концепції ОФП в широкій інженерній практиці та комплекс задач, які виникають у зв'язку із впровадженням ОФП ЛФ.

В аспекті аналізу перспектив застосування альтернативних форм представлення логічних функцій в задачах синтезу цифрових пристроїв передусім доцільно враховувати підхід щодо визначення кількісної оцінки втрат в площі мікросхеми від виключного застосування класичної форми представлення, що був запропонований в [2]. Запропонована математична модель статистичної оцінки кількості втрат від неоптимальності ФП ЛФ на основі аналізу інтегральних оцінок найбільш суттєвих для розробників інтегральних мікросхем показників структурної складності реалізації ЛФ для повних множин

логічних функцій  $L(n)$  в обсязі  $2^{2^n}$  при кількості аргументів ЛФ дозволяє визначити обсяг середньостатистичних втрат від виключного використання класичної форми представлення в площі мікросхеми. В результаті проведених обчислювальних експериментів отримано важливий практичний висновок про те, що виключне використання КФП приводить до технічно необґрунтованих втрат в площі мікросхеми, зокрема, за параметром структурної складності реалізації габаритної площі  $S_s$  в середньому близько 40%.

В рамках вдосконалення концепції оптимальної форми представлення логічних функцій для розробки нових форм представлення необхідно сформулювати вимоги до нових потенційних ФП стосовно кількості елементів системи базисних функцій (не більше ніж  $2^n$ ) та їх ефективності (не нижчу, ніж традиційної класичної), а також довести технічну доцільність їх застосування в проектуванні дискретних пристроїв та компонентів. Розробка нових форм представлення пов'язана з розробкою нових методів мінімізації логічних функцій в існуючих та нових формах представлення та прове-

денням оцінки ефективності отриманих результатів. Зазначеним вимогам повністю відповідає ортогональна форма представлення ЛФ (ОРФП), яку було запропоновано в [8-10].

Для даної ФП характерною є декомпозиція вхідних аргументів ЛФ на інформативну та базисну під-

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \bigvee_{i=0}^{2^{n-k}-1} Q_i \Phi_i \tag{1}$$

де  $k$  – кількість інформативних аргументів підмножини  $X_Q$ ;  $Q_i$  – інформативні функції, утворені аргументами  $X_Q$ ;  $\Phi_i$  – базисні функції, утворені аргументами потужністю  $n-k$ .

Інформативні функції виступають в ролі вагових коефіцієнтів для базисних функцій, на які накладається вимога взаємної ортогональності. Для зазначеної ОРФП в частині додавання кон'юнкції програмованої логічної матриці (ПЛМ) достатньо простого логічного елементу типу OR. Слід відзначити, що ОРФП є багатоваріантною формою, що визначається кількістю інформативних аргументів та розподілом вхідних змінних на підмножини  $X_Q$  та  $X_\Phi$ . Частковий випадок ОРФП при  $k=0$  відповідає загальновідомій класичній формі представлення.

дмножини з потужностями  $k$  та  $n-k$  відповідно. Аргументи утворюють ортогональні базисні функції, серед яких лише одна приймає значення, відмінне від нульового на будь-якому наборі вхідних аргументів. Аналітична форма представлення логічної функції в ОРФП має вигляд

В [1] експериментально встановлено диференціацію повної множини ЛФ  $L(n)$  з ростом кількості аргументів на так звані підмножини пріоритетів за вищевказаними критеріями. Елементами підмножини пріоритетів є визначені ЛФ, для яких найбільш доцільною є та чи інша форма представлення або, можливо, їх комбінація. Структуру множин  $L(n)$  демонструє діаграма Вена на рис.2. Межі вказаних підмножин обумовлюються обраними критеріями оцінки складності реалізації.

На діаграмі К, А, Р, О означають чисті підмножини пріоритетів ЛФ, для реалізації яких найбільш доцільна тільки одна з зазначених форм – КФП, АФП, РМФП або ОРФП. Проміжні підмножини пріоритетів представлені ЛФ, для яких рівнозначно доцільними з точки зору параметрів структурної складності реалізації є більше ніж одна ФП з множини {КФП, АФП, РМФП та ОРФП}, відповідно КА, КР, АР, КАР, КО, АО, КАРО та інші.

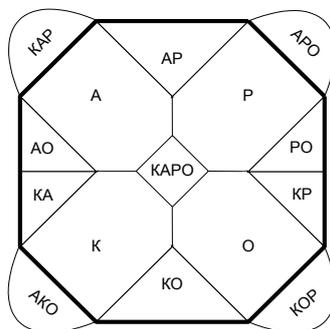


Рис. 2. Структура  $L(n)$  за підмножинами пріоритетів

Визначені сумарні потужності підмножин, пов'язаних з відповідними ФП – класичною КФП (CLASSIC (C)), алгебраїчною АФП (ALGEBRAIC (A)), Ріда-Мюллерівською РМФП (RID-MULLER

(R)) та ортогональною ОРФП (ORTOGONAL (O)) наведені в табл.2 та представлені графічно на рис.3-5.

Таблиця 2

Сумарні потужності підмножин в структурі  $L(n)$

Підмножини	L(3)	L(4)	L(5)
КФП К (CLASSIC (C))	2,4	0,6	3,34
АФП А (ALGEBRAIC (A))	73,1	60,1	14,84
РМФП Р (RID-MULLER (R))	79,4	66,5	78,2
ОРФП О (ORTOGONAL (O))	4,3	6,9	17,1

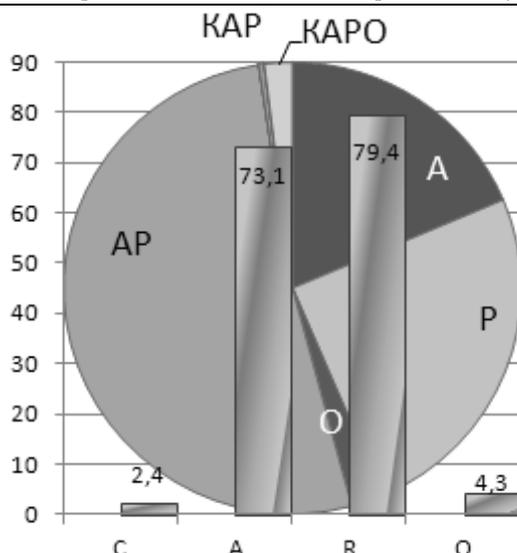


Рис.3. Вміст сумарних підмножин  $L(3)$

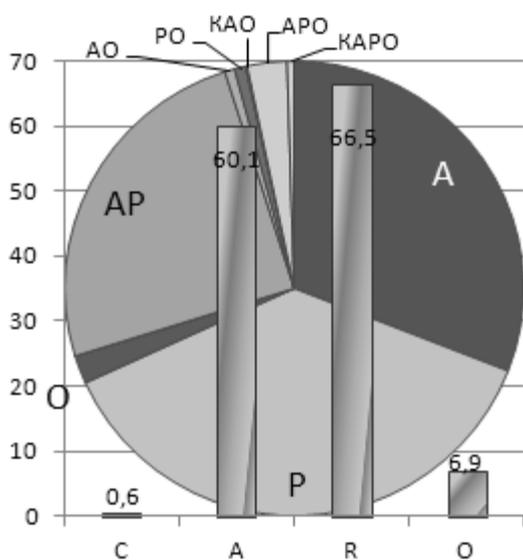


Рис.4. Вміст сумарних підмножин  $L(4)$

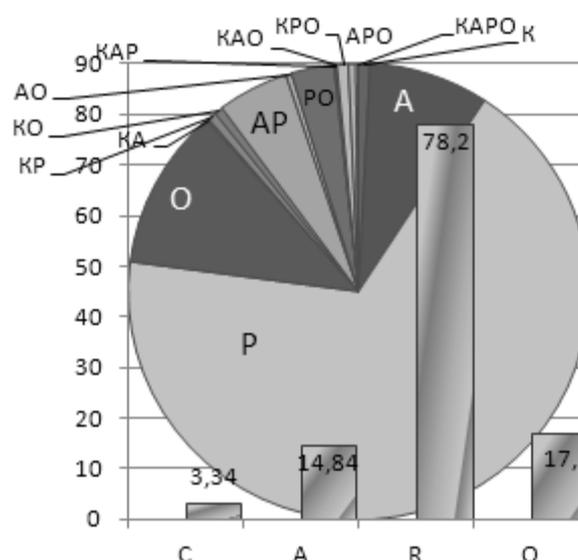


Рис.5. Вміст сумарних підмножин  $L(5)$

**Висновки.** В роботі було представлено можливості та перспективи застосування альтернативних форм представлення логічних функцій в задачах синтезу цифрових пристроїв, розглянуто концепцію оптимальної форми представлення логічних функцій та відзначено можливі шляхи подальшого вдосконалення концепції ОФП, що ґрунтуються на розробці ефективних методів мінімізації ЛФ в альтернативних ФП, розробці ефективних схемотехнічних реалізацій ЛФ в цих ФП, розробці нової організації системи логічного проектування цифрових блоків з урахуванням наявності більш ефективних, ніж КФП, альтернативних ФП, пошуку та оцінці ефективності нових, невідомих на даний момент ФП. Визначено сумарні потужності підмножин пріоритетів ЛФ, пов'язаних з відповідними формами представлення – класичною, алгебраїчною, Ріда-Мюллерівською та ортогональною.

#### Список літератури

1. Кочкарев, Ю.А. Совершенствование структуры аппаратных средств обработки сигналов на основе мультiformного представления логических функций [Текст] / Ю.А. Кочкарев, Е.Н. Панаско, С.А. Шакун // *Электроника и связь*. – №1. – Киев. – 2006. – С.82 - 86.
2. Кочкарев, Ю.А. Статистическая оценка потерь от неоптимальности формы представления логических функций [Текст] / Ю.А. Кочкарев, Е.Н. Панаско, Н.С. Кучерова // *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. – №32. – Дніпропетровськ. – 2009. – С.171–177.
3. Дьяченко, В.В. Минимизация симметрических булевых функций в классе полиномов Ріда – Маллера [Текст] / В.В. Дьяченко, В.П. Супрун // *Дискретная математика, алгебра и их приложения: тез. докл. Междунар. науч. конф., 14–18 сентября 2015 г.*, – Минск, 2015. – С. 98-100.
4. Алексейчук, А.Н. Алгебраически вырожденные приближения булевых функций [Текст] /

А.Н. Алексейчук, С.Н. Коношук // Кибернетика и системный анализ. – 2014. – Т. 50, № 6. – С. 3-14.

5. Wang, P. Conversion algorithm for MPRM expansion [Текст] / P.Wang, Z.Wang, R.Xu, Z.Jiang, D.Wang // Journal of Semiconductor, Institute of Circuits and Systems, Ningbo University, Ningbo, China. – 2014. – Vol. 35, No.3. – PP. 150-155.

6. He, Z. A power and area optimization approach of mixed polarity Reed-Muller expression for incompletely specified Boolean functions [Текст] / Z. He, L. Xiao, L. Ruan // Journal of computer science and technology. – 2017. – Vol.32, No.2. – PP. 297 – 311. doi: 10.1007/s11390-017-1723-1.

7. Panasko, E.N., Burmistrov, S.V. Conception of the optimal form of the logical functions presentation and problems of its implementation/Radioelectronic and computer systems (Радиоелектронні і комп'ютерні системи). – 2018. – №1. – С.32 –39.

8. Kochkarev, Y.A. Ortogonal forms of presentation of boolean functions in device blocks [Текст] / Y.A. Kochkarev, I.I. Osipenkova, E.N. Panasko // Датчики, приборы и системы ДПС – 2009: материалы международной научно-технической конференции. – Ялта. – 2009. – С.39-42.

9. Панаско, О.М. Дослідження ефективності ортогональної форми представлення логічних функцій [Текст] / О.М.Панаско // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – Вип. 4. – Серія «Комп'ютерні мережі і компоненти, приладобудування». – Черкаси: ЧДТУ, 2013. – № 4. – С. 7 – 13.

10. Панаско, О.М. Пошук однакових фрагментів при мінімізації логічних функцій в ортогональній реалізації [Текст] / О.М.Панаско // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харків: НАУ «ХАІ», 2014. – № 1. – С. 105 – 111.

**Тепляков А.А.**

*student of 1 course of Aerospace Institute,  
Orenburg State University*

**Тепляков А.А.**

*студент 1 курса Аэрокосмического Института,  
Оренбургский государственный университет*

## AUTOMATION AND DISPATCHING OF VENTILATION SYSTEMS

### АВТОМАТИЗАЦИЯ И ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ

**Summary:** Theoretical and practical aspects of development and implementation of an automated ventilation control system using the industrial network Modbus.

*Key words:* automation, microcontrollers, telecommunications, ventilation control.

**Аннотация:** Исследованы теоретические и практические аспекты разработки и внедрения автоматизированной системы управления вентиляцией с использованием промышленной сети Modbus.

*Ключевые слова:* автоматика, микроконтроллеры, телекоммуникации, управление вентиляцией.

**Постановка проблемы.** Система вентиляции является важной инженерной системой жизнеобеспечения здания. В связи с удорожанием оборудования и монтажных работ по системе вентиляции возникает вопрос целесообразности и эффективности использования автоматизированного управления системами вентиляции зданий.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Обзор публикаций по данной теме позволяет сказать, что данная тема актуальна на сегодняшний день. Автоматизация и диспетчеризация зданий должна максимально минимизировать «человеческий фактор» и обеспечить контроль над автономно работающим оборудованием, объединив его в единый инженерный комплекс.[2]

Сегодня в нашей стране проводится масштабная работа по сокращению расходов всех видов энергоресурсов, а постоянный рост цен требует поиска эффективных методов экономии.[5]

**Цель статьи.** Исследование теоретических и практических аспектов разработки и внедрения ав-

томатизированной системы управления вентиляцией с использованием промышленной сети Modbus.

**Изложение основного материала.** Сегодня производители систем автоматического управления (САУ) вентиляцией применяют ПЛК и промышленные сети для объединения нескольких систем и диспетчеризации. АСУ вентиляцией обеспечивает необходимый воздухообмен и контроль температуры подаваемого воздуха для комфортной работы персонала.

Основные функции данной системы:

- управления исполнительными механизмами;
- звуковое оповещение при возникновении аварийной ситуации;
- связь систем по сети;
- возможность изменения настроек климата;
- визуализация работы системы на экране диспетчера.

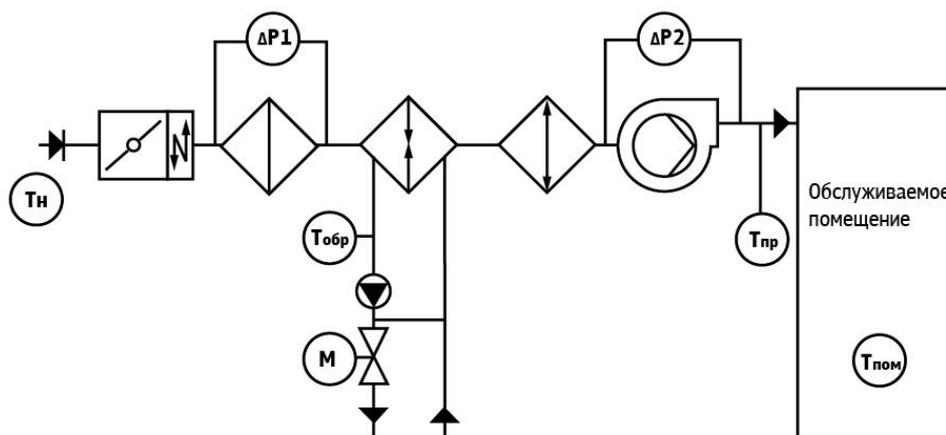


Рисунок 1 – Приточная система с водяным нагревом и фреоновым охлаждением с использованием контроллера TPM1033-04-00

Таблица 1 – Назначение основных входов/выходов контроллера TPM1033-04-00

Обозначение на схеме	Назначение	Тип сигнала
T <sub>н</sub>	Измерение температуры наружного воздуха	AI
T <sub>пр</sub>	Измерение температуры приточного воздуха	AI
T <sub>пом</sub>	Температура помещения	AI
P1	Вход датчика засорения воздушного фильтра	DI
P2	Вход датчика падения давления на приточном вентиляторе	DI

Состав одной установки:

- приточный и вытяжной вентилятор;
- частотные преобразователи двигателей вентиляторов;
- приводы клапанов байпаса, притока и вытяжки;
- аварийные термостаты;
- датчики температуры.

Система предусматривается два режима работы, автоматически включающихся по показаниям температурного датчика наружного воздуха. В теплый период – температурный режим регулируется за счет отключения нагревателя и циркуляционного насоса, в холодный – за счет отключения охлаждения. Управление установками осуществляется интерфейсным модулем.[3]

Интерфейсные модули позволяют децентрализовать управление задачами, осуществляют полный и независимый контроль над процессами. Модули могут использоваться как автономные процессоры. В плане соединить интерфейсные модули по сети Modbus с ведущим контроллером ОВЕН ПЛК323. Ведущий контроллер должен быть соединен с компьютером диспетчера по сети Ethernet, на данном компьютере, при помощи SCADA-системы, организуется рабочее место диспетчера.

Modbus - открытый протокол последовательной связи, разработанный в 1979 году для использования с ПЛК. Он является самым распространенным протоколом во всей промышленной автоматизации. Modbus – представляет собой простое и понятное в использовании устройство со стандартной последовательной связью. В Modbus каждое устройство обращается к сети как набор бит и регистров. С помощью сжатого набора команд, мастер

считывает и записывает регистры и биты. Коммуникация движется только в одном направлении за раз.

Одной из причин популярности протокола является – его краткая реализация.

Преобразователь протоколов широко используется по следующим причинам:

- Modbus попадает в широкий диапазон типов устройств любого поставщика оборудования из-за того, что он является протоколом с открытым исходным кодом;
- Облегчение процедуры развертывания, за счет использования простой структуры сообщений;
- поддержка Ethernet-соединений;
- использование последовательных соединений двух типов: RS-232 и RS-485.

Протокол Modbus не является частью физического уровня в сети. Связь передается над физическими уровнями, что дает возможность использовать ее во многих различных типах сетей, поэтому данный протокол можно отнести к протоколам прикладного характера.

Протокол Modbus представляет собой общий способ сбора данных из различных источников для просмотра, архивирования и устранения неполадок с центрального удаленного места.

Существующие варианты протокола, проходящие через последовательные соединения:

- протокол Modbus RTU. В данном формате передача данных всегда сопровождается циклической контрольной суммой избыточности, которая используется для обнаружения проблем передачи;
- протокол Modbus ASCII является менее защищенным протоколом. Поскольку он менее эф-

фактивен, чем Modbus RTU, операторы должны использовать ASCII только для передачи данных на устройства, которые не поддерживают формат RTU. ASCII также может быть полезным, если сообщение RTU не может быть правильно применено.

В протоколе Modbus RTU связь осуществляется между централизованным ведущим оборудованием и 247 подключаемыми электронными устройствами в одной сети. Данная конструкция часто называется протоколом «ведущий/ведомый», из-за того, что система «ведущий» запрашивает информацию у подключенных «ведомых» устройств, которые отправляют информацию «ведущему» только в ответ на эти запросы. «Ведомые» устройства не работают автономно. «Ведущее» устройство также может записывать информацию на подчиненные устройства, но не наоборот.

Во время передачи «ведомым» устройством сообщения через Modbus, оно формирует в сообщении уникальный идентификатор адреса (число от 1 до 247), позволяющее «ведущему» устройству определять, какое конкретное устройство отвечает запрошенной информации.

Всем устройствам, предназначенным для связи с использованием Modbus, присваивается уникальный адрес. В последовательных сетях только узел, назначенный «ведущим», может инициировать ко-

манду. В Ethernet любое устройство может отправлять команду Modbus, хотя обычно это делает только одно «ведущее». Все команды включают информацию контрольной суммы, чтобы позволить получателю обнаруживать ошибки передачи. Базовые команды Modbus указывают RTU на изменение значения в одном из своих регистров, управление или чтение порта ввода-вывода, команду устройству отправить обратно одно или несколько значений, содержащихся в его регистрах.

Рабочее место диспетчера должно включать в себя набор мнемосхем, через которые диспетчер может управлять установкой и наблюдать за параметрами системы в дистанционном режиме, корректировать установки температуры, обрабатывать аварийные сообщения. [4]

При необходимости использования диспетчером нескольких станций, необходимо включить в схему системы сервер. В этом случае, клиенты считывают необходимую информацию с сервера по сети Ethernet, что дает возможность осуществлять параллельную работу нескольким диспетчерам с одной и той же установкой. К каждому интерфейсному модулю подключается панель оператора, позволяющая управлять отдельной установкой со щита управления. Структурная схема сети, описываемой САУ, изображена на рисунке 2.

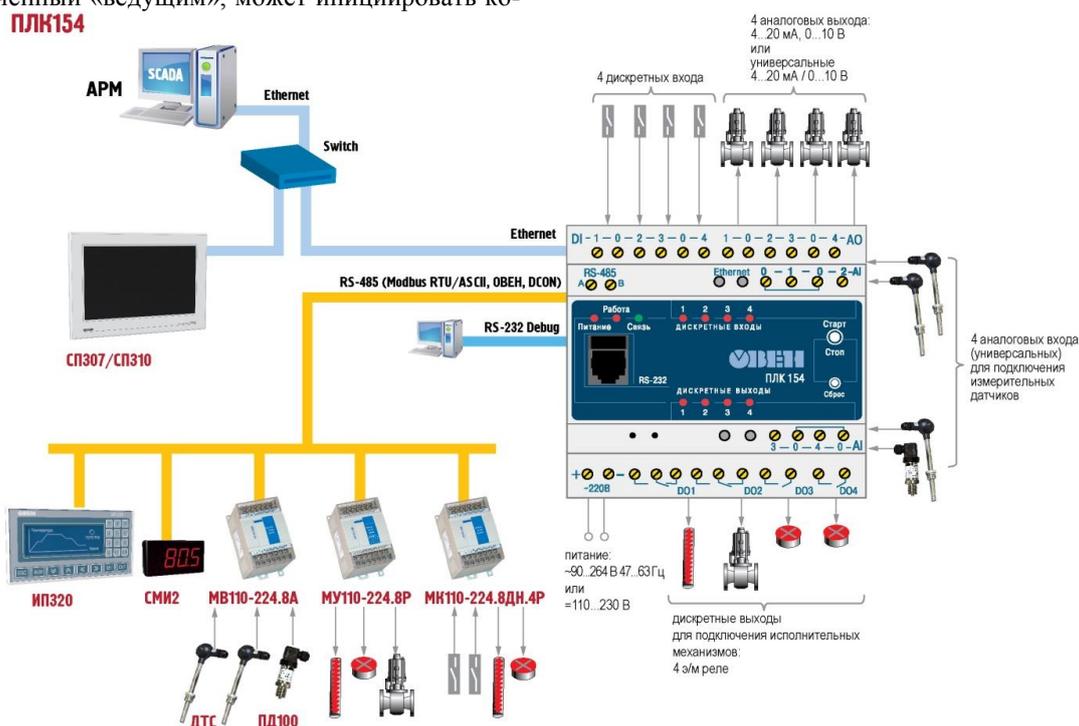


Рисунок 2 – Структурная схема сети

Для разработки автоматизированной системы управления вентиляцией с использованием промышленной сети Modbus, также планируется использование контроллера ОВЕН ТРМ1033.

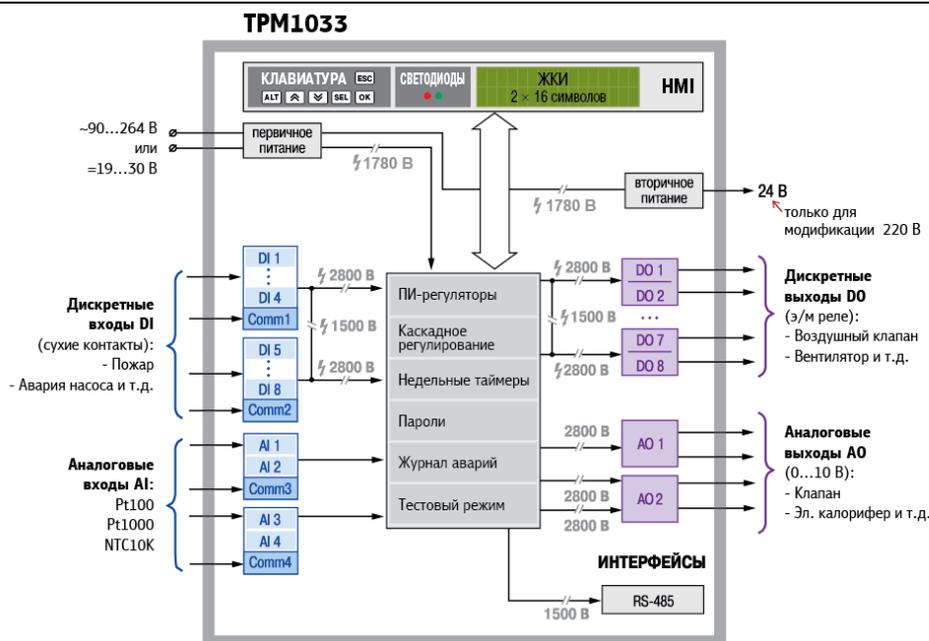


Рисунок 3 – Функциональная схема контроллер для управления приточными системами вентиляции TRM1033

TRM1033 – это специализированный контроллер с готовыми алгоритмами для автоматизации приточной вентиляции. Контроллер позволяет управлять стандартными узлами вентиляции для достижения максимально комфортной температуры приточного воздуха для помещений:

- приточная вентиляция с водяным калорифером нагрева;
- приточная вентиляция с электрическим нагревом. (до 3-х ступеней);
- приточная вентиляция с водяным нагревом и водяным охлаждением;
- приточная вентиляция с водяным нагревом и фреоновым охлаждением;
- приточная вентиляция с электрическим нагревом и фреоновым охлаждением.

#### Функциональные возможности регулятора TRM1033

- поддержание температуры приточного воздуха;
- защита технологического оборудования: водяного и электрического калорифера, насоса контура водяного калорифера, компрессорно-конденсаторного блока;
  - контроль обратной воды;
  - обогрев воздушного клапана с помощью ТЭНа или периметрального кабеля;
  - контроль по перепаду давления на вентиляторе;
  - работа с датчиками Pt100, Pt1000, Ni1000, NTC10k;
  - контроль засоренности фильтра;
  - управление насосом в контуре водяного калорифера;
  - работа по протоколу Modbus, через интерфейс RS-485.

#### Особенности работы

- мягкий пуск;

- предотвращает резкое закрытие регулирующего клапана по воде после прогрева с целью защиты теплообменника от замерзания;
- каскадное регулирование температуры приточного воздуха;
- для достижения максимально комфортной температуры помещения применяется каскадное регулирование. Температура приточного воздуха корректируется по требуемому значению температуры в помещении;
- тестовый режим работы;
- режим работы позволяет проверить работоспособность отдельных узлов управления вентиляционной установки в ручном режиме с панели контроллера;
- журнал аварий с квитированием по времени;
- контроллер фиксирует все аварийные ситуации, возникающие в процессе работы. Помимо текущих аварий, дополнительно аварии архивируются с записью о квитировании. Объем архива рассчитан на 24 записи;
- недельный таймер работы;
- контроллер может в автоматическом режиме управлять отключением или запуском вентиляционной установки по дням недели;
- режим работы Зима/Лето;
- изменение сезона осуществляется в автоматическом режиме, тем самым определяется, какой режим работы требуется: Зима (отключение охлаждения) / Лето (отключение нагревателя и циркуляционного насоса).

Программирование контроллеров и интерфейсных модулей осуществляется в среде CODESYS v3.5, соответствующей стандарту МЭК 61131.

**Выводы и предложения.** В статье рассмотрены теоретические и практические аспекты разработки и внедрения автоматизированной системы управления вентиляцией с использованием промышленной сети Modbus.

Сегодня стоит задача повышения степени автоматизации и качества управления вентиляцией в производственном помещении. Решение данной задачи заключается в формировании и внедрении интеллектуальной системы управления, которая обеспечит полный и непрерывный контроль параметров микроклимата помещения, что позволит также снизить потребление энергии на эксплуатацию системы вентиляции.[1]

#### Список литературы:

1. Тепляков А. А. Автоматизация вентиляции в производственном помещении / А. А. Тепляков, В. Н. Шерстобитова // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции: сборник научных трудов конференции – Оренбургский государственный университет. – 2017. С. 532-535.
2. Дворцов П. А. Автоматизация и диспетчеризация инженерных систем / П. А. Дворцов, И. Н. Комаров, Д. Р. Вафина, С. В. Уразайкин // Молодой ученый. — 2016. — №27. — С. 61-64.
3. Власенко О. М. Обогрев вентиляцией при автоматизации производственных зданий легкой промышленности / О. М. Власенко, А. С. Сорокин, С. Х. Абдулаев // Дизайн и технологии: сборник научных трудов – Москва: Экономическое образование, 2015. № 50 (92). – С. 70-77. – ISSN: 2076-4693
4. Сайфутдинов А. Р. Автоматизация и интеллектуальное управление системами вентиляции: научная статья / А. Р. Сайфутдинов, А. Б. Костуганов, А. С. Прилепский // Механизация и автоматизация строительства: сборник научных трудов – Самара, 2016. – С. 66-69.
5. Горшков А. С. Технология и организация строительства здания с нулевым потреблением энергии / А. С. Горшков, Д. В. Дерунов, В. В. Завгородний // Строительство уникальных зданий и сооружений. № 3 (8). 2013. С. 12- 23.

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

**Aliyev G.G.**

*Doctor of physical and mathematical sciences, Professor  
Institute of Mathematics and Mechanics  
Azerbaijan National Academy of Sciences*

**Aliyev A.G.**

*Doctor Phd of economical science, Assistant Professor  
Azerbaijan State Oil and Industry University*

**Алиев Г.Г.**

*д.ф.-м.н, профессор  
Заведующий отделом  
«Прикладная математика»  
Института Математики и Механики  
Национальной Академии Наук Азербайджана*

**Алиев А.Г.**

*к.э.н., доцент кафедры  
«Экономика и менеджмент в отраслях ТЭК»  
Азербайджанского Государственного  
Университета Нефти и Промышленности*

### **GENERAL CONDITION OF C.L.M.H. NAVIER IN NANOHYDRODYNAMICS ОБОБЩЕННОЕ УСЛОВИЕ НАВЬЕ В НАНОГИДРОДИНАМИКЕ**

**Summary:** In low-dimensional systems, specific forces of interaction arise in the form of physical fields on the basis of the effect of quantum mechanical effects. The result of interactions of these forces is the formation of the empty space between the liquid and the wall of the vessel called the "restricted area" in physics. Under the influence of the intensity of the physical field penetrating deep into the liquid, a homogeneous liquid is transformed into the heterogeneous liquid.

The proposed physical-mathematical dependence of the speed of the fluid and the slip condition of the fluid at the boundary with the wall of the vessel considering the influence of quantum mechanical effects in low-dimensional systems (Nano-systems), which is a generalized by Navier's formula. It is established that the values of the liquid velocity and slip on the interface between the liquid and the empty space will consist of the sum of three velocities: 1st-arising due to the influence of the structural inhomogeneity of the wall part of the liquid; 2nd-arising due to the apparent length of the fluid slippage at the boundary of the liquid and the empty space; 3rd-the velocity of the entire velocity plot system at the depth of the liquid arising due to the apparent length of the fluid slippage proposed by Navier.

*Keywords: Nano-hydrodynamics with quantum-mechanical effects, low-dimensional systems, nanotube, inhomogeneous liquid, quantum-mechanical effects, locally-ordered structure of the liquid.*

**Аннотация:** В низкоразмерных системах на основе влияния квантово-механических эффектов возникают специфические силы взаимодействия в виде физических полей. Результатом взаимодействий этих сил является образование пустого пространства между жидкостью и стенкой сосуда называемой в физике «запретной зоной». Под воздействием проникающей вглубь жидкости напряженности физического поля происходит превращение однородной жидкости в неоднородную.

Такая локальная неоднородность атомной и молекулярной структуры жидкости влияет на характер течения жидкости в нано каналах.

В статье предложена физико-математическая зависимость скорости жидкости и условия проскальзывания жидкости на границе со стенкой сосуда с учетом влияния квантово-механических эффектов в низкоразмерных системах (нано системах).

Получена обобщенная формула Навье. Установлено, что величины скорости и скольжения жидкости на границе раздела между жидкостью и пустым пространством будет складаться из суммы трех скоростей: 1-ая - возникающая за счет влияния структурной неоднородности пристеночной части жидкости; 2-ая - возникающая за счет кажущейся длины проскальзывания жидкости на границе жидкости и пустого пространства; 3-я – скорость проскальзывания всей системы эпюры скоростей по глубине жидкости возникающая за счет кажущейся длины проскальзывания жидкости предложенной Навье.

*Ключевые слова: наногидродинамика с учетом квантово-механических эффектов, низкоразмерные системы, нано трубка, неоднородная жидкость, квантово-механические эффекты, локально-упорядоченная структура жидкости.*

### Постановка проблемы

В нано гидродинамике одним из мало исследуемых вопросов является вид граничного условия на скорость жидкости у стенки сосуда, а также, вид условия проскальзывания жидкости по стенке сосуда.

### Анализ последних исследований и публикаций

В первые в 1823 году Навье в макро гидродинамике в качестве условия проскальзывания жидкости по стенке сосуда предложил условие проскальзывания вязкой жидкости по стенке сосуда в виде [1]:

$$v = L_0 \cdot \frac{\partial v}{\partial n}$$

Это соотношение записано при следующих предположениях:

- жидкость однородная,
- профиль распределения скорости жидкости по высоте сосуда представляется выпуклостью в сторону движения в виде параболы,
- скорость жидкости на границе контакта жидкости с сосудом равна нулю, т.е. имеет место условие полного прилипания,
- величина кажущейся длины проскальзывания  $L_0$ , согласно Максвеллу, равна 2-х кратной длине свободного пробега атома в разреженном газе,
- На границе контакта жидкости со стенкой сосуда отсутствуют какие-либо побочные немеханические силы взаимодействия [2].

Однако в низкоразмерных системах  $10^{-9} \text{ м} \leq d \leq 10^{-4} \text{ м}$  на основе влияния квантово-механических эффектов возникают специфические силы взаимодействия в виде физических полей. Результатом взаимодействий этих сил является образование пустого пространства между жидкостью и стенкой сосуда называемой в физике «запретной зоной».

Во-вторых, под воздействием проникающей вглубь жидкости напряженности физического поля происходит превращение однородной жидкости в неоднородную. Это явление приводит к изменению свойства жидкости - плотности и вязкости [3,4,5].

Используя способ компьютерного моделирования к экспериментальным исследованиям в протекании жидких частиц в низкоразмерных каналах установлена численная величина пустой прослойки между жидкостью и трубкой толщиной прослоек

$$R_{жс} \leq r \leq R_0 \text{ равным } \frac{R_{жс}}{R_0} = 0,88 \text{ [6,7,8].}$$

Вторым феноменом в низкоразмерных системах является изменяемость физико-механических свойств жидкостей, т.е. плотности и вязкости. Физиками-экспериментаторами установлено странное поведение жидкости в низкоразмерных каналах. Помещенная в низкоразмерную трубку (микро, нано трубку) обычная однородная жидкость превращается в структурно-неоднородную жидкость. Такая локальная неоднородность атомной и молекулярной структуры жидкости влияет на характер

течения жидкости в нано каналах. Это странное явление локально-упорядоченной структуры жидкости в низкоразмерных каналах в виде гипотезы была высказана Я.И.Френкелем в 1941 году. За последние 15 лет 21-го столетия проведены натурные и компьютерные эксперименты, которые подтверждают существование в микро и нано трубках структуру воды напоминающий лед [9,10,11].

### Выделение нерешенных ранее частей обшей проблемы

Однако отметим, что причинность изменения свойств жидкости и их математическое представление в виде моделей на сегодняшний день отсутствует.

Впервые проблема причинности явления превращения однородной жидкости в неоднородную в низкоразмерных системах (в частности, наноразмерных системах) с учетом влияния квантово-механических эффектов была исследована в работах Алиева Г.Г. и Алиева А.Г. [12,13]. Авторами доказано, что причинность явления превращения однородной жидкости в неоднородную жидкость связана с величиной плотности воздействия напряженности физического поля  $\tilde{E} = \frac{E(r)}{E_0}$  проникающей

вглубь жидкости [14,15]. Авторами также предложена следующего вида физико-математическая модель зависимости механических характеристик жидкости (плотности  $\rho(r)$  и вязкости  $\mu(r)$ ) от напряженности физического поля  $\tilde{E} = \frac{E(r)}{E_0}$ :

$$\rho = \rho_0 \cdot [1 - \tilde{E}(r)], \mu = \mu_0 \cdot [1 - \tilde{E}(r)]$$

На основе этих моделей авторами Алиева Г.Г. и Алиева А.Г. построены определяющие уравнения гидромеханики идеальной и вязкой жидкостей в низкоразмерных системах с учетом влияния квантово-механических эффектов.

### Формулирование целей статьи

В предлагаемой нами статье предлагается математическая формула обобщенного граничного условия проскальзывания жидкости на границе раздела жидкости со стенкой сосуда с учетом влияния возникающих квантово-механических эффектов, в виде:

$$v(r) = a + b \cdot \frac{\partial v}{\partial r}$$

Где коэффициенты  $a$  и  $b$  являются выражениями зависящие от квантово-механических эффектов.

### Изложение основного материала

Построение физико-математической модели обобщенного условия проскальзывания жидкости на границе.

Рассмотрим течение вязкой жидкости в трубке диаметром  $10^{-9} \text{ м} \leq d \leq 10^{-4} \text{ м}$ . Под воздействием квантово-механических эффектов, имеющие место на границе со стенкой сосуда, а также, проникающей вглубь жидкости напряженности физического поля будут возникать следующие явления в жидкости:

- образование пустого пространства между стенкой сосуда и жидкостью,
- по глубине жидкости близкой к стенке однородная жидкость будет превращаться в структурно-неоднородную,
- изменяемость механических характеристик неоднородной части жидкости (плотности  $\rho(r)$  и вязкости  $\mu(r)$ ) по глубине в зависимости от воздействия напряженности физического поля будут в виде:

$$\rho = \rho_0 \cdot [1 - \tilde{E}(r)], \quad \mu = \mu_0 \cdot [1 - \tilde{E}(r)] \quad (1)$$

При этих условиях эпюра скорости по сечению трубки не будет параболической, а будет в виде показанной на рис. 1. С другой стороны в силу симметрии течения жидкости относительно центра график

скорости течения представлен в виде кривой  $MA_1N$ .

Под влиянием квантово-механических эффектов, во-первых, будет образовано пустое пространство между стенкой сосуда радиусом  $R_0$  и границей течения жидкости ( $R_0 - \Delta$ ) будет величиной  $\Delta = 0,12 \cdot R_0$ ;

во-вторых, в силу структурно-неоднородности жидкости по глубине в зоне  $(R_0 - \Delta, r_0)$ , эпюра скорости жидкости будет в виде кривой  $A_1N$ .

Считаем, что виды функций скоростей жидкости в областях  $(0, r_0)$  и  $(r_0, R_0 - \Delta)$  определены из решения соответствующих уравнений движения однородной и структурно-неоднородной частей жидкостей.

Основной целью статьи является предложить новое граничное условие на скорость на границе  $(R_0 - \Delta)$ , а также, предложить новое условие проскальзывания неоднородной жидкости на этой границе с учетом влияния квантово-механических эффектов.

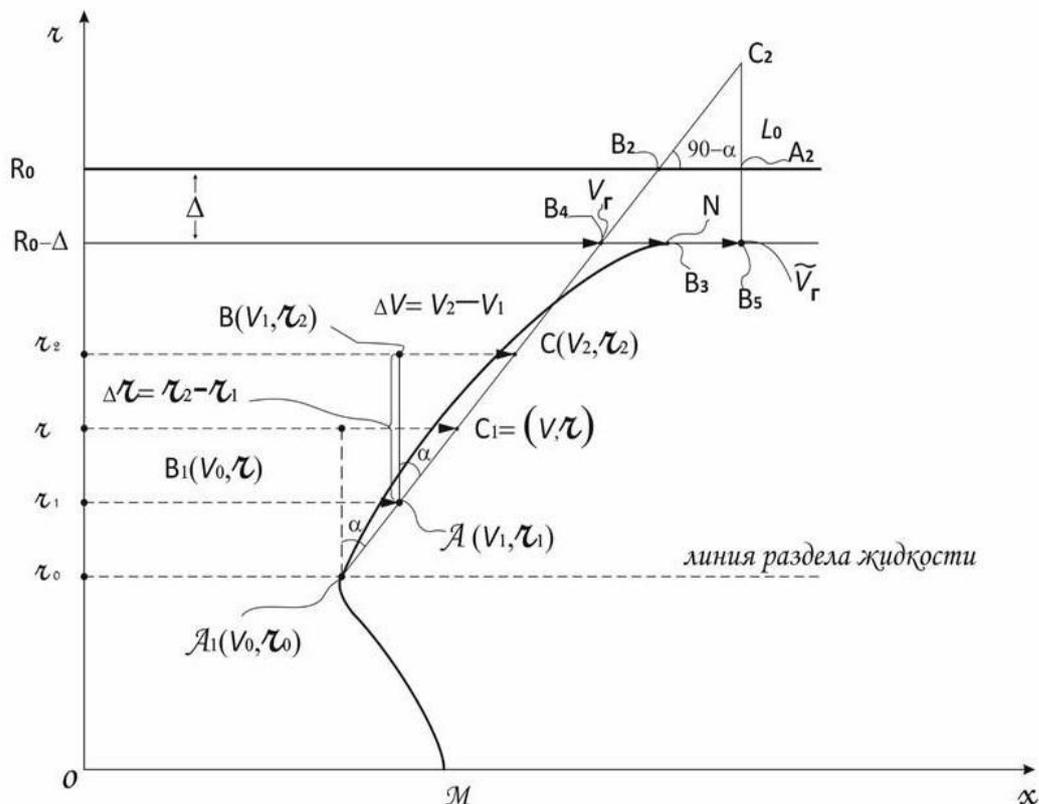


Рис. 1. Характер распределения скорости течения жидкости

по глубине сосуда с учетом влияния квантово-механических эффектов.

Из  $\Delta ABC$  имеем (рис. 1):

$$1) \Delta v = v_2 - v_1 > 0, \quad \Delta r = r_2 - r_1 > 0, \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{dv}{dr} > 0 \quad \text{при } dv > 0$$

С другой стороны из  $\Delta A_1 B_1 C_1$  имеем:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v - v_0}{r - r_0} > 0 \quad \text{при } v - v_0 > 0, \quad r - r_0 > 0$$

Откуда:

$$v(r) = v_0 + (r - r_0) \cdot \frac{dv(r)}{dr} \quad (2)$$

Здесь  $v(r)$  есть скорость в произвольной точке кривой  $A_1 C$ ,  $v_0$  - скорость жидкости в точке пересечения кривых в точке  $A_1$ . Отсюда видно, что

- при  $r = r_0$  в точке пересечения кривых скорость будет равен  $v = v_0$ ,

- при  $r = R_0 - \Delta$  на границе с пустым пространством скорость будет равен:

$$v_\Gamma = v|_{r=R_0-\Delta} = v_0 + (R_0 - \Delta - r_0) \cdot \frac{dv}{dr} \quad (3)$$

При этом отметим, что формулой (3) устанавливается связь между скоростью на границе между жидкостью и пустым пространством  $y_\Gamma = y|_{r=R_0-\Delta} = R_0 - \Delta$  со скоростью жидкости  $v_0$  в точке пересечения двух кривых  $r_0$ .

Из (3) следует, что при  $r_0 \neq 0$ ,  $v_0 \neq 0$  и  $\Delta \neq 0$  скорость на границе между стенкой и жидкостью всегда отлична от нуля, т.е. имеет место проскальзывание за счет влияния квантово-механических эффектов. Отсюда следует, что прилипание жидкости к стенке сосуда в низкоразмерных системах отсутствует всегда.

В случае  $v_0 = 0$ ,  $\Delta = 0$  и  $r_0 = R_0$  скорость на границе раздела стенки с жидкостью будет равен нулю  $v_\Gamma = 0$ . Этот случай будет соответствовать условию прилипания на границе, а вид кривой скорости будет в виде параболы. Этот частный случай будет соответствовать классическому случаю принимаемой в макро гидродинамике.

Теперь построим условие проскальзывания по типу Навье. В этом случае наряду с величиной проскальзывания вида (3), которая возникает за счет влияния квантово-механических эффектов, учтем вид проскальзывания жидкости при движении всей системы (диаграммы) распределения скорости по глубине сосуда вдоль оси  $Ox$ .

Из  $\Delta B_4 C_2 B_5$  имеем:

$$\frac{L_0}{B_4 B_5} = \operatorname{tg}(90 - \alpha), \quad \text{где } B_4 B_5 = \tilde{v}_\Gamma - v_\Gamma$$

Откуда:

$$\tilde{v}_\Gamma = v_\Gamma + (L_0 + \Delta) \cdot \frac{dv}{dr} \quad (4)$$

Подставив (3) в (4) найдем суммарную величину проскальзывания в форме:

$$\tilde{v}_\Gamma = v_0 + (R_0 - \Delta - r_0) \cdot \frac{dv}{dr} + \Delta \cdot \frac{dv}{dr} + L_0 \cdot \frac{dv}{dr}$$

Здесь  $L_0$  кажущаяся длина проскальзывания всей системы по Навье;  $\Delta$  - кажущаяся длина проскальзывания жидкости на границе жидкости и пустого пространства, которая равна величине «запретной зоны» между атомами величиной

$$\Delta = R_0 - R_{\text{жк}} = R_0 \cdot \left(1 - \frac{R_{\text{жк}}}{R_0}\right) = R_0 \cdot (1 - 0,88) = 0,12 \cdot R_0$$

(рис.1).

В компактной форме ее можно записать в виде:

$$\tilde{v}(r)|_\Gamma = \tilde{v}(r)|_{r=R_0-\Delta} = a + b \cdot \frac{\partial v(r)}{\partial r} \quad (5)$$

Где  $a = v_0$ ,  $b = R_0 - r_0 + L_0$

Таким образом, скорость проскальзывания на границе раздела между жидкостью и пустым пространством будет складываться из суммы трех скоростей:

1-ая скорость - возникающая за счет влияния структурной неоднородности пристеночной части

жидкости и равна  $v_1 = v_0 + (R_0 - \Delta - r_0) \cdot \frac{dv}{dr}$ ;

2-ая скорость - возникающая за счет кажущейся длины проскальзывания жидкости на границе жидкости и пустого пространства  $\Delta = 0,12 \cdot R_0$ , которая равна величине «запретной

зоны» между атомами и равна  $v_2 = \Delta \cdot \frac{dv}{dr}$  и 3-я скорость - скорость проскальзывания всей системы эпюры скоростей по глубине жидкости возникающая за счет кажущей длины проскальзывания жидкости  $L_0$  величиной равной  $v_3 = L_0 \cdot \frac{dv}{dr}$ , предложенной Навье.

#### **Выводы из данного исследования**

В прикладном плане этот результат имеет следующий смысл. При движении жидкости в низко-размерных трубках (нано трубках) на границе будет возникать три вида скоростей:

$$v_1 = v_0 + (R_0 - \Delta - r_0) \cdot \frac{dv}{dr}, \quad v_2 = \Delta \cdot \frac{dv}{dr},$$

$$v_3 = L_0 \cdot \frac{dv}{dr}$$

В зависимости от характера структурной неоднородности тонкого слоя жидкости и величины пустого пространства  $\Delta$  возможны следующие виды скоростей течения жидкости на границе:

#### **Случай 1.**

При  $L_0 = 0$  на границе будет два вида скоростей:

$$v_1 = v_0 + (0,88 - \frac{r_0}{R_0}) \cdot \frac{dv}{dr}, \quad v_2 = 0,12 \cdot \frac{dv}{dr}, \quad v_3 = 0$$

Здесь функции  $v_0$  и  $\frac{dv}{dr}$  должны определяться из решения конкретно поставленной задачи, которые также будут зависеть от экспериментальных данных  $\frac{r_0}{R_0}$ ,  $\Delta$ ,  $L_0$ . Отсюда следует, что

$v_1 \neq 0$  и  $v_2 \neq 0$ . Это означает, что всегда будет иметь место эффект проскальзывания жидкости на границе за счет структурной неоднородности пристеночного слоя жидкости, а также, от наличия прослойки пустого пространства между жидкостью и стенкой сосуда величиной  $\Delta = \frac{R_{жс}}{R_0} = 0,12 \cdot R_0$ .

#### **Случай 2.**

В случае, когда  $L_0 = 0$  и  $\Delta = 0$  скорость частиц жидкости на границе (смещение) будет в виде:

$$v_1 = v_0 + R_0 \cdot (1 - \frac{r_0}{R_0}) \cdot \frac{dv}{dr}, \quad v_2 = 0, \quad v_3 = 0$$

Иными словами, на границе скорость частицы жидкости будет отлична от нуля, а эффекты проскальзывания всей системы за счет  $\Delta$  и  $L_0$  будут равны нулю.

#### **Случай 3.**

В случае, когда  $L_0 = 0$ ,  $\Delta = 0$  и  $r_0 = R_0$  все три скорости будут равны нулю:

$$v_1 = 0, \quad v_2 = 0, \quad v_3 = 0, \quad v_0 = 0$$

Это будет соответствовать случаю отсутствия влияния квантово-механических эффектов на течение жидкости, а также, отсутствию проскальзывания жидкости по стенке сосуда. В этом случае будет полное прилипание жидкости к стенке сосуда.

#### **Случай 4.**

В случае, когда  $L_0 \neq 0$ ,  $\Delta = 0$  и  $r_0 = R_0$  будет соответствовать случаю проскальзывания однородной жидкости по стенке сосуда, соответствующее условию Навье.

$$v_1 = 0, \quad v_2 = 0, \quad v_3 = L_0 \cdot \frac{dv}{dr}$$

*Таким образом в заключении можно резюмировать, что в предлагаемой статье предложена физико-математическая зависимость скорости и условия проскальзывания жидкости на границе со стенкой сосуда с учетом влияния квантово-механических эффектов в низкоразмерных системах (нано системах), которая является обобщением формулы Навье.*

*Величины скорости и скольжения жидкости на границе раздела между жидкостью и пустым пространством будет слагаться из суммы трех скоростей:*

**1-ой скорости** - возникающей за счет влияния неоднородности пристеночной части жидкости и величины пустого пространства и будет равна

$$v_1 = v_0 + (R_0 - \Delta - r_0) \cdot \frac{dv}{dr};$$

**2-ой скорости** - возникающей за счет кажущейся длины проскальзывания жидкости на границе жидкости и пустого пространства  $\Delta = 0,12 \cdot R_0$ , которая равна величине «запрет-

ной зоны» между атомами и равна  $v_2 = \Delta \cdot \frac{dv}{dr}$ .

**И 3-ей скорости** проскальзывания всей системы эпюры скоростей по глубине жидкости, возникающая за счет кажущейся длины проскальзывания жидкости  $L_0$  величиной равной

$$v_3 = L_0 \cdot \frac{dv}{dr}, \text{ предложенной Навье.}$$

## Список литературы

1. **Navier C.L.M.N.** Memoire sur lois du mouvement des fluids. Memoire Academie des Sciences de Institute de France. 1823. v.1, p. 389-440.
2. **Maxwell** // Phll Trans.-1879. - v.170. - p. 249-256.
3. **Алиев Г.Г., Алиев А.Г.** Теоретические основы гидродинамики в низкоразмерных системах (Гидромеханика с учетом квантово-механических эффектов) / Г.Г.Алиев, А.Г.Алиев - Germany.: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016.- 272 стр.
4. **Cottin-Bizone C., Barenin C., Charlaix E. et al.** Dynamics of simpl liquids at heterogeneous surfaces: Molecular-dinamics simulations and hydrodynamic description.The Eropean Physical Journal E, 2004, v. 15, p. 427-438.
5. **Granuck S.,Zhu Y., Lee H.** Slippery questions about complex fluids flowing past solids // Nature materials. (Вопросы скольжения при течении сложных жидкостей вдоль твердой поверхности) – 2003. v.2. – p.221-227.
6. **Hongfei Ye, et al.** Size and temperature effects on the viscosity of water inside carbon nanotubes. Nanoscale Research Letters, 2011, p. 6-87.
7. **Lauga E., Brenner M.P.** Effective slip in pres sure-driven Skokes flow. Journal of Fluid Mechanics, 2003, v. 489, p. 55-77.
8. **Kotsalis E.M., Walther J.H.** Koumoutsakos P. Multiphase water flow inside carbon nanotubes. Internation Journal of Multiphase Flow, 30, 2004, p. 995-1010.
9. **Thomas John A. and Mc.Gaughey Alan J.H.** Ressessing Fast Water Transport Throgh Nano-tubes. NANO LETTTERS, 2008, v.8, №9, p.2788-2793.
10. **Lauga E., Brenner M.P. Store H.A** Micro-fluidics: the no-slip boundary condition /Springer in Handbook of Experimental Fluid Mechanics (edited by Tropea C.,Yarin A.L., Foss J.F.). New York: Springer, 2007. -1557 p.
11. **Kalra A. Garde S. Hummer G.** Osmotic water transport through carbon nanotube arrays. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA, 2003, v.100, p.10175-10180.
12. **Aliyev G.G., A.G. Aliyev A.G.** Fundamentals of hydromechanics of ideal fluid in nanotype systems / **G.G.Aliyev, A.G.Aliyev** // International Journal Of Applied And Fundamental Research. – 2016.- № 4.
13. **Aliyev G.G., Aliyev A.G.** Fluid Hydrodynamics in Nano-Systems With Regard To Quantum-Mechanical Effects / **Aliyev G.G., Aliyev A.G.**// IJSET - International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology. – 2017. - Vol. 4 Issue 4. pp. 126-129.
14. **Алиев Г.Г., Алиев А.Г.** Основы гидромеханики идеальной жидкости в наноразмерных системах/ **Алиев Г.Г., Алиев А.Г.**// Нефть, Газ и Бизнес.-2017.- № 6. С.21-27.
15. **Алиев Г.Г., Алиев А.Г.** Гидродинамика жидкости в низкоразмерных системах с учетом квантово-механических эффектов/ **Алиев Г.Г., Алиев А.Г.**// Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований.-2017.- №-5(2). С. 232-235.

**Danilenko E.L.**

*doctor of technical sciences, professor,  
professor of the department of applied mathematics  
and information technologies  
Odessa National Polytechnic University*

**Даниленко Евгений Леонидович**

*доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры прикладной математики  
и информационных технологий,*

*Одесский национальный политехнический университет*

## THEORY OF CONTROL OF RANDOM PROCESSES AND APPLICATIONS ТЕОРИЯ КОНТРОЛЯ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ И ПРИЛОЖЕНИЯ

**Summary:** Mathematical models of control of random processes that are relevant for a wide range of applications are developed, for example, in the management of multi-channel complex and computer networks, the scoring of their reliability efficiency. The bases of construction of control charts and various applications of statistical quality control are described.

*Key words: control, random process, controlled set, Markov processes, statistical quality control, control charts.*

**Аннотация:** Разработаны математические модели контроля случайных процессов, которые имеют актуальное значения для широкого круга приложений, например, при управлении многоканальными комплексными и компьютерными сетями, оценке их эффективности надежности. Описаны основы построения контрольных карт и различные приложения статистического контроля качества.

*Ключевые слова: контроль, случайный процесс, контролируемое множество, марковские процессы, статистический контроль качества, контрольные карты.*

### 1. Foreword

The creation of a theory of reliability and quality control stimulated the creation scientific schools, the founders of which were outstanding mathematicians and thinkers of the A.N. Kolmogorov, B.V. Gnedenko and their students. For a short period, the theory of statistical quality control was created in the Soviet Union (see the books of Ya.B. Shor, Yu.K. Belyaev, B.V. Gnedenko). The creation of the theory of statistical quality control influenced the following formulation of the problem of developing mathematical models of control of random processes [1-5]. Suppose that a complex system operates in a continuous time  $t$  and its state at time  $t$  is described by a random process  $\xi(t)$  with values in the set  $X$ . We call a complex system controlled if its state set is divided into a set of controlled states  $X_0$  and a set of uncontrolled states  $X_1$ , that is,  $X = X_0 \cup X_1$ ,  $X_0 \cap X_1 = \emptyset$ ,  $X_0 \neq \emptyset$ ,  $X_1 \neq \emptyset$ .

A controlled state  $x^0 \in X_0$  is a state of the system that corresponds to the pre-established regulations. For example, in control charts [1, 5, 6], such states are those for which the map exponent lies within an admissible region (in control boundaries), and for a computing complex, these can be the states of technical serviceability of its main elements. Note that among uncontrolled states  $x^1 \in X_1$  there can be also the rejected states of the system, getting into which means its failure, but it is assumed that such states are recoverable.

We denote the probability of the system staying in the set of controlled states

$p(t) = P\{\xi(t) \in X_0\}$ , the opposite probability  $q(t) = 1 - p(t)$  stay of the system in a set of uncontrolled states  $X_1$ . The search problem has a lot of controlled states  $X_0$  for a fixed probability  $p_1(t)$  is called the direct task of controlling a complex system (problem establishment of control boundaries). The task of finding the probability  $p(t)$  with a fixed set  $X_0$  is called inverse task of control. It is easy to see that calculating probabilities  $p(t)$ ,  $q(t)$  depends on the type of random process  $\xi(t)$  and the sets  $X_0$ ,  $X_1$ . The random process is given by its probability measure  $P(\cdot)$  (in the particular case, the distribution function  $F(x, t)$  or some property of the random process, for example, the property of Markov property or the property of increment independence, the stationarity and ergodicity property). One can discretize the time  $t$ , that is, represent the time  $t$  in the form of a finite or infinite sequence  $\{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ ,  $\{t_1, t_2, \dots, t_n, \dots\}$ . There may be a different type of sets of controlled and uncontrolled states. For such different cases (types of random processes  $\xi(t)$ , different sets  $X$  solve the direct and inverse problems of controlling a complex system, statistical tasks and the theory of control charts and its application in various branches [1,5]. Optimized control models for complex systems and their applications are considered [5].

The basic way of specifying a random process is to construct its canonical probability space  $(\Omega, F, P)$  and it is based on the Kolmogorov theorem, which is the basis of the theory of random processes and whose essence lies in the fact that every family of symmetric compatible distribution functions (a family of finite-dimensional distribution functions) determines a stochas-

tic process uniquely up to equivalence. Finite-dimensional distribution functions play the same role for a random process as the distribution function for a random variable—they contain all the information about the process. Thus, the random process  $\xi(t)$  can be represented by a process  $X = \{X(t), t \in T\}$ , the given coordinate system is selected by the Gaussian mapping  $X(t, \omega) = X(t, x(\cdot)) = x(t)$ ,  $\omega \in \Omega$  – set of elementary events. Then we can talk about the functions of mathematical expectation and covariance of the process, respectively,  $\mu(t) = M(x(t))$  and  $C(s, t) = M((X(s) - \mu(s))(X(t) - \mu(t)))$  where  $M(\cdot)$  is the mathematical expectation operator. A real random process  $X = \{X(t), t \in R\}$  is said to be Gaussian if its finite-dimensional distributions are Gaussian. It should be noted that the Gaussian process is given by the mathematical expectation function  $\mu(t)$  and the covariance function  $C(s, t)$ .

We have a random process  $\xi(t)$  as a family of random variables  $X = \{X(t), t \in T\}$  defined on the same probability space  $(\Omega, F, P)$  depending on some parameter  $t$  from the set  $T$  and taking values in to some other fixed set  $E$ . If the set of values of a random process coincides with the real line,  $E = R$ , then for a given elementary event  $\omega \in \Omega$  the mapping  $x = X(\omega) : T \rightarrow R$  is a function  $x = \{x(t), t \in T\}$  in the ordinary sense, which is called the trajectory of the random process  $\xi(t)$ .

The time parameter  $t \in T$  can take numeric values from a countable or continuous set, or take values in more complex sets. In this connection, various special concepts are used for random processes. If the set  $T = N = \{1, 2, \dots\}$  is a set of positive integers, then  $X = \{X(n), n \in N\}$  is called a random sequence and is denoted by  $X = \{X_n, n \in N\}$ . If the set  $T$  is a real line  $T = R = (-\infty, +\infty)$  or its intervals  $(a, b)$ ,  $[a, b)$ ,  $(a, b]$ ,  $[a, b]$ ,  $-\infty \leq a < b \leq +\infty$  and is interpreted as time, then we are talking about a random process.

*Легко заметить, что при множестве подконтрольных состояний  $X_0 = [a, b]$ ,  $-\infty \leq a < b \leq +\infty$ , вероятность равна  $P(\xi(t) \in X_0) = p(t) = F(b, t) - F(a, t)$  и можно просто решать прямую и обратную задачи контроля, пользуясь функцией распределения  $F(x, t)$ .*

### 2. Control of Markov processes

Let us consider the control of Markov processes [3]. This raises the task of investigating the probabilities of a transition between sets of controlled and uncontrolled states, obtaining ergodic conditions for the controlled system. The ergodicity property of a controlled system is of primary interest for real applications, since it consists in the asymptotic constancy of the probability of stay in sets of controlled and uncontrolled states and the absence of dependence on the initial state. Many studies have been devoted to the substantiation of the use of Markov chains for modeling multi-machine associations (for example, [10]).

For example, in the fairly general case, when  $\xi(t)$  is a stochastically continuous, regular, time-inhomoge-

neous Markov chain with values in a measurable discrete space  $(X, B(X))$ , where  $B(X)$  is a Borel algebra of

subsets of  $X$ , and a matrix of continuous local probability transitions (infinitesimal matrix)

$$Q(t) = \|q_{\alpha\beta}(t)\|, (\alpha, \beta) \in X^2, q_{\alpha\beta}(t) \geq 0, \alpha \neq \beta, \sum_{\beta \in X} q_{\alpha\beta}(t) = 0, \alpha \in X.$$

We denote by

$$\begin{aligned} Q^0(t) &= \|q_{\alpha\beta}(t)\|, P_0(t, s) = \|p_{\alpha\beta}(t, s)\| \quad (\alpha, \beta) \in X_i \times X_j \quad (i, j=0, 1); \\ \Pi_j(t, s) &= \|\pi_{\alpha\beta}^j(t, s)\|, \quad (\alpha, \beta) \in X^2 \quad (j=0, 1); \\ p_{\alpha\beta}(t, s) &= P\{\xi(s) = \beta, | \xi(t) = \alpha\}, \pi_{\alpha\beta}^j(t, s) = P\{\xi(s) = \beta, \xi(u) \in X_j, t \leq u \leq s | \xi(t) = \alpha\}. \end{aligned}$$

We will assume that the behavior of the system, when its functioning starts from a controlled (uncontrolled) state  $x^0 \in X_0$  ( $x^0 \in X_0$ ), is known that all states are communicating and with a single probability it is possible to exit from the set  $X_0$  ( $X_1$ ) and return back.

A study of the random process control model is proposed to be carried out by constructing two Markov chains  $\xi_0(t)$  и  $\xi_1(t)$ ,  $t \in [0, \infty)$  provided that their state

space  $X$  remains the same and all states  $x^0 \in X_0$  for  $\xi_0(t)$ ,  $x^1 \in X_1$  for  $\xi_1(t)$  are absorbing. Thus, we establish relations between the probability matrices of the transitions  $P_0(t, s)$  и  $\Pi_j(t, s)$ ,  $j=0, 1$ . Note that  $\Pi_j(t, s)$  are the matrices of the transition probabilities of the Markov chains  $\xi_0(t)$  и  $\xi_1(t)$ ,  $t \in [0, \infty)$  are solutions of systems from the direct and inverse Kolmogorov equations

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial s} \Pi_j(t, s) = \Pi_j(t, s) Q^{jj}(s), t \leq s, \\ \frac{\partial \Pi_j(t, s)}{\partial t} = -Q^{jj}(t) \Pi_j(t, s), t \leq s, \\ \Pi_j(t, s)|_{t=s} = \|\delta_{\alpha\beta}\|, (\alpha, \beta) \in X_j^2, \end{cases}$$

where

$$\delta_{\alpha\beta} = \begin{cases} 1, \alpha = \beta, \\ 0, \alpha \neq \beta, \end{cases}$$

namely

$$\Pi_j(t, s) = \exp\left(\int_t^s Q^{jj}(u) du\right) = \frac{\sum_{k=0}^{\infty} \left(\int_t^s Q^{jj}(u) du\right)^k}{k!}, j = 0, 1.$$

2.1. Let  $\xi(t) = \alpha \in X_0, \beta \in X_0$ . Then the event  $\{\xi(s) = \beta\}$  is representable as an unification of events. Event  $\{\xi(s) = \beta, \exists u \in (t, s), \xi(u) \in X_1\}$  implies the

existence of such states  $\gamma \in X_0, \delta \in X_1, \varepsilon \in X_1, \zeta \in X_0$  and time mates  $t < u < v < s$  that there is an event

$$\{\xi(u-0) = \gamma, \xi(\omega) \in X_0 \text{ при } \omega \in [t, u)\} \cap \{\xi(u+0) = \delta, \xi(\omega) \in X_1 \text{ при } \omega \in (u, v), \xi(v-0) = \varepsilon\} \cap \{\xi(v+0) = \zeta, \xi(s) = \beta\}.$$

Then, noting that  $\Pi_0(t, u)Q^{00}(u), \Pi_1(u, v)Q^{10}(v)$  – probability density of the transition from the set  $X_0$  to the set  $X_1$  and vice versa, taking into account the markness of the chain

$\xi(t), t \in [0, \infty)$  and the above formulas using the formula of total probability, we have

$$P_{00}(t, s) = \Pi_0(t, s) + \iint_{t < u < v < s} \Pi_0(t, u)Q^{01}(u)\Pi_1(u, v)Q^{10}(v)P_{00}(v, s)dudv.$$

This matrix equation is the Volterra integral equation of the second kind with respect to the unknown matrix  $P_{00}(t, s)$ . The proof of the existence and uniqueness of its solution can be carried out by standard methods on the basis of the principle of condensed considerations [8, p.88]. We solve this equation by means of a resolvent, that is, in the form of a Neumann series of

iterated kernels that obey recurrence relations. We note that the convergence of the solution (the Neumann series) follows from the probabilistic meaning of its terms.

As a result, we have

$$\begin{aligned}
 P_{00}(t, s) = & \Pi_0(t, s) + \iint_{t < u < v < s} \Pi_0(t, u) Q^{01}(u) \Pi_1(u, v) Q^{10}(v) \Pi_0(v, s) dudv + \\
 & \iint_{t < u < v < u_1 < v_1 < s} \iint \Pi_0(t, u) Q^{01}(u) \Pi_1(u, v) Q^{10}(v) \Pi_0(v, u_1) Q^{01}(u_1) \Pi_1(u_1, v_1) Q^{10}(v_1) \\
 & \times \Pi_0(v_1, s) dudvdvdu_1dv_1 + \dots
 \end{aligned}$$

From this expression we see that the matrix  $P_{00}(t, s)$  also satisfies the following integral equation

$$P_{00}(t, s) = \Pi_0(t, s) + \iint_{t < u < v < s} P_{00}(t, v) Q^{01}(u) \Pi_1(u, v) Q^{10}(v) \Pi_{00}(s, v) dudv,$$

union with the initial integral equation. Assuming in the last equation of

$$L^0(u, s) = Q^{01}(u) \int_u^s \Pi_1(u, v) Q^{10}(v) \Pi_0(v, s) dv$$

we obtain the integral equation

$$P_{00}(t, s) = \Pi_0(t, s) + \int_t^s P_{00}(t, u) L^0(u, s) du.$$

We note that, in addition to finding exact solutions by means of the resolvent, the approximate solutions of the integral equation can also be sought.

2.2. Let  $\xi(t) = \alpha \in X_0, \beta \in X_1$ . Similarly to Section 2.1, we obtain

$$P_{01}(t, s) = \Pi_0(t, s) + \int_t^s P_{00}(t, u) Q^{01}(u) \Pi_1(u, s) du.$$

2.3. Let  $\xi(t), t \in [0, \infty)$  stochastically continuous regular, time-homogeneous Markov chain with a state space of the form  $X = X_0 \cup X_i, X_0 \cap X_i = \emptyset, X_0 \neq \emptyset, X_i \neq \emptyset$ .

Then the matrices of local transition probabilities are independent of time, that is,

$$Q = \|q_{\alpha\beta}\|, (\alpha, \beta) \in X^2; Q^{ij} = \|q_{\alpha\beta}\|, (\alpha, \beta) \in X_i \times X_j (i, j = 0, 1),$$

and the matrices  $P_0(t), \Pi_j(t), L^0(t)$  have the form

$$P_0(t) = P_0(0, t), \Pi_j(t) = \Pi_j(0, t) = \exp(tQ^j), (i, j) = 0, 1,$$

$$L^0(t) = Q^{01} \int_0^t \Pi_1(u) Q^{10}(t-u) du.$$

Then it follows from the equations in Section 2.1 that

$$P_{00}(t) = \Pi_0(t) + \int_0^t P_{00}(u) L^0(t-u) du,$$

$$P_{01}(t) = \int_0^t P_{00}(u) Q^{01} \Pi_1(t-u) du.$$

Let us pass in these integral equations to the Laplace transform

$$\tilde{P}_{00}(z) = \tilde{\Pi}_0(z) + \tilde{P}_0(z)\tilde{L}^0(z), \text{ where } \tilde{L}^0(z) = Q^{01}\tilde{\Pi}_1(z)Q^{10}\tilde{\Pi}_0(z),$$

$$\tilde{P}_{01}(z) = \tilde{P}_{01}(z)Q^{01}\tilde{\Pi}_1(z).$$

Then from these equations we find the Laplace transform of the unknown probabilities

$$\tilde{P}_{00}(z) = \tilde{\Pi}_0(z)(E_0 - Q^{01}\tilde{\Pi}_1(z)Q^{10}\tilde{\Pi}_0(z))^{-1},$$

$$\tilde{P}_{01}(z) = \tilde{\Pi}_0(z)(E_0 - Q^{01}\tilde{\Pi}_1(z)Q^{10}\tilde{\Pi}_0(z))^{-1}Q^{01}\tilde{\Pi}_1(z).$$

Similarly we obtain

$$\tilde{P}_{10}(z) = \tilde{\Pi}_1(z)\left(E_1 - Q^{10}\tilde{\Pi}_0(z)Q^{01}\tilde{\Pi}_1(z)\right)^{-1}Q^{10}\tilde{\Pi}_0(z),$$

$$\tilde{P}_{11}(z) = (E_1 - Q^{10}\tilde{\Pi}_0(z)Q^{01}\tilde{\Pi}_1(z))^{-1}\tilde{\Pi}_1(z).$$

In the last four formulas

$$E_i = \|\delta_{\alpha\beta}\|, (\alpha, \beta) \in X_i^2, \delta_{\alpha\beta} = \begin{cases} 1, \alpha = \beta, \\ 0, \alpha \neq \beta, \end{cases} i = 0, 1.$$

We note that the above expression for the inversion of matrices has an obvious meaning in the case of the finiteness of the set of controlled states  $X_0$  (it is this set that is of practical interest). If  $X_0$  is a countable set, then invertibility must be understood as invertibility in the algebra of operators on the space of bounded sequences. The Laplace transforms uniquely (with an accuracy of the set of measure 0) determine the matrices of the transition probabilities  $P_{00}(t)$ ,  $P_{01}(t)$ ,  $P_{10}(t)$ ,  $P_{11}(t)$ , which are found by means of Mellin type inversion theorems.

2.4. Suppose that a controlled system is described by a homogeneous locally regular Markov chain  $\xi(t)$  with continuous time and a finite set of states  $X = \{1, \dots, n\} = X_0 \oplus X_1$ ,  $X_0 = \{1, \dots, m\}$ ,  $X_1 = \{m + 1, \dots, n\}$ ,  $m < n$  and a matrix of local transition probabilities  $Q = \|q_{ij}\|$ ,  $q_{ij} \geq 0$ ,  $i \neq j$ ,  $\sum_{j=1}^n q_{ij} = 0$ ,  $i = 1, \dots, n$ .

The partition of the space of states into  $X_0$ -controlled and uncontrollable  $X_1$  corresponds to the partition of the matrix  $Q$  into blocks

$$\begin{vmatrix} Q_{00} & Q_{01} \\ Q_{10} & Q_{11} \end{vmatrix}, \text{ where } Q_{00} \text{ is a square order } m \text{ matrix.}$$

We call a controlled system regular if sets of controlled and uncontrolled states are communicating, that is,

$$P\{\exists t > 0: \xi(t) \in X_{1-k} | \xi(0) \in X_k\} > 0, k = 0, 1$$

and from any subset of the  $\tilde{X}_1 \subset X_1$  it is possible to go over to its complement  $X_1 \setminus \tilde{X}_1 \subset X_1$  without going into the set  $X_0$ , that is

$$P\{\exists t: \forall \tau: [0, t] \xi(\tau) \in X_1, \xi(t) \in \tilde{X}_1 | \xi(0) \in \tilde{X}_1\} > 0.$$

This condition is interpreted as a condition for a good sub-systemability in uncontrolled states.

**Lemma.** If the controlled system with a finite set of states is regular, then 1.  $\forall \lambda \in \sigma(Q_{11}) \operatorname{Re} \lambda < 0$ , where  $\sigma(Q_{11})$  is the spectrum of the matrix  $Q_{11}$ ; in particular,  $\det Q_{11} \neq 0$ . 2. All elements of the matrix  $Q_{11}^{-1}$  are negative.

3. The matrix  $Q_0 = Q_{00} - Q_{01}Q_{11}^{-1}Q_{10}$  is of pre-stochastic order  $m$  and, as a matrix of local transition probabilities, generates a homogeneous Markov chain  $\xi_0(t) \in X_0$ .

**The proof** of the lemma is based on the Perron-Frobenius theory [8, p.339].

**Theorem.** If a Markov chain  $\xi_0(t)$  of a regular controlled system with a finite set of states is ergodic, then the Markov chain  $\xi(t)$  is also ergodic and the row vector of its final probabilities has the form  $q = (\|q_0 R\|_1)^{-1} q_0 R$ , where  $R = \|E_0 : -Q_{01}Q_{11}^{-1}\|$  is the row vector of the final probabilities of the chain  $\xi_0(t)$ ,  $E_0$  is the identity matrix of order  $m$ ,  $\|q_0 R\|_1$  is the sum of the elements of the row vector  $q_0 R$ .

**Proof** of the theorem is available in the author's papers [2-5].

3. Let us consider examples of various random processes described by complex systems.

3.1. Let the random process  $\xi(t) \in X = \{0, 1, \dots\}$  describing the controlled system represent a homogeneous Poisson process [12]. Then the diagonal matrix of local transition probability densities has the form

$$Q = \begin{vmatrix} -\lambda & \lambda & 0 & \dots \\ 0 & -\lambda & \lambda & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{vmatrix},$$

where  $0 < \lambda < \infty$  is a constant number equal to the intensity of the onset of an event.

Let the sets  $X_0 = \{0, 1, \dots, m - 1\}$  and  $X_1 = \{m, m + 1, \dots\}$ , then the transition probabilities from the set of controlled states  $X_0$  to the sets  $X_0$  and  $X_1$  and

back, obtained from the formulas for the Laplace transforms  $\tilde{P}_{00}(z), \tilde{P}_{01}(z), \tilde{P}_{10}(z), \tilde{P}_{11}(z)$  in Section 2.3, using the inverse Laplace transforms, have the form:

$$P_{00}(\tau) = e^{-\lambda\tau} \begin{vmatrix} 1 & \lambda & \frac{(\lambda\tau)^2}{2!} & \dots & \frac{(\lambda\tau)^{m-1}}{(m-1)!} \\ 0 & 1 & \lambda\tau & \dots & \frac{(\lambda\tau)^{m-2}}{(m-2)!} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \end{vmatrix};$$

$$\|0 \quad 0 \quad 0 \quad \dots \quad 1\|$$

$$P_{01}(\tau) = \lambda\tau e^{-\lambda\tau} \begin{vmatrix} \frac{(\lambda\tau)^{m-1}}{(m-1)!} & \frac{(\lambda\tau)^m}{(m)!} & \frac{(\lambda\tau)^{m+1}}{(m+1)!} & \dots \\ \frac{(\lambda\tau)^{m-2}}{(m-2)!} & \frac{(\lambda\tau)^{m-1}}{(m-1)!} & \frac{(\lambda\tau)^m}{(m)!} & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{vmatrix};$$

$$\|1 \quad \lambda\tau \quad \frac{(\lambda\tau)^2}{2!} \quad \dots\|$$

$$P_{11}(\tau) = e^{-\lambda\tau} \begin{vmatrix} 1 & \lambda\tau & \frac{(\lambda\tau)^2}{2!} & \dots \\ 0 & 1 & \lambda\tau & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots \end{vmatrix};$$

$$P_{10}(\tau) = \mathbf{0},$$

where  $\mathbf{0}$  is the zero matrix.

3.2. The onboard computing system of the spacecraft is considered as a classical mass-service system M/M/1 [11], that is, it consists of one serving computer with a Poisson flow of processing tasks and an exponential distribution law of their execution time. Let us examine the quality of the on-board computing subsystem, which will be characterized by the number of tasks for processing information in the queue.

Let the state  $\{0\}$ , corresponding to the absence of the queue, be controlled, and the remaining states  $\{1, \dots, k, \dots\}$  - uncontrollable. Then, using the formulas from Section 2.3, we get that the probabilities that in the time  $t$  in this airborne subsystem the task queue will increase from zero to  $k \geq 0$ ,  $\rho_{0k}(t)$  is uniquely determined by the Laplace transforms

$$\tilde{\rho}_{00}(z) = \tilde{\pi}_{00}(z) \left( 1 - \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} q_{0i} \tilde{\pi}_{ik}(z) q_{ko} \tilde{\pi}_{00}(z) \right)^{-1},$$

$$\tilde{\rho}_{0k}(z) = \tilde{\pi}_{00}(z) \sum_{i=1}^{\infty} q_{0i} \tilde{\pi}_{ik}(z) (1 - \sum_{i=1}^{\infty} \sum_{k=1}^{\infty} q_{0i} \tilde{\pi}_{ik}(z) q_{ko} \tilde{\pi}_{00}(z))^{-1}, k > 0.$$

If the intensity of the assignments is less than the intensity of their performance, the onboard system is an ergodic system, and the stationary state probabilities for all  $k > 0$  are found on the basis of the theorem as  $\rho_k = \rho_0 \sum_{i=1}^{\infty} q_{0i} \tilde{\pi}_{ik}(0)$ , where  $\rho_0$  is the stationary probability of the absence of the task queue, which is determined by the intensity of the assignments and their execution.

3.3. The onboard computer system of the spacecraft consists of one working and one backup computing device that are serviced by the repair system. For simplicity, let us assume that the operating time of the main computing device and its recovery time are distributed according to exponential law with parameters

$$Q = \begin{vmatrix} -\alpha & \alpha & 0 \\ \beta & -(\alpha + \beta) & \alpha \\ 0 & \beta & -\beta \end{vmatrix},$$

$$Q_{01} = \begin{vmatrix} 0 \\ \alpha \end{vmatrix}, Q_{10} = \begin{vmatrix} 0 & \beta \end{vmatrix},$$

$\alpha$  and  $\beta$ , respectively. In a number of cases, this is indeed the case under real conditions [10]. The natural premises allow us to say that it will maintain a uniform Markov chain in time.

Let the set of controlled states of such an onboard system  $X_0 = \{x_1, x_2\}$ , where  $x_1$  is one computing device, the second is in reserve,  $x_2$  - one computing device is working and the second computing device is serviced by the restoring system, and the set of uncontrolled states  $X_1$  consists of one state  $x_3$  - two faulty computing device, one computing device recovers (on-board system does not work). Then the corresponding matrices have the form:

$$\Pi_0(t) = \left\| \begin{matrix} \pi_{11}^0(t) & \pi_{12}^0(t) \\ \pi_{21}^0(t) & \pi_{22}^0(t) \end{matrix} \right\|, \Pi_1(t) = \|\pi_{33}^1(t)\|.$$

After simple transformations from the relations for the Laplace transforms  $\tilde{P}_{ij}(z), i, j = 1, 2$  in Section 2.3, we obtain Laplace transforms that determine the

transition probabilities  $p_{ij}(t)$  from the state  $x_i$  to the state  $x_j$ :

$$\tilde{p}_{ij}(s) = \tilde{\pi}_{ij}^0(s) - \alpha\beta\tilde{\pi}_{i2}^0(s)\tilde{\pi}_{2j}^0(s)\tilde{\pi}_{33}^1(s), i, j = 1, 2,$$

$$\tilde{p}_{13}(s) = \alpha\tilde{\pi}_{33}^1(s)\tilde{p}_{12}(s), \tilde{p}_{23}(s) = \alpha\tilde{\pi}_{33}^1(s)\tilde{p}_{22}(s).$$

From the existence of homogeneous Markov chain  $\xi_0(t)$  in the space of controlled states with the matrix of transient local probabilities

$$Q = \left\| \begin{matrix} -\alpha & \alpha \\ \beta & -\alpha\beta(\alpha + \beta)\tilde{\pi}_{33}^1(0) \end{matrix} \right\|$$

it follows that  $\tilde{\pi}_{33}^1(0) = \frac{1}{\alpha(\alpha + \beta)}$ . Then under the hypotheses of the theorem, the stationary probabilities of states  $x_1, x_2$  and  $x_3$  will be written as

$$p_i = \frac{(\alpha + \beta)r_i}{(\alpha + \beta)r_1 + (\alpha + \beta + 1)r_2}, i = 1, 2;$$

$$p_i = \frac{2}{(\alpha + \beta)r_1 + (\alpha + \beta + 1)r_2},$$

where  $r_1$  and  $r_2$  are stationary probabilities of the renewal chain  $\xi_0(t)$ .

#### 4. Mathematico-statistical control

Time series (implementation, trajectory) allows you to visualize the change of any control value in time. It is a graph of the dependence of this quantity on time. Data for its construction can be taken, for example, from control sheets. After its construction, it is possible to identify at what period something happened that affected this value, and determine what it was. For example: wear of equipment, change of subcontractor, use of other material, recruitment of new employees and so on.

When analyzing the graph, it is important to separate insignificant changes that are normal for the process under investigation, from significant ones. It is best to use a time series to detect changes in the mean. When building a graph, it is important not to confuse the sequence.

In Fig. 1 shows an example of a time series of weekly work time losses and shows the situations in which these losses increased

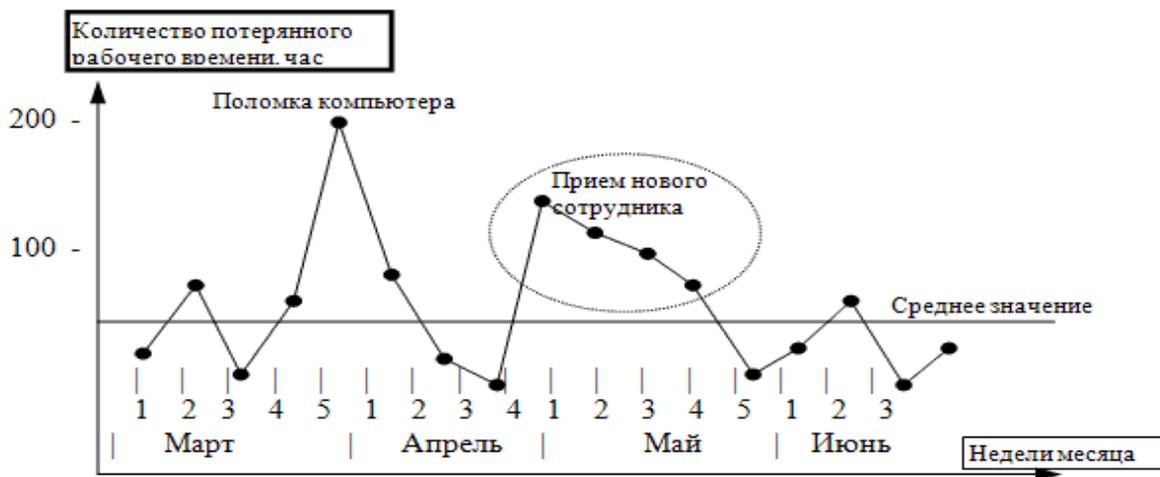


Fig.1. Time series of weekly working hours losses

In Fig. 2 shows an example of the time series of one of the telemetry parameters of the spacecraft and some control boundaries for it. From the analysis of this figure it can be clearly seen that the telemetry parameter from the 20th observation showed a tendency to punch and rushed to the lower control boundary established by the regulations.

Often the problem of detecting changes in the probabilistic characteristics of the observed processes is solved, or, so-called, the problem of "disruption" [7].

This task covers a wide variety of real situations: disruption is a violation of the uniformity of data, it is a process disturbance or a change in operating modes, impulse noise, a failure in the operation of recording equipment, equipment failure, atmospheric influences in the transmission of radio signals, etc. Let the "disorder" appear at a random time  $\theta$  and select an observation method determined by the random time of the stopping time  $\tau$ . For example, the stopping time  $\tau = \inf \{t: \varphi(x(t)) \geq h\}$  is the first time moment when the process  $\varphi(x(t))$  exceeds some threshold  $h$ . When creating a

monitoring system, that is, giving an alarm signal that the process  $\varphi(x(t)) \geq h$ , it is necessary to take into account the natural requirements: 1. The conditional mathematical expectation  $M(\tau - \theta / \tau \geq \theta) \rightarrow 0$ , that is after the appearance of a "breakdown" at the time  $\theta$ , the alarm must be dropped with as little time as possible. 2.  $P(\tau < \theta) \rightarrow 0$ , that is, a "false" alarm (error of the first kind) would be rarely given. It is easy to see that these requirements are contradictory, which leads to a variational problem:

$$\text{find } \tau^* = \arg \inf M(\tau - \theta / \tau \geq \theta), \tau \in \{\tau: P(\tau < \theta) \leq \alpha\},$$

where  $\alpha$  is a given positive number that limits the probability of a "false" alarm (probability of error of the first kind)  $P(\tau < \theta)$ . Note that the following mathematical expectations are equal

$$M(\tau - \theta / \tau \geq \theta) P(\tau \geq \theta) = M(\max(0, \tau - \theta)).$$

This task does not fit into the framework of traditional mathematical statistics, since it requires consecutive observations, which justifies the use of control charts. By analogy with the theory of checking statistical hypotheses, we can introduce the probabilities of errors of the first and second genera, but it is required to divide the time into separate local segments, after each of which one of two decisions is taken: there is "disruption" or there is no "disruption". The efficiency of the algorithm for solving variational problem will depend on the intensity of the "discontinuities" and the a priori value of  $\alpha$ , and the original random process  $\zeta(t)$  should be stationary broad sense [7].

Control charts are used to track changes in any characteristics of a random process that describes a complex system, for example, statistical estimates such as certain functions of the trajectory of a random process, which in turn is a certain function of time, can be such. Practically control charts are used for statistical control and regulation of technological processes. The control card is given the values of some statistical estimate (characteristics) in the form of a point at a fixed time, calculated from the data of the trajectories in the order of their receipt, the upper and lower control boundaries, and the upper and lower limits of technical tolerances (if any) that are taken from technical regulations. Sometimes warnings are also used. An example of a control chart of the arithmetic mean as an unbiased estimate of the mathematical expectation is shown in Fig. 3, 4. The upper and lower control boundaries, as well as warning boundaries, are calculated for a stationary Gaussian random process (stationarity in the broad sense and narrow sense for Gaussian processes coincides) according to the standard formula:  $K_{\sigma, n} = \mu \pm u_p \sigma$ , where the mathematical expectation of the random process  $M\zeta(t) = \mu$ , the variance  $D\zeta(t) = \sigma^2$ ,  $u_p$  - quantile of the Gaussian distribution, which depends on the confidence probability  $p = 1 - \alpha$ ,  $\alpha$  is the level of significance (note that the values of  $\alpha$  in variational problem are fundamentally different here too.) Quantiles for warning boundaries  $u_{0.95} \approx 2$  are often taken, and for control boundaries  $u_{0.99} \approx 3$ , which is known as a rule of "two sigma" and the rule of "three sigma".



Fig. 3. Control chart of average values of accuracy of definitions

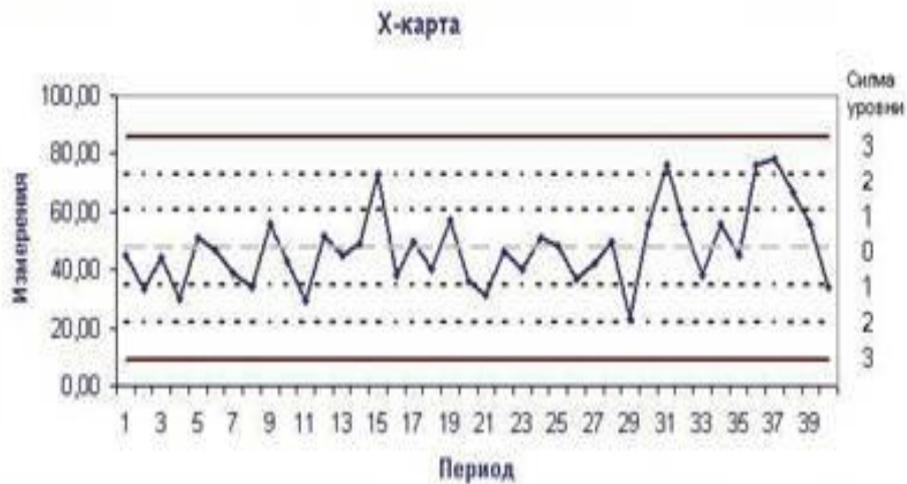


Fig. 4. Control card of average values of signal amplitude

According to the position of the points with respect to the boundaries, it is judged that the technological process has been adjusted or broken down. Usually the process is considered to be diluted in the following cases: 1. Some points go beyond the control limits. 2. A series of seven points is on one side of the middle line. In addition, if on one side of the middle line there are: a) ten from a series of eleven points, b) twelve of fourteen points, c) sixteen of twenty points. 3. There is a trend (drift), that is, the points form a continuously rising or continuously falling curve. 4. Two or three points turn out to be precautionary two-sigma boundaries. 5. Approaching the center line. If most of the points are inside the half-sarsigram lines, this means that the data from different distributions are mixed in the subgroups. 6. There is a periodicity, i.e. then rise,

then decline with approximately the same time intervals. 7. The control limits are wider than the tolerance. Ideally, it is sufficient that the control limits are 3/4 of the tolerance value.

If the control card shows that the technological process is dilapidated, find the causes of the breakdown and make adjustments.

As a measure of the control card, any statistical estimates can be taken, but the most common mean arithmetic mean and standard deviation, as the characteristics of the most probable value and variation of the random process (Fig. 5). The simultaneous representation of the estimates calculated from the realizations (trajectories), the mean value of  $\bar{x}$ , and the standard deviation  $s$  gives an almost complete picture for the decision.

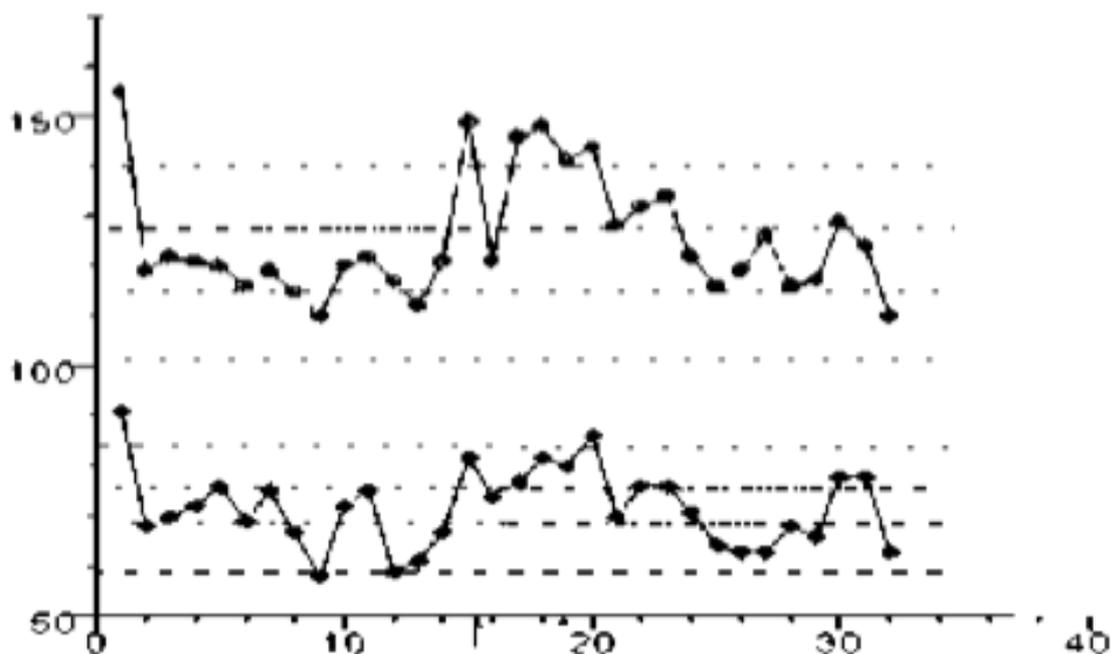


Fig. 5. A control chart of estimates of mean values and rms values of the amplitude of a radio signal

Both parametric and nonparametric statistics are used. The best in terms of their relevance are the control charts of histograms [5], built on the basis of trajectories. Histogram - a method of graphical representation of tabular data, which is a graphical representation of the dependence of the frequency of trajectory elements (sampling) from the corresponding grouping interval.

Control charts of individual values, median maps, span, tolerant intervals (an example of a tolerant control chart is shown in Fig. 6), asymmetry and kurtosis coefficients, covariance estimates, regression model estimates, nonparametric coupling parameters, sign criteria, series criterion, Wilcoxon test and others (for example, Student, Pearson, Kolmogorov- Smirnov, Fisher) and others [1, 5].

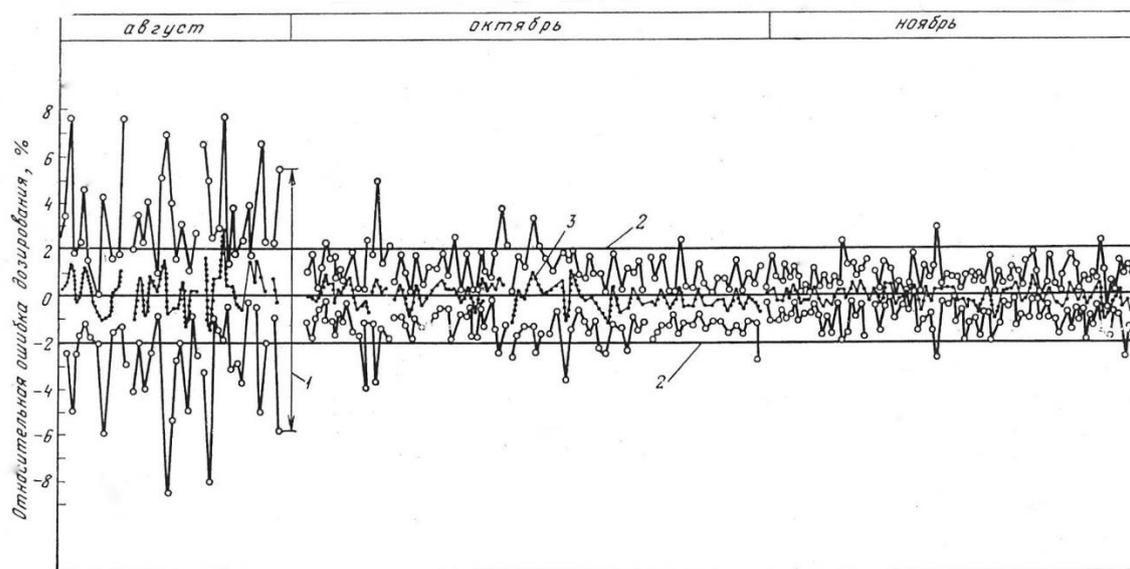


Fig. 6. Tolerant control chart of the relative dosing error (1 - tolerant interval, 2 - regulatory control boundaries, 3 - graph of mean values)

#### Список литературы:

1. Даниленко, Е.Л. Математико-статистические методы оперативного контроля случайных процессов / Е.Л. Даниленко // Исследование операций и АСУ. — Киев: Вища школа, 1982. — Вып. 19. — С. 31–39.
2. Даниленко Е.Л. Вероятностные модели оперативного контроля дискретной системы / Е.Л. Даниленко // Автоматика и вычислительная техника — 1983. - No1. - С. 66-71.
3. Даниленко Е.Л. Марковская модель оперативного контроля сложной системы / Е.Л. Даниленко // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. — 1983. No 6. - С.176-182.
4. Даниленко Е.Л. Моделирование контроля сложной системы / Е.Л. Даниленко // Информатика и математические методы в моделировании. / Одесский национальный политехнический университет. - 2012. - Том 2. - No 4. - С. 363-373.
5. Даниленко Е.Л. Теория и практика контроля сложных систем/ Е.Л. Даниленко. — Одесса: Освита Украины, 2014. — 44с.
6. Даниленко Е.Л. Эффективное применение математико-статистических методов / Е.Л. Даниленко // Информатика и математические методы в моделировании. / Одесский национальный политехнический университет. - 2013. - Том 3. - No 2. - С. 132-145.
7. Ширяев, А.Н. Статистический последовательный анализ / А.Н. Ширяев. — М.: Наука, 1976. — 232 с.
8. Колмогоров А.Н. Элементы теории функций и функционального анализа/ А.Н. Колмогоров, С.В. Фомин. —М: Наука, 1976. 544 с.
9. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц/ Ф.Р. Гантмахер. — М.: Наука, 1967. — 576 с.
10. Авен О.И. Управление вычислительным процессом в ЭВМ/ О.И. Авен, Я.А. Коган. — М.: Энергия, 1978. — 240 с.
11. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания/ Л. Клейнрок. — М.: Машиностроение, 1979. — 432 с.
12. Кингман Дж. Пуассоновские процессы/ Дж. Кингман. М.: МЦНМО, 2007. — 136 с.

#5 (33), 2018 część 1  
**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)**

#5 (33), 2018 part 1  
**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](mailto: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](mailto:info@eesa-journal.com) ,

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