МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІНФРАСТРУКТУРИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ

ВОДНИЙ ТРАНСПОРТ

Збірник наукових праць

випуск 3(31)

Київ
2020

ISSN 2226-8553 (***Print***) *ISSN 2663-645X (Online)*

Водний транспорт. Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій. – К.: ДУІТ, 2020. – Випуск 3(31). – 148 с. https://doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31

У збірнику публікуються матеріали, що відображають наукову й методичну роботу викладачів і аспірантів Державного університету інфраструктури та технологій, фахівців підприємств і організацій водного транспорту. Більшість публікацій присвячена проблемам галузі експлуатації засобів водного транспорту, зокрема, розглядаються питання інфраструктури, технологій та організації транспортних процесів, впровадження сучасних технологій, математичного моделювання, екологічної безпеки, економічних аспектів діяльності річкового та морського транспорту й якісної підготовки фахівців з даного напрямку.

Збірник має чотири тематичні розділи: **«Судноводіння та енергетика суден», «Методика навчання», «Інформаційні технології», «Екологічна безпека».**

Засновник: Державний університет інфраструктури та технологій
Адреса редакції: вул. Кирилівська, 9, Київ, Україна, 04071
Телефон: +38(044) 482-51-38; +38(050) 398-47-96
E-mail редакції: duit@duit.edu.ua
Інформаційний сайт: http://vt.duit.edu.ua

За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор.

Головний редактор – Заслужений діяч науки і техніки, доктор технічних наук, професор Панін В.В.

Редакційна колегія:

Тимощук О.М., д.т.н., професор (заступник головного редактора); Богом'я В.І., д. т. н., професор (заступник головного редактора); Сьомін О.А., к.т.н.; Варбанець Р.А., д. т. н., професор; Горобченко О.М., д.т.н., доцент; Дубинець О.І., д. т. н., професор; Доронін В.В., к.т.н.; Колесник В.В., к.т.н., доцент; Кривошей Ф.О., д. т. н., професор; Лісовал А.А., д. т. н., професор; Майборода О.М., д. т. н., професор; Сербін С.І., д. т. н., професор; Соломенцев О.В., д. т. н., професор; Фомін О.В., д. т. н., професор; Мачалін І.О., д. т. н., професор; Тихонов І.В., д.т.н., с.н.с.; Давидов В.С., к.т.н., доцент; Кравченко Ю.В., д. т. н., професор; Онищенко О.А., д. т. н., професор; Діасамідзе Мзія Р., д. т. н., професор, (Грузія); Прієднієкс Валдис Р., д. т. н., професор, (Латвийская Республика); Шаріфов З. З., д. т. н., професор, Гафаров А. М., доктор технічних наук, професор, (Азербайджáнская Респýблика).

Відповідальний секретар редколегії – Богомя́ О.В.

Підписано до друку за рекомендацією Вченої ради Державного університету інфраструктури та технологій (протокол № 3 від 10 грудня 2020 р.)

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 23216-13056ПР від 23.02.2018 р.

Збірник включено до Переліку наукових фахових видань України (категорія «Б», спеціальності – 271, 275), у яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата з технічних наук (Наказ Міністерства освіти і науки України від 28.12.2019 № 1643).

© Державний університет інфраструктури та технологій, 2020

ЗМІСТ

СУДНОВОДІННЯ ТА ЕНЕРГЕТИКА СУДЕН

Lisovenko Denis, Dudko Sergiy
Innovative technology of reactive energy compensation for improving ship's EEDI …… **4**

Скляренко І.Ю., Раховецький А.А., Коваленко А.Г., Івко П.П.
Підвищення безпеки мореплавства на водних шляхах……. **16**

Скляренко І.Ю., Подлєвських С.С., Какаранзе Ю. Ю., Милюков В. І.
Розробка і впровадження алгоритму автоматичного керування судном……. **23**

Войченко Т.О., Радченко О.А.
Застосування параметричного програмування для планування роботи флоту внутрішнього водного транспорту…… **35**

Сьомін О.А., Генералова І.Г., Коломієць О.М., Бажак О.В.
Аналіз математичного апарату прогнозування технічного стану обладнання засобів річкового та морського транспорту……... **46**

Горбань А.В., Довгаль І.І., Крижановська С. І., Найденов А.І.
Особливості прогнозування стану суднового обладнання річкового та морського транспорту….. **55**

Богом'я В.І., Давидов В.С., Доронін В.В., Пліта Л.Л.
Деякі питання підвищення безпеки мореплавства великотоннажних суден……... **67**

Трофименко І.В., Бойко А.Д., Іваненко В.В., Федунов В.М.
Аналіз факторів аварійності судноводіння причини і рекомендації щодо їх попередження…… **74**

МЕТОДИКА НАВЧАННЯ

Ткаченко К.О.
Нечітке онтологічне моделювання знань в інформаційних навчальних системах **80**

Ткаченко О.І., Ткаченко О.А., Ткаченко К.О.
Концептуальні аспекти придбання, моделювання та застосування знань **92**

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Проценко В.О., Бабій М.В., Настасенко В.О., Білоконь А.О.
Напрямки та резерви підвищення технічного рівня рульових машин плунжерного типу з тангенсним механізмом……..…….....…. **101**

Кучерук Г.Ю., Шапіро Г.В., Ткаченко В.В.
Розробка адаптивної системи керування рухом судна…….. **116**

Тимощук О.М., Дакі О.А., Бойко О.А., Карадобрій Т. А.
Аналітичний огляд адаптивних систем керування судном та шляхи їх побудови……. **120**

Зазірний А.А.
Метод формалізації знань про процес оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози…… **126**

Міхеєв О.І., Федотов В.Г., Сєрова Т.О.
Феномен морської води…….. **134**

АВТОРИ ВИПУСКУ……..…….. **144**

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ……...…..……..…….. **146**

doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.01

Lisovenko Denis, Dudko Sergiy

INNOVATIVE TECHNOLOGY OF REACTIVE ENERGY COMPENSATION FOR IMPROVING SHIP'S EEDI

Global warming, caused mainly by greenhouse gas emissions, prompted the world community to sign the Kyoto Protocol in 1997. The regulation of greenhouse gas emissions and related economic activities have ceased to be the prerogative of national authorities and become the subject of international agreements. Due to the largest air pollutants from the world's oceans are ships, the International Maritime Organization (IMO) adopted in 2003 Resolution A.962 (23): "IMO Policy and Practice on Reducing Greenhouse Gas Emissions from Ships", and determined that it is possible to achieve significant reductions in greenhouse gas emissions from ships through the adoption of technical and operational measures. This suggests that ships need to be more energy efficient, operating conditions are well thought out, and a clear methodology for assessing ships in terms of greenhouse gas emissions. The estimated energy efficiency factor of the vessel is the Energy Efficiency Design Index (EEDI), which is calculated according to a formula developed by IMO with the possibility of improving it through innovative energy efficient technologies. Since the entry into force of the IMO resolution, mainly work is underway to improve the EEDI based on existing innovative technologies in various categories. Progress does not stand still, but the list of new innovative technologies for energy efficiency categories has not expanded.

The presented article is devoted to the development of innovative technology of category C, to improve the energy efficiency index of the ship structure. This technology can used on its own, as well as an additional tool to extend the capabilities of existing energy efficiency technologies. In addition, the innovative technology for reactive energy compensation allows improving the EEDI and environmental performance of already operating vessels, through their simple modernization during planned repairs.

Keywords. *Energy Efficiency Design Index (EEDI), innovative energy saving technologies, power factor correction.*

Introduction. The shipping industry has come under attention of the global community due to a lot of carbon emissions produced by the ships. Hazardous emissions going to increase more than 75% during the next 15 years. However, CO_2 emissions from shipping are possible significantly reduced with increasing the efficiency of a large number of the ships. With the aim to improve the environmental friendliness operations of the ships under continuously increasing costs of energy resources, underlie in requirements set by the International Maritime Organization (IMO) in Annex VI of the MARPOL Convention in relation to the design coefficient of energy efficiency. According to these requirements, most new vessels should be 10% more efficient from 2015, 20% more efficient from 2020 and 30% more efficient from 2025 [1].

The MARPOL Convention, in paragraph 4 of its Annex VI, introduces two mandatory mechanisms as an energy efficiency standard for marine ships. These are following regulatory mechanisms: an Energy Efficiency Design Index (*EEDI*) for new ships and a Ship Energy Efficiency Management Plan (*SEEMP*) for all ships.

EEDI is a coefficient indicating the vessel's energy efficiency and it is define as the ratio of carbon dioxide amount produced to the amount of carried cargo and the traveled miles. The

calculations are produce for the specific operating conditions of the vessel. The goal of IMO is to make ship technologies more energy efficient by setting limits on this index. Thus, *EEDI* is a technical standard target applicable for new ships [2].

Shipbuilders able to select technologies that meet *EEDI* requirements for a specific ship design. A decline in the *EEDI* ratio over time will lead to more energy efficient ships.

Moreover, IMO has additionally introduced a voluntary energy efficiency operating indicator (*EEOI*) scheme. The main purpose of this coefficient is to use it as an effectiveness indicator of monitoring in shipping [1-3].

Publications analysis. For *EEDI* determination, the concepts of *achieved EEDI* and the *required EEDI* were introduce, and a formula was develop:

$$EEDI = \frac{\left(\prod_{j=1}^{M} f_f\right) \cdot \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)}\right) + \left(P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}\right)}{f_i \cdot f_c \cdot f_I \cdot Capacity \cdot V_{ref} \cdot f_W} + \\ + \frac{\left(\left(\prod_{j=1}^{M} j_i \cdot \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{AEff(i)}\right) C_{FAE} \cdot SFC_{AE}\right) - \left(\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME}\right)}{f_i \cdot f_c \cdot f_I \cdot Capacity \cdot V_{ref} \cdot f_W}, \quad (1)$$

where *SFC* – is the specific fuel consumption of the engine [g / kWh]. *CF* – is the dimensionless conversion factor between engine fuel consumption (g) and CO_2 emissions (g), determined by the carbon C content in a particular fuel [g CO_2 / g fuel]. $P_{ME(i)}$ – is the power indicator of the main engine (ME) equal to 75% of its nominal power minus the power consumed by the shaft generator (if any). P_{AE} – is the required power of auxiliary engines (DG) to provide electricity at the maximum load of the vessel. P_{PTI} – is the indicator equal to 75% of the nominal power consumed by each propeller motor, taking into account mechanical losses in it and excluding losses in the generator. P_{AEeff} – is the indicator of reduction of electrical energy due to the use of efficient technologies (use of waste heat recovery from the main engine). P_{eff} – is the indicator of the decrease in the main engine power due to the application of effective innovative technologies in the propulsion unit (PU) at 75% of the main engine power. *fi* – is the factor of the vessel's tonnage, meeting the requirements for limiting the vessel's tonnage, for example, the requirements that apply to ice-class ships. *fj* – is the corrective factor that takes into account the specific design of ship elements, for example, ice-class ships. *fw* – is the dimensionless coefficient that takes into account a decrease in speed at a certain unfavorable state of the sea, depending on the height and frequency of the wave, as well as on the wind speed. *feff* – is the coefficient of availability of each innovative technology. *Vref* – is the speed of the vessel measured in deep water taking into account the tonnage (DWT / GT depending on the type of vessel) in accordance with the above charter (knots). More details about the coefficients can be found in [3,4].

The *EEDI* calculation formula developed by IMO can represented in the separate blocks (products) form, consisting of a large number of coefficients are responsible for the energy efficiency of the vessel individual components. There are such units as main engine, ship's hull, ship's propeller, ship's generators and auxiliary machines. Certain coefficients in the formula take into account the availability and use of highly efficient technologies to improve the energy efficiency of a particular unit. The calculation the energy efficiency coefficients of different units are make individually, taking into account their characteristics. That's why, all innovative energy efficient technologies are categorized into categories *A*, *B* and *C* depending on how they affect to the *EEDI* formula. In turn, innovative technologies for improving energy efficiency of categories *B* and *C* are divided into two subcategories: categories *B-1* and *B-2* and categories *C-1* and *C-2*, respectively.

Category *A* includes technologies that directly affect to the speed / power ratio of the vessel, that causes changes of combination between thrust and / or vessel speed. Such technologies, for

example, at a constant vessel speed, lead to decrease the power of the power plant, and, opposite, at a constant power of the power plant, they lead to increase the speed of the vessel [22].

Category *B* uses technologies that reduce the power of the power plant at the same vessel speed V_{ref}, but do not generate electricity, and the saved energy is counted as P_{eff}. The technologies used in this category are divided into those that can be used at any time – technologies of category *B-1*, so the availability factor f_{eff} will be equal to 1. An example is the technology of air lubrication of the ship's hull. And technologies that can be used at full capacity only in limited conditions and periods – technologies of category *B-2* – the availability factor f_{eff} should be less than 1. For example, wind power [24].

Category *C* is a category for energy efficient power generation technologies. The saved energy is calculated as P_{AEeff} [6,7].

Similar to categories *B-1* and *B-2*, categories *C-1* and *C-2* are categories in which energy efficient technologies for electricity generation can be used at any time during operation, for example, waste heat recovery and technologies, which can be used only at full capacity under limited conditions, such as solar energy. For *C-1*, the availability factor f_{eff} should be considered as 1, and for *C-2* – f_{eff} should be less than 1 [16].

Waste heat recovery technologies increase the efficiency of using the energy generated by the combustion of fuel in the engine by recuperating thermal energy from exhaust gases, cooling water, etc., thereby generating electricity. There are two methods of generating electricity using heat recovery technologies: 1) a method of recovering thermal energy with a heat exchanger and driving a heat engine, which turn drives in electric generator; 2) a method of direct drive of electric generator using a power turbine of an internal combustion engine turbocharger. In addition, a waste heat recovery system can combines both of the above methods [6].

Problems and purposes formulation. As can we see from the literary sources analyze, a lot of attention is paid by manufacturing companies and scientific institutes in the field of shipbuilding to improving the energy efficiency of ships through technical improvements and increasing the efficiency of units, hulls and systems of ships. Technologies are being developed and implemented for the treatment of exhaust gases, their utilization and additional power take-out [4,15,20]. Energy efficient and, as a rule, expensive electric drives are design, maintenance and repair of which require large financial costs during operation. At the same time, unfortunately, not enough attention is paid to the quality of electricity, throughput of the ship's network and its improvement. There is not a single technology that is aimed to improving the listed parameters in the *C* category [21]. In addition, innovative technologies of *C* category are limited in use, or cannot be applied at all in partial or maneuvering modes of the vessel. For example, the utilization of waste gas heat cannot be used when the vessel is in the port, in the roadstead, or when maneuvering, because the amount required heat for producing the electricity is varies with the load, or is completely absent. Therefore, generating electricity is not possible. At the same time, it is possible to compensate the reactive energy in any ship operating modes.

When the ship's power plant is calculate, the power factor of electrical equipment is taken into account at its rated operation (load). Therefore, the estimated cos (φ) is within 0.75~0.9, which meets the requirements of regulatory documents and classification societies. However, the calculations do not take into account the modes of partial loads. In mentioned modes, asynchronous motors, such as the prevailing electric motors in marine drives, operate with a reduced power factor, which in turn decrease the overall power factor of the power plant [8].

The examples of marine electric drives operating with low cos (φ) are drives of steering gears, hydraulic mooring winches, electric drives for hatch cover opening hydraulics, thrusters, compressors of centralized air conditioning systems, electro-hydraulic cargo cranes, ballast pumps, and power transformers for refrigerated containers and ship consumers etc. Where are partial load modes of electric drives come from. To answer this question, it is necessary to study the features of

ship's operation, into account the seasonality of cargo turnover, seasons, weather zones and technical equipment.

The hydraulic steering gear uses pressurized hydraulic oil to shift the steer. Pumps are used for pressure rise, driven by asynchronous electric motors. For the overwhelming time, the oil circulates through the system without any works. Consequently, the electric motor is not fully loaded, and therefore its cos (φ) is in the range of 0.5~0.7. Electro-hydraulic cranes work according to a similar scenario. As a rule, on cranes, one electric motor drives 3 hydraulic pumps that lift the hook, boom and turn the tower. Due to these actions must be performed simultaneously, and then the power of the electric motor is selected accordingly to full load. However, as practice shows, the use for three simultaneous actions is not always necessary. And it is worth considering the fact that when lowering a load or an empty hook, the load on the electric motor is not rated. All these circumstances reduce the power factor of the drives and the power plant as a whole.

A separate issue is to consider the factors that reduce the cos (φ) on container ships with a high-voltage power plant. As a rule, these are modern container ships of large displacement and a large number of refrigerator containers. The container is powered with 440 voltage, which is significantly lower than the voltage generated by the power plant. For these purposes, step-down transformers are used. When the vessel is partially loaded with refrigerator containers, the transformers remain unloaded and the overall power factor of the power plant decreases.

Research. Innovative technologies for waste heat recovery and converting it into electricity are aimed to reduce the electricity generation with auxiliary engines. This leads to decrease the amount of consumed fuel and the emission of pollutants into the atmosphere.

An alternative way to improve the ships energy efficiency of *C* Category is the increasing the power factor for power supply system by compensating for reactive energy. Increasing the energy efficiency is possible due to artificially created conditions for increase the maximum active load of ship generators.

A visual representation of reactive power compensation, explained by an example of a simple AC circuit with reactive elements, shown in Fig. 1. Suppose that before compensation, the consumer had active power *P*, respectively, current *I*a (OB segment in Fig. 1.b)) and reactive power from inductive load Q_1 with the corresponding current I_L (BA segment). The total power S_1 corresponds to the vector I_{load} (segment OA). Power factor before compensation is cos (φ_1). The compensation vector diagram is shown in Fig. 1.b).

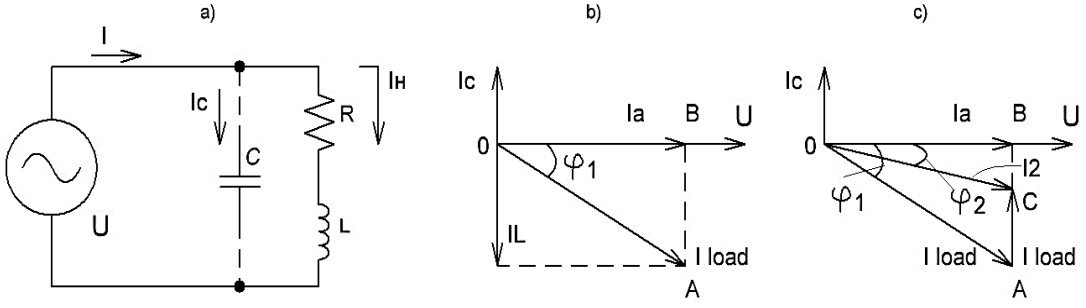

Fig. 1. Capacitive reactive energy compensation

After connecting a capacitor with power Q_c (current I_c) in parallel with the load, the total reactive power of the consumer will be Q_1-Q_c.

The phase angle will decrease from φ_1 to φ_2 and the power factor will increase from cos (φ_1) to cos (φ_2). The total power consumption for the same active power consumption *P* (current I_a) will decrease from S_1 (current I_{load}) to S_2 (current I_2), (OC segment). Consequently, it is possible to increase the network throughput at active power with the same wire cross-section due to compensation.

With changing the capacitance value of the compensating capacitors, it is possible to compensate the reactive current on the active-inductive load of consumers fully [9-10, 12]. Fig. 2 shows how the total current consumption can be reduced and the full load power factor increased to one.

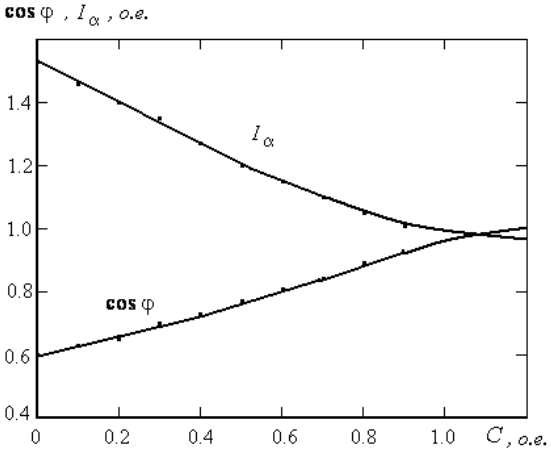

Fig 2. The total current and power factor dependence from the capacity of the compensating capacitors.

As mentioned above, incomplete loading of electric drives, as well as maneuvering modes of the ship, when an additional generator is required, regardless of the power consumption, significantly reduce the overall power factor of the power plant.

Generators are protected by maximum current, not by maximum power. When the power factor drops to 0.5, the generator can produce about 50-60% of active power, which can be converted into mechanical work. The rest of the generator load will be reactive power, which does not perform work, but is aimed to electromagnetic fields creation, supply wires, windings of electric motors and generators heating. Therefore, an additional generator has to be started to provide the required active power. This leads to additional energy costs and deterioration of the ship's environmental friendliness.

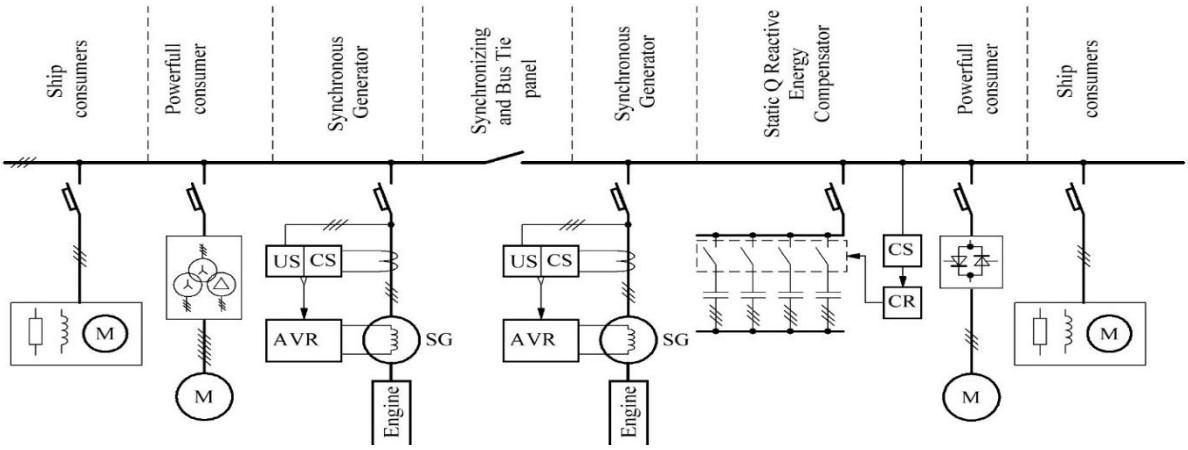

Fig. 3. Ship's power system with a capacitor's reactive energy compensator

Fig. 3 shows a vessel power system with a capacitor's reactive energy compensator (RECD). This arrangement of the power plant allows increasing the power factor at any time, even in maneuvering and cargo modes. In this case, the required reactive energy is generated by the compensator, and practically does not affect the generator. The power factor cos (φ) of a ship power plant can be maintained equal to one or close to one. More details on the compensation of reactive energy in ship power systems can be found in [9,11].

The ship's electrical power plant of *CAP SUN ARTEMISSIO* consists of 5 generators HSJ7 917-10P type. The prime engines type is *HUYNDAI HIMSEN* 9H32 / 40. Alternator voltage *U* is 6.6

kV, alternator current *I* is 539.9 A, full power *S* is 6171.43 kVA, active power *P* is 4320 kW and power factor cos (φ) is 0.7. Fig. 4 shows the specification of these generators.

SPECIFICATION	
TYPE	HSJ7 917-10P
OUTPUT CAPACITY	6171.43 KVA
RATING	CONTINUOUS
PHASES,WIRE,CONN	3 Φ, 3 W, Y (DAMPER WINDING)
VOLTAGE	AC 6600 V
CURRENT	539.9 A
FREQUENCY	60 Hz
POLES	10 P
SPEED	720 RPM
POWER FACTOR	0.7 LAGGING
GD^2 / J	4220.0 $Kg.m^2$ / 1055.0 $Kg.m^2$
ROTOR WEIGHT	8258 Kg
TOTAL WEIGHT	22.5 ton
CHARACTERISTICS	

Fig. 4. Specification of synchronous alternator type *HSJ*7 917-10P

As seen from the presented specification, the alternator parameters were determined experimentally with an inductive load and a power factor cos (φ) is 0.7.

If the power factor drops to 0.5, the maximum power that the generator can take over is 3082.3 kW. Which is 71% of full power. It would seem that the power reserve is 29% - 1251.41 kW, and the generator is already delivering the maximum current. *CAP SUN ARTEMISSIO* is capable of transporting 2,100 reefer containers. The rated power of each container is 6.5 kW. At the same time, it is possible to load 863 containers into the hold, and 1237 containers on the deck. Taking into account the loading factor and the nature of the cargo, the number of simultaneously operating containers is 837 on the deck and 863 in the hold, respectively. The total load of refrigerated containers is (837 + 863)·6.5 = 11050 kW. Refrigeration containers power supplies is carried out by step-down transformers, the primary winding of which is connected to the 6.6 kV main switchboard, and the secondary one supplies one of the distribution boards for ref. containers. The total number of transformers is 42. Of these, 26 transformers with a capacity of 630 kVA, 6 pcs. - 670 kVA, 5 units - 550 kVA, 4 units. - 500 kVA and 1 pc. – 750 kVA. In addition, two step-down transformers, each 4500 kVA, also power the 440 V low-voltage main switchboard.

As seen from the load analyze table, Table 1, in running mode with a full load of refrigerated containers, the power consumption is 13,900.4 kW. For cover this load, 4 generators from 5 are in service. That, with the condition of the permissible generator load factor is:

$$P_{\text{net}} = P_{Gen} \cdot k_{\text{з}} \cdot m \qquad (2)$$

$$P_{\text{net}} = 4320 \cdot 0.85 \cdot 4 = 14688 \text{ кВт},$$

where P_{net} is the total power of the network, P_{Gen} is the power of 1 generator with cos (φ) = 0.7, $k_{\text{з}}$ is the coefficient of permissible load of alternator $(0.8\sim0.9)\cdot P_{nom}$, m is the number of operating generators. However, if we raise the cos (φ) to a value of 0.92~0.98, then the total load that the generators can take on will be: 21772.8 kW.

According to calculations, by increasing the cos (φ) of the network to a value of 0.98, it is possible, for a specific case, to take out of operation one diesel generator. Regarding to the passport data of the drive diesel engine, its daily fuel consumption is 16.495 tons of heavy fuel. Sea passage from the ports of China to the ports in Mediterranean Sea of Europe takes from 17 to 27 days,

depending on the set speed, weather conditions, currents and the technical condition of the vessel. From the above, it follows that fuel savings can range from 280.415 to 445.365 tons. According to IAA "Sea News" bunkering in the port of Rotterdam with *VLSFO* 0.5% low-sulfur fuel will cost $ 527 per ton, in the port of Singapore – $ 646 per ton, in the port of Piraeus – $ 622 per ton. It is easy to calculate that for the passage from ports of China to ports of Europe, the ship can save from $ 147,800 to $ 288,000.

Table 1

CAP SAN ARTEMISSIO load analyze table fragment

ELECTRIC LOAD ANALYSIS

SUMMARY SHEET — ***(FOR HULL NOS. 2521-26)*** — page 1

CLASSIFICATION	NORMAL SEA GOING	AT PORT IN/OUT WITHOUT THRUSTER	AT PORT IN/OUT WITH THRUSTER	AT LOAD/ UNLOAD	AT HARBOR	AT EMERGENCY BLACK OUT	AT EMERGENCY FIRE
REEFER CONTAINER LOAD	11,050.0	11,050.0	11,050.0	11,050.0			
PREFERENTIAL LOAD	12,638.6	13,118.2	17,534.4	12,825.6	583.5		
TOTAL LOAD (WITH REEFER CONTAINER)	13,900.4	14,734.6	18,653.2	13,762.1		129.5	148.1
(WITHOUT REEFER CONTAINER)	1,899.0	2,733.1	6,651.7	1,760.7	1,228.5		
(AFTER PREFERENTIAL)	1,261.8	1,616.4	1,118.7	936.5			
NO. OF GENERATOR (W/ REF CONTAINER)	4 x D/G	5 x D/G	5 x D/G	4 x D/G		1 x E/G	1 x E/G
(WITHOUT REEFER CONTAINER)	1 x D/G	1 x D/G	2 x D/G	1 x D/G	1 x D/G		
(AFTER PREFERENTIAL)	1 x D/G	1 x D/G	1 x D/G	1 x D/G			

Reefer container on deck (FEU)	1237	837			6.50	1.00	1.00	5440.5	5440.5	5440.5	PT2
Reefer container in hold (FEU)	863	863			6.50	1.00	1.00	5609.5	5609.5	5609.5	PT2

In addition to fuel save, stopping the one of generators can reduce NOx emissions, thereby improving the ship's operating index and, consequently, the ship's environmental friendliness. For a specific vessel, based on the data on tests of a drive diesel engine, Figure 6, we calculate how much NOx emissions were reduced. The engine operating time for the passage from the ports of China to the ports of the Mediterranean Sea of Europe is with 17 days of passage is 24 – 17 = 408 h and with 27 days of passage: 24 – 27 = 648 h.. Taking into account the maximum load of the generator 0.85, and the drive diesel 0.75, the amount of emissions was reduced by $P_{gen}\, k_з$. NOx Chrab = 4320 0.85 · 9.26 · 408 = 13873109.76 (g) ~14 tons, and for 27 days of transition – 4320 · 0.85 · 9.26 · 648 = 22033762.56 (g) ~22 tons.

Table 2

NOx emission table for *HUYNDAI HIMSEN* 9H32 / 40 drive diesel engine on different loads

	Based on Parent engine						Based on calculation [1)]		
Load (%)	NOx, actual (g/kWh)	Ha or Hsc(*) (g/kg)	Khd(**)	Ta (℃)	Tsc, actual (℃)	Tsc,ref (℃)	Tsc, max. (℃)	Khd(***)	NOx, max. (g/kWh)
100	8.39	2.13	0.881	13.1	53.0	53.0	55.0	0.885	8.43
75	9.26	2.05	0.881	13.6	52.0	52.0	55.0	0.888	9.32
50	9.68	2.04	0.882	14.2	51.0	51.0	55.0	0.891	9.77
25	10.29	2.08	0.886	15.6	49.0	49.0	55.0	0.899	10.43
10	13.53	2.12	0.889	16.8	48.0	48.0	55.0	0.905	13.74
D2 (g/kWh)						**9.55**			**9.64**

With complex reactive energy compensation, the availability factor feff is taken equal to 1, due to the possibility of using the compensation device at any time and under almost any conditions. RECD does not generate electricity on its own; therefore, it is not possible to calculate the amount of electricity produced, as is done to calculate the energy efficiency of an exhaust gas recovery system. However, if compensated the reactive load, it is possible to load up the alternator with an active one. And, at a certain moment, when the power factor of the network cos φ = 1, the

active power *P* will be practically equal to the full S. Thus, more energy efficient use of generators will save either their power or the number of simultaneously operating generators to cover the current load. The saved power can be considered as an indicator of the reduction in electricity PAEeff due to the use of energy efficient technologies. Then the PAEeff coefficient should be calculated using the formula:

$$P_{AEeff} = P'_{AEeff} - P''_{AEeff} - \sum P_{loss}, \quad (3)$$

where P'_{AEeff} is the electricity produced by the generator with reactive component compensation, P''_{AEeff} is the electricity that the generator can generate without reactive component compensation, $\sum P_{loss}$ is the sum of mechanical losses in the generator, in the compensator and power lines.

Innovative technologies for reactive energy compensation using *RECD* should be classified as technologies of category *C*. However, according to the tasks being solved, they can meet the criteria of both categories *C-1* and *C-2*. Like waste heat recovery, reactive energy compensation can be applied throughout the ship's operating time. However, the technology of reactive energy compensation can be used in all modes of ship operation.

The technology of individual compensation for reactive energy match the criteria of category *C-2*. *RECD* used either during start-up or during operation of a consumer whose capacity is comparable with a power plant. As a rule, such consumers work during cargo operations or during ship maneuvering.

It should note that exhaust gas recovery and reactive energy compensation could apply simultaneously and independently of each other. The combined use of the two technologies will reduce the number and / or capacity of the installed auxiliary generator sets, which, in turn, will lead to a decrease in the consumption of expensive energy resources and the amount of emissions of polluting gases into the atmosphere.

Conclusions. Marine innovative energy efficient technologies are the complex of measures from different sectors designed to improve the *EEDI* and the environmental friendliness of ships. Therefore, they are divided into the corresponding categories *A*, *B* and *C*, since affect *EEDI* in

different ways. Existing *EEDI* improving technologies offer either mechanical ways to improve energy efficiency or directly generate electricity, and do not consider electrical and electrodynamic improvement. Today, the *C-1* category presents innovative technologies aimed at generating electricity by utilizing waste heat and are the only technologies available in it. However, they can be limited used in the port, during ship maneuvers and anchorage. The innovative reactive energy compensation technology is a technology that is successfully applicable for both *C-1* and *C-2* categories, depending on the goal. It is possible to increase the network throughput and active power with the same wire cross-section with reactive energy compensation. This technology is not aimed at generating electricity, it allows the power plants to be loaded with more active power, which make possible to use either a smaller number or less powerful diesel generators for covering the current load, which leads to significant savings in fuel burned and, as a result, greenhouse and poisonous emissions gases into the atmosphere.

Obviously, an innovative technology for reactive energy compensation has to be added in *C* category. The value of the availability factor f_{eff} should be taken equal to one if complex compensation is applied, and f_{eff} <1 if individual.

The development, validation and implementation of innovative energy efficiency technologies are complex processes that never end. They are develop as we gain experience. Therefore, all current guidance documents should be temporary and change as progress develops.

ЛІТЕРАТУРА

1. MEPC 60/4/35. Prevention of Air Pollution from Ships, Mandatory EEDI requirements Draft text for adding a new part to MARPOL Annex VI for regulation of the energy efficiency of ships. Access mode: 15.07.14. http://www.rina.org.uk/hres/mepc%2060_4_35.pdf.

2. 2014 Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for new ships, as amended (resolution mcpc.245(66), as amended by resolutions MEPC.263(68) and MEPC.281(70)) /MEPC.l/Circ.866 30 January 2017
3. MEPC 1-Circ.1-Circ.815. 2013 Guidance on Treatment of Innovative Energy Efficiency Technologies for Calculation and Verification of the Attained EEDI; International Maritime Organization: London, UK, 2013.
4. MAN Diesel & Turbo. EEDI (Energy Efficiency Design Index); MAN Diesel & Turbo: Augsburg, Germany, 2007; pp. 3–4.
5. George Katavoutas, Margarita N. Assimakopoulos, Dimosthenis N. Asimakopoulos. Science of the Total Environment 566–567 (2016):877–887.
6. European Commission, Renewable Energy Progress Report, Report from the Commission to the European parliament, the Council, the European economic and social committee and the Committee of the regions. European Commission Publications Office, 2015.
7. United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), Review of Maritime Transport. United Nations Publication, UNCTAD/RMT/2015, 2015.
8. Дудко С.А. Устройство компенсации реактивной энергии как способ повышения энергетической эффективности судна – Матер. наук.-метод. конф. «Актуальні проблеми суднової електроенергетики, електромеханіки та радіоелектроніки», 11.12.2017 – 12.12.2017. – Одеса: НУ «ОМА», 2018. – С.65-67.
9. S. Dudko. Digital control by the discrete systems of reactive power compensation in ship electrical power plants. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 4th International Scientific Conference SEA-CONF 2018, Volume 172. 2018. 012011, doi : 10.1088/1755-1315/172/1/012011. (Scopus): URL: *http://https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/172/1/012011/meta*
10. Дудко С.А., Глазева О.В., Рак А.Н. Повышение энергоэффективности морских судов путем применения высокоэффективных технологий / – Матер. Межд. науч.-практ. конф. «Энергетика региона: состояние и перспективы развития», 20.12.2019 – 21.12.2019. – Душанбе, Таджикский технический университет им. Акад. М.С. Осими, 2019. – С.222-228.
11. V M Juromskiy Engineering model of the electric drives of separation device for simulation of automatic control systems of reactive power compensation by means of serially connected capacitors 2016 J. Phys.: Conf. Ser. 751 012010
12. PoleCap PFC Capacitors for Outdoor Low-Voltage PFC Applications. Published by EPCOS AG. 03,2005. – Ordering No. EPC. 26015 – 7600.
13. Jungwirth P. Power factor correction on site. *EPCOS COMPONENTS*, 2005. №4.
14. Компенсація реактивної потужності. Схемні рішення на базі контролера DCRK / DCRJ https://www.svaltera.ua/press-center/articles/4351.php
15. DNV GL. 2015. EFFICIENCY FINDER. Accessed Feb 2015. http://www.dnvgl.com/maritime/enhanceperformance/efficiency-finder.aspx.
16. ISO/IEC 15016:2015, Ships and Marine Technology –Guidelines for the Assessment of Speed and Power Performance by Analysis of Speed Trial Data, First Ed. International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland, 2015.
17. RIBEIRO, S. K., et al: “Transport and its Infrastructure” in “IPCC Fourth Assessment Report: Working Group III Report “Mitigation of Climate Change”, Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007, p. 375.
18. RUNKO LUTTENBERGER, L.: “The Role of Environmental Education in Promoting Short-Sea Shipping”, IMLA 19 Conference, Opatija, 2011.
19. BURAZER, I., ŠESTAN, A., ANČIĆ, I., VLADIMIR, N. Hybrid power system of a small passenger ship, conference proceedings of the 20th Symposium on Theory and Practice in Shipbuilding, in Memoriam Prof. Leopold Sorta, Zagreb, 2012.
20. Martin Stopford. Revolution in the Engine Room—Shocking Revelations”, www.clarksons.net/sin2010/markets/Feature.aspx?news_id=31585 (accessed 22 September 2011).

21. Hon, G.; Wang, H. The Energy Efficiency Design Index (EEDI) for New Ships. Available online: https://theicct.org/publications/energy-efficiency-design-index-eedi-new-ships (accessed on 18 July 2019).
22. Esmailian, E.; Ghassemi, H.; Zakerdoost, H. Systematic probabilistic design methodology for simultaneously optimizing the ship hull–propeller system. Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng. 2017, 9, 246–255.
23. Papanikolaou, A.; Zaraphonitis, G.; Bitner-Gregersen, E.; Shigunov, V.; Moctar, O.E.; Soares, C.G.; Reddy, D.N.; Sprenger, F. Energy Efficient Safe Ship Operation (SHOPERA). Transp. Res. Procedia 2016, 14, 820–829.
24. Li, C.L.; Zhou, S.; Han, Y. Research on the Influence of Wind Energy on New Energy Utilization Coefficient of EEDI. Adv. Mater. Res. 2013, 744, 561–565.
25. Chen, Y.Y.; Cao, Y.F.; Xing, H.L. Analysis of Marine Exhaust Pollutant Emission Standard Research. In Proceedings of the 4th International Conference on Sustainable Energy and Environmental Engineering, Shenzhen, China, 20–21 December 2015.
26. Tu, H.; Yang, Y.; Zhang, L.; Xie, D.; Lyu, X.; Song, L.; Guan, Y.; Sun, J. A modified admiralty coefficient for estimating power curves in EEDI calculations. Ocean Eng. 2018, 150, 309–317.

REFERENCES

1. MEPC 60/4/35. Prevention of Air Pollution from Ships, Mandatory EEDI requirements Draft text for adding a new part to MARPOL Annex VI for regulation of the energy efficiency of ships. Access mode: 15.07.14. http://www.rina.org.uk/hres/mepc%2060_4_35.pdf.
2. 2014 Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for new ships, as amended (resolution mcpc.245(66), as amended by resolutions MEPC.263(68) and MEPC.281(70)) /MEPC.l/Circ.866 30 January 2017
3. MEPC 1-Circ.1-Circ.815. 2013 Guidance on Treatment of Innovative Energy Efficiency Technologies for Calculation and Verification of the Attained EEDI; International Maritime Organization: London, UK, 2013.
4. MAN Diesel & Turbo. EEDI (Energy Efficiency Design Index); MAN Diesel & Turbo: Augsburg, Germany, 2007; pp. 3–4.
5. George Katavoutas, Margarita N. Assimakopoulos, Dimosthenis N. Asimakopoulos. Science of the Total Environment 566–567 (2016):877–887.
6. European Commission, Renewable Energy Progress Report, Report from the Commission to the European parliament, the Council, the European economic and social committee and the Committee of the regions. European Commission Publications Office, 2015.
7. United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD), Review of Maritime Transport. United Nations Publication, UNCTAD/RMT/2015, 2015.
8. Dudko S.A. Ustroystvo kompensatsii reaktivnoy energii kak sposob povysheniya effektivnosti sudna. Aktual'nyye problemyi sudovoy yelektroenergetiki, elektromekhaniki i radíoyelektroniki. Mater. nauk.-metod. konf. (11 – 12 grudnya 2017 g.). Odesa. 2018. S. 65-67
9. S. Dudko. Digital control by the discrete systems of reactive power compensation in ship electrical power plants. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 4th International Scientific Conference SEA-CONF 2018, Volume 172. 2018. 012011, doi : 10.1088/1755-1315/172/1/012011. (Scopus): URL: *http://https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/172/1/012011/meta*
10. Dudko S.A., Glazeva O.V., Rak A.N. Povysheniye energoeffektivnosti morskikh sudov putem primeneniya vysokoeffektivnykh tekhnologiy. Energetika regiona: sostoyaniye i perspektivy razvitiya. Mater. Mezhd. nauch.-prakt. konf. (20 – 21 grudnya 2019). Dushanbe. 2019. S. 222-228.
11. V M Juromskiy Engineering model of the electric drives of separation device for simulation of automatic control systems of reactive power compensation by means of serially connected capacitors 2016 J. Phys.: Conf. Ser. 751 012010

12. PoleCap PFC Capacitors for Outdoor Low-Voltage PFC Applications. Published by EPCOS AG. 03,2005. – Ordering No. EPC. 26015 – 7600.
13. Jungwirth P. Power factor correction on site. *EPCOS COMPONENTS*, 2005. №4.
14. Kompensatsiya reaktyvnoyi potuzhnosti. Skhemni rishennya na bazi kontrolera DCRK/DCRJ https://www.svaltera.ua/press-center/articles/4351.php
15. DNV GL. 2015. EFFICIENCY FINDER. Accessed Feb 2015. http://www.dnvgl.com/maritime/enhanceperformance/efficiency-finder.aspx.
16. ISO/IEC 15016:2015. Ships and Marine Technology –Guidelines for the Assessment of Speed and Power Performance by Analysis of Speed Trial Data, First Ed. International Organization for Standardization (ISO), Geneva, Switzerland, 2015.
17. RIBEIRO, S. K., et al: "Transport and its Infrastructure" in "IPCC Fourth Assessment Report: Working Group III Report "Mitigation of Climate Change", Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007, p. 375.
18. RUNKO LUTTENBERGER, L.: "The Role of Environmental Education in Promoting Short-Sea Shipping", IMLA 19 Conference, Opatija, 2011.
19. BURAZER, I., ŠESTAN, A., ANČIĆ, I., VLADIMIR, N. Hybrid power system of a small passenger ship, conference proceedings of the 20th Symposium on Theory and Practice in Shipbuilding, in Memoriam Prof. Leopold Sorta, Zagreb, 2012.
20. Martin Stopford, Revolution in the Engine Room—Shocking Revelations, www.clarksons.net/sin2010/markets/Feature.aspx?news_id=31585 (accessed 22 September 2011).
21. Hon, G.; Wang, H. The Energy Efficiency Design Index (EEDI) for New Ships. Available online: https://theicct.org/publications/energy-efficiency-design-index-eedi-new-ships (accessed on 18 July 2019).
22. Esmailian, E.; Ghassemi, H.; Zakerdoost, H. Systematic probabilistic design methodology for simultaneously optimizing the ship hull–propeller system. Int. J. Nav. Archit. Ocean Eng. 2017, 9, 246–255.
23. Papanikolaou, A.; Zaraphonitis, G.; Bitner-Gregersen, E.; Shigunov, V.; Moctar, O.E.; Soares, C.G.; Reddy, D.N.; Sprenger, F. Energy Efficient Safe Ship Operation (SHOPERA). Transp. Res. Procedia 2016, 14, 820–829.
24. Li, C.L.; Zhou, S.; Han, Y. Research on the Influence of Wind Energy on New Energy Utilization Coefficient of EEDI. Adv. Mater. Res. 2013, 744, 561–565.
25. Chen, Y.Y.; Cao, Y.F.; Xing, H.L. Analysis of Marine Exhaust Pollutant Emission Standard Research. In Proceedings of the 4th International Conference on Sustainable Energy and Environmental Engineering, Shenzhen, China, 20–21 December 2015.
26. Tu, H.; Yang, Y.; Zhang, L.; Xie, D.; Lyu, X.; Song, L.; Guan, Y.; Sun, J. A modified admiralty coefficient for estimating power curves in EEDI calculations. Ocean Eng. 2018, 150, 309–317.

Лісовенко Д. В., Дудко С. А.

ІННОВАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ КОМПЕНСАЦІЇ РЕАКТИВНОЇ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ EEDI СУДНА

Глобальне потепління, викликане по більшій мірі викидами в атмосферу парникових газів, спонукало світову спільноту до підписання у 1997 році Кіотського протоколу. Регулювання викидів парникових газів і пов'язана з ними економічна діяльність перестала бути прерогативою національних властей і стала об'єктом міжнародних угод. У зв'язку з тим, що найбільшими забруднювачами атмосфери з боку світового океану є морські судна, Міжнародна Морська Організація (ММО) прийняла в 2003 році резолюцію А.962 (23): "Політика і практика ММО щодо скорочень викидів парникових газів з морських суден", і визначила, що домогтися значних зменшень викидів парникових газів з морських суден можливо за рахунок прийняття технічних і експлуатаційних заходів. Це говорить про те, що судна повинні бути більш енергоефективними, експлуатаційні режими продуманими, а також необхідна чітка методологія їх оцінки з точки зору викиду парникових газів. Оціночним коефіцієнтом енергоефективності судна став конструктивний коефіцієнт

енергоефективності (EEDI), який розраховується відповідно до формули, розробленої ММО з можливістю його поліпшення за рахунок інноваційних енергоефективних технологій. З моменту вступу в силу резолюції ММО, головним чином ведуться роботи по поліпшенню EEDI на базі існуючих інноваційних технологій по різним категоріям. Прогрес не стоїть на місці, проте список нових інноваційних технологій для категорій енергоефективності не розширився.

Представлена стаття присвячена розробці інноваційної технології категорії С, для поліпшення індексу енергоефективності конструкції судна. Цю технологію можна використовувати самостійно, а також в якості додаткового інструменту для розширення можливостей існуючих технологій енергоефективності. Крім того, інноваційна технологія з компенсації реактивної енергії дозволяє поліпшити EEDI і екологічні показники вже діючих суден, шляхом їх нескладної модернізації при плановому ремонті.

Ключові слова. *Енергоефективність (EEDI), інноваційні енергозберігаючі технології, корекція коефіцієнта потужності.*

Лисовенко Д. В., Дудко С. А.

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ EEDI СУДНА

Глобальное потепление, вызванное по большей мере выбросами в атмосферу парниковых газов, побудило мировое сообщество к подписанию в 1997 году Киотского протокола. Регулирование выбросов парниковых газов и связанная с ними экономическая деятельность перестала быть прерогативой национальных властей и стала объектом международных соглашений. В связи с тем, что наибольшими загрязнителями атмосферы со стороны мирового океана являются морские суда, Международная Морская Организация (ММО) приняла в 2003 году резолюцию А.962(23): "Политика и практика ММО относительно сокращений выбросов парниковых газов с морских судов", и определила, что добиться значительных уменьшений выбросов парниковых газов с морских судов возможно за счет принятия технических и эксплуатационных мероприятий. Это говорит о том, что суда должны быть более энергоэффективными, эксплуатационные режимы продуманными, а также необходима четкая методология оценки судна с точки зрения выброса парниковых газов. Оценочным коэффициентом энергоэффективности судна стал конструктивный коэффициент энергоэффективности (EEDI), который рассчитывается согласно формуле, разработанной ММО с возможностью его улучшения за счет инновационных энергоэффективных технологий. С момента вступления в силу резолюции ММО, главным образом ведутся работы по улучшению EEDI на базе существующих инновационных технологий по разным категориям. Прогресс не стоит на месте, однако список новых инновационных технологий для категорий энергоэффективности не расширился.

Представленная статья посвящена разработке инновационной технологии категории С, для улучшения индекса энергоэффективности конструкции судна. Технологию компенсации реактивной энергии на судах можно использовать самостоятельно, а также в качестве дополнительного инструмента для расширения возможностей существующих технологий энергоэффективности. Кроме того, инновационная технология по компенсации реактивной энергии позволяет улучшить EEDI и экологические показатели уже действующих судов, путем их несложной модернизации при плановом ремонте.

Ключевые слова*. Энергоэффективность (EEDI), инновационные энергосберегающие технологии, коррекция коэффициента мощности.*

УДК 629.541.4 doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.02

Скляренко І.Ю., Раховецький А.А., Коваленко А.Г., Івко П.П.

ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ МОРЕПЛАВСТВА НА ВОДНИХ ШЛЯХАХ

У статті розглянуто проблеми забезпечення безпеки мореплавства на водних шляхах, наведено фактори впливу на морський транспорт, дано визначення системі управління безпекою мореплавства на водних шляхах, що являє собою комплексну організаційно-технічну систему, яка виконує функції аналізу стану, контролю й забезпечення безпеки як окремий функціональних елементів, так і системи в цілому. Досліджено, що використання принципів системного аналізу для забезпечення безпеки мореплавства на водних шляхах з урахуванням показників безпеки й оцінок ризиків функціонування дозволить підвищити безпеку роботи морських транспортних систем, висунуто основні завдання й визначено функції системи управління безпекою мореплавства. Представлені суб'єкти управління безпекою мореплавства, включаючи міжнародні організації, урядові організації, компанії, порти, сервісні компанії. Представлені об'єкти управління безпекою мореплавства, включаючи системи, проекти, програми, організації та підприємства, які відповідальні за реалізацію безпеки.

Ключові слова: *система управління, фактори впливу, суб'єкти, об'єкти, безпека, мореплавство.*

Постановка проблеми. Проблема забезпечення безпеки мореплавства на водних шляхах сьогодні є в пріоритеті, оскільки ціна аварій на світовому морському флоті у зв'язку з глобалізацією світової торгівлі та транспортних процесів останнім часом незмірно зросла, масштаби наслідків набули глобального характеру. Від успішного вирішення даної проблеми залежить життя та здоров'я членів екіпажу, збереження вантажів й водних транспортних засобів [5].

Забезпечення безпеки мореплавства на водних шляхах – це сукупність заходів, пов'язаних із досягненням необхідного рівня надійності та живучості судна, що забезпечують безпечну його діяльність на водних шляхах [7,8].

Мета роботи. Метою дослідження являється застосування системного підходу до розробки проекту створення системи управління безпекою мореплавства на водних шляхах.

Виклад основного матеріалу досліджень. Рівень транспортної безпеки мореплавства залежить, в основному, від взаємодії негативних (загроз) і позитивних факторів впливу (рис. 1) [1-2].

Об'єкт дослідження – це діяльність по управлінню безпекою мореплавства на водних шляхах. Центральним органом виконавчої влади, діяльність якого спрямовується і координується Кабінетом Міністрів України через Міністерство інфраструктури і який реалізує державну політику з питань безпеки на наземному транспорті та у сфері безпеки на морському та річковому транспорті (крім сфери безпеки мореплавства суден флоту рибного господарства), являється Державна служба України з безпеки на транспорті (Укртрансбезпека) [3].

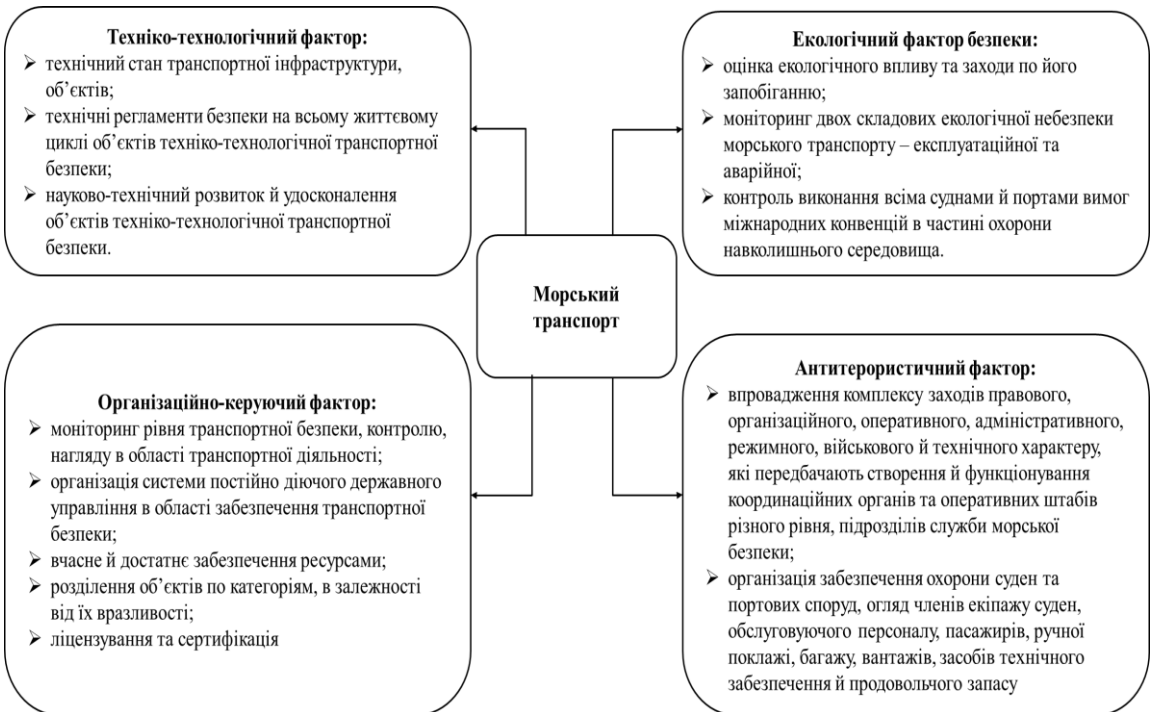

Рисунок 1 – Фактори впливу на морський транспорт

Основні функції Укртрансбезпеки: здійснення державного нагляду (контролю) за безпекою на транспорті, забезпечення надання адміністративних послуг, проведення розслідувань аварій та катастроф на транспорті, нормативно-правове забезпечення безпеки на транспорті, виконання пріоритетних завдань, визначених актами і дорученнями Президента України, Уряду України, щодо забезпечення безпеки перевезень і підвищення безпекових стандартів.

Відсутність комплексного методичного забезпечення формування рівня транспортної безпеки в залежності від впливу факторів впливу на морський транспорт (рис. 1) – основний недолік в реалізації задач поставлених перед Укртрансбезпекою.

Вирішення задачі забезпечення безпеки мореплавства на водних шляхах передбачає впровадження спеціалізованої системи управління. Система управління безпекою мореплавства на водних шляхах являє собою комплексну організаційно-технічну систему, яка виконує функції аналізу стану, контролю й забезпечення безпеки як окремий функціональних елементів, так і системи в цілому [6].

В результаті виконаного аналізу літературних джерел можна зробити висновок, що використання принципів системного аналізу для забезпечення безпеки мореплавства на водних шляхах з урахуванням показників безпеки й оцінок ризиків функціонування дозволить підвищити безпеку роботи морських транспортних систем та висунути основні завдання й визначити функції системи управління безпекою мореплавства на водних шляхах [4, 9-10]:

1) Головною метою системи управління безпекою мореплавства на водних шляхах є забезпечення безпечного функціонування морського транспорту й попередження аварійних подій.

2) Головними завданнями системи управління безпекою мореплавства на водних шляхах є:

- забезпечення безпечної експлуатації суден, безпеки суднового персоналу, пасажирів, схоронності вантажів, запобігання забрудненню довкілля із суден;
- забезпечення належного стану шляхів руху суден, функціонування берегових об'єктів морського транспорту та безпеки берегового персоналу;
- забезпечення пошуку і рятування людей та суден на морі, ліквідація небезпечних забруднень морського середовища.

3) Система управління безпекою мореплавства на водних шляхах також має розв'язувати такі завдання:

- організацію управління безпечною експлуатацією суден та запобігання забрудненню довкілля із суден;
- контроль та нагляд за безпекою судноплавства;
- укомплектування суден кваліфікованими екіпажами, організацію несення вахти, праці та відпочинку;
- організацію навігаційно-гідрографічного та гідрометеорологічного забезпечення безпеки судноплавства;
- інформаційне забезпечення судноплавства зі своєчасним сповіщенням про зміну навігаційної і гідрометеорологічної обстановки та загрозу безпеці судноплавства;
- організацію лоцманського та льодового проведення суден, регулювання руху суден;
- організацію морських систем радіозв'язку, зв'язку на внутрішніх водних шляхах; забезпечення надійного зв'язку у разі виникнення аварійних подій та під час ліквідації її наслідків;
- створення нормативно-правової бази безпеки судноплавства шляхом адаптації національного законодавства до міжнародних стандартів з питань безпеки судноплавства, розробки та впровадження норм і правил національного законодавства, які регламентують судноплавство;
- розробку та виконання програм підвищення рівня безпеки судноплавства;
- розслідування аварійних подій, аналіз, розробку та впровадження відповідних заходів попередження;
- належне реагування сил і засобів з пошуку, рятування та ліквідації небезпечних забруднень довкілля із суден у морській зоні відповідальності України;
- забезпечення безпеки експлуатації гідротехнічних та інших споруд, які використовуються для потреб судноплавства;
- ліцензування господарської діяльності з надання послуг з перевезення пасажирів і вантажів морським і річковим транспортом;
- сертифікація судноплавної компанії, суден, інших об'єктів управління;
- забезпечення належного вирішення інших завдань з безпеки судноплавства відповідно до зобов'язань України за її міжнародними договорами у сфері судноплавства.

4) До функцій системи управління безпекою мореплавства на водних шляхах належать:

- організація роботи, яка передбачає:
  - визначення суб'єктів та об'єктів управління безпеки судноплавства;
  - встановлення функціональних обов'язків структурних підрозділів та посадових осіб з питань безпеки судноплавства на всіх рівнях управління та виробництва;
  - регламентацію діяльності керівників та посадових осіб;
  - нормативне забезпечення управління безпекою судноплавства.
- інформування про стан безпеки судноплавства, яке складається з:
  - передачі інформації в установленому порядку;
  - отримання та цільового збирання інформації про стан безпеки судноплавства;
  - обліку та систематизації інформації;
  - аналізу показників аварійності та стану безпеки судноплавства;
  - підготовки висновків і відповідних пропозицій.
- оперативне реагування на виникнення аварійних подій та розслідування обставин та причин аварійних подій, яке складається з:
  - отримання інформації про аварійні події;
  - попередньої оцінки та класифікації аварійних подій;
  - організації та проведення пошукових та аварійно-рятувальних робіт;
  - розслідування аварійних подій;
  - оцінки стану безпеки на об'єктах управління, де сталися аварійні події;
  - аналізу, обліку та передачі інформації про аварійні події;
  - підготовки і впровадження заходів попередження.
- планування та виконання робіт, яке включає:

- розробку та вжиття заходів (програм) з підтримки та підвищення рівня безпеки судноплавства і попередження аварійних подій;
- організацію виконання (реалізації) прийнятих заходів (програм);
- супроводження (контроль) на всіх етапах виконання заходів (програм);
- аналіз та оцінку результатів, прийняття в установленому порядку результатів виконаних заходів (програм).

- спеціальні функції, які включають:
  - підтвердження відповідності;
  - сертифікацію суден, судноплавних компаній, плавскладу, окремих елементів берегової інфраструктури морського транспорту;
  - ліцензування окремих видів діяльності.
- розповсюдження і обмін інформацією з питань безпеки судноплавства, яка здійснюється шляхом:
  - використання засобів масової інформації;
  - проведення днів, тижнів, місячників безпеки;
  - проведення конференцій, семінарів, нарад;
  - здійснення роз'яснювальної роботи.
- контрольні та наглядові функції, які включають:
  - постійний контроль функціонування системи управління безпекою мореплавства на водних шляхах ;
  - державний нагляд над станом безпеки судноплавства на морському транспорті;
  - планові перевірки за затвердженими графіками;
  - позапланові (позачергові) перевірки;
  - комплексні перевірки;
  - цільові перевірки.
- функція підготовки та реалізації управлінських рішень, яка складається з:
  - підготовки рішення;
  - прийняття рішення;
  - реалізації рішення;
  - контролю над процесом реалізації рішення.

Розробка системи управління безпекою мореплавства на водних шляхах (рис. 2) має три основних блока, які представлені структурними декомпозиціями суб’єктів управління, об’єктів управління та процесу управління.

Суб’єкти управління. Суб’єктами управління являються активні учасники системи УБМ (проекту), які взаємодіють при виробленні та прийнятті рішень в процесі його розробки. До суб’єктів управління відносяться: замовник (Укртрансбезпека), проектувальник, підрядник, виконавець і ін., менеджер проекту, адміністратор проекту, представники проекту, функціональні менеджери проекту.

Об’єкти управління. Об’єктами управління можуть бути:

- системи та підсистеми УБМ;
- безліч проектів, портфелі проектів і програм в підрозділах Укртрансбезпеки або компаніях;
- періоди життєвого циклу об'єкта управління: концепція, розробка, реалізація, виконання.

Процес управління розробкою системи безпеки мореплавства. Це вплив суб'єктів управління на об'єкти управління за допомогою прийнятих рішень задач УБМ. Підставами класифікації завдань УБМ є:

- *стадії процесу управління, включаючи*: розробку концепції системи УБМ, планування розробки УБМ, організацію і контроль виконання робіт по УБМ, аналіз і регулювання ходу розробки УБМ, закриття проекту і його частин;
- *функціональні області управління, включаючи*: предметну область, тимчасові параметри, вартість, якість, ризики, персонал, комунікації, контракти, зміни та інші;

- *часові розрізи управління, включаючи*: стратегічний рівень - охоплює весь життєвий цикл системи УБМ; річний рівень; квартальний рівень; оперативний рівень; кризовий рівень управління.

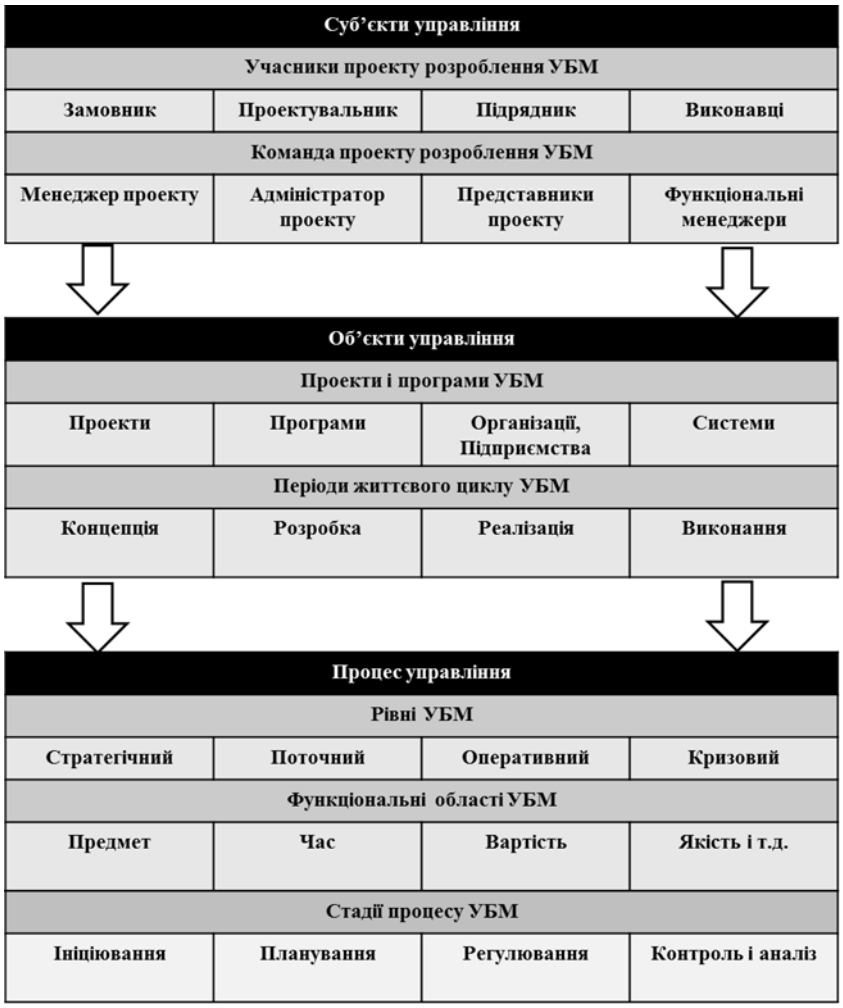

Рисунок 2 – Розробка системи управління безпекою мореплавства

На основі системної моделі розробки УБМ можна здійснювати інтеграцію різних її елементів. Об'єднуючи елементи моделі зверху вниз можна отримати *вертикальну інтеграцію* суб'єктів управління, об'єктів управління і процесу управління за обраними елементами системної моделі.

Це дозволяє визначити завдання (процеси), необхідні для замовника, проектувальника, менеджера проекту. Не менш важливими є завдання, які визначаються різними комбінаціями елементів кожного рівня системної моделі, - *горизонтальна інтеграція*. Така інтеграція може об'єднувати всі елементи або частина елементів (їх комбінацію). Найбільше практичне значення і застосування мають завдання, які визначаються *горизонтально-вертикальною* або *змішаною* інтеграцією елементів системної моделі.

Пропонована системна модель є методологічним інструментарієм для генерації і системного проектування цілісної інтегрованої системи УБМ, яка може бути використана на всіх етапах її розробки, включаючи:

- концептуальне проектування;
- проектування функціональних і забезпечуючих частин;
- проектування системи комунікацій і документації;

- розробку елементів: моделі, методи, алгоритми, програми та нормативно-методичне забезпечення (керівництво користувачам, корпоративні та системні стандарти, методики, інструкції).

Висновки. Формування функціональної структури завдань системної моделі дозволяє здійснити класифікацію задач і процедур, можливих при управлінні проектами та програмами безпеки судноплавства. Пропонований підхід дозволяє виявити склад проблемно-орієнтованих комплексів процесів (завдань) УБМ, визначити методи й інструментарій забезпечення ефективного прийняття рішень на всіх рівнях системи УБМ.

ЛІТЕРАТУРА

1. Семанов Г.Н. Морской транспорт и экологическая безопасность Электронный ресурс. -Режим доступа : http://mi32.narod.ru/01-99/safity.html.
2. Skrynnik, A. M. The state management in the sphere of maintenance of sea safety in Russia [Text] / A. M. Skrynnik // Severo-Kavkazskii iuridicheskii vestnik. − 2009. − No. 3. − P. 77−84.
3. Про затвердження Положення про Державну службу України з безпеки на транспорті [Електронний ресурс]: Постанова Кабінету Міністрів України від 11 лютого 2015 року №103. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/103-2015-%D0%BF#Text.
4. Про затвердження Положення про систему управління безпекою судноплавства на морському і річковому транспорті [Електронний ресурс]: Наказ Міністерства транспорту України від 20.11.2003 №904. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1193-03#Text.
5. Про схвалення Транспортної стратегії України на період до 2020 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2010 р. // Офіційний вісник України. – 2010. № 92, т. 2. Ст. 3280.
6. Щодо стратегічних пріоритетів реалізації потенціалу України як морської держави: аналітична доповідь / А.О. Филипенко, В.В. Баришнікова, К.В. Степанова [та ін.]. – О.: Фенікс, 2012. – 152 с.
7. Борисова Л.Ф. Анализ причин столкновения судов и проблемы безопасности мореплавания. Наука и образование: Материалы Междунар. научно-техн. конф. (Мурманск, 7-15 апреля 2004). Мурманск, МГТУ, ч.5, с.245-249, 2004.
8. Скороходов Д.А., Стариченков А.Л., Хабарова И.В. Разработка методологии управления безопасностью транспортных систем). Отчет о НИР (промежуточный). СПб., ИПТРАН, 135 с., 2004.
9. Review of maritime transport 2011, report by the unCtAd secretariat.: [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://archive.unctad.org/templates/webflyer.asp?docid=15876&intItemId=2068&lang=1&mode=downloads
10. Ильницкий К. Два десятилетия водного транспорта Украины [Електроний ресурс] / К. Ильинский // Порты Украины. – 2011. – № 6. – Режим доступу: http://portsukraine.com/node/2169

REFERENCES

1. Semanov GN Maritime transport and environmental safety Electronic resource. -Access mode: http://mi32.narod.ru/01-99/safity.html.
2. Skrynnik, A. M. The state management in the sphere of maintenance of sea safety in Russia [Text] / A. M. Skrynnik // Severo-Kavkazskii iuridicheskii vestnik. - 2009. - No. 3. P. 77−84.
3. On approval of the Regulation on the State Service of Ukraine for Transport Safety [Electronic resource]: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of 11 February 2015 №103. - Access mode: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/103-2015-%D0%BF#Text.

4. On approval of the Regulations on the safety management system of shipping on sea and river transport [Electronic resource]: Order of the Ministry of Transport of Ukraine dated 20.11.2003 №904. - Access mode: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1193-03#Text.
5. On approval of the Transport Strategy of Ukraine for the period up to 2020: Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine of October 20, 2010 // Official Gazette of Ukraine. - 2010. № 92, vol. 2. Art. 3280.
6. On the strategic priorities of the potential of Ukraine as a maritime state: an analytical report / A.O. Filipenko, V.V. Baryshnikov, K.V. Stepanova [etc.]. - O.: Fenix, 2012. - 152 c.
7. Borisova LF Analysis of the causes of ship collisions and maritime safety issues. Science and education: Materials International. scientific and technical conf. (Murmansk, April 7-15, 2004). Murmansk, Moscow State Technical University, Part 5, pp.245-249, 2004.
8. Skorokhodov D.A., Starichenkov A.L., Khabarova I.V. Development of safety management methodology for transport systems). Research report (intermediate). SPb., IPTRAN, 135 p., 2004.
9. Review of maritime transport 2011, report by the unCtAd secretariat .: [Electronic resource]. - Access mode: http://archive.unctad.org/templates/webflyer.asp?docid=15876&in tItemId = 2068 & lang = 1 & mode = downloads
10. Ilnitsky K. Two decades of water transport of Ukraine [Electronic resource] / K. Ilyinsky // Ports of Ukraine. - 2011. - № 6. - Access mode: http: // portsukraine. com / node / 2169

Sklyarenko I.Y., Rakhovetsky A.A., Kovalenko A.G., Ivko P.P.

INCREASING SAFETY ON NAVIGATION ON WATERWAYS

The article considers the problems of maritime safety on waterways, the factors influencing maritime transport, defines the management system of maritime safety on waterways, which is a comprehensive organizational and technical system that performs the functions of analysis, control and safety as a separate functional elements and the system as a whole. It is investigated that the use of the principles of system analysis to ensure the safety of navigation on waterways, taking into account safety indicators and assessments of operational risks will improve the safety of maritime transport systems, the main tasks and defined the functions of maritime safety management system. Maritime safety management entities are represented, including international organizations, government organizations, companies, ports, service companies. Maritime safety management facilities are presented, including systems, projects, programs, organizations and enterprises responsible for the implementation of safety.

***Keywords**: management system, factors of influence, subjects, objects, safety, navigation.*

Скляренко И.Ю., Раховецкий А.А., Коваленко А.Г., Ивко П.П.

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ МОРЕПЛАВАНИЯ НА ВОДНЫХ ПУТЯХ

В статье рассмотрены проблемы обеспечения безопасности мореплавания на водных путях, приведены факторы влияния на морской транспорт, дано определение системы управления безопасностью мореплавания на водных путях, представляет собой комплексную организационно-техническую систему, которая выполняет функции анализа состояния, контроля и обеспечения безопасности как отдельных функциональных элементов, так и системы в целом. Доказано, что использование принципов системного анализа для обеспечения безопасности мореплавания на водных путях с учетом показателей безопасности и оценок рисков функционирования позволит повысить безопасность работы морских транспортных систем, предъявлено основные задачи и определены функции системы управления безопасностью мореплавания. Представленны субъекты управления безопасностью мореплавания, включая международные организации, правительственные организации, компании, порты, сервисные компании. Представлены объекты управления безопасностью мореплавания, включая системы, проекты, программы, организации и предприятия, ответственные за реализацию безопасности.

***Ключевые слова:** система управления, факторы влияния, субъекты, объекты, безопасность, мореходность.*

УДК 681.5 doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.03

Скляренко І.Ю., Подлєвських С.С., Какаранзе Ю. Ю., Милюков В. І.

РОЗРОБКА І ВПРОВАДЖЕННЯ АЛГОРИТМУ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ СУДНОМ

У статті розроблено алгоритм автоматичного керування судном шляхом вдосконалення процесу керування локомотивом за допомогою інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень для суднобригад.

Висвітлено проблему та актуальність сучасного розвиток теорії систем керування суднами, програмного забезпечення та елементної бази, що не дозволяє досягти повністю автономного руху суден. Перехідною стадією до керування судном без участі людини є впровадження інтелектуальних систем суден підтримки прийняття рішень. В теперішній час теоретичне підґрунтя для реалізації цього завдання розроблено не достатньо. Не достатньо висвітленими залишаються такі питання, як визначення структури інтелектуальної системи судна, розробка математичного апарату для опису нечітких ситуацій при керуванні судном та моделювання процесу самонавчання системи. Також не вирішеним є питання розробки динамічних баз знань для систем судна підтримки прийняття рішень. Всі це стало підґрунтям для розробки і впровадження алгоритму функціонування підсистеми «Формування рішень членом суднобригади», що дозволяє формувати кінцевої підмножини альтернативних рішень для подальшої обробки на етапі аналізу альтернатив і вибору найкращих рішень для забезпечення безпеки перевезення.

***Ключові слова**: рух, судно, алгоритм, спосіб, контроль, система підтримки прийняття рішення, безпека плавання.*

Постановка проблеми. В даний час на суднах морського і річкового флоту, поряд з іншими автоматичними системами, широко застосовуються системи автоматичного управління рухом судна. Ці системи є найбільш важливими і відповідальними системами в судновій автоматиці. Від їх якості та надійності в значній мірі залежить безпека мореплавання, а також техніко-економічні показники суден.

Система автоматичного управління (САУ) рухом судна вирішує наступні завдання [1-3]:

- стабілізацію - автоматично утримувати судно на заданому курсі;
- маневрування - досить точно і швидко виконувати отримані накази (дії, що управляють).

Внаслідок цього, система автоматичного управління судна може працювати в режимі стабілізації, стежить і комбінованому режимах.

Складністю завдань судноводіння пояснюється і той факт, що більшість з них поки не може бути надійно вирішено без участі судноводія. Комплекси, що керують рухом сучасних морських суден, відносяться до людино-машинним системам. Вони включає в себе дві частини: оператора і штучну систему. Найбільше застосування в сучасних системах управління отримали комп'ютерні засоби автоматики.

Тому штучну частину сучасних суднових комплексів називають електронної або комп'ютерною системою.

Головний напрямок розвитку бортових електронних систем управління рухом полягає в тому, щоб дозволити одному вахтовому помічнику у відкритому морі і в прибережних водах забезпечувати безпечне і ефективне судноводіння, а також значно полегшити

штурманському складу управління судном (бригада судна) в обмежених водах. Першою і основною задачею електронних систем судноводіння на сучасному етапі є інформаційна підтримка рішень вахтового помічника. Друге завдання полягає в забезпеченні йому можливості безпосереднього управління силовими засобами.

Третє завдання - це автоматичне рішення щодо нескладних завдань управління, таких як водіння судна по заданому маршруту, управління швидкістю ходу і виконання ряду інших операцій.

Поступово системи керування судном розвиваються у напрямку зниження ролі суднобригад в процесі керування судном, що дає можливість зменшення шкідливого впливу людського фактору на безпеку та ефективність експлуатації судна. Кінцевим етапом цього розвитку буде перехід на повністю автоматичне ведення суден. В теперішній час «людський фактор» в керуванні судном все ще відіграє значну роль і знижує безпеку перевезень.

Аналіз останніх досліджень. Аналіз наведених закордонних розробок дозволяє зробити висновок, що використання автоматизованих систем керування судном є перспективним напрямком наукових досліджень, що дозволяє значно скоротити, а іноді зовсім усунути негативний вплив людського фактору на безпеку руху. Однак загальним недоліком цих систем є наявність обмеженої кількості параметрів, що контролюються, збільшення якої призводить до ускладнення алгоритмів роботи автоматизованих систем, що є причиною великого зростання їх вартості. З іншого боку, в таких системах дуже складно переналаштування з урахуванням специфічних умов. Проекти позбавлені можливості накопичення досвіду керування та самостійного корегування управління з метою покращення показників попередніх рейсів, тобто відсутня функція самонавчання. Це спрямувало розвиток систем керування судному напрямку інтелектуалізації [4]. Розробляються нові методи та структури інтелектуальних систем керування на водному транспорті [5] та вдосконалено методи прогнозування технічного стану суден [6, 7]. Але наведені джерела не розглядають процес прийняття рішень бригадою судна, хоча цей процес один з найважливіших. Успішна його реалізація дозволяє значно підвищити заходи забезпечення безпеки експлуатації, тобто безпеки руху на транспорті, зокрема й морських та річкових суден.

Тому моделювання діяльності штурманського складу судна та реалізація цієї моделі в системах керування судном дозволить мінімізувати, а можливо уникнути шкідливих впливів людського фактору.

Сучасний стан теоретичних досліджень, спрямованих на покращення процесів керування у водах, дозволяє виділити два напрямки вирішення цієї проблеми. Перший напрямок – автоматизація (від автоматизації окремих операцій до впровадження автоматичного керування технологічними процесами). Зокрема для цього використовуються мережі Петрі, методи кінцевих автоматів [8, 9] та ін. Другий напрямок пов’язаний з використанням методів штучного інтелекту та приділенню більшої уваги не моделюванню об’єкту керування, а формалізації керуючої діяльності людини-вахтера [10]. Перевагами другого підходу є можливість прийняття системою керуючих рішень в умовах невизначеності та неповноти інформації та можливість самонавчання та накопичення досвіду керування.

Мета дослідження. Розробка алгоритму автоматичного керування судном, що дозволить вдосконалення процесу керування локомотивом за допомогою інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень для суднобригад.

Виклад основного матеріалу. Під управлінням зазвичай розуміється процес забезпечення одним об'єктом необхідного зміни стану іншого об'єкта за допомогою цілеспрямованих впливів. Перший об'єкт називають керуючої або командної системою, а другий - об'єктом управління або керованою системою, керованим процесом. Під час управління системою на нею діють різні впливи зовнішнього середовища або оточення системи.

Будь-яке розумне управління цілеспрямовано. Мета управління являє собою базується на об'єктивних критеріях чітко сформульоване завдання для системи управління, ступінь виконання якого можна виміряти кількісно. У загальному випадку управління включає як вироблення методів досягнення поставленої мети і реалізацію цих методів, так і формування самих цілей. Мета управління зазвичай зв'язується з певними комплексними показниками якості, що характеризують систему (її продуктивність, економічність, точність, швидкодію і т.д.).

В результаті аналізу існуючих типів інтелектуальних систем, ієрархій та алгоритмів їх роботи, враховуючи умови роботи бригад суден та об’єктів водного транспорту в цілому, розроблені параметри бригади судна системи підтримки прийняття рішень (СППР) (зведені до табл. 1). В результаті реалізації етапів синтезу СППР судна отримано структуру, що наведена на рис. 1.

Таблиця 1

Характеристики СППР для бригади судна

Ознака, за якою класифікується СППР	Найменування параметру	Описання параметру
Тип структурованості проблем, що вирішуються	Слабоструктуровані	Вихідні параметри містять як кількісні, так і якісні елементи
Характер розподіленності	Просторово і функціонально розподілені	Складається з окремих зв’язаних між собою локальних них СППР суден, що можуть вирішити загальну проблему тільки разом
Характер оцінки результатів рішення	Рішення, що об’єктивно оцінюються	Оцінка результату основана на явно заданих критеріях, що визначають досягнення цілі: витрати палива, міжремонтний пробіг, безпека руху тощо
Характер ситуації, в якій ОПР приймає рішення	Екстремальні ситуації	Прийняття рішення по керуванню судном характеризується дефі цитом часу та обстановкою, що швидко змінюється -
Тип комп’ютерного аналізу ситуацій	Динамічний	Мається набір сценаріїв по керуванню судна, з якого обирається

Стани об’єкта керування можна оцінювати за значеннями ознак – розпізнавальних рис об’єкта. Наприклад, нехай об’єктом керування є судно. Головні вимоги до системи керування – забезпечення безпеки руху шляхом виявлення небезпечних позаштатних ситуацій і вживання заходів по виходу з них, а також забезпечення найбільш раціонального режиму ведення судна (мінімізації експлуатаційних витрат).

Морські та річкові судна являють собою складні керовані технічні системи зі змінними параметрами, що функціонують в мінливих умовах зовнішнього середовища. Складність судів як об'єктів управління характеризується:

- відмінністю в керованості через велике розмаїття розмірів, форм корпусу і типів рушійно-рульових комплексів;
- великою інерційністю;
- неповної керованістю і можливістю її втрати;
- впливом на динамічні властивості широкого спектра колійних умов (річки, мілководді, канали) і зміною маси судна;
- значним впливом збурюючих впливів на рух.

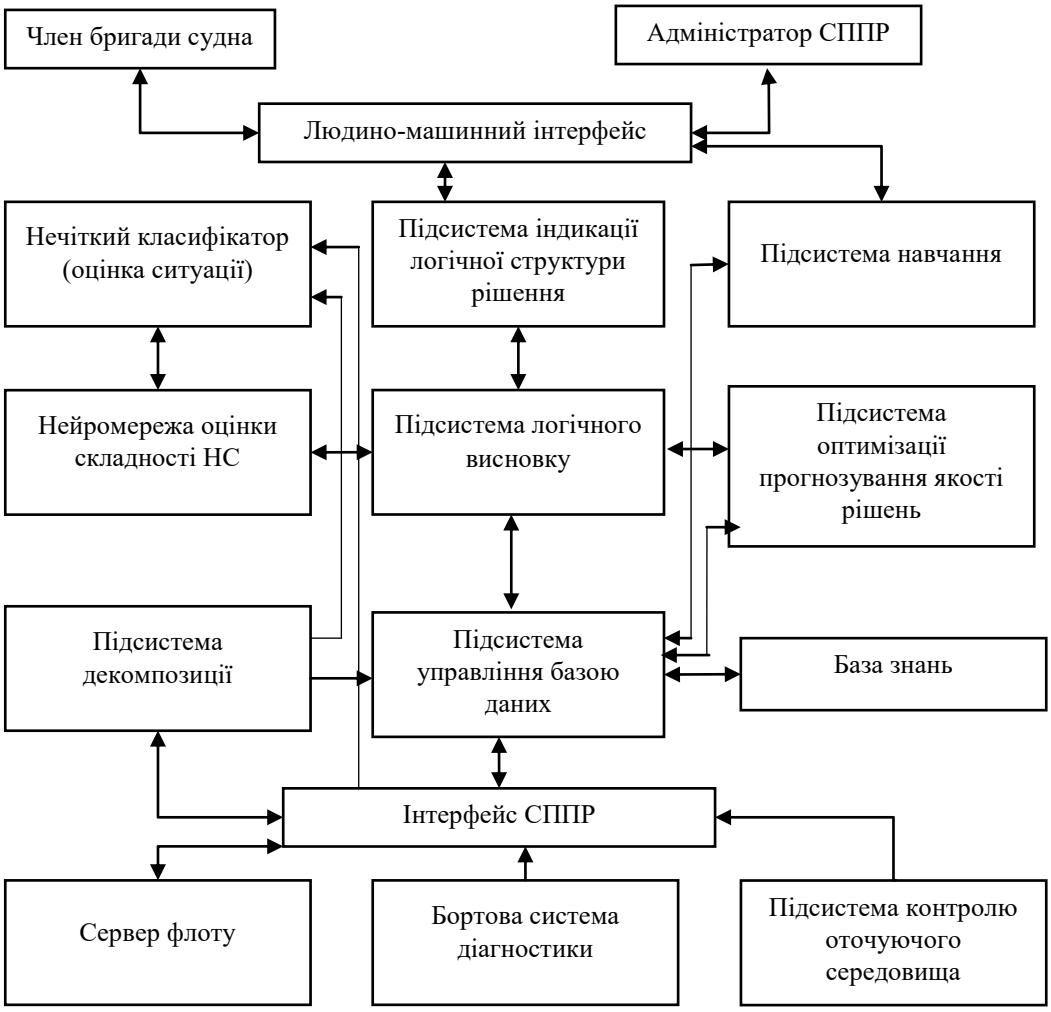

Рисунок 1 – Структура бортової СППР судна

У загальному випадку математична модель керованої динамічної системи описує з тим або іншим ступенем точності зміна станів даної системи з плином часу при заданих керуючих впливах і заданих умовах функціонування системи.

Математична модель руху судна як керована динамічна система може бути представлена у вигляді системи диференціальних рівнянь:

$$\dot{x} = f(x, u, w, t), \tag{1}$$

де $x \in E^n$ - вектор стану судна, $u \in E^m$ - вектор управління, $w \in E^1$ - вектор збурюючих впливів, $t \in [t_0, \infty)$ - незалежна змінна (час)

Повна математична модель просторового руху судна малопридатна для дослідження систем управління судном і технічної реалізації результатів дослідження. Для вирішення

завдання управління курсом судна при допущенні, що зміна опади і кутів крену і диференту в процесі руху невелика, досить розглядати математичні моделі плоскопараллельного руху судна в горизонтальній площині. Такі математичні моделі в загальному випадку представляються в наступних системах координат (рис. 2) [11]:

1. незв'язні СК $x_0o_0y_0$ - нерухома координатна система, орієнтована по меридіану: вісь o_0x_0 спрямована на схід, а вісь o_0 y_0 - на північ.

2. Пов'язана з судном СК хоу - система координат, пов'язана з центральним моментом судна О, осі якої спрямовані по осях симетрії корпусу.

Розташована в діаметральної площині вісь ох спрямована до носа судна і називається поздовжньої. Інша поперечна (бічна) вісь оу лежить в площині мидель-шпангоута і спрямована в бік правого борта.

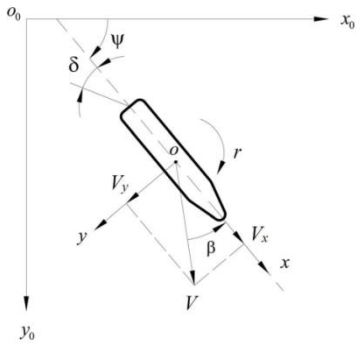

Рисунок 2 – Система координат в горизонтальній площині

На рис.2. позначені наступні змінні:
β - кут дрейфу, град;
ψ - кут курсу, град;
r - кутова швидкість курсу, град / с;
V - вектор швидкості судна щодо води, м / с;
Vx, Vy, - проекції в V на осі зв'язаної системи координат *хоу*, м/с;
δ - кут перекладки керма, град/с.

Система диференціальних рівнянь руху надводного судна в пов'язаної з судном системі координат може бути представлена в наступному вигляді [9]:

$$\begin{cases} (M+\lambda_{11})\frac{dV_x}{dt} = MV_y r + \lambda_{22}V_y r + X_k + X_A + X_R + T_e, \\ (M+\lambda_{22})\frac{dV_y}{dt} = +MV_x r + \lambda_{22}V_x r + Y_k + Y_A + Y_R, \\ (I_z+\lambda_{66})\frac{dr}{dt} = M_k + M_R + M_A, \\ \frac{d\psi}{dt} = r, \end{cases} \quad (2)$$

де M - маса судна, кг;

I_z - приєднаний момент інерції маси судна, Нм;

X_k, Y_k- гідродинамічні сили, що виникають на корпусі судна з непрацюючим гвинтом і не перекладеним кермом Н;

X_R, Y_R - гідродинамічні сили, що виникають на кермі, Н;

M_k, M_R - гідродинамічний моменти, що виникає на корпусі судна з непрацюючим гвинтом і не перекладеним кермом і виникає на кермі відповідно, Нм;

X_A, Y_A- аеродинамічні сили, що діють на надводну частину судна, Н;

M_A - аеродинамічний момент, діючий на надводну частину судна, Нм;

T_e- тяга, створювана головним рушієм, Н;

λ_{11}, λ_{22} - приєднані маси рідини, кг;

λ_{66} - приєднаний момент інерції, Нм.

Проекції вектора швидкості руху судна щодо землі на осі нерухомої системи координат $x_0o_0y_0$ визначаються виразами:

$$\begin{cases} V_{x0} = V_x \cos\psi - V_y \sin\psi, \\ V_{y0} = V_x \sin\psi - V_y \cos\psi. \end{cases} \quad (3)$$

Система (3) дозволяє описати всі можливі маневри судна в горизонтальній площині, однак на практиці, з огляду на обчислювальної складності, її використання важко [12].

Кінцевою метою керуючої діяльності члена суднобригади є отримання корисного результату – спрямування судна до пункту призначення з мінімізацією ризику виникнення транспортної події. Мета досягається поетапно, шляхом розв'язання часткових завдань. Розглянемо алгоритм діяльності члена суднобригади як людини-оператора. Найважливішим елементом управляючої діяльності члена суднобригади є прийняття рішення. Щоб виконати моделювання цього процесу, потрібно врахувати всі фактори та дії, що передують прийняттю рішень та визначити логічні зв'язки між ними. Найбільш природно для цієї задачі використати методи теорії графів [13].

Алгоритм дій члена суднобригади судна під час керування судном представимо у вигляді нечіткого імовірнісного графа, що зображений на рис. 3 [13]. Для будь-якої j-ї вершини ймовірнісного графа виконується умова стохастичності. Завдання аналізу процесу керування судном зводиться до укрупнення графу, зображеного на рис. 3, з використанням правил еквівалентних перетворень для послідовних та паралельних дуг, і для дуг-петель [14]. Вершинами даного графа є операції, що виконуються членом суднобригади, а логічні умови – зважені нечіткими ймовірнісно-часовими характеристиками переходу від однієї операції до іншої. Даний граф складається з наступних операцій:

1 – контроль стану та зайнятості території попереду; 2 – контроль стану сигналів попереду; 3 – контроль технічного стану судна; 4 – контроль стану система судна; 5 – аналіз відповідності режиму керування поточним умовам ведення судна швидкісний режим, відстані до сигналів або небезпечних місць, погодні умови та інше); 6 – прийняття керуючого рішення; 7 – оцінка стану території попереду; 8 – оцінка значення сигналу; 9 – оцінка стану технічного судна;10 – оцінка стану судна; 11 – оцінка ефективності прийнятого рішення по керуванню судном; 12 – ідентифікація небезпечної ситуації; 13 – перехід керування в режим усунення нештатної ситуації.

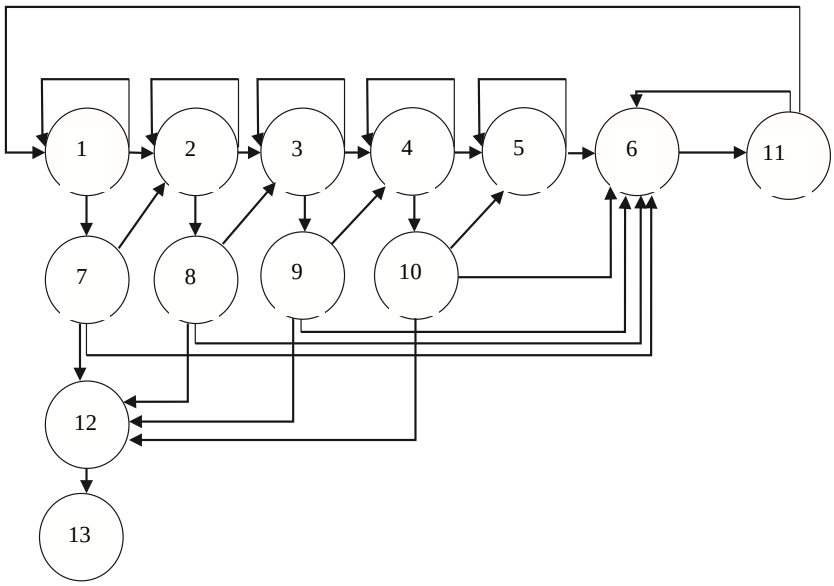

Рисунок 3 – Нечіткий імовірнісний граф алгоритму діяльності члена бригади судна під час ведення судна

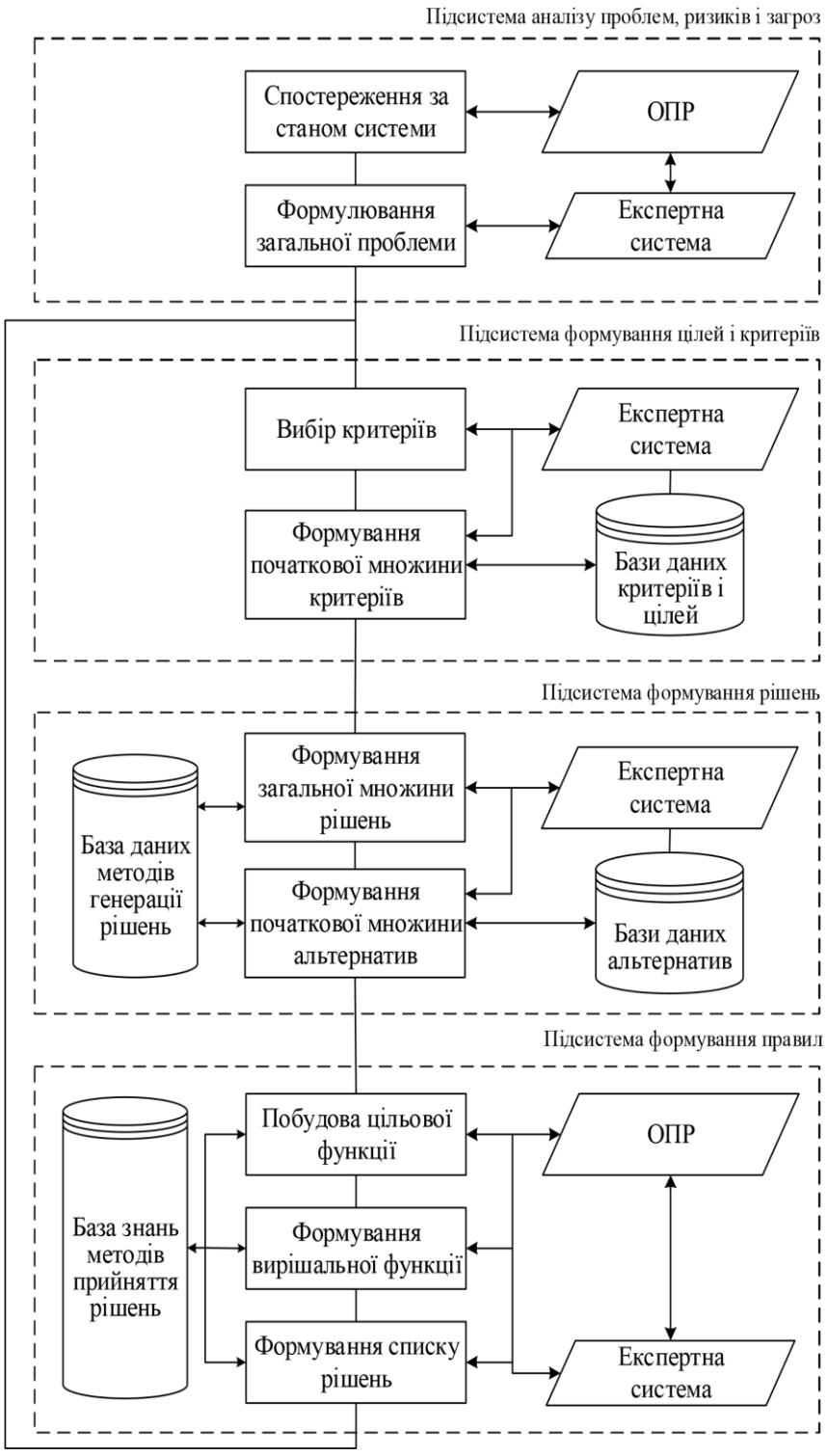

Рисунок 4 – Структурна схема функціонування системи підтримки прийняття рішень

Для забезпечення функціонування стандартна СППР повинна включати в себе наступні основні модулі та підсистеми:

1. База даних СППР.
2. База знань СППР.
3. База моделей, правил і прийомів прийняття рішень.
4. Система управління інтерфейсом.
5. Основні функціональні модулі.

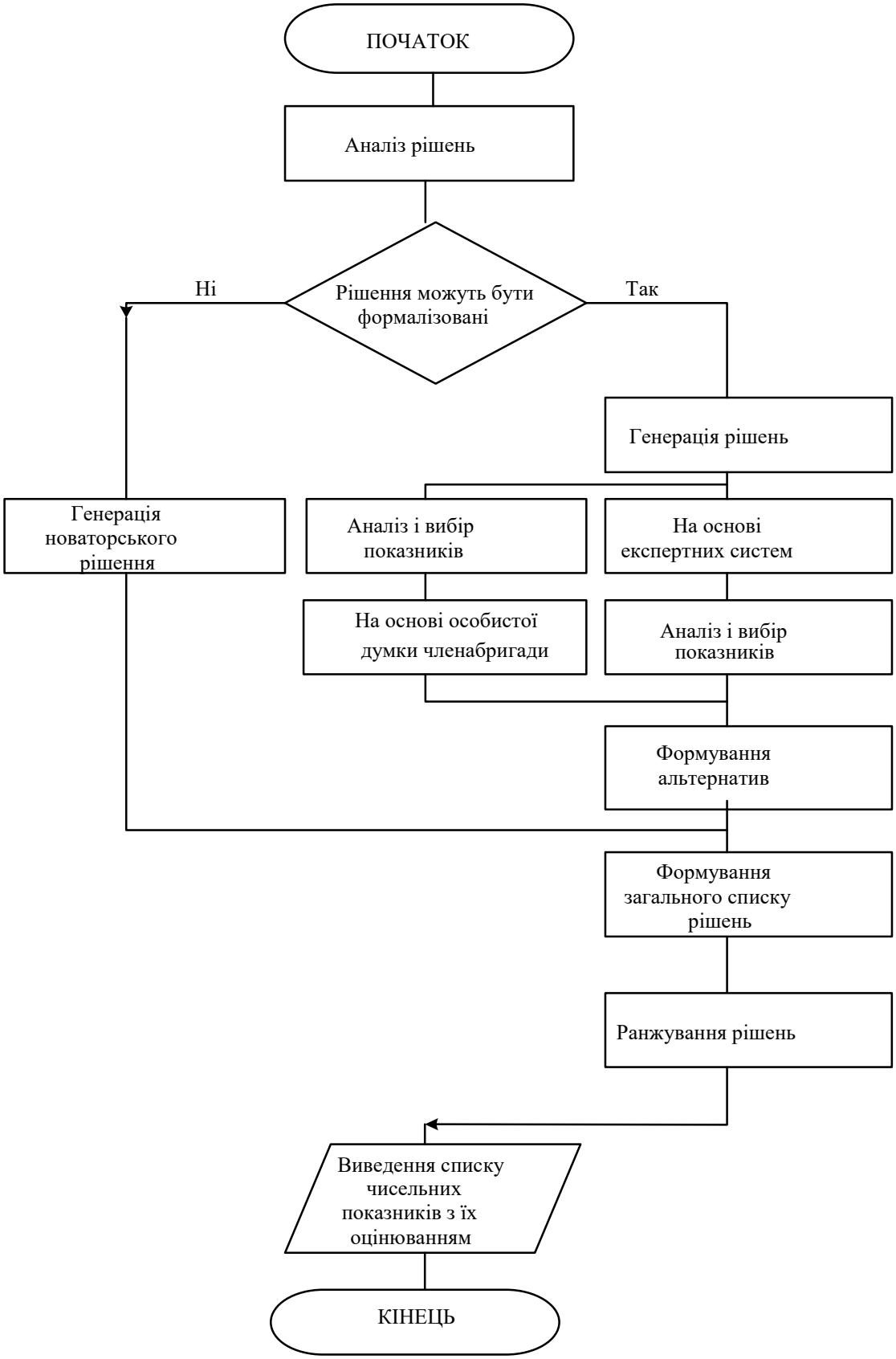

Рисунок 5 – Блок-схема алгоритму функціонування підсистеми «Формування рішень членом суднобригади»

При реалізації підтримки прийняття рішень СППР повинна забезпечувати наступні види проведення підтримки:

- експертний;
- автоматизований;
- комбінований.

Будь-яку систему підтримки прийняття рішень зручно розглядати як діалогову автоматизовану систему, яка використовує відповідні математичні моделі спільно з базами даних і знань, а також інтерактивний комп'ютерний процес моделювання [15]. Основні функціональні модулі, що забезпечують безперервне та ефективне функціонування системи, включають наступні підсистеми або моделі: підсистема аналізу проблем, ризиків і загроз; підсистема формування цілей і критеріїв; підсистема формування рішень; підсистема формування вирішального правила і аналіз альтернатив.

Наведена схема забезпечує повнофункціональний процес прийняття рішень при аналізі будь-якого виду завдань.

Для подальшого аналізу проблеми необхідно сформувати альтернативні варіанти рішень, які формуються в підсистемі «Формування рішень членом суднобригади». Блок-схему алгоритму функціонування підсистеми "Формування рішень членом суднобригади" наведено на рис. 5

Формування можливих рішень можна реалізувати за допомогою: програмної реалізації аналітичних моделей, з використанням експертних систем, генерації сценаріїв шляхом комбінації різних операцій, заданих особою, яка приймає рішення або взятих з бази даних, і використовуючи підхід, що отримав назву ситуаційного управління. Процес формування рішень можна поділити на два види:

- новаторські рішення, які поки комп'ютер розробити не в змозі;
- рішення, що ґрунтуються на типових сценаріях, по аналогії, на основі комбінації відомих часткових рішень.

Зауважимо, що формування таких рішень доступне для обчислення за допомогою обчислювальній машині [16].

Підсистема "Формування рішень" повинна забезпечувати формування множини рішень у відповідності з наступною послідовністю:

- генерація множини рішень з використанням математичних, експертних методів і за допомогою коґнітивних карт;
- структурування альтернатив;
- формування кінцевої підмножини альтернативних рішень для подальшої обробки на етапі аналізу альтернатив і вибору найкращих рішень.

Висновки. Висновки після аналізу еквівалентного графу, отриманого з використанням алгоритму формування кінцевої підмножини альтернативних рішень для подальшої обробки на етапі аналізу альтернатив і вибору найкращих рішень., наступні:

– мінімальний час від аналізу ситуації та оцінки ефективності попереднього керуючого рішення до прийняття наступного керуючого рішення (включаючи рішення не виконувати ніяких дій) знаходиться в визначеному інтервалі;

– члену суднобригади після оцінки ефективності прийнятого керуючого рішення приблизно в 1–2 % випадків приходиться ідентифікувати небезпечну ситуацію. Час, що потрібний для цього знаходиться в інтервалі. Ці параметри показують, що швидкість прийняття рішень можливо і потрібно підвищувати.

Зменшення часу на ідентифікацію нештатних ситуацій напряму впливає на безпеку руху, і чим більше поточна швидкість, тим важливіше мати можливість в найкоротший термін виявити небезпеку та приступити до її зниження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Березин, С.Я. Системы автоматического управления движением судна по курсу / С.Я. Березин, Б.А. Тетюев. – Л.: Судостроение, 1990. – 256 с.
2. Булатов, М.Г. Исследование динамики морских волн в прибрежной зоне по данным радиолокационных наблюдений высокого разрешения // М.Г. Булатов, М.Д. Раев, Е.И. Скворцов / Институт Космических исследований. – 6 с. URL: http://www.iki.rssi.ru/earth/articles/sec6_03.pdf
3. Вагущенко, Л.Л. Системы автоматического управления движением судна / Л.Л. Вагущенко, Н.Н. Цымбал – Одесса: Фенікс, 2007. – 328 с.
4. Wang, Z. Study on the structure design and optimization for RITS [Text]: Postdoctoral Thesis / Z. Wang // China Academic of Railway. – 2005. – Vol. 13. – P. 89.
5. Герасимов Б. М. Проектування та застосування експертно-навчальних систем : монографія / Б. М. Герасимов, О. Г. Оксіюк, С. О. Шворов // – К. : Європейський університет, 2008. – 263 с.
6. Гленсдорф П. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций / 5. П. Гленсдорф, И. Пригожин. – М. : Мир, 1973. – 280 с.
7. Навігаційне забезпечення управління рухом суден (навчальний посібник)/ [Богом'я В. І., Давидов В. С., Доронін В. В., Пашков Д. П., Тихонов І. В.].–Вид.1-ше.–К.:ДВВП «Компас», 2012 – 336 с
8. El-Fakih, K. An Assessment of Extended Finite State Machine Test Selection Criteria [Text] / K. El-Fakih, A. Simao, N. Jadoon, J. C. Maldonado // Journal of Systems and Software. – 2016. doi: 10.1016/j.jss.2016.09.044
9. Sales, D. O. Adaptive finite state machine based visual autonomous navigation system [Text] / D. O. Sales, D. O. Correa, L. C. Fernandes, D. F. Wolf, F. S. Osório // Engineering Applications of Artificial Intelligence. – 2014. – Vol. 29. – P. 152–162. doi: 10.1016/j.engappai.2013.12.006
10. Филиппенко, И. Г. Взаимодействующие нейроавтоматы и нейроавтоматно-вычислительные структуры [Текст] / И. Г. Филиппенко; под ред. О. Г. Руденко. – К.: Каравелла, 2015. – 440 с.
11. Вагущенко, Л.Л. Системы автоматического управления движением судна /Л.Л. Вагущенко, Н.Н. Цымбал – Одесса: Фенікс, 2007. – 328 с.
12. Константинова, Е.А. Системы управления движением морских судов на основе рекуррентных нейросетевых моделей: дис. … канд. техн. наук / Е.А. Константинова – Мор. гос. ун-т им. адмирала Г.И. Невельского. Владивосток. – 2012. – 143 с.
13. Гаскаров Д. В. Сетевые модели распределенных автоматизированных систем / Гаскаров Д. В., Истомин Е. П., Кутузов О. И. – СПб. : Энергоатомиздат, СПб. отделение, 1998. – 353 с.
14. Раскин, Л. Г. Нечеткая математика [Текст]: монография / Л. Г. Раскин, О. В. Серая. – Харьков: Парус, 2008. – 352 с.
15. Трахтенгерц Э. А. Компьютерная поддержка формирования целей и стратегий. Серия "Системы и проблемы управления"/ Э. А. Трахтенгерц. – Москва: СИНТЕГ, 2005. – 224 с.
16. Герасимов Б. М. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень : навчальний посібник / [Б. М. Герасимов, В. М. Локазюк, А. Г. Оксиюк, О. В. Поморова]. – К. : Київ, Європейський університет, 2007. – 335 с.

REFERENCES

1. Berezin, S. Ya. Systems of automatic control of vessel movement along the course / S.Ya. Berezin, B.A. Tetyuev. - L .: Shipbuilding, 1990 .-- 256 p.

2. Bulatov, M.G. Study of the dynamics of sea waves in the coastal zone along high-resolution radar observation data // M.G. Bulatov, M.D. Raev, E.I. Skvortsov / Institute for Space Research. - 6 p. URL: http://www.iki.rssi.ru/earth/articles/sec6_03.pdf
3. Vagushchenko, L.L. Systems of automatic control of ship movement / L.L. Vagushchenko, N.N. Tsymbal - Odessa: Fenix, 2007 .-- 328 p.
4. Wang, Z. Study on the structure design and optimization for RITS [Text]: Postdoctoral Thesis / Z. Wang // China Academic of Railway. - 2005. - Vol. 13. - P. 89.
5. Gerasimov BM Design and storage of expert systems: monograph / BM Gerasimov, O. G. Oksiyuk, S. O. Shvorov // - K.: European University, 2008. - 263 p.
6. Glensdorf P. Thermodynamic theory of structure, stability and fluctuations / 5. P. Glensdorf, I. Prigogine. - M.: Mir, 1973 .-- 280 p.
7. Navigation securing the management of the shipwreck (navchalniy posibnik) / [God V. I., Davidov V. S., Doronin V. V., Pashkov D. P., Tikhonov I. V.]. - View 1-she-K.: DVVP "Compass", 2012 - 336 s
8. El-Fakih, K. An Assessment of Extended Finite State Machine Test Selection Criteria [Text] / K. El-Fakih, A. Simao, N. Jadoon, J. C. Maldonado // Journal of Systems and Software. - 2016. doi: 10.1016 / j.jss.2016.09.044
9. Sales, D. O. Adaptive finite state machine based visual autonomous navigation system [Text] / D. O. Sales, D. O. Correa, L. C. Fernandes, D. F. Wolf, F. S. Osório // Engineering Applications of Artificial Intelligence. - 2014. - Vol. 29. - P. 152-162. doi: 10.1016 / j.engappai.2013.12.006
10. Filippenko, IG Interacting neuroautomatics and neuroautomatic computing structures [Text] / IG Filippenko; ed. O. G. Rudenko. - K .: Karavella, 2015 .-- 440 p.
11. Vagushchenko, L.L. Automatic ship traffic control systems / L.L. Vagushchenko, N.N. Tsymbal - Odessa: Fenix, 2007 .-- 328 p.
12. Konstantinova, E.A. Marine traffic control systems based on recurrent neural network models: dis. ... Cand. tech. nauk / E.A. Konstantinov - Mor. state un-t them. Admiral G.I. Nevelsky. Vladivostok. - 2012 .-- 143 p.
13. Gaskarov DV Network models of distributed automated systems / Gaskarov DV, Istomin EP, Kutuzov OI - SPb. : Energoatomizdat, St. Petersburg. department, 1998 .-- 353 p.
14. Raskin, L. G. Fuzzy mathematics [Text]: monograph / L. G. Raskin, O. V. Seraya. - Kharkov: Parus, 2008 .-- 352 p.
15. Trakhtengerts E. A. Computer support for the formation of goals and strategies. Series "Systems and control problems" / E. A. Trakhtengerts. - Moscow: SINTEG, 2005 .-- 224 p.
16. Gerasimov B.M. Intelligent systems and processes for accepting a solution: a new owner / [B. M. Gerasimov, V. M. Lokazyuk, A. G. Oksiyuk, O. V. Pomorova]. - K.: Kiev, European University, 2007 .- 335 p.

Sklyarenko I.Yu., Podlevskikh SS, Kakaranze Yu. Yu., Milyukov VI

DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF THE ALGORITHM OF AUTOMATIC VESSEL CONTROL

The article develops an algorithm for automatic ship control by improving the locomotive control process with the help of an intelligent decision support system for ship crews.

The problem and urgency of modern development of the theory of ship control systems, software and element base, which does not allow to achieve fully autonomous movement of ships. The transition to ship management without human intervention is the implementation of intelligent decision support vessel systems. At present, the theoretical basis for the implementation of this task is not developed enough. Issues such as determining the structure of the ship's intelligent system, developing a mathematical apparatus to describe fuzzy situations in ship management and modeling the system's self-learning process remain insufficiently covered. The issue of developing dynamic knowledge bases for decision support vessel systems is also unresolved. All this became the basis for the development and implementation of the algorithm of the subsystem "Formation of decisions

by a member of the ship's crew", which allows to form a final subset of alternative solutions for further processing at the stage of analysis of alternatives and selection of best solutions.

Keywords: movement, ship, algorithm, method, control, decision support system, navigation safety.

Скляренко И.Ю., Подлевских С.С., Какаранзе Ю. Ю., Милюков В. И.

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ АЛГОРИТМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ СУДНОМ

В статье разработан алгоритм автоматического управления судном путем совершенствования процесса управления локомотивом с помощью интеллектуальной системы поддержки принятия решений для суднобригад.

Освещена проблема и актуальность современного развития теории систем управления судами, программного обеспечения и элементной базы, которая не позволяет достичь полностью автономного движения судов. Переходной стадией к управлению судном без участия человека является внедрение интеллектуальных систем судов поддержки принятия решений. В настоящее время теоретических основ для реализации этой задачи разработано недостаточно. Недостаточно освещены остаются такие вопросы, как определение структуры интеллектуальной системы судна, разработка математического аппарата для описания нечетких ситуаций при управлении судном и моделирование процесса самообучения системы. Также нерешенным остаётся вопрос разработки динамических баз знаний для систем судна поддержки принятия решений. Все это стало основой для разработки и внедрения алгоритма функционирования подсистемы «Формирование решений членом суднобригады», что позволяет формировать конечное подмножество альтернативных решений для дальнейшей обработки на этапе анализа альтернатив и выбора лучших решений для обеспечения безопасности перевозки.

Ключевые слова: движение, судно, алгоритм, способ, контроль, система поддержки принятия решения, безопасность плавания.

УДК 681.5 doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.04

Войченко Т.О., Радченко О.А.

ЗАСТОСУВАННЯ ПАРАМЕТРИЧНОГО ПРОГРАМУВАННЯ ДЛЯ ПЛАНУВАННЯ РОБОТИ ФЛОТУ ВНУТРІШНЬОГО ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

Стаття присвячена розгляду проблем моделювання транспортного процесу і управління ним. Наведено приклад рішення практичних операційних задач з вибору оптимального плану роботи флоту внутрішнього водного транспорту і оптимальних схем руху суден з використанням оптимізаційних моделей і методів оптимізації, заснованих на використанні математичного програмування та його розділу - параметричного програмування, якє є основою оптимального планування різних економічних процесів. Розглянута методологія застосування параметричного програмування як методу планування, який найбільш повно відповідає економічним умовам функціонування судноплавних компаній та дозволяє врахувати зміну економічної кон'юнктури і ресурсів флоту. Сформульовані зовнішні і внутрішні параметри варіювання, які характеризують умови функціонування судноплавних компаній в ринкових умовах господарювання і впливають на навігаційний план використання флоту, зокрема економічна кон'юнктура на ринку транспортних послуг, платоспроможний попит, рівень державних замовлень, гідрометеорологічні умови в басейнах річок. Все це виражається в невизначеності рівня перевезень за обсягами і номенклатурою, а також в обмеженнях на перевезення. Окреслено проблему з точки зору внутрішніх параметрів, яка постає перед менеджерами судноплавних компаній: скільки флоту за видами і типами суден готувати до навігації, тобто якими повинні бути обмеження в економіко-математичній моделі по ресурсах флоту. Для вирішення завдання навігаційного планування запропоновано використання методу параметричного програмування, а саме наближеного методу абсолютного пріоритету, вибір якого обумовлений простою обчислювальною процедурою і отриманням результату, близького до оптимального. Розроблено економіко-математичну модель по оптимальному використанню ресурсів флоту в разі зміни фактичних обсягів перевезень. Проведена прогнозно-кількісна оцінка ризиків і вибору обґрунтованого управлінського рішення для виконання виробничого і фінансового плану роботи флоту. Зроблений висновок, що використання моделей параметричного програмування при навігаційному плануванні роботи флоту внутрішнього водного транспорту підвищує ефективність операційних методів аналізу і рішення задач у сфері організаційного управління та покращує якість отриманих на основі моделей і методів управлінських рішень.

Ключові слова: *економіко-математичне моделювання, параметричне програмування, внутрішній водний транспорт, ресурси флоту, оперативне планування, фінансовий план, виробничий план, оцінка ризику, управлінські рішення*

Постановка проблеми. Проблема моделювання транспортного процесу і управління ним розглядалася багатьма дослідниками і проектувальниками. При цьому виділялися різні підсистеми за організаційними, функціональними ознаками і складом елементів. Впровадження системи планування роботи флоту, заснованої на методах дослідження операцій, передбачає автоматизацію процесу планування. На даний момент можна говорити про повну відсутність будь-якої системної автоматизації планування на річкових судноплавних підприємствах. Окремі розрахункові завдання планування вирішуються в

рамках систем електронної бухгалтерії і за допомогою електронних таблиць. При цьому дослідження з питань автоматизації планування роботи флоту відсутні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Рішеннями проблем наукового підходу в області оптимізації та автоматизації планування роботи транспортного флоту займалися такі вчені, як О.О. Булов, Б.І. Вайсблат, Л.М. Гаськов, В.М. Захаров, В.П. Зачьосов, В.В. Звонков, О.П. Ірхин, В.І. Кожухар, О.Г. Малишкін, Ю.І. Платов, С.М. П'яних, В.І. Савін, О.О. Союзов, І.П. Фадєєв, Е.В. Ширяєв, О.С. Бутов, В.О. Легостаєв. Великий внесок у розробку економіко-математичних методів, алгоритмів оперативного управління та оптимізації руху суден внесли Б.О. Атлас, К.А. Гарін, Ю.М. Кулібанов, С.В. Перевезенцев, Л.М. Рижов, В.В. Сахаров, В.М. Федюшин, В.Г. Фомін, Ю.М. Уртмінцев, Д.М. Шустов та інші.

В результаті цих розробок була вироблена закінчена методологія оперативного планування роботи флоту, яка була складовою частиною трирівневої системи планування, суттєвим чином орієнтованої на плановий характер роботи річкового транспорту. Застосування засобів обчислювальної техніки і передачі даних дозволило істотно підвищити якість управління роботою судноплавних компаній за рахунок отримання оперативної інформації про стан флоту і подальшого її аналізу.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Для роботи річкового флоту важливішою виявилася та особливість безперервного планування, яка означає можливість гнучко реагувати на зміну експлуатаційної обстановки і дає можливість коригувати план роботи флоту. В сучасних умовах значно змінилися як економічні, так і організаційні можливості судноплавних підприємств. Необхідний пошук таких конкурентних переваг, які сприяли б виведенню внутрішнього водного транспорту на передові позиції в галузі, а зробити це можна лише з використанням сучасних управлінських комп'ютерних технологій на основі впровадження відповідних оптимізаційних задач.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Виробничі системи, в тому числі транспортні, є складними, динамічними, головним чином, з ймовірними елементами. Тому оптимізація функціонування систем може бути забезпечена тільки за умови використання методів і засобів управління, які враховують зазначені властивості систем. В статті розглянуто методологію застосування параметричного програмування для розробки навігаційного плану використання флоту на річкових судноплавних підприємствах. Тому основною метою проведеного дослідження є підвищення ефективності роботи внутрішнього водного транспорту України за рахунок розробки гнучких систем прийняття рішень по управлінню перевезеннями і роботою флоту.

Виклад основного матеріалу. В умовах ринкової економіки існує багато судноплавних компаній, які конкурують між собою і борються за максимальні прибутки в умовах жорсткої конкуренції. У зв’язку з цим, проблема оптимізації планування роботи флоту є однією з головних проблем, які вирішуються судноплавними компаніями. Математичні методи, які можуть бути використані при рішенні задач оптимізації роботи флоту, можуть бути використані на практиці і є актуальними. З математичної точки зору параметричне програмування виступає як один із засобів аналізу чутливості рішення до варіації вихідних даних, оцінки стійкості рішення [1].

Параметричне програмування як метод планування найбільш повно відповідає ринковим умовам господарювання, оскільки дозволяє врахувати невизначеність як зовнішніх, так і внутрішніх параметрів варіювання, що характеризують умови функціонування судноплавних компаній [2]. До зовнішніх параметрів належать: економічна кон'юнктура на ринку транспортних послуг, платоспроможний попит, рівень державних замовлень і так далі, крім того, це і гідрометеорологічні умови в басейнах річок. Все це виражається в невизначеності рівня перевезень по обсягах і номенклатурі, а значить, в обмеженнях на перевезення. З точки зору внутрішніх параметрів перед менеджерами судноплавних компаній (операторами перевезень) постає проблема: скільки флоту за видами і типами суден готувати до навігації, тобто, в кінцевому підсумку, якими повинні бути обмеження в економіко-математичній моделі по ресурсах флоту.

Виходячи з системно-ситуаційного підходу, до вирішення такого завдання необхідно шукати не однозначне рішення, а коридор стійких рішень щодо розстановки флоту по ділянках роботи, обмежений, з одного боку, песимістичним рішенням (песимістичний обсяг перевезень), а з іншого боку - оптимістичним рішенням (оптимістичний обсяг перевезень). Необхідно також виконати і оцінку ризиків. Менеджери повинні приймати управлінські рішення саме в цьому коридорі значень критеріальних показників [3].

Потрібно зробити розстановку наявних ресурсів суден *Фі* таким чином, щоб забезпечити повне освоєння гарантованої частини обсягу перевезень і певної частки змінного обсягу при мінімальних витратах по флоту:

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} Å_{ij}\cdot(\tilde{o}_{ij}\pm\Delta\tilde{o}_{ij})\to\min, \tag{1}$$

за таких умов:

1) повинні бути освоєні всі вантажопотоки:

$$\sum_{i=1}^{n} Ï_{ij}\cdot(x_{ij}\pm\Delta x_{ij}) = G_j^{\tilde{a}} + \lambda\Delta G_j,\ j=\overline{1,3}. \tag{2}$$

2) потреба у флоті на освоєння планових вантажопотоків не повинна перевищувати його наявності:

$$\sum_{j=1}^{m}(\tilde{o}_{ij}\pm\Delta\tilde{o}_{ij})\le\hat{O}_i,\ i=\overline{1,3}. \tag{3}$$

3) число суден *i*-го типу, поставлених на *j*-у дільницю роботи, має бути величиною позитивною, а сумарна потреба в суднах *i*-го типу для освоєння змінного обсягу перевезень повинна дорівнювати нулю:

$$\tilde{o}_{ij}\ge 0,\ \sum_{i=1}^{n}\Delta x_{ij}=0. \tag{4}$$

4) коефіцієнт, що враховує коливання змінної частини обсягу перевезень, повинен знаходитися в межах:

$$0\le\lambda\le 1. \tag{5}$$

Приклад вихідної матриці завдання

Вихідні дані для вирішення завдання подаються у формі таблиці. На підставі даних щодо провізної спроможності, питомих витрат по флоту і розрахованої собівартості перевезень заповнюється вихідна матриця для вирішення завдання; визначаються обмеження щодо перевезень і ресурсів флоту (див. табл.). Обмеження з перевезень по кожному вантажопотоку складаються з гарантованої і змінної частини перевезень: $G_j^{\tilde{a}};\lambda\Delta G_j$.

Гарантована частина перевезень - це державне замовлення (регіональне), а також надійна, платоспроможна клієнтура.

Змінна частина перевезень - це:

- можливі відхилення від гарантованої частини перевезень, що виникають через стохастичність всіх процесів в економіці та виробництві. Вона визначається методами математичної статистики в порівнянні «план-факт» за ряд років;

- ймовірні перевезення, які визначаються маркетинговими дослідженнями і з'являються в процесі навігації;

- перевезення як результат конкурентної боротьби на ринку транспортних послуг.

Практично змінна частина перевезень задається у вихідних даних.

Таблиця 1

Вихідна матриця

G_j / Φ_i	$G_1 + \lambda\,\Delta G_1$	$G_2 + \lambda\,\Delta G_2$	$G_3 + \lambda\,\Delta G_3$
Φ_1	$X_{11} \pm \Delta X_{11}$ $П_{11}$ E_{11} S_{11}	$X_{12} \pm \Delta X_{12}$ $П_{12}$ E_{12} S_{12}	$X_{13} \pm \Delta X_{13}$ $П_{13}$ E_{13} S_{13}
Φ_2	$X_{21} \pm \Delta X_{21}$ $П_{21}$ E_{21} S_{21}	$X_{22} \pm \Delta X_{22}$ $П_{22}$ E_{22} S_{22}	$X_{23} \pm \Delta X_{23}$ $П_{23}$ E_{23} S_{23}
Φ_3	$X_{31} \pm \Delta X_{31}$ $П_{31}$ E_{31} S_{31}	$X_{32} \pm \Delta X_{32}$ $П_{32}$ E_{32} S_{32}	$X_{33} \pm \Delta X_{33}$ $П_{33}$ E_{33} S_{33}

Визначення обмеження за ресурсами флоту - це прийняття управлінського рішення топ-менеджером про те, скільки флоту треба вводити в експлуатацію. При цьому необхідно мати на увазі наступне. Великий резерв зменшує прибуток компанії, аж до зведення його до нуля і навіть - отримання збитків. У свою чергу, брак флоту - це штрафні санкції за порушення договорів на перевезення (в арбітражних судах - це втрачений прибуток клієнтів).

Практично ресурси флоту необхідно визначати наступним чином:

$$\hat{O}_1 = \frac{G_1}{\ddot{I}_{11}}, \hat{O}_2 = \frac{G_2}{\ddot{I}_{22}}, \hat{O}_3 = \frac{G_3}{\ddot{I}_{33}} \ . \qquad (6)$$

Отримані значення коригуються менеджментом в процесі виробничих розрахунків.

Для вирішення завдання навігаційного планування використовується параметричне програмування, в даному випадку - наближений метод абсолютного пріоритету [4]. Вибір цього методу обумовлений простою обчислювальною процедурою і отриманням результату, близького до оптимального.

В результаті застосування наближеного методу виходить план, який містить рекомендації щодо раціонального використання флоту в разі зміни фактичних обсягів перевезень порівняно з плановими (гарантованими), і цей план залишається стійким [5].

Алгоритм методу рішення

1. Знаходиться клітина з мінімальною собівартістю S_{min}, і здійснюється завантаження цієї клітини:

$$X_{ij} = \min\left\{\frac{G_j^{\varepsilon}}{\Pi_{ij}}; \Phi_i\right\}, \qquad (7)$$

$$\Delta X_{ij} = \frac{\Delta G_j}{П_{ij}}. \quad (8)$$

Якщо $\Delta Ф_i = Ф_i - X_{ij} > 0$, то ΔX_{ij} присвоюється знак «+», тобто $X_{ij} + \Delta X_{ij}$.

2. Якщо $\Delta Ф_i = Ф_i - X_{ij} > 0$, проводиться завантаження клітини для флоту *i*-го типу з урахуванням собівартості S_{min}:

$$X_{ij} = \min\left\{\frac{G_j^{\epsilon}}{П_{ij}}; \Delta Ф_i\right\}. \quad (9)$$

Причому, ΔX_{ij} отримує знак «-», так як $\Sigma \Delta X_{ij} = 0$.

3. Далі завантажуються клітини, для яких виконана деяка частина обсягу перевезень:

$$X_{ij} = \min\left\{\frac{G_j^{\epsilon} - X_{ij} \cdot П_{ij}}{П_{ij}}; Ф_i\right\}; \quad (10)$$

$$\Delta X_{ij} = \frac{\Delta G_j - (-\Delta X_{ij}) \cdot П_{ij}}{П_{ij}}. \quad (11)$$

4. Після виконання обсягів перевезень по *j*-й ділянці викреслюється *j*-ий стовпець, а після витрати ресурсів суден *i*-го типу - *i*-й рядок. Розрахунки повторюються до тих пір, поки не будуть освоєні всі вантажопотоки або не закінчаться всі ресурси суден.

5. Кількість клітин *N*, заповнених значеннями $X_{ij} > 0$, має задовольняти умові:

$$N = n + m - 1. \quad (12)$$

6. Після розстановки флоту в стовпці резервів знаходяться змінні виду $X_{ij} - \Delta X_{ij}$, для визначення λ:

$$\lambda = \min\left\{\frac{X_{ij}^{рез}}{\Delta X_{ij}}\right\}. \quad (13)$$

Якщо $\lambda > 1$, приймається $\lambda = 1$.

7. Знайдене значення λ підставляється в завантажені клітини і клітини обсягів, і виходить план освоєння перевезень.

Розробка виробничого плану роботи флоту

Виробничий план роботи флоту розробляється в табличній формі і являє собою проектну схему використання транспортного флоту [6].

Потреба у флоті в тоннажі-добі визначається за формулою:

$$\sum Q_p t = Ф \cdot Q_p \cdot t_{відпр}, \quad (13)$$

де $Ф$ – потреба у флоті, од.;

Q_p – регістрова вантажопідйомність судна, т;

$t_{відпр}$ – період відправлення, діб.

Валова продуктивність роботи флоту розраховується за формулою:

$$\rho_{в} = \frac{A_{в}}{\sum Q_p t} \ , \qquad (14)$$

де $A_{в}$ – вантажообіг, ткм.

Виробничий план роботи флоту складається з усіх розроблених варіантів освоєння перевезень.

Розробка фінансового плану

Фінансовий план включає наступні показники: доходи від перевезень, експлуатаційні витрати, фінансовий результат, витрати на одну грошову одиницю доходів, рентабельність [7].

Експлуатаційні витрати визначаються за формулою, гр. од:

$$E_{ij} = S_{ij} \cdot G_{ij}, \qquad (15)$$

де S_{ij} – собівартість перевезення на *j*-ой лінії судном *i*-го типу, гр. од./т;

G_{ij} – обсяг перевезень на *j*-ой лінії судном *i*-го типу, т.

Доходи визначаються за формулою, гр.од.:

$$Д_{ij} = d_j \cdot G_{ij}, \qquad (16)$$

де d_j – дохідна ставка на перевезеннях на *j*-ой лінії, гр.од./т.

Дохідна ставка може бути визначена за формулою, гр.од./т:

$$d_j = 1{,}2 \cdot \frac{\sum E_j}{\sum G_j}, \qquad (17)$$

де $\sum E_j$ – сумарні витрати на *j*-ой лінії, гр.од.;

$\sum G_j$ – сумарний обсяг перевезень по *j*-ой лінії, т.

Фінансовий результат (валова виручка) знаходиться за формулою, гр.од.:

$$ВВ_{ij} = Д_{ij} - E_{ij}. \qquad (18)$$

Витрати на одну грошову одиницю доходів дорівнюють, гр.од./гр.од.:

$$\hat{А}_{ij} = \frac{Å_{ij}}{Ä_{ij}}. \qquad (19)$$

Рентабельність перевезень, %:

$$R_{ïåð} = \frac{\hat{А}\hat{А}_{ij}}{Å_{ij}}. \qquad (20)$$

Рентабельність основних виробничих засобів, %:

$$R_{ОВЗ} = \frac{BB_{ij}}{\Phi_i * K_c}. \qquad (21)$$

де K_c – вартість судна, гр. од.

Фінансовий план роботи флоту складається з усіх розроблених варіантів освоєння перевезень.

Оцінка ризику та прийняття управлінського рішення

Підприємство має кілька варіантів досягнення поставленої мети, після розробки яких проводиться прогнозно-кількісна оцінка кожного варіанту і вибір найкращого, в якому інтегральні показники з урахуванням ризику найменші, тобто приймається обґрунтоване управлінське рішення. Під ризиком в даному випадку розуміється невизначеність у виконанні плану перевезень. Показниками ризику є викладені в [3, 4, 8]:

1. Імовірність того, що фактичний обсяг перевезень виявиться менше планового:

$$P\{G_ф < G_n\} = 0{,}5 + \Phi_t\left[\frac{G_n - M(G)}{\delta}\right], \qquad (22)$$

де $G_ф$ – фактичний обсяг перевезень, тис. т;

G_n – плановий (очікуваний) обсяг перевезень, тис. т;

Φ_t – функція Лапласа;

$M(G)$ – середнє значення обсягу перевезень, тис. т;

δ – середньоквадратичне відхилення.

Плановий обсяг перевезень дорівнює, тис. т:

$$G_n = \sum G_j^г + \lambda \sum \Delta G_j. \qquad (23)$$

Середнє значення обсягу перевезень, тис. т:

$$M(G) = \sum G_j^г + \frac{\sum \Delta G_j}{2}. \qquad (24)$$

Середньоквадратичне відхилення:

$$\delta = \sqrt{\frac{(\sum \Delta G_j)^2}{12}}. \qquad (25)$$

2. Недоосвоєнний обсяг перевезень, тис. т:

$$\Delta M(G) = (G_n - M(G)) \cdot \left(0{,}5 + \Phi_t\left[\frac{G_n - M(G)}{\delta}\right]\right) + \delta \cdot \beta_t\left[\frac{G_n - M(G)}{\delta}\right]. \qquad (26)$$

де β_t – функція Гаусса.

Недоосвоєння обсягу перевезень, %:

$$S_G = \frac{\Delta M(G)}{G_n} \cdot 100. \qquad (27)$$

Коефіцієнт варіації:

$$K_в = \frac{\delta}{M(G)}. \qquad (28)$$

3. Фінансовий ризик (облік втрат і резервів флоту в результаті недоосвоєння планового обсягу перевезень), тис. гр. од.:

$$R_G = BB - E^{рез} - \Delta M(G) \cdot d. \qquad (29)$$

Показники ризику розраховуються за варіантами плану освоєння перевезень, які мають змінну частину.

Проводиться аналіз показників ризику, і на його основі приймається управлінське рішення про вибір оптимального варіанту навігаційного плану роботи флоту. При цьому треба мати на увазі, що розрахункова валова виручка (прибуток) за кожним варіантом зменшується на величину резерву флоту в вартісному вираженні (витрати флоту на холодному відстої) і величину недоотриманих через недоосвоєння обсягу перевезень доходів (за фактом ця величина може бути різною, в цьому - суть ризику при прийнятті управлінського рішення).

Висновки та перспективи подальших розвідок. В сучасних умовах важливого значення набуває проблема підвищення ефективності управління флотом судноплавних компаній. Це пов'язано перш за все зі збільшенням вантажообігу, зміною економічних умов їх функціонування. Тому основна увага повинна приділятися зменшенню експлуатаційних витрат флоту і вдосконаленню системи планування. Одне з ключових напрямків вдосконалення оперативного управління роботою флоту пов'язано з отриманням достовірної інформації про стан флоту і подальшим її аналізом і прийняттям рішень [9]. Удосконалення оперативного управління на основі математичних моделей особливо актуально в розподілених системах управління, які є домінуючими на внутрішньому водному транспорті [10].

Це пов'язано з розробкою ефективних алгоритмів вилучення інформації з віддалених баз даних, методів ідентифікації процесів та їх застосуванням для оптимізації і обґрунтованого прийняття рішень в умовах невизначеності. Впровадження інформаційних технологій на річковому транспорті і, в першу чергу, оперативного аналізу, планування, прогнозування і прийняття рішень на основі математичних моделей в системах управління флотом судноплавної компанії вимагає дослідницької уваги [11].

ЛІТЕРАТУРА

1. Бережная, Е. В. Математические методы моделирования экономических систем / Е. В. Бережная, В. И. Бережной. – М.: Финансы и статистика, 2001. – 368 с. – ISBN 5-279-02291-8.
2. Савин, В.И. Математические методы оптимального планирования работы флота и портов / В.И. Савин. – М.: Транспорт, 1969. – 166 с.
3. Пьяных, С.М. Экономико-математические методы оптимального планирования работы речного флота / С.М. Пьяных. – М.: Транспорт, 1988. –253 с.
4. Гутер, Р.С. Элементы численного анализа и математической обработки результатов опыта / Р.С. Гутер, Б.В. Овчинский. - М.: Наука, 1970. – 432 с.

5. Гусева, Ю.В. Методы сбора дислокации для информационной системы управления работой флота / Платов А.Ю., Гусева Ю.В. // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта, 2016. – № 49. – С. 231–236.
6. Платов, А.Ю. Методология оперативного планирования работы речного грузового флота в рыночных условиях / Платов А.Ю. // Речной транспорт (XXI век). – 2010. – № 1. – С. 77-79.
7. Уртминцев, Ю.Н. Организация работы речного флота в условиях рынка: проблемы методологии. Монография. – Н.Новгород, ВГАВТ, 2003. – 250 с.
8. Кузьмичев, И.К. Прогноз решения проблем речного транспорта / И.К. Кузьмичев // Речной транспорт.– 2010. – № 2.
9. Новікова, К.В. Аналіз сучасного стану морського та внутрішнього транспорту України / К. В. Новікова // Матеріали XXIX Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації»: Зб. наук. праць. – Переяслав - Хмельницький, 2017. – Вип. 29. – С. 151-154.
10. Harrison Alan, van Hoek Remko. Logistics Management and Strategy. – L.: Financial Times Prentice Hall, 2002.–156 с.
11. Martin Stopord. Maritime economics. London, 1999.–278 с.

REFERENCES

1. Berezhnaya, EV Mathematical methods of modeling economic systems / E. V. Berezhnaya, V. I. Berezhnoy. - M .: Finance and statistics, 2001 .-- 368 p. - ISBN 5-279-02291-8.
2. Savin, V.I. Mathematical methods for optimal planning of the fleet and ports / IN AND. Savin. - M .: Transport, 1969 .-- 166 p.
3. Drunken, S.M. Economic and mathematical methods for optimal planning of the river fleet / CM. Drunk. - M .: Transport, 1988. –253 p.
4. Guter, R.S. Elements of numerical analysis and mathematical processing of experimental results / R.S. Guter, B.V. Ovchinsky. - Moscow: Nauka, 1970 .-- 432 p.
5. Guseva, Yu.V. Methods of collecting dislocation for an information management system for the operation of the fleet / A.Yu. Platov, Yu.V. // Bulletin of the Volga State Academy of Water Transport, 2016. - No. 49. - P. 231-236.
6. Platov, A.Yu. Methodology of operational planning of the river cargo fleet in market conditions / Platov A.Yu. // River transport (XXI century). - 2010. - No. 1. - S. 77-79.
7. Urtmintsev, Yu.N. Organization of the river fleet operation in the market conditions: methodological problems. Monograph. - N. Novgorod, VGAVT, 2003 .-- 250 p.
8. Kuzmichev, I.K. Forecast of the solution of river transport problems / I.K. Kuzmichev // River transport. - 2010. - № 2.
9. Novikova, K.V. Analysis of the current state of the sea and internal transport of Ukraine / K. V. Novikova // Materials of the XXIX International Scientific and Practical Internet Conference "Trends and Prospects for the Development of Science and Education in the Minds of Globalization." sciences. good. - Pereyaslav- Khmelnitsky, 2017. - VIP. 29. - C. 151-154.
10. Harrison Alan, van Hoek Remko. Logistics Management and Strategy. — L.: Financial Times Prentice Hall, 2002.-156c.
11. Martin Stopord. Maritime economics. London, 1999.-278c.

Войченко Т.А., Радченко Е.А.

ПРИМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ ПЛАНИРОВАНИЯ РАБОТЫ ФЛОТА ВНУТРЕННЕГО ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

Статья посвящена рассмотрению проблем моделирования транспортного процесса и управления ним. Приведен пример решения практических операционных задач по выбору оптимального плана работы флота внутреннего водного транспорта и оптимальных схем движения судов с использованием оптимизационных моделей и методов оптимизации, основанных на использовании математического программирования и его раздела – параметрического программирования, которое является основой оптимального планирования разных экономических процессов. Рассмотрена методология применения параметрического программирования как метода планирования, который наиболее полно отвечает экономическим условиям функционирования судоходных компаний и позволяет учесть изменение экономической конъюнктуры и ресурсов флота. Сформулированы внешние и внутренние параметры варьирования, характеризующие условия функционирования судоходных компаний в рыночных условиях хозяйствования и влияющих на навигационный план использования флота, в том числе: экономическая конъюнктура на рынке транспортных услуг, платежеспособный спрос, уровень государственных заказов, гидрометеорологические условия в бассейнах рек. Все это выражается в неопределенности уровня перевозок по объемам и номенклатуре, а также в ограничениях на перевозку. Определены проблемы с точки зрения внутренних параметров, стоящие перед менеджерами судоходных компаний: сколько флота по видам и типам судов готовить к навигации, то есть какими должны быть ограничения в экономико-математической модели по ресурсам флота. Для решения задачи навигационного планирования предложено использование метода параметрического программирования, а именно приближенного метода абсолютного приоритета, выбор которого обусловлен простой вычислительной процедурой и получением результата, близкого к оптимальному. Разработана экономико-математическая модель по оптимальному использованию ресурсов флота в случае изменения фактических объемов перевозок. Проведена прогнозно-количественная оценка рисков и выбора обоснованного управленческого решения для выполнения производственного и финансового плана работы флота. Сделан вывод, что использование моделей параметрического программирования при навигационном планировании работы флота внутреннего водного транспорта повышает эффективность операционных методов анализа и решения задач в сфере организационного управления и улучшает качество полученных на основе моделей и методов управленческих решений.

Ключевые слова: *экономико-математическое моделирование, параметрическое программирование, внутренний водный транспорт, ресурсы флота, оперативное планирование, финансовый план, производственный план, оценка риска, управленческие решения*

Voichenko T.A., Radchenko E.A.

APPLICATION OF PARAMETRIC PROGRAMMING TO PLANNING THE OPERATION OF THE INLAND WATER TRANSPORT FLEET

The article is devoted to the consideration of the problems of modeling the transport process and its management. An example of solving practical operational problems for the choice of the optimal work plan for the inland water transport fleet and optimal schemes for the movement of ships using optimization models and optimization methods based on the use of mathematical programming and its section - parametric programming, which is the basis for optimal planning of various economic processes, is given. The methodology of applying parametric programming as a planning method that most fully meets the economic conditions of the functioning of shipping companies and allows taking into account changes in the economic situation and fleet resources is considered. External and internal parameters of variation are formulated that characterize the conditions for the functioning of shipping companies in market conditions of management and

affecting the navigation plan for using the fleet, including: the economic situation in the market of transport services, effective demand, the level of government orders, hydrometeorological conditions in the river basins. All this is expressed in the uncertainty of the level of transportation in terms of volumes and nomenclature, as well as in restrictions on transportation. The problems from the point of view of internal parameters that the managers of shipping companies face are identified: how much fleet to prepare for navigation by types and types of ships, that is, what should be the limitations in the economic and mathematical model for the resources of the fleet. To solve the navigation planning problem, it is proposed to use the parametric programming method, namely the approximate method of absolute priority, the choice of which is due to a simple computational procedure and obtaining a result close to optimal. An economic and mathematical model has been developed for the optimal use of fleet resources in the event of changes in the actual traffic volumes. A predictive and quantitative assessment of risks and the choice of a well-grounded management decision for the implementation of the production and financial plan of the fleet. It is concluded that the use of parametric programming models in the navigation planning of the inland water transport fleet increases the efficiency of operational methods of analysis and problem solving in the field of organizational management and improves the quality of managerial decisions obtained on the basis of models and methods.

Keywords: *economic and mathematical modeling, parametric programming, inland waterway transport, fleet resources, operational planning, financial plan, production plan, risk assessment, management decisions*

УДК 656.61 doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.05

Сьомін О.А., Генералова І.Г., Коломієць О.М., Бажак О.В.

АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНОГО АПАРАТУ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ОБЛАДНАННЯ ЗАСОБІВ РІЧКОВОГО ТА МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

У статті проаналізовано математичного апарату прогнозування технічного стану обладнання засобів річкового та морського транспорту для підвищення експлуатаційних характеристик.

Запропоновано загальну модель процесу експлуатації суднового обладнання річкового та морського транспорту, яка базується на ідеї прогнозуючого контролю індивідуальної надійності зразка суднового обладнання.

Ця ідея дозволяє реалізувати зазначену модель в умовах експлуатації судна при мінімумі діагностичних даних визначаючи параметри випадкового процесу у точках контролю та забезпечуючи мінімум середнього квадрата похибки наближення у проміжках між цими точками.

Формалізацію процесу експлуатації суднового обладнання річкового та морського транспорту пропонується скласти з послідовного вирішення наступних завдань: аналіз впливу надійності елементів на надійність зразка обладнання; визначення якнайкращої стратегії обслуговування елементів зразка обладнання на основі прогнозування поведінки їх параметрів;визначення оптимальних індивідуальних регламентів проведення операцій обслуговування;визначення складу операцій і кількості комплексних видів обслуговування (ремонту);визначення оптимальних регламентів проведення комплексних видів обслуговування і оцінка ефективності процесу експлуатації.

Ключові слова: *формалізація, процес, експлуатація, суднове обладнання, річковий та морськи1 транспорт.*

Постановка проблеми. Проведений аналіз експлуатації засобів річкового та морського транспорту свідчить про наявність протиріччя, яке полягає, з одного боку, у необхідності підвищення технічної готовності суднового обладнання до використання за призначенням та безвідмовності його функціонування, для чого є необхідним здійснення постійного контролю за його функціонуванням та виконання цілого комплексу періодичних перевірок та діагностувань. Разом з тим такий підхід суттєво підвищує вартість експлуатації обладнання та зменшує загальну рентабельність флоту.

З іншого боку, намагання максимального здешевлення морських та річкових транспортних перевезень, призводить до зменшення кількості контрольних заходів, спрощення їх процедури (регламентів) з перекладанням максимального числа функцій діагностики на технічні засоби. У такому аспекті, розроблення нових методів технічної експлуатації обладнання на основі застосування сучасних автоматизованих процедур визначення періодичності та обсягу діагностування є актуальним.

Вирішення зазначеного протиріччя у практичній площині полягає у переході до експлуатації суднового обладнання за технічним станом. Разом з тим зазначений підхід вимагає застосування ефективних методів прогнозування технічного стану обладнання та розроблення відповідних методів діагностування такого обладнання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання технічної експлуатації, обслуговування і ремонту суден висвітлюється у роботах В.В. Баліхіна, Б.В.Васильєва, Ю.Г. Дейнего, В.І. Ніколаєва, І.О. Рябініна, Ю.А. Светлікова, Д.І. Севастєєва, С.Р. Смирнова, О.М. Тимощук та ін.

Фізичні відмови вузлів суднових механізмів і методи їх прогнозування вивчені А.М. Нікітіним, В.М. Перовим, Б.А. Ватіпко, В.С. Гавриловим, Г.А. Давидовим, Р.В. Кузьміним і ін.

Питанням розвитку методів і засобів технічної діагностики суднової техніки присвячені праці Б.В.Васильева, В.В. Вичужаніна, І.В. Возніцького, М.М. Портнягіна, Г.А. Пюкке, В.П. Калявіна, А.С. Кобелєвої, А.В. Козлова, Р.А. Коллакота, М.І. Льовіна та ін.

В області розробки теорії прогнозування у світі відомі роботи вчених: І.П. Атаманюка, В.М. Глушкова, М.З. Згуровського, О.Г. Івахненка, В.Д. Кудрицького, Р.К. Мурасова, В.С. Пугачова, В.С. Симанкова та ін.

Область технічного прогнозування суднового устаткування досліджена у роботах В.П. Калявіна, А.С. Кобелєвої, А.В. Козлова, В.І. Богомья та ін.

Питання технічного обслуговування і ремонту суден за станом, управління якістю продукції і управління технічним станом суднового обладнання вивчені у роботах Е.Н. Клімова, Е.К. Блінова, Н.М. Мікоші, Ю.М. Мяснікова та ін.

Незважаючи на значну кількість публікацій щодо вирішення різноманітних питань експлуатації та ремонту суднового обладнання, питання створення єдиної комплексної теорії експлуатації суднового обладнання ще не вирішене. Не вирішеними залишаються і часткові питання щодо визначення оптимальних міжперевірочних інтервалів, доцільного переліку робіт з діагностування зразків суднового обладнання, необхідної підготовки та кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Метою статті є проведення аналізу існуючого математичного апарату прогнозування технічного стану обладнання засобів річкового та морського транспорту для підвищення експлуатаційних характеристик.

Викладення основного матеріалу дослідження. Математичний апарат прогнозування містить в собі сотні різноманітних методів, які, в той же час, базуються на достатньо обмеженому числі підходів та моделей [1 – 3].

В основному це методи екстраполяції (лінійної та нелінійної), емпіричні та евристичні методи, а також методи на основі штучного інтелекту. Найбільш вживаними методами, зважаючи на їх переважне використання у програмних засобах фірм, призначених для оброблення даних є прогнозування за останнім значенням та математичним очікуванням, ковзне середнє, експонентне згладжування та метод групового обліку аргументів. Проаналізуємо зазначені методи з точки зору можливості прогнозування технічного стану суднового обладнання в умовах використання суден на трансокеанських рейсах.

Прогнозування за останнім значенням [1, 2]. Прогнозування за останнім відліком, назване “ступеневою екстраполяцією” або “екстраполяцією нульового порядку” та полягає в тому, що за передбачуване значення $\hat{X}(t_0+\theta)$ береться значення $X(t_0)$:

$$\hat{X}(t_0+\theta)=X(t_0). \qquad (1)$$

Прогнозоване значення в цьому випадку не залежить від часового інтервалу передбачення θ, передісторія подана лише однією точкою – останнім значенням $X(t_0)$, імовірнісні характеристики зовсім не враховуються.

Алгоритм прогнозування, як випливає з виразу (1), полягає у множенні значення $X(t_0)$ – останнього відліку на одиницю, тобто не потребує виконання жодних обчислювальних операцій.

Таким чином, прогнозування можна виконувати, нічого не знаючи про процес, окрім його останнього значення, й не роблячи ніяких обчислень. Зрозуміло, що така простота методу компенсується зниженням точності прогнозування. Похибка прогнозування $e(t_0+\theta)=X(t_0+\theta)-\hat{X}(t_0+\theta)$ у даному випадку має вигляд $e(t_0+\theta)=X(t_0+\theta)-X(t_0)$, а її середній квадрат, при $m_x = 0$,

$$\bar{e}^2(\theta)=M\left\{\left[\dot{X}(t+\theta)-\dot{X}(t)\right]^2\right\}=\sigma_x^2-2R_x(\theta)+\sigma_x^2=2\left[\sigma_x^2-R(\theta)\right].$$

Середній квадрат похибки передбачення зростає від 0 при θ = 0, коли $R(0) = \sigma_x^2$, до $2\sigma_x^2$ при θ = ∞, коли $R(\infty) = 0$. Якість прогнозування за цим алгоритмом можна оцінити лише після порівняння його похибки з похибками інших алгоритмів. Простота цього способу забезпечила йому найбільше застосування. Разом з тим, для прогнозування параметрів стану елементів суднового обладнання, які постійно змінюються у процесі експлуатації, такий метод є незастосовним.

Прогнозування за математичним очікуванням [2,10] полягає у використанні математичного очікування процесу m_x як майбутнього прогнозованого значення $\hat{X}(t_0+\theta)$: $\hat{X}(t_0+\theta)=m_x$.

Як і у попередньому випадку, передбачене значення тут не залежить від терміну прогнозу θ. Але відмінність полягає в тому, що хоча не вимагається ніякої інформації щодо передісторії, потрібні певні дані щодо властивостей процесу – а саме, його математичного очікування. Алгоритм прогнозування не вимагає складних обчислювальних операцій.

Похибка прогнозу для цього випадку має вигляд $e(\theta) = X(t + \theta) – m_x$ і являє собою відхилення процесу від середнього в момент $t_0 + \theta$. Середній квадрат похибки не залежить від часу прогнозу й дорівнює дисперсії процесу $\bar{e}^2 = M\{\left[X(t_0+\theta)-m_x\right]^2\} = \sigma_x^2$.

При малих значеннях часу прогнозу θ спосіб “останнього значення” кращий. Однак, після θ^2 коли $\bar{e}^2(\theta)=\sigma_x^2$, спосіб “математичного очікування” дає більшу точність. Нарешті, при $\theta\to\infty$ квадрат похибки прогнозу за середнім вдвічі менший, ніж за останнім відліком.

Ковзне середнє. Цей метод використовується для розрахунку значень у прогнозованому періоді на основі середнього значення змінної для зазначеного числа попередніх періодів. Кожне прогнозоване значення засноване на формулі:

$$\tilde{x}_{t+1}=\frac{1}{N}\sum_{j=1}^{N}x_{t-j+1}, \qquad (2)$$

де N – число попередніх періодів, що входять у ковзне середнє;

x_j – фактичне значення в момент часу j;

$\tilde{x}_j$ – прогнозоване значення в момент часу j.

Ковзне середнє (2), на відміну від простого середнього для усієї вибірки, містить дані

про тенденції зміни даних. Процедура може використовуватися для прогнозу різних процесів.

Експонентне згладжування. Призначається для отримання значення на основі прогнозу для попереднього періоду, скорегованого з урахуванням погрішностей у цьому прогнозі. Використовує константу згладжування α, величина якої визначає, наскільки сильно впливають на прогнози похибки у попередньому прогнозі

$$\tilde{x}_{t+1} = \tilde{x}_t + \alpha(x_t - \tilde{x}_t). \quad (3)$$

Для константи згладжування у (3) найбільш придатними є значення від 0,2 до 0,3. Ці значення показують, що похибка поточного прогнозу встановлена на рівні 20 – 30 % похибки попереднього прогнозу. Більш високі значення константи прискорюють відгук, але можуть привести до непередбачених викидів. Низькі значення константи можуть привести до зрушення аргументу для прогнозованих значень.

МГУА – метод групового урахування аргументів. У методі групового урахування аргументів (МГУА) [4, 5] всі питання оптимізації вирішуються за допомогою перебору варіантів тільки на матеріалі заданих навчальних і перевірочної послідовностей даних. Ніякої інформації щодо законів розподілу інформації не використовується. Для граничних самовідборів кращих варіантів послідовно використовуються евристичні критерії: за коефіцієнтом кореляції, за критерієм розмаїтості аргументів, за критерієм обумовленості матриць і, основне, – за критерієм мінімуму середньоквадратичної похибки (мінімуму СКП). Мінімум СКП використовується послідовно декілька разів для вибору змінних, що оптимізуються. Всі інші змінні є допоміжними і мають своєю метою лише скорочення обсягу обчислень. Критерій мінімуму СКП використовується у МГУА в чотирьох місцях:

для обчислення значень коефіцієнтів так званих “часткових” описів;

для вибору кращих комбінацій пари аргументів, що утворять ці описи;

для визначення величини порогів для зазначених вище евристичних граничних самовідборів;

для визначення ступеня “повного” опису і вибору утворюючих його функцій.

При звичайному регресійному аналізі знаходять значення коефіцієнтів *повного* рівняння, що забезпечують мінімум СКП. МГУА забезпечує такий вибір коефіцієнтів *часткових* рівнянь, при якому досягається мінімум СКП в просторі цих коефіцієнтів. При цьому коефіцієнти повного рівняння визначаються за допомогою виключення проміжних змінних з “часткових” рівнянь.

Основні правила конструювання алгоритмів МГУА полягають у наступному. Повний опис об'єкта $\varphi = f_1(x_1, x_2, x_3, \ldots, x_n)$ варто замінити декількома “частковими” описами)

$$y_1 = f_1(x_1, x_2),\ y_2 = f_1(x_1, x_3),\ \ldots,\ y_m = f_1(x_{n-1}, x_n), \quad (4)$$

де $m = C_n^2$;

$$z_1 = f_1(y_1, y_2),\ z_2 = f_1(y_1, y_3),\ \ldots,\ z_p = f_1(y_{m-1}, y_m), \quad (5)$$

де $p = C_m^2$.

Алгоритми МГУА (4) – (5) конструюються так, що задовольняють двом наступним умовам:

1. Функція f_1 – та сама в усіх рівняннях (4),(5). Виключаючи проміжні змінні, можна одержати аналог повного опису.

2. Аналог за виглядом повинен відповідати повному опису.

Розробники методу, зокрема О.Г. Івахненко, відзначають наступні основні переваги МГУА:

як правило умови задачі такі, що не мають у своєму розпорядженні достатнє число даних для визначення коефіцієнтів нормальних рівнянь Гауса, якщо використають повний поліном безпосередньо, без часткових поліномів;

матриці рівнянь, побудованих на повному поліномі, завжди погано обумовлені, серед розмаїтості малих матриць часткових рівнянь завжди можна вибрати добре обумовлені матриці й застосувати інші прийоми регуляризації;

якщо навчальна послідовність обмежена або навіть дуже коротка, то деякі аргументи й проміжні змінні є шкідливими. Це означає, що точність зростає, якщо них позбутися;

цю важливу роботу виконують граничні самовідбори змінних після кожного ряду селекції.

Основна перевага МГУА – число оцінюваних параметрів різко зменшується, а це зменшує довірчі інтервали одержуваних оцінок, тобто приводить до підвищення точності оцінювання. Зрозуміло, що алгоритм прогнозу, в якому враховується як значення передісторії процесу, так і його імовірнісні характеристики, буде точнішим, ніж інші.

Дещо відокремленим підходом щодо прогнозування в т.ч. параметрів суднового обладнання є *логіко-імовірнісне числення* – спеціальний розділ дискретної математики, у якому встановлені чіткі правила заміщення логічних аргументів x_i у функціях алгебри логіки $y(x_1,...,x_n)$ імовірностями їх істинності $P(x_i)=[0,1]$ і логічні операції: кон'юнкції ($\vee$), диз'юнкції ($\wedge$), заперечення ($\neg$) арифметичними операціями: множення ($\times$), додавання (+), віднімання (–) [6 – 8, 10].

Аксіоматику логіко-ймовірнісного числення у технічній надійності і безпеці було сформульовано І.О. Рябініним на основі базових аксіоматик логіки, подій, ймовірностей та множин. У його аксіоматиці елементи мають два рівні значень (0 і 1), елементи пов'язані логічними зв'язками І, АБО і НЕ, можуть використовуватися цикли і повторювані елементи. Логіко-імовірнісну модель (ЛІ-модель) ризику будують за реальною схемою функціонування системи у вигляді найкоротших шляхів успішного функціонування або мінімальних перетинів відмов, обчислюють вагомості та значущості ініціюючих подій, логічну функцію призводять до ортогональної форми і замінюють на ймовірнісну функцію.

Логіко-ймовірнісне числення розглядає системи і процеси як структурно-складні об’єкти з випадковими подіями і логічними змінними, визначає правила переходу від бази статистичних даних до табличних баз знань, формує базу знань у вигляді систем логічних та імовірнісних рівнянь для станів системи. Серед п’яти класів логіко-ймовірнісного числення окремо виділяється клас логіко-ймовірнісного прогнозування який включає процедури прогнозування в просторах часу і станів.

Логіко-ймовірнісне числення є достатньо ефективним при описі складних багатоелементних об’єктів, може розглядати події, які мають не два, а кінцеву множину значень. Разом з тим потребує наявності статистичних даних про появу вдалих та невдалих подій (станів) елементів системи, що не завжди можливо при експлуатації нових зразків обладання, стосовно роботи яких ще немає достатньої статистики.

Підводячи **підсумок аналізу** розглянутого математичного апарату прогнозування можна зробити висновок про те, що більшість з методів не враховують залежність прогнозованої величини від інших вже відомих факторів. Тобто вони взагалі не використовують ніяких допоміжних даних окрім послідовності значень прогнозованого ряду.

Алгоритм МГУА відноситься до класу статичних моделей, він не здатен враховувати інерційність об’єкта, але добре відпрацьовує нелінійності та багатовимірність. Іншим недоліком зазначеного алгоритму є те, що він не може бути застосований поза межами статистичних даних, тобто, для його реалізації у будь-якому разі необхідна певна кількість попередньої інформації про поведінку системи [8,9].

Логіко-ймовірнісні моделі, попри їх можливості щодо опису складних об’єктів, разом з тим є вкрай чутливими до точності статистичних даних. Іншим їх недоліком є необхідність здійснення значної кількості трудомістких логічних перетворень при аналізі складних сценаріїв поведінки системи (перехід від функції небезпечного стану до ймовірнісної функції).

Тому, враховуючи характер потенційного застосування методу (прогнозування зміни технічних характеристик суднового обладнання), як процесу зі значною післядією на області,

яка може бути не охопленою статистикою, використання зазначених методів вбачається проблематичним. Відтак для прогнозування зміни технічного стану необхідним є використання інших методів, які б охоплювали як історію розвитку процесу, так і дозволяли б здійснювати прогноз на майбутнє з урахуванням цієї історії та індивідуальної поведінки об'єкта [9].

Постановка завдання дослідження. Аналіз методів прогнозування технічного стану визначає необхідність подальшого їх розвитку на базі математичних моделей динамічних об'єктів, яким є процес експлуатації суднового обладнання річкового та морського транспорту. Це підтверджує доцільність й актуальність створення (удосконалення) прогностичних моделей та їх використання для прогнозування. При цьому потребують урахування такі властивості технічних об'єктів, як інерційність, нестаціонарність та багатовимірність вхідних збурень при значній післядії процесів.

Виходячи з цього, відповідно до поставленої мети щодо підвищення ефективності експлуатації суднового обладнання в умовах експлуатації на трансокеанських рейсах виникає актуальне науково-прикладне завдання щодо *розроблення процедури визначення доцільних термінів технічного діагностування суднового обладнання при трансокеанських вантажних перевезеннях на основі прогнозування.*

Завдання розроблення моделі процесу експлуатації суднового обладнання може бути сформульоване наступним чином.

Нехай дано зразок суднового обладнання, що складається з M елементів. Він може функціонувати у різних режимах, кожен з яких зберігається протягом випадкового інтервалу часу з відомою функцією розподілу $B_j(t), j=1,...,N$. Після закінчення чергового інтервалу часу система миттєво переходить в наступний режим відповідно до матриці ймовірностей переходів $\lfloor P_{ij} \rfloor$. Для всіх елементів суднового обладнання відомі функції розподілу безвідмовної роботи у кожному з режимів функціонування системи $F_{ij}(t), i=1,...,M$, $j=1,...,N$ та параметр контролю елемента $\eta_i(r_i), i=1...M$.

Також, на основі знання конструктивних особливостей зразка суднового обладнання, відомі:

статистичні дані та умови виникнення усіх типів відмов зразка обладнання,

список елементів, що допускають відновлення всіх типів відмов зразка обладнання,

список елементів, що допускають відновлення працездатності без зупинки зразка обладнання.

Заданими також вважаються параметри ремонтного органу і витрати на операції відновлення і контролю елементів.

Необхідно знайти:

значення терміну служби T;

стратегії обслуговування елементів $\left\{I^{к.пр.}, I^{к.п.}, I^{напр.}\right\}_i, i=1,...,M$, де $I^{к.пр.}$ – кількість операцій з контролю працездатності, $I^{к.п.}$ – кількість операцій з контролю параметрів, $I^{напр.}$ – кількість операцій з контролю напрацювання;

кількість видів обслуговування K і склад обов'язкових робіт кожного виду $\left\{W_k, I_k^{к.пр}, I_k^{к.п.}\right\}, k=1,...,K$, де W_k – перелік операцій технічного обслуговування;

регламент виконання видів обслуговування $\left\{\zeta_{kl}^c\right\}_{kl}$ при напрацюванні ζ_{kl}^c, де k – вид обслуговування, який виконується l-й раз;

алгоритми діагностування з похибками 1-го та 2-го роду для i-го елемента $\left\{P_{1i}, P_{2i}\right\}$;

оптимальні упереджувальні допуски параметрів $\left\{\overline{\eta}\right\}_{\gamma \in I^{к.п.}}$.

При цьому необхідно мінімізувати функціонал середніх питомих витрат

$$Z\left(T, \left\{I^{к.пр.}, I^{к.п.}, I^{нап.}\right\}, \left\{W_k, I_k^{к.пр}, I_k^{к.п.}\right\}, \left\{\zeta_{kl}^c\right\}_{kl}, \left\{P_{1i}, P_{2i}\right\}, \left\{\overline{\eta}\right\}_{\gamma \in I^{к.п.}}\right) \Rightarrow \min, \qquad (6)$$

при обмеженні на надійність зразка обладнання $P\left(\zeta^c \geq t\right) > P_0$.

Для багатоелементних систем загальна стратегія експлуатації полягає в тому, що рішення на проведення технічного обслуговування (ремонту) приймається на основі знання контрольованого параметра технічного стану $\eta_i\left(r_i\right), i = 1...M$ найбільш "слабкого" елемента, у якого цей параметр першим досягає критичного значення з множини $\left\{\overline{\eta}\right\}_{\gamma \in I^{к.п.}}$ [10].

Висновки. У такій загальній постановці (6), дана задача не має математичних методів вирішення. Необхідно провести її декомпозицію на більш прості та вирішувані завдання, а на їх основі побудувати багатоетапну процедуру формування субоптимального процесу експлуатації.

Проектування процесу експлуатації складається з послідовного вирішення наступних завдань:

аналіз впливу надійності елементів на надійність зразка обладнання;

визначення якнайкращої стратегії обслуговування (ремонту) елементів зразка обладнання на основі прогнозування поведінки їх параметрів $\eta_i\left(r_i\right), i = 1,...,M$;

визначення оптимальних індивідуальних регламентів проведення операцій обслуговування (ремонту);

визначення складу операцій і кількості комплексних видів обслуговування (ремонту);

визначення оптимальних регламентів проведення комплексних видів обслуговування і оцінка ефективності процесу експлуатації $\left\{\zeta^c_{kl}\right\}_{kl}$.

Таким чином, для проведення подальших досліджень необхідно вирішити часткові завдання:

1. Розробити модель процесу експлуатації суднового обладнання річкового та морського транспорту. Запропонувати загальну модель процесу експлуатації суднового обладнання, яка базується на ідеї прогнозуючого контролю індивідуальної надійності зразка суднового обладнання на основі канонічного розкладання випадкового процесу з урахуванням похибок апріорних вимірювань, що дозволяє реалізувати зазначену модель в умовах експлуатації судна при мінімумі діагностичних даних визначаючи параметри випадкового процесу у точках контролю та забезпечуючи мінімум середнього квадрата похибки наближення у проміжках між цими точками;
2. Розробити процедуру визначення періодичності діагностування суднового обладнання на основі прогнозування технічного стану.
3. Дослідити ефективність процесу експлуатації суднового обладнання річкового та морського транспорту на основі прогнозування його технічного стану.

ЛІТЕРАТУРА

1. Застосування інформаційних технологій в роботі органів управління. – Частина 2. // – К.: Вид. НАОУ, 2006. – 368 с.
2. Граничин О.Н. Рандомизированные алгоритмы оценивания и оптимизации при почти произвольных помехах / О.Н. Граничин, Б.Т. Поляк // – М.: Наука. 2003. – 293 с.
3. Ивахненко А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами / А.Г. Ивахненко // – К.: Техніка, 1975. – 312 с.
4. Ивахненко А.Г. Эвристическая самоорганизация в технической кибернетике / А.Г. Ивахненко // – Киев: Техника, 1975. – 186 с.
5. Грабовецький Б.Є. Економічне прогнозування і планування / Б.Є. Грабовецький // – К.: Центр навчальної літератури, 2003. – 188 с.
6. Ковальчук П.І. Моделювання й прогнозування стану навколишнього середовища / П.І. Ковальчук // – К.: Либідь, 2003. – 208 с.
7. Рябинин И.А. Надежность, живучесть и безопасность корабельных электро-энергетических систем / И.А. Рябинин, Ю.М. Парфенов // – СПб.: ВМА, 1997. – 430 с.

8. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. – 2-е изд. / И.А. Рябинин // – СПб.: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2007. – 276 с.
9. Гуменюк В.М. Надежность и диагностика электротехнических систем / В.М. Гуменюк // – Владивосток: Изд-во Дальневост. гос. техн. ун-та, 2010. – 218 с.
10. Богомя В.І., Горбань А.В., Павленко М.А., Тимочко О.І., Тимощук О.М.. За заг. ред. О. М. Тимощук. Особливості системного підходу до вирішення наукових завдань експлуатації суднового обладнання: підручник. Київ, 2018. 305 с.

REFERENCES

1. Zastosuvannya informatsiynykh tekhnolohiy v roboti orhaniv upravlinnya. – Chastyna 2. // – K.: Vyd. NAOU, 2006. – 368 s.
2. Hranychyn O.N. Randomyzyrovannye alhorytmy otsenyvanyya y optymyzatsyy pry pochty proyzvol′nykh pomekhakh / O.N. Hranychyn, B.T. Polyak // – M.: Nauka. 2003. – 293 s.
3. Yvakhnenko A.H. Dolhosrochnoe prohnozyrovanye y upravlenye slozhnymy systemamy / A.H. Yvakhnenko // – K.: Tekhnika, 1975. – 312 s.
4. Yvakhnenko A.H. Évrystycheskaya samoorhanyzatsyya v tekhnycheskoy kybernetyke / A.H. Yvakhnenko // – Kyev: Tekhnyka, 1975. – 186 s.
5. Hrabovets′kyy B.YE. Ekonomichne prohnozuvannya i planuvannya / B.YE. Hrabovets′kyy // – K.: Tsentr navchal′noyi literatury, 2003. – 188 s.
6. Koval′chuk P.I. Modelyuvannya y prohnozuvannya stanu navkolyshn′oho seredovyshcha / P.I. Koval′chuk // – K.: Lybid′, 2003. – 208 s.
7. Ryabynyn Y.A. Nadezhnost′, zhyvuchest′ y bezopasnost′ korabel′nykh élektro-énerhetycheskykh system / Y.A. Ryabynyn, YU.M. Parfenov // – SPb.: VMA, 1997. – 430 s.
8. Ryabynyn Y.A. Nadezhnost′ y bezopasnost′ strukturno-slozhnykh system. – 2-e yzd. / Y.A. Ryabynyn // – SPb.: Yzdatel′stvo Sankt-Peterburhskoho unyversyteta, 2007. – 276 s.
9. Humenyuk V.M. Nadezhnost′ y dyahnostyka élektrotekhnycheskykh system / V.M. Humenyuk // – Vladyvostok: Yzd-vo Dal′nevost. hos. tekhn. un-ta, 2010. – 218 s.
10. Bohomya V.I., Horban′ A.V., Pavlenko M.A., Tymochko O.I., Tymoshchuk O.M.. Za zah. red. O. M. Tymoshchuk. Osoblyvosti systemnoho pidkhodu do vyrishennya naukovykh zavdan′ ekspluatatsiyi sudnovoho obladnannya: pidruchnyk. Kyyiv, 2018. 305 s.

Сьомін О.А., Генералова І.Г., Коломієць О.М., Бажак О.В.

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ СРЕДСТВ РЕЧНОГО И МОРСКОГО ТРАНСПОРТА

В статье проанализирован математический аппарат прогнозирования технического состояния оборудования средств речного и морского транспорта для повышение их эксплуатационных характеристик.

Предложена общая модель процесса эксплуатации судового оборудования речного и морского транспорта, основанная на идее прогнозирующего контроля индивидуальной надежности образцов судового оборудования.

Эта идея позволяет реализовать указанную модель в условиях эксплуатации судна при минимуме диагностических даннях, определяя параметры случайного процесса в точках контроля и обеспечивая минимум среднеквадратичной ошибки приближения в промежутках между этими точками.

Формализацию процесса эксплуатации судового оборудования речного и морского транспорта предлагается составить из последовательного решения следующих задач: анализу влияния надежности элементов на надежность образцов оборудования; определения наилучшей стратегии обслуживания элементов образцов оборудования на основе прогнозирования поведения их параметров; определение оптимальных индивидуальных регламентов проведения операций обслуживания; определение состава

операций и количества комплексных видов обслуживания (ремонта); определение оптимальных регламентов проведения комплексных видов обслуживания и оценка эфективность процесса эксплуатации.

Somin O.A., Generalova I.G., Kolomiets O.M., Bazhak O.V.

ANALYSIS OF THE MATHEMATICAL APPARATUS FOR FORECASTING THE TECHNICAL CONDITION OF THE EQUIPMENT OF THE RIVER AND SEA TRANSPORT

The article analyzes the mathematical apparatus for predicting the technical state of equipment for river and sea transport to improve their performance.

A general model of the process of operation of ship equipment for river and sea transport is proposed, based on the idea of predictive control of the individual reliability of ship equipment samples.

This idea makes it possible to implement the specified model in the operating conditions of the vessel with a minimum of diagnostic data, determining the parameters of a random process at the control points and providing a minimum of the mean square approximation error in the intervals between these points.

It is proposed to formulate the process of operation of ship equipment for river and sea transport from the sequential solution of the following tasks: analysis of the influence of the reliability of elements on the reliability of equipment samples; determining the best strategy for servicing elements of equipment samples based on predicting the behavior of their parameters; determination of the optimal individual regulations for conducting maintenance operations; determination of the scope of operations and the number of complex types of maintenance (repair); determination of optimal regulations for carrying out complex types of services and assessment of the efficiency of the operation process.

УДК 656.61 doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.06

Горбань А.В., Довгаль І.І., Крижановська С. І., Найденов А.І.

ОСОБЛИВОСТІ ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ СУДНОВОГО ОБЛАДНАННЯ РІЧКОВОГО ТА МОРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

Основне протиріччя, яке лежить в основі наукових досліджень у напрямку підвищення ефективності експлуатації засобів річкового та морського транспорту, полягає, з одного боку, у необхідності підвищення технічної готовності суднового обладнання до використання за призначенням та безвідмовності його функціонування.

З іншого боку, намагання максимального здешевлення транспортних перевезень, призводить до зменшення кількості контрольних заходів, спрощення їх процедури. У такому аспекті, розроблення нових методів технічної експлуатації обладнання на основі застосування сучасних автоматизованих процедур визначення періодичності та обсягу діагностування є актуальним.

Отже, вирішенню підлягає актуальне науково-прикладне завдання щодо розроблення процедури визначення доцільних термінів технічного діагностування суднового обладнання при на основі прогнозування технічного стану обладнання.

Наведені результати моделювання підтверджують адекватність моделі процесу експлуатації суднового обладнання річкового та морського транспорту, яка базується на ідеї прогнозуючого контролю індивідуальної надійності зразка суднового обладнання на основі канонічного розкладання випадкового процесу з урахуванням похибок апріорних вимірювань, що дозволяє реалізувати зазначену модель в умовах експлуатації судна при мінімумі діагностичних даних точно визначаючи випадковий процес у точках контролю та забезпечуючи мінімум середнього квадрата похибки наближення у проміжках між цими точками

Неповнота апріорної інформації може знизити точність прогнозування, або взагалі зробити неможливим прогнозування стану суднового обладнання. У такому випадку постає необхідність врахування неповноти інформації контролю у процедурі вирішення задачі прогнозування, а також оцінки її впливу на точність одержаних результатів.

У статті розглянуто особливості вирішення задачі прогнозування поза межами апріорного знання процесу, а саме практичний приклад індивідуального прогнозування зміни зазору штоку та направляючої втулки клапана на основі лінійного канонічного подання скалярного апостеріорного процесу на області, не охопленій статистикою, тобто поза межами апріорного знання процесу

Ключові слова: апріорне знання процесу, канонічне розкладання випадкового процесу, прогнозуючий контроль, індивідуальна надійність, модель, річковий та морський транспорт.

Постановка проблеми. На практиці, особливо в умовах рейсів, коли дуже часто немає фізичної можливості щодо застосування високоточного обладнання, в умовах відсутності кваліфікованого персоналу та часових обмежень щодо здійснення контролю функціонування обладнання, така повна інформація щодо досліджуваної реалізації випадкового процесу часто відсутня [1,2].

Неповнота інформації обумовлюється, у першу чергу, наявністю похибок вимірювань параметрів обладнання $x(\mu), \mu = \overline{1,k}$.

Крім того, втрати інформації можуть виникати внаслідок недосконалості системи реєстрації даних контролю та внаслідок неможливості здійснення контролю у певних умовах. Також, у тих випадках, коли реєструється лише сам факт справності контрольованого об'єкта, кількісні значення параметра вимірювання можуть взагалі бути відсутніми.

Мета статті. Тому актуальним є завдання вирішення задачі прогнозування поза межами апріорного знання процесу. Наведення особливостей прогнозування стану суднового обладнання річкового та морського транспорту поза межами апріорного знання процесу є темою статті.

Виклад основного матеріалу. Похибки апріорних вимірювань.

Така ситуація є достатньо характерною для рейсів, оскільки під час тривалого рейсу досить складно, а іноді і неможливо, здійснювати контроль параметрів обладнання з застосуванням високоточних метрологічних приладів. Введемо деякі припущення стосовно вирішення задачі щодо оцінки впливу похибок апріорних вимірювань на результати прогнозування. Нехай відомі усі параметри реалізації до останнього вимірювання $x(\mu), \mu = \overline{1,k}$, причому зазначені дані виміряні з деякою випадковою похибкою *Y*, яка має постійну у часі щільність розподілу $f(y)$, з математичним очікуванням m_y та дисперсією D_y. Також будемо вважати, що істинне значення параметра вимірювання та відповідна похибка його вимірювання можуть розглядатися як незалежні випадкові величини [3,4].

За цих умов, якщо у деякий момент t_μ здійснити контроль випадкового процесу $X(t)$, то замість істинного значення процесу буде спостерігатися реалізація деякої іншої випадкової величини [4,5]

$$z(\mu) = x(\mu) + y(\mu). \tag{1}$$

Для апостеріорного випадкового процесу при $\mu = 1$ визначаємо

$$X_z^{(1)}(i) = m(i) + (z(1) - m(1))\varphi_1(i) + \sum_{v=2}^{i} V_v \varphi_v(i), i = \overline{1,I}. \tag{2}$$

При одержанні даних повторного контролю у момент $\mu = 2$ апостеріорний процес буде мати вигляд [5]

$$X_z^{(2)}(i) = m_z^{(1)}(i) + (z(2) - m_z^{(1)}(2))\varphi_2(i) + \sum_{v=3}^{i} V_v \varphi_v(i), i = \overline{1,I}. \tag{3}$$

Відповідно вираз для апостеріорного процесу набуде вигляду

$$X_z^{(2)}(i) = m_z^{(2)}(i) + \sum_{v=3}^{i} V_v \varphi_v(i), i = \overline{1,I}. \tag{4}$$

Загальний вираз для апостеріорного процесу, визначеного на основі k моментів контролю з похибками буде мати вигляд [6]

$$X_z^{(k)}(i) = m_z^{(k)}(i) + \sum_{v=k+1}^{i} V_v \varphi_v(i), i = \overline{1,I}\,. \tag{5}$$

З (5) видно, що похибки вимірювання впливають лише на величину математичного очікування апостеріорного процесу. Звідси слідує, що похибка індивідуального прогнозу, яка виникає внаслідок похибок вимірювань значень контрольованої реалізації, може бути визначена як різниця математичних очікувань реального та ідеального апостеріорних процесів. Результуюча похибка на k-му кроці контролю визначається рекурентним чином на основі співвідношення [6,7]

$$\delta_1(i) = y_1 \varphi_1(i), i = \overline{1,I};$$
$$\delta_k(i) = \delta_{k-1}(i) + (y_k - \delta_{k-1}(k))\varphi_k(i), i = \overline{k,I}, i = \overline{2,I}\,. \tag{6}$$

Істинність (1) – (6) перевіряється шляхом моделювання зносу втулки циліндра (табл. 1) при сталих значеннях істинного зносу X, випадкових значеннях похибки вимірювання Y та результатів вимірювання Z (всього змодельовано 4 варіанти), яке підтверджує той факт, що похибки діагностування впливають лише на величину математичного очікування прогнозованої величини [8].

Таблиця 1

Моделювання зносу втулки циліндра з урахуванням похибок вимірів

	Напрацювання, год									M	
	0	4000	8000	12000	16000	20000	4000	28000	32000		
	740,01	740,73	741,16	741,61	741,98	742,21	742,54	742,68	742,7	741,735	0,886
1	-0,01	-0,04	0	-0,05	-0,04	0,04	-0,04	0,03	0,04	-0,007	0,001
1	740	740,69	741,16	741,56	741,94	742,25	742,5	742,71	742,74	741,728	0,914
2	-0,04	-0,01	0	0,03	-0,05	0,03	-0,04	-0,03	0,04	-0,007	0,001
2	739,97	740,72	741,16	741,64	741,93	742,24	742,5	742,65	742,74	741,728	0,901
3	0,03	0	-0,05	-0,05	0,04	0,05	-0,02	0,04	0	0,004	0,001
3	740,04	740,73	741,11	741,56	742,02	742,26	742,52	742,72	742,7	741,739	0,897
4	-0,05	-0,01	-0,04	0	-0,04	0,03	-0,01	0	0,01	-0,012	0,001
4	739,96	740,72	741,12	741,61	741,94	742,24	742,53	742,68	742,71	741,723	0,918

Таким чином, результати моделювання підтверджують адекватність моделі процесу експлуатації суднового обладнання річкового та морського транспо, яка базується на ідеї прогнозуючого контролю індивідуальної надійності зразка суднового обладнання на основі канонічного розкладання випадкового процесу з урахуванням похибок апріорних

вимірювань, що дозволяє реалізувати зазначену модель в умовах експлуатації судна при мінімумі діагностичних даних точно визначаючи випадковий процес у точках контролю та забезпечуючи мінімум середнього квадрата похибки наближення у проміжках між цими точками [9].

Відсутність окремих даних реалізації. Найбільш часто така ситуація виникає при здійсненні допускового контролю працездатності об'єкта (як правило під час рейсу), коли реєструється лише факт справності чи несправності, без деталізації окремих параметрів процесу експлуатації. Таким чином, про зразок обладнання, який визнано справним у момент контролю t_k, відомо лише, що він безвідмовно працював з початку експлуатації (рейсу) до моменту останнього контролю. При цьому конкретні значення параметрів експлуатації є невідомими.

У такому варіанті задача прогнозу може бути сформульована наступним чином. Нехай апріорний випадковий процес $X(t)$ задано канонічним поданням [7,9]

$$X(t_i) = m(t_i) + \sum_{v=1}^{i} V_v \varphi_v(t_i), \overline{i = 1, I}. \quad (7)$$

У результаті контролю конкретної реалізації цього процесу $x(\mu)$ у моменти $t_\mu, \mu = \overline{1,k}, k < I$, стало відомо, що дана реалізація жодного разу не вийшла за межі області допуску $[a,b]$, але точні її значення невідомі. Необхідно визначити апостеріорні характеристики надійності зразка обладнання, зміни стану якого описуються даною реалізацією.

У такому випаду застосування моделей, наведених вище, неможливе. Відсутність значень контрольованої реалізації не дозволяє скористатися формулами математичного очікування апостеріорного процесу і унеможливлює його моделювання [10].

Для того щоб у таких умовах сформувати апостеріорний процес, можна скористатися *принципом відбору реалізацій*. Як вже зазначалося, всі реалізації апостеріорного процесу на інтервалі $[t_1, t_k]$ повинні бути у межах $[a,b]$. Тому можна забезпечити виконання заданої умови шляхом моделювання апріорного процесу і відбору тих реалізацій, які задовольняють визначеній умові.

Прогнозування поза межами апріорного знання процесу. Вищеописаний підхід охоплює випадки лише задачі прогнозу, для якої є характерним наявність апріорного знання процесу на інтервалі $[0,T]$. Тому поняття неповноти інформації торкається лише даних контролю. При цьому вважається, що апріорна інформація відома повністю. Однак, для експлуатації судна на рейсах в умовах відсутності достатньої статистики використання суднового обладнання більш важливою є інша задача, за якої статистична інформація про процес існує на інтервалі $[0,T]$, а прогноз необхідно здійснити на деякому інтервалі $[T,T']$, тобто поза межами доступної статистики. У такому випадку обсяг апріорної інформації є недостатнім [11].

Для вирішення такої задачі визначимо випадковий процес $X(t)$, який задано канонічним поданням на дискретному ряді точок $t_i, i = \overline{1,I}$. У результаті контролю стану зразка обладнання одержано реалізацію процесу $x(\mu), \mu = \overline{1,k}, k \geq 1$. Необхідно

спрогнозувати надійність або технічний стан цього об'єкта для деякого моменту $t_{I'} > t_I$, який лежить поза межами області статистичних характеристик процесу.

Очевидно, що чим більшим є інтервал $[0,T]$, то тим більшим є обсяг інформації про характер процесу зміни стану зразка обладнання і тим достовірнішим є прогноз. У свою чергу достовірність прогнозування залежить від заданого моменту часу у області $[T,T']$.

Визначивши реалізацію випадкового процесу можна побачити, що у випадку незначного впливу випадкової складової процесу $y(t)$, процес може вважатися детермінованим, у протилежному випадку його необхідно розглядати, як стохастичний. Вибір того чи іншого підходу здійснюється за результатами аналізу зовнішніх умов та режимів використання об'єкта. У такому випадку є необхідність пояснення принципу, за яким буде здійснено вибір підходу [12].

Разом з тим, розглядаючи окрему реалізацію випадкового процесу експлуатації конкретного зразка суднового обладнання, результати спостереження за яким спотворюються лише похибками вимірювань контрольованого параметра, є можливість застосування детермінованого підходу щодо визначення параметрів випадкового процесу.

Серед основних методів вирішення задачі прогнозування (екстраполяції, регресійного аналізу та статистичної класифікації) для вирішення задачі детермінованого прогнозу найбільш придатними є методи екстраполяції, які грунтуються на переносі на майбутнє тенденцій минулого [10-12].

При вирішенні задачі детермінованого прогнозування технічного стану шуканими характеристиками є значення діагностичних параметрів $z_j(t_{n+m}),\ j=\overline{1,s}, m=\overline{1,k} \in [T,T']$, а при прогнозуванні надійності – запас працездатності об'єкта $\left|z_j(t_{n+m}) - z_j^{don}\right|_{\min}$, де s – число діагностичних параметрів; n – останній момент контролю у області $[0,T]$; k – останній момент контролю у області $[T,T']$.

На практиці досить важко отримати аналітичні вирази для узагальненого діагностичного параметра. Більш доцільним є одержання деякої апроксимації реалізації випадкового процесу поліномом виду

$$F(a,t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \ldots + a_\beta t^\beta, \tag{8}$$

де $a_i = f_i(z), i = \overline{0,\beta}$;

β – ступінь поліному.

Таким чином будуються окремі траєкторії (реалізації випадкового процесу) функціонування зразка суднового обладнання у області $[T,T']$, тобто в області, яку не було покрито апріорними спостереженнями і у якій неможливо розробити прогноз поведінки зразка обладнання на основі канонічного подання процесу, опираючись лише на статистичні дані спостережень за аналогічним класом об'єктів.

Достовірність такого підходу підтверджується шляхом моделювання, де, на підставі знання статистики зносу поршня моделюються подальші реалізації розвитку процесу зносу та прогнозується індивідуальна поведінка окремого зразка (поршня) за методом канонічного подання випадкового процесу. Порівняння точності прогнозування з реальною реалізацією дає змогу оцінити ефективність запропонованого удосконалення методу прогнозування параметра технічного стану зразка суднового обладнання (табл. 2) [12].

Таблиця 2

Порівняльний аналіз методів прогнозування

Метод прогнозування	Середнє відхилення від реальної реалізації, %
За середнім значенням (математичним очікуванням)	35...65
За ковзним середнім	30...60
МГУА	8...15
Поліноміальна екстраполяція	10...20
Канонічне подання випадкового процесу	6...12

Для ілюстрації наведених теоретичних положень розглянемо практичний приклад індивідуального прогнозування зміни зазору штоку та направляючої втулки клапана на основі лінійного канонічного подання скалярного апостеріорного процесу на області, не охопленій статистикою, тобто поза межами апріорного знання процесу.

Для цього проаналізуємо статистичні дані щодо зносу аналогічних вузлів, які визначалися з періодичністю 4000 год під час планових технічних оглядів двигуна на проміжку часу 0 – 16000 год. Припустимо, що решта значень у проміжку 16000 – 20000 год, на відміну від табл. А.1, є невідомими (табл. 3) [12, 13].

Таблиця 3

Результати замірів зазору штоку та направляючої втулки клапана

№ вузла	Напрацювання, год							
	0	4000	8000	12000	16000	20000	24000	28000
	Порядковий номер спостережень							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.123	0.157	0.175	0.204	0.223	–	–	–
2	0.120	0.159	0.162	0.214	0.219	–	–	–
3	0.118	0.147	0.184	0.200	0.226	–	–	–
4	0.124	0.157	0.190	0.198	0.216	–	–	–
5	0.116	0.162	0.180	0.209	0.218	–	–	–
6	0.130	0.162	0.182	0.196	0.234	–	–	–
7	0.121	0.169	0.179	0.189	0.217	–	–	–
8	0.108	0.141	0.158	0.212	0.230	–	–	–
9	0.119	0.144	0.168	0.215	0.229	–	–	–
10	0.121	0.149	0.165	0.187	0.206	–	–	–

Цей масив (табл. 2) складає початкову базу прогнозування. Зазначені дані табл. 2 можуть бути зображені у вигляді реалізацій деякого випадкового процесу (рис. 1). Штриховою лінією, як і раніше, на цьому рисунку позначено математичне очікування наведених реалізацій.

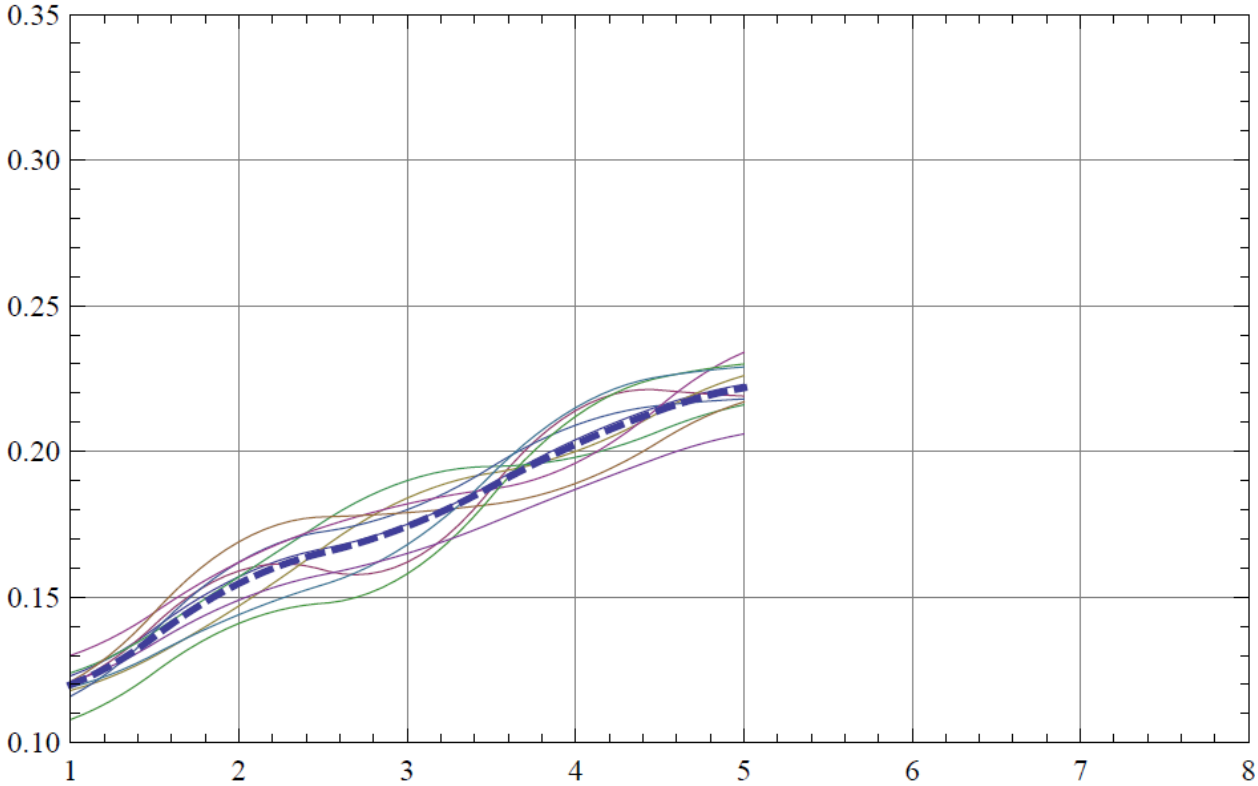

Рисунок 1 – Динаміка зміни зазору штоку та направляючої втулки клапана (по обмеженій вибірці)

Необхідно визначити прогнозовані значення зазору на період 5 – 8.

Відновлюємо кожну траєкторію табл.3 за допомогою екстраполюючих поліномів (у найпростішому випадку поліномами 1-го порядку), після чого отримуємо табл. 4 (рис. 2) [13].

Таблиця 4

Відновлені дані замірів зазору

№ вузла	Напрацювання, год							
	0	4000	8000	12000	16000	20000	24000	28000
	Порядковий номер спостережень							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.123	0.157	0.175	0.204	0.223	0.242	0.261	0.280
2	0.120	0.159	0.162	0.214	0.219	0.224	0.229	0.234
3	0.118	0.147	0.184	0.200	0.226	0.252	0.278	0.304
4	0.124	0.157	0.190	0.198	0.216	0.234	0.252	0.270
5	0.116	0.162	0.180	0.209	0.218	0.227	0.236	0.245
6	0.130	0.162	0.182	0.196	0.234	0.272	0.310	0.348
7	0.121	0.169	0.179	0.189	0.217	0.245	0.273	0.301
8	0.108	0.141	0.158	0.212	0.230	0.248	0.266	0.284
9	0.119	0.144	0.168	0.215	0.229	0.243	0.257	0.271
10	0.121	0.149	0.165	0.187	0.206	0.225	0.244	0.263

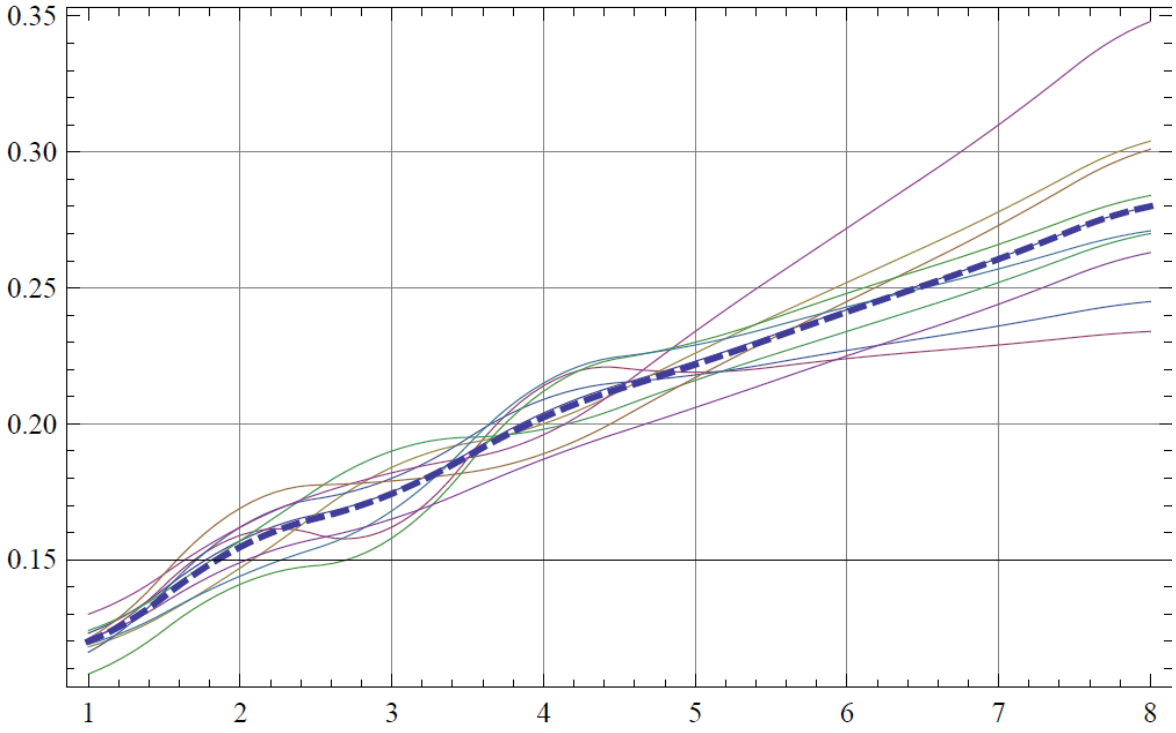

Рисунок 2 – Відновлені дані зазору штоку та направляючої втулки клапана

У такому випадку координатні функції випадкового процесу будуть мати вигляд (рис. 3)

$$\varphi_v(i)=\begin{bmatrix} 1 & 0.887 & 1.02 & -0.873 & -0.0582 & 0.757 & 1.57 & 2.39 \\ 0 & 1 & 0.571 & -0.418 & -0.22 & -0.022 & 0.175 & 0.373 \\ 0 & 0 & 1 & -0.402 & 0.0026 & 0.407 & 0.812 & 1.22 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0.392 & -0.215 & -0.823 & -1.43 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1.42 & 1.83 & 2.25 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1.55 & 2.1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1.38 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

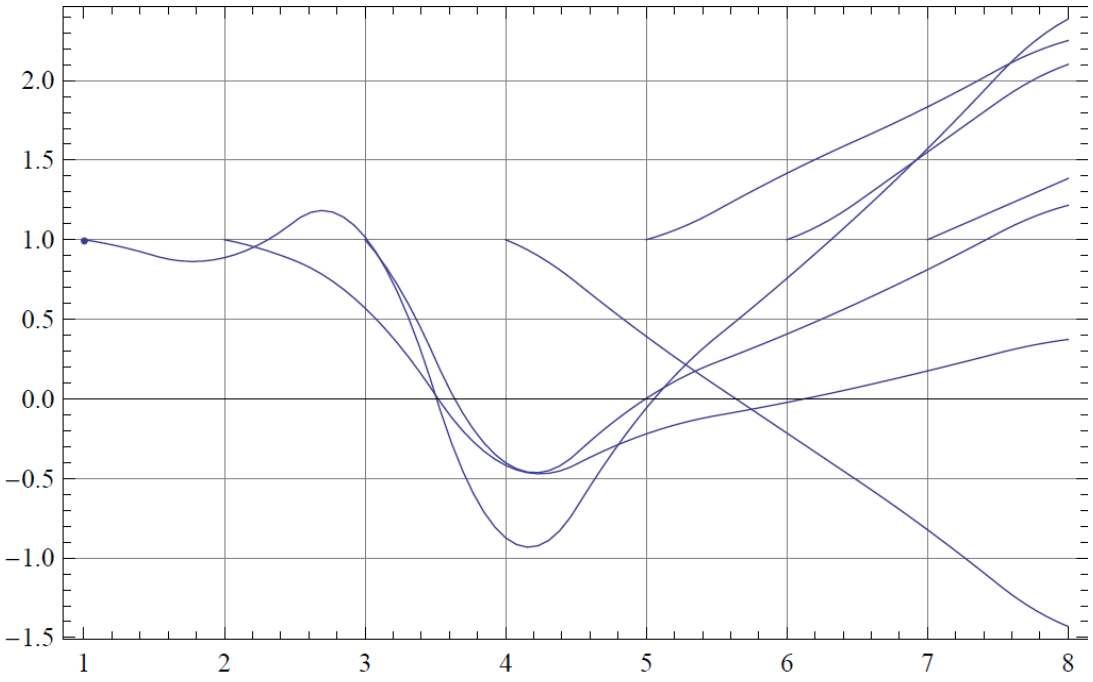

Рисунок 3 – Координатні функції випадкового процесу

Можна побачити, що на області визначеної статистики ці функції співпадають. Розбіжності починаються лише там, де дані були відновлені за допомогою екстраполяції.

Таблиця 5

Результати прогнозування

Кількість врахованих апріорних даних	Напрацювання, год							
	0	4000	8000	12000	16000	20000	24000	28000
	Порядковий номер спостережень							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0.119	*0.153*	*0.171*	*0.198*	*0.217*	*0.235*	*0.254*	*0.272*
2	0.119	0.144	*0.159*	*0.196*	*0.214*	*0.230*	*0.247*	*0.263*
3	0.119	0.144	0.168	*0.207*	*0.224*	*0.242*	*0.259*	*0.276*
4	0.119	0.144	0.168	0.215	*0.224*	*0.237*	*0.251*	*0.265*
	Тестова траєкторія							
	0.119	0.144	0.168	0.215	0.229	0.248	0.250	0.276

Як і раніше, перевіримо можливості методу щодо індивідуального прогнозування, для чого оберемо одну з траєкторій (наприклад траєкторію № 9) у якості тестової. Припустимо, що, як і раніше, нам відомі лише перші 4 даних спостережень у моменти часу 1 – 4. Виникає необхідність визначити значення зазору для моментів часу 5 – 8.

Застосувавши підхід для скалярного апостеріорного процесу, одержимо результати для прикладу, який розглядається у цьому додатку (табл. 5 та рис. 4) [13].

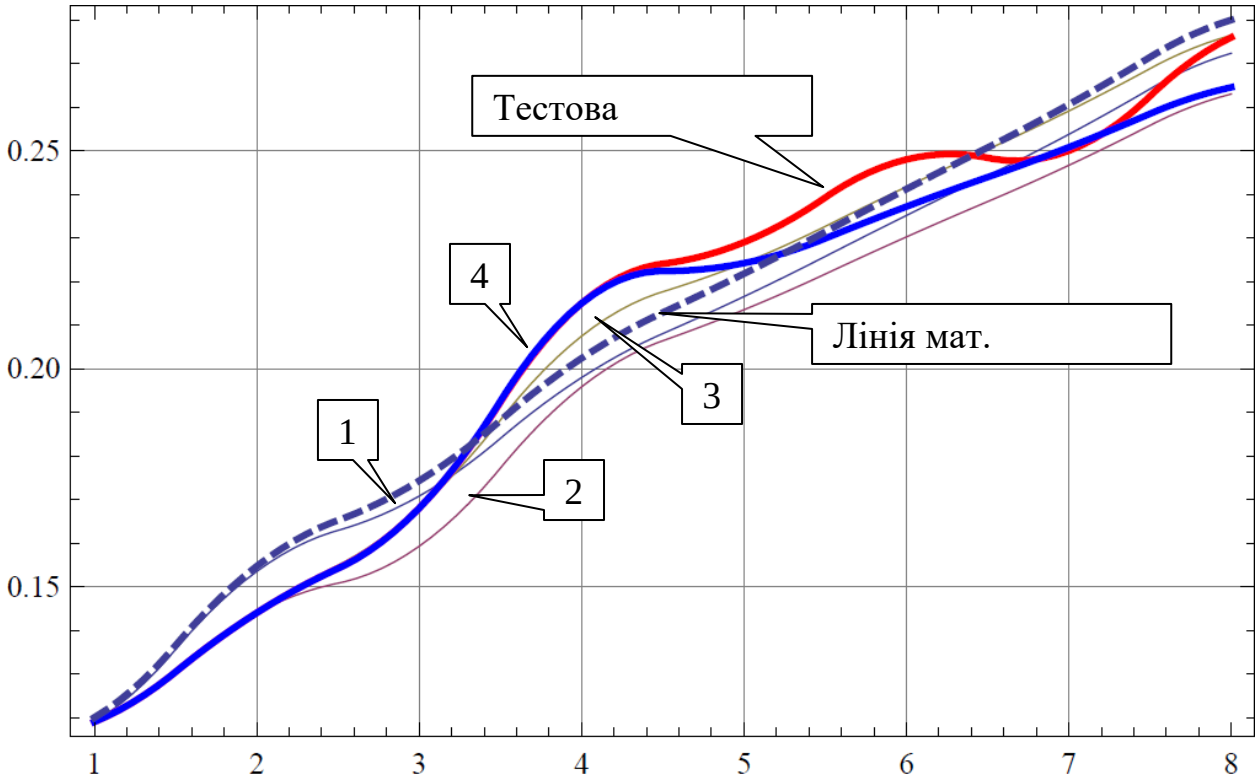

Рисунок 4 – Результати прогнозування

Визначивши оцінки диперсії для прогнозованих траєкторій при заданих умовах (вибірка обмежена 5-ма точками контролю, відомі перші 4 значення зазорів) обчислимо точність прогнозу (табл. 6).

Таблиця 6

Оцінка точності прогнозу, %

Відхилення	Напрацювання, год							
	0	4000	8000	12000	16000	20000	24000	28000
	Порядковий номер спостережень							
	1	2	3	4	5	6	7	8
δ	0.0	0.0	0.0	0.0	5.7	6.8	12.5	16.6

Висновки. Зазначена загальна модель процесу експлуатації суднового обладнання при трансокеанських вантажних перевезеннях базується на ідеї прогнозуючого контролю. При цьому перевагою вирішення задачі прогнозування на основі канонічного подання Пугачова є те, що воно забезпечує вирішення задачі моделювання як скалярних так і векторних процесів з залежними складовими. Єдиним обмеженням, яке накладається на досліджуваний випадковий процес є скінченність його дисперсії. Опис випадкового процесу на основі його канонічного подання точно визначає випадковий процес у точках контролю та забезпечує мінімум середнього квадрата похибки наближення у проміжках між цими точками.

Дослідження впливу похибок апріорних вимірювань у запропонованій загальній моделі експлуатації суднового обладнання дозволяє зробити висновок про те, що похибки апріорних вимірювань впливають лише на величину математичного очікування апостеріорного процесу. З цього слідує, що похибка індивідуального прогнозу, яка виникає внаслідок похибок вимірювань значень контрольованої реалізації, може бути визначена як різниця математичних очікувань реального та ідеального апостеріорних процесів. Достовірність зазначеного результату у роботі підтверджено моделюванням на прикладі втулки циліндра з урахуванням похибок вимірів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кудрицкий В.Д. Фильтрация, экстраполяция и распознавание реализаций случайных функций / В.Д. Кудрицкий // – К.:ФАДА, ЛТД, 2001. – 176 с.
2. Полянин А.Д. Справочник по линейным уравнениям математической физики / А.Д. Полянин // – М.: Физматлит, 2001. – 362 с.
3. Острейковский В.А. Теория надежности / В.А. Острейковский // – М.: Высшая школа, 2003. – 463 с.
4. Кобелева А.С. Модели и информационное обеспечение системы управления техническим состоянием судового энергетического оборудования: дисс. … канд. техн. наук: 05.13.09 / А.С. Кобелева // – СПб: ФГОУ ВПО СПГУВК, 2007. – 166 с.
5. Никитин А.М. Управление технической эксплуатацией судов / А.М. Никитин // – СПб: Белл, 2004. – 188 с.
6. Корн Г.А. Справочник по математике (для научных работников и инженеров) / Г.А. Корн, Т.М. Корн // – М.: Наука, 1973. – 832 с.
7. Перов В.М. Реновація суден / В. М. Перов // – Миколаїв: НУК, 2006. – 148 с.
8. Козлов А.В. Пути повышения эффективности управления судовыми энергетическими процессами / А.В. Козлов // – СПб: Судостроение, 2002. – 194 с.
9. Опыт эксплуатации элементов цилиндро-поршневой группы судовых двигателей Бурмейстер и Вайн [Электронный ресурс] // Режим доступа: http://sea-library.ru/burmeyster.html.
10. Calder N. Marine Diesel Engines / Nigel Calder // – International Marine / Ragged Mountain Press, 2006. – 256 p.
11. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. – 2-е изд. / И.А. Рябинин // – СПб.: Издательство Санкт-Петербургского университета, 2007. – 276 с.
12. Гуменюк В.М. Надежность и диагностика электротехнических систем / В.М. Гуменюк // – Владивосток: Изд-во Дальневост. гос. техн. ун-та, 2010. – 218 с.
13. Богомя В.І., Горбань А.В., Павленко М.А., Тимочко О.І., Тимощук О.М.. За заг. ред. О. М. Тимощук. Особливості системного підходу до вирішення наукових завдань експлуатації суднового обладнання: підручник. Київ, 2018. 305 с.

Горбань А.В., Довгаль І.І., Крижановська С. І., Найденов А.И.

ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ СУДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ РЕЧНОГО И МОРСКОГО ТРАНСПОРТА

Основное противоречие, которое лежит в основе научных исследований в направлении повышения эффективности эксплуатации средств речного и морского транспорта, заключается, с одной стороны, в необходимости повышения технической готовности судового оборудования к использованию по назначению и безотказности его функционирования.

С другой стороны, попытки максимального удешевления транспортных перевозок, приводит к уменьшению количества контрольных мероприятий, упрощение их процедуры. В таком аспекте, разработка новых методов технической эксплуатации оборудования на основе применения современных автоматизированных процедур определения периодичности и объема диагностирования является актуальным.

Таким образом, решению подлежит актуальная научно-прикладная задача по разработке процедуры определения целесообразных сроков технического диагностирования судового оборудования при на основе прогнозирования технического состояния оборудования.

Приведенные результаты моделирования подтверждают адекватность модели процесса эксплуатации судового оборудования речного и морского транспорта, которая базируется на идее прогнозирующего контроля индивидуальной надежности образца судового оборудования на основе канонического разложения случайного процесса с учетом погрешностей априорных измерений.

Эта идея позволяет реализовать указанную модель в условиях эксплуатации судна при минимуме диагностических данных, точно определяя случайный процесс в точках контроля и обеспечивая минимум среднего квадрата ошибки приближения в промежутках между этими точками

Неполнота априорной информации может снизить точность прогнозирования, или вообще сделать невозможным прогнозирование состояния судового оборудования. В таком случае возникает необходимость учета неполноты информации контроля в процедуре решения задачи прогнозирования, а также оценки ее влияния на точность полученных результатов.

В статье рассмотрены особенности решения задачи прогнозирования вне априорного знания процесса, а именно практический пример индивидуального прогнозирования изменения зазора штока и направляющей втулки клапана на основе линейного канонического представления скалярного апостериорного процесса на области, не охваченных статистикой, то есть за пределами априорного знания процесса

Ключевые слова: априорное знание процесса, каноническое разложение случайного процесса, прогнозирующий контроль, индивидуальная надежность, модель, речной и морской транспорт.

Gorban A.V., Dovgal I.I., Krizhanovska S. I., Naidenov A.I.

FEATURES OF FORECASTING THE CONDITION OF VESSEL EQUIPMENT OF RIVER AND SEA TRANSPORT

The main contradiction that underlies scientific research in the direction of improving the efficiency of river and sea transport is, on the one hand, the need to increase the technical readiness of ship equipment for its intended use and its smooth operation.

On the other hand, attempts to maximize the cost of transportation, leads to a reduction in the number of control measures, simplification of their procedure. In this aspect, the development of new methods of technical operation of equipment based on the use of modern automated procedures for determining the frequency and scope of diagnosis is relevant.

Thus, the solution is subject to the actual scientific and applied task of developing a procedure for determining the appropriate timing of technical diagnostics of ship equipment on the basis of forecasting the technical condition of the equipment.

These simulation results confirm the adequacy of the model of the process of operation of ship equipment of river and sea transport, which is based on the idea of predictive control of individual reliability of a sample of ship equipment based on canonical decomposition of a random process taking into account a priori measurement errors.

This idea allows to implement the specified model in the conditions of operation of the vessel at a minimum of diagnostic data, precisely defining random process in control points and providing a minimum of an average square of an error of approach in intervals between these points.

Incomplete a priori information can reduce the accuracy of forecasting, or make it impossible to predict the condition of ship equipment. In this case, there is a need to take into account the incompleteness of control information in the procedure for solving the problem of forecasting, as well as to assess its impact on the accuracy of the results.

The article considers the peculiarities of solving the problem of forecasting outside the a priori knowledge of the process, namely a practical example of individual forecasting of the change of the stem gap and the valve guide sleeve based on a linear canonical representation of the scalar a posteriori process in areas not covered by statistics.

Keywords: *a priori knowledge of the process, canonical decomposition of a random process, predictive control, individual reliability, model, river and sea transport.*

УДК 656.6:621.3.04 doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.07

Богом'я В.І., Давидов В.С., Доронін В.В., Пліта Л.Л.

ДЕЯКІ ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ МОРЕПЛАВСТВА ВЕЛИКОТОННАЖНИХ СУДЕН

Результати аналізу існуючих прибережних і портових систем руху суден, суднових і берегових навігаційних систем безпеки плавання, які використовуються при проводці суден в каналах і на акваторіях портів и гаваней дозволяють зробити висновок про те, що існуюча система безпеки плавання не в повній мірі вирішує завдання безпечного плавання великотоннажних суден в складних умовах.

У статті сформульовано об'єктивні причини, що впливають на зростання аварійності суден, особливо великотоннажних, які пов'язані з їх конструктивними і морехідними особливостями, обмеженими можливостями систем безпеки і існуючих систем руху суден. Зроблено висновок про необхідність автоматизації процесів управління, пов'язаних з автоматичним переходом функцій управління гвінторульовим комплексом і судновою енергетичною установкою автоматизованої системи управління судном на базі елементів нейронних технологій і штучного інтелекту.

Ключові слова:*, судно, безпека плавання, людський фактор, великотоннажні судна, аварійні морські події, нейронні технології, штучний інтелект.*

Постановка проблеми. Результати аналізу АМП, існуючих прибережних і портових систем руху суден, суднових і берегових навігаційних систем безпеки плавання, які використовуються при проводці суден в каналах і на акваторіях портів и гаваней дозволяють зробити висновок про те, що існуюча система безпеки плавання не в повній мірі вирішує завдання безпечного плавання великотоннажних суден в складних умовах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій з даної тематики в друкованих виданнях і в інтернет ресурсах виявив відсутність комплексних досліджень і публікацій інших авторів по даному напрямку. У наукових дослідженнях і статтях детально не розглядалися такі вкрай важливі для безпеки судноводіння деякі питання стосовно великотоннажних суден, як:

1. Наявність існуючого протиріччя між знанням високоточного місця судна на траєкторії його руху за допомогою спеціальних режимів роботи ГНСС і недостатньо високою точністю контролю положення судна відносно навігаційних небезпек по пеленгам і дистанціям за допомогою суднових РЛС (ЗАРП).

2. Потребує вдосконалення проблема додаткових можливості ЕКНІС по використанню координатного курсору в якості високоточного кутомірно-далекомірного пристрою. В існуючих ЕКНІС не передбачені опції або функції, що дозволяють реалізувати можливості високоточного місця судна для вимірювання напрямків і дистанцій до навігаційних об'єктів;

3. Прогнозування в ECDIS місцезнаходження носа і корми судна на траєкторії руху з урахуванням напрямків і відстаней до небезпечних навігаційних об'єктів, які безперервно змінюються, в тому числі підводних, з урахуванням його інерційно-гальмівних характеристик при аварійному пасивному або активному гальмуванні;

4. Облік елементів повороткості судна в ECDIS з урахуванням впливу полюса повороту на поведінку судна в умовах малих глибин прибережного плавання;

5. Підвищення навігаційної інформативності про розташування судна на траєкторії руху на електронній карті, в тому числі носа і корми, шляхом:

- геометричної візуалізації розміреній судна і смуги руху на великомасштабних планах портів, гаваней і підхідних каналах до них;

-постійного одночасного відображення на електронної карті лінії попередньої прокладки з розрахунковим місцем судна відповідно до плану переходу і фактичної траєкторії руху судна у вигляді лінії шляху поблизу кромки електронної карти і збереженні її після зміни масштабу карти;

-перегляд навігаційної обстановки попереду по напрямку руху за допомогою великомасштабного вікна.

Мета статті. Провести системний аналіз основних проблем, пов'язаних з рішенням деяких класичних завдань судноводіння, при плаванні великотоннажних суден в умовах обмеженого простору портів, гаваней і на підхідних каналах до них в складних навігаційних та гідрометеорологічних умовах. Запропонувати деякі шляхи щодо вирішення виявлених проблем шляхом розширення області навігаційних завдань, що вирішуються в ЕКНІС, так як в складних ситуаціях при обмеженому часі на їх аналіз, розрахунки та прийняття єдино правильного рішення судноводієм робляться неприпустимі помилки і промахи, які іноді закінчуються аварійними морськими пригодами і інцидентами.

Викладання основного матеріалу. Проблемам управління великотоннажними суднами в останні роки приділяється все більша увага. Це можна пояснити чисельним зростанням великотоннажних суден і як наслідок досить високим рівнем їх навігаційної аварійності і великими матеріальними збитками від аварій великих суден. Розміри найбільш великих суден виросли в 1,5-2 рази. Довжина таких суден становить до 400 м, ширина більше 55 м, осадка більше 15-20м [5]. Характерною особливістю сучасних контейнеровозів і пасажирських суден є зростання швидкості, яка у деяких контейнеровозів досягає до 33 уз., і значне збільшення їх парусності. Збільшення габаритів і маси суден, а також швидкостей їх руху позначилися в свою чергу на інерційно-гальмівних характеристиках і маневрених якостях суден. При цьому відносні величини, такі як діаметр циркуляції і гальмівний шлях, виражені в довжинах суден, не зазнали значних змін, проте абсолютні значення цих величин істотно зросли. Так, час вільного гальмування судна водотоннажністю близько 50 тис. т. становить 12-13хв., а гальмівний шлях - більш 4-х миль. При активному гальмуванні таке судно проходить 1,2-1,5 милі за час 5-6 хв.[5].

Сучасним судноводіям доводиться управляти суднами, інерційність яких в порівнянні з 1960 р зросла в середньому в 10 разів. Навігаційне забезпечення безпечного плавання таких суден стає все більш важливим і складним завданням, особливо при плаванні в умовах обмеженого простору портів, гаваней і на підхідних каналах до них в складних навігаційних та гідрометеорологічних умовах. Поява на морських суднах ECDIS і приймачів ГНСС, які дозволили в значній мірі автоматизувати високоточній контроль за місцем розташування суден на траєкторії руху в режими “on-line”, не привела до значного зниження аварійності, пов’язаної з посадками на мілину або підводні рифі, зіткненнями і навалами. Використання функцій: «завдання безпеки», «виявлення поточної небезпечної ізобати і небезпечних об'єктів», а також «автоматичного захоплення і супроводу цілей при накладенні зображення РЛС на ЕК» в існуючих ECDIS , які використовуються при проводці суден в каналах і на акваторіях портів і гаваней, не вирішує в повній мірі завдання безпечного плавання в складних умовах [2].

У зв'язку зі значним зростанням швидкостей, розмірів суден і їх парусності, виникає необхідність в підвищенні точності і оперативності навігаційної інформації, а також впровадженні засобів і систем автоматизації судноводіння, які в складної аварійної ситуації

мали б можливість автоматично приймати на себе управління судном, так як в деяких умовах, особливо при плаванні в узкостях, поблизу берегів, на акваторіях портів і в районах з великою інтенсивністю суднопотоків, судноводій може виявитися нездатним приймати оптимальні рішення в реальному масштабі часу [3,4]. Недостовірна або неповна інформація, так само як і несвоєчасна оцінка складної навігаційної обстановки може привести до АМП. Графік кількості АМП у світовому торговельному флоті у 2011-2018р. наведено на рис.1 за результатами досліджень Європейського агентства з безпеки на морі за 2019р. За попередні 8 років аварійність вантажних суден зросла приблизно до 2 разів, пасажирських до 2,5 разів [1].

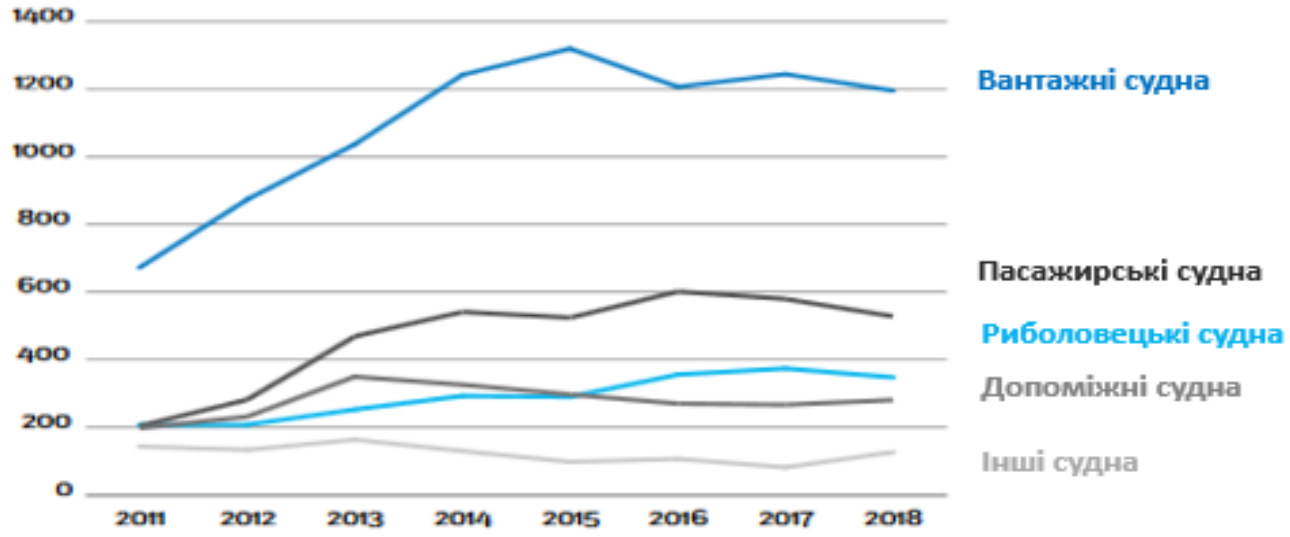

Рисунок 1– Графік кількості АМП у світовому торговельному флоті у 2011-2018 р.

Для великотоннажних суден зростає вплив на безпеку плавання їх конструктивних особливостей і маневрених характеристик, закладених на стадії проектування:

- великотоннажність суден визначає довгий гальмівний шлях як при пасивному так і активному гальмуванні, який становить тисячі метрів;
- значна частина сучасних суден, в першу чергу контейнеровозів, є одновальної, що негативно впливає на їх маневреність та повороткість і з урахуванням дуже великої парусності, особливо контейнеровозів, автомобілевозів і газовозів, а також пасажирських суден. Це призводить до того, що часом при сильному вітри не вистачає зусиль гвінторульового комплексу для утримання суден в заданій смузі на траєкторії руху або на лінії створу.

У таблиці 1 наведені характеристики по 3 типам великотоннажних суден, які найбільшою мірою впливають на їх управління в складних умовах прибережного плавання і служать основним джерелом АМП.

Випереджаюче зростання габаритів великотоннажних суден у порівнянні з ростом портових акваторій і фарватерів створює певні труднощі в експлуатації великотоннажного флоту. 50% всіх АМП сталося на акваторії портів та рейдах, 10% - при проходженні шлюзів, 18% -у річках і каналах, 14% -у протоках і 8% -у відкритому морі. Якщо врахувати, що час плавання суден у відкритому морі становить більше 90% у порівнянні з часом плавання в перерахованих вище районах, то з розрахунку на 1 ч плавання ймовірність АМП судна в обмежених районах, де майже безперервно здійснюється маневрування, в 10 разів більше, ніж у відкритому морі [5].

Невідповідність габаритів існуючих каналів і фарватерів габаритам сучасних великотоннажних суден призводить до того, що в багатьох портах світу і на підходах до них вони обмежені своєю осадкою і розмірами. Це призводить, при плаванні на мілководді, до погіршення керованості і збільшення радіусів циркуляції, які не завжди підлягають точному обліку при плаванні на циркуляції і як наслідок вихід однієї з кінцівок судна за межі смуги руху, що стає причиною торкань ґрунту і посадок на мілину.

Таблиця 1– Зведена таблиця характеристик великотоннажних суден

№ п/н	Характеристики суден	Контейнеровози типу MSC OSCAR	Пасажирські судна типу Oasis of the Seas	Автомобілевози типу Hoegh Target
1	Габарити: LxBxH, м	395,4x59x73	360x47x72	199,9x36,5x80
2	Площа парусності по діаметральної площині, кв. м.	22 000	22 400	13 833
3	Ширина смуги руху для кута дрейфу на циркуляції β=15°	142	117	70
4	Радіус циркуляції на ППХ при перекладанні керма на кут ± 35°	1325	901	607
5	Кількість гвинтів	1	3	2
6	Час/вибіг при активному гальмуванні ППХ/ПЗХ (хв./м.)	12,1/3400	5/1300	8,9/2800
7	Час/вибіг при пасивному гальмуванні ППХ/СТОП (хв./м.)	24,5/9260	22,4/8400	20,7/7600
8	Осадка (м.)	16	9,3	10,3

Габарити и осадка великотоннажних суден у порівнянні з параметрами підхідних каналів, глибинами на акваторіях гаваней і на осях суднових ходів в гирлах припортових річок ростуть випереджальними темпами. Так на 2008р. всього 28 найбільших морських портів світу із 145, яким за даними Американської асоціації портової влади (American Association of Port Authorities) присвоєно статус найбільших портів світу, могли приймати судна з осадкою понад 15м і більше. Як відображено на рис. 2 за 5 років з 2003 р. по 2008 р., які стали періодом різкого зростання будівництва великотоннажних суден, було прийнято в експлуатацію всього 3 глибоководних портів в світі, які здатні приймати судна практично без обмежень.

Через 12 років картина на користь великотоннажних суден змінилася незначно, так як створення глибоководних портів вимагає багато часу і великих капіталовкладень при дефіциті днопоглиблювального флоту в світі в цілому. Дані Lloyd's Register за 2018р.також підтверджують, шо кількість портів в світі, здатних безпечно приймати судна Post-Panamax з осадкою 16 м, яка на рухомому в каналі судні ще більше за рахунок просідання, не більше 3-х десятків [6,7].

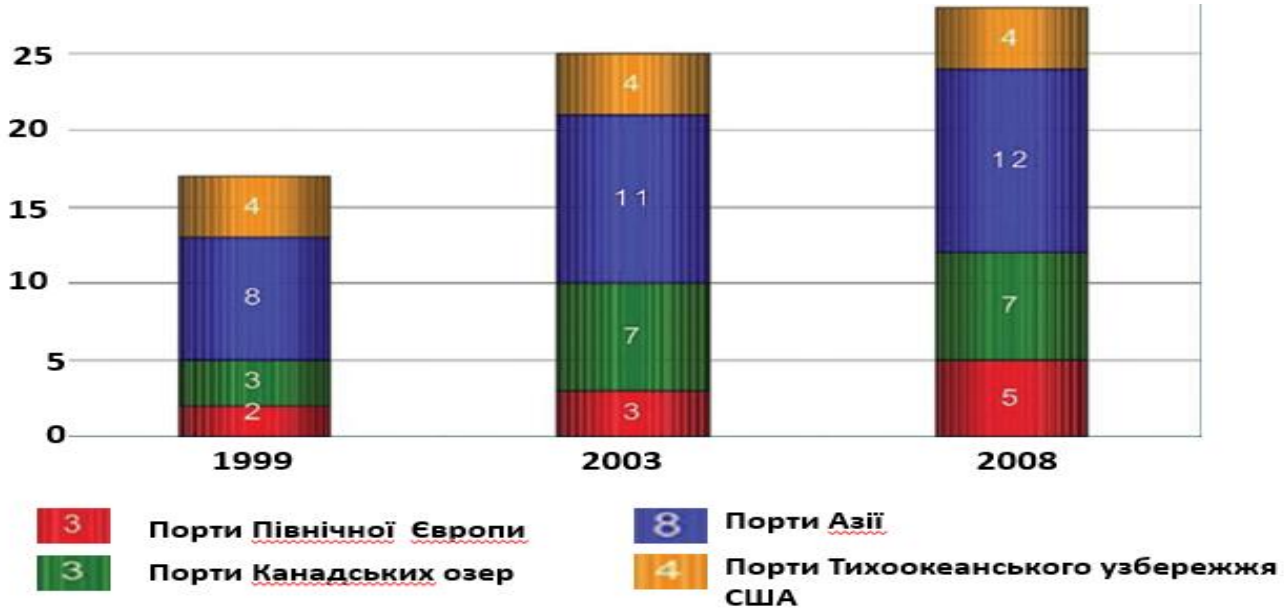

Рисунок 2 – Графік зростання кількості глибоководних портів в світі.

Дизелів обмежень по їх експлуатації (на прикладі дизеля марки MAN B & W 8K90MC-C (Mark 6) потужністю в 36560 кВт або 49742 к. с.):

- мінімальних безпечних критичних обертів які складають 23об/хв; що відповідає швидкості близько 4 вузлів,
- мінімальної швидкості самого малого переднього ходу в 4,6 вузла, яка відповідає 26 об/хв;
- зменшеного до70% коефіцієнта потужності рушія при роботі на задній хід;

3. Виключно велику парусність великотоннажних суден, яка за площею для пасажирських лайнерів і контейнеровозів дорівнює 3-м стандартним футбольним полям (площа 1-го футбольного поля S = 7560 кв. м) що ускладнює утримання судна на осі каналу або суднового ходу;

4. Одногвинтову схему побудови головної енергетичної установки для великовантажних контейнеровозів, що в значній мірі знижує її надійність і призводить практично до втрати керованості судна при виході з ладу або заклинювання рульового пристрою;

5. Складнощі виведення судна в точку повороту і на нову лінію шляху через неможливість оперативного точного обліку відомими штурманськими способами зміщення полюса повороту і збільшення радіусу циркуляції при плаванні на мілководді при наявності сумарного зносу від вітру і різних видів течій,

На рис.3 наведені значення параметрів циркуляції для порівняно невеликого контейнеровоза типу «Мереда» (260x32x12,6) в баласті на глибокій воді при перекладанні керма на кут ± 35 ° на середньому передньому ходу в 15.4 вузла. Ширина смуги руху становить 83 м. Для контейнеровозів типу MSC OSCAR довжиною 395,4 м. вона становить 142 м., що створює значні труднощі в управлінні судном при поворотах під великим кутом у вузьких каналах і небезпеку торкання кінцівками судна їх кромок.

Для судноводія також важливо спостерігати символ судна на електронній карті у вигляді його силуету в масштабі карти і смугу руху на циркуляції. Це дозволить, при використанні монітора відеопрокладчіка з великою діагоналлю і роздільною здатністю, спостерігати на електронній карті положення свого судна щодо небезпек і проходження їх кінцівками судна. Так на електронній карті-плані М 1:5000 довжина силуету судна

довжиною 300 м становитиме 6 см. Таке однакове сприйняття реальної обстановки та зображеної на електронній карті дозволяє судноводію швидко орієнтуватися в обстановці при переході від її візуального сприйняття до електронного і навпаки, що особливо важливо при раптовому погіршенні видимості.

З урахуванням обмежень для великотоннажних суден можливостей систем безпеки і існуючих систем руху по параметрам безпечних акваторій і наявності перерахованих вище конструктивних характеристик і обмежень проблема управління великогабаритними судами без використання елементів нейронних технологій і штучного інтелекту представляє з себе складне завдання з багатьма невідомими, алгоритми вирішення яких буде необхідно реалізовувати в ЕКНІС.

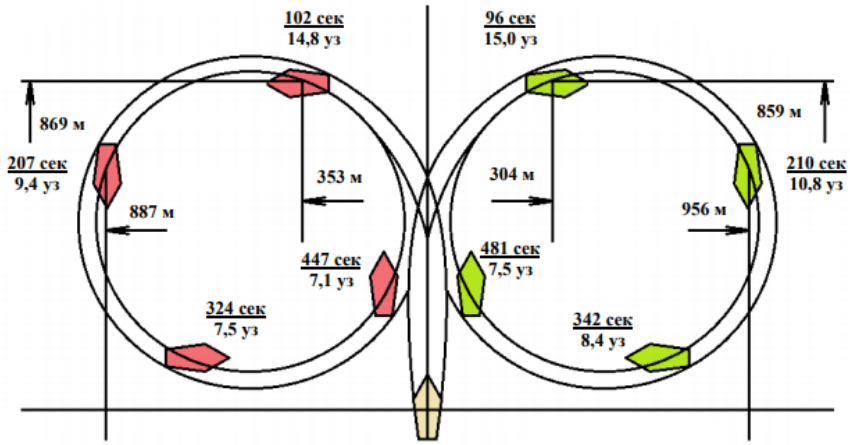

Рисунок 3– Параметри циркуляції контейнеровоза типу «Мереда»

Висновок. На підставі викладеного можна зробити висновок про те що великотоннажні судна необхідно віднести в особливу категорію морських суден, які при плаванні в складних умовах найбільш схильні до АМП і які неправомірно відносити тільки за рахунок впливу «людського фактору». З точки зору авторів передумови до їх аварійності закладені в певній мірі в їх конструктивних і морехідних характеристиках і відсутності належного рівня автоматизації процесів управління, пов'язаних з автоматичним переходом функцій управління гвінторульовим комплексом і судновою енергетичною установкою автоматизованої системи управління судном на базі елементів нейронних технологій і штучного інтелекту. Високий професіоналізм судноводіїв та лоцманів великотоннажних суден в складних умовах плавання не завжди може компенсувати їх конструктивні і морехідні особливості та обмеження по експлуатації СЕУ, нездоланні гідрометеорологічні обставини.

ЛІТЕРАТУРА

1. Annual overview of marine casualties and incidents. // European Maritime Safety Agency. – 2019. – С. 21.
2. NAVI – SAILOR 3000. Керівництво користувача, 2002.
3. Давидов В.С. Алгоритм автоматизованого контролю положення кінцівок суден і складів на траєкторії руху засобами ECDIS. Збірник наукових праць ДУІТ «Водний транспорт». Вип.1(29), 2020р. С.46-52. Богом'я В.І., Давидов В.С., Доронін В.В., Кудрявцев В.Г.

4. Давидов В.С. Математична модель забеспечення безпеки плавання буксирніх складів, що штовхаються, на річках і в прибережній морській зоні. Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України. Збірник наукових праць. Вип.3(23) 2019р.,С.117-122. Косяковський А.В., Давидов В.С., Овчіннікова А.І.
5. Давыдов В.С. Анализ некоторых эксплуатационных свойств современных крупнотоннажных судов, методов и систем их обеспечения при плавании в стесненных условиях. К.-КГАВТ, Водний транспорт ,Вып.3(21), 2014, С.23-31. Богомья В.И., Давыдов В.С., Кожухаренко Р.В.
6. Список найбільших портів світу [Електронний ресурс]. – 2013.– Режим доступу до ресурсу: https://ru.wikipedia.org/wiki/ Список_крупнейших_портов_мира_(2013).
7. Морські порти світу [Електронний ресурс].– Режим доступу до ресурсу: https://www/searates.com/ru/maritime/

Богомья В.И., Давыдов В.С., Доронин В.В., Плита Л.Л.

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ МОРЕПЛАВАНИЯ КРУПНОТОННАЖНЫХ СУДОВ.

Результаты анализа эксплуатации существующих прибрежных и портовых систем движения судов, судового и береговых навигационных систем безопасности плавания, которые используют при проводке судов в каналах и в акваториях портов и гаваней позволяют сделать вывод о том, что существующая система безопасности плавания не в полной мере решает задачи безопасного плавания великотоннажних судов в сложных условиях.

Сформулированы объективные причины, влияющие на рост аварийности судов, особенно крупнотоннажных, связанные с их конструктивными и мореходными особенностями, ограниченными возможностями систем безопасности и существующих систем движения судов. Сделан вывод о необходимости автоматизации процессов управления, связанных с автоматическим переходом функций управления винторулевым комплексом и судовой энергетической установкой к автоматизированной системе управления судном на базе элементов нейронных технологий и искусственного интеллекта.

Ключевые слова: *судно, безопасность плавания, человеческий фактор, крупнотоннажные суда, аварийные морские происшествия, нейронные технологии, искусственный интеллект.*

Bogomia V.I., Davydov V.S., Doronin V.V., Plita L.L.

SOME ISSUES OF INCREASING THE SAFETY OF NAVIGATION OF LARGE-TONNAGE VESSELS

The results of the analysis of the existing coastal and port navigation systems, ship and coastal navigation safety systems, which are used in the conduct of vessels in the canals and waters of ports and harbors allow us to conclude that the existing navigation safety system does not fully solve the problem of safe large-tonnage vessels in difficult conditions.

Objective reasons are formulated that affect the increase in the accident rate of ships, especially large-tonnage ones, associated with their design and seaworthiness, limited capabilities of safety systems and existing ship traffic systems. It is concluded that it is necessary to automate the control processes associated with the automatic transition of the control functions of the rudder complex and the ship's power plant to an automated ship control system based on elements of neural technologies and artificial intelligence.

Key words*: ship, navigation safety, human factor, large-capacity vessels, emergency maritime accidents, neural technologies, artificial intelligence.*

УДК 656.6:621.3.04 doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.08

Трофименко І.В., Бойко А.Д., Іваненко В.В., Федунов В.М.

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ АВАРІЙНОСТІ СУДНОВОДІННЯ: ПРИЧИНИ І РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЇХ ПОПЕРЕДЖЕННЯ

Дослідження показали, що основною причиною морських аварій є людський фактор, поломки, пошкодження, відмова двигунів і суднового устаткування, а також прийняття неправильного рішення по управлінню судном. Тому для підвищення рівня безпеки руху суден відбувається зміни за рахунок ведення нових підходів і технологій управління судами.

У статті представлені результати аналізу зіткнень суден. В ході досліджень показано, які чинники впливають на безпеку судноводіння. В першу чергу розглянуті погодні умови, помилки при управлінні судном і технічні несправності, які можуть привести до аварійності. Розглянуто найхарактерніші помилки і порушення судноводіїв, розкриті суб'єктивні і об'єктивні причини, дані обґрунтовані рекомендації для їх усунення.

Ключові слова: *аварійність, безпека судноводіння, керування судном, фактори впливу*

Вступ. На сучасному етапі безпека судноводіння морського транспорту є однією з серйозних проблем на сьогоднішній день [1]. Так за даними звітів Allianz Global Corporate & Specialty (AGCS) світової флот втратив: за останні десять років в середньому 104 судна за рік і отримали щорічно ушкоджень більш ніж на 1000 морських транспортних засобів із загального числа світового флоту [1, 2] (см. Табл.1). У Табл.2 представлені інформація аварійних ситуацій і причини їх виникнення. Дослідження статистичних даних (див. Табл.2) [1] показали, що основною причиною морських аварій є людський фактор, поломки, пошкодження, відмова двигунів і суднового устаткування, а також прийняття неправильного рішення по управлінню судном. Тому для підвищення рівня безпеки руху суден відбувається зміни за рахунок ведення нових підходів і технологій управління судами (наприклад: Е-навігація), впровадження сучасного навігаційного обладнання, автоматизації суднових процесів управління, а також вдосконалення інфраструктури портів і поліпшення їх операцій.

Аналіз літератури. З огляду на проведений аналіз літератури [2 ÷ 5], можна констатувати, що на сьогоднішній день відбувається підвищення інтенсивність судноплавства. При цьому збільшується не тільки кількість судів, але і відбувається збільшення тоннажу і швидкостей судів, а також розвиток контейнерних і танкерних перевезень при скороченні стоянки часу судів. Все перераховане призвело до значного ускладнення умов судноплавної обстановки, особливо в акваторіях портів. Крім цього, в певний момент маневрування транспортних засобів в обмеженому водному просторі портових акваторіях в певних умовах може призвести до створення аварійних ситуацій.

Все це послужило приводом для того, щоб виробити заходи безпеки, що попереджають виникнення самого ризику зіткнень. У зв'язку з цим з 1972 року розроблені, а з 1977 року застосовуються Міжнародні Правила попередження зіткнень суден у морі (МППСС-72), в яких розкривається порядок судноводіння і маневрування в різних умовах видимості, в тому числі виконання типових маневрів розходження, обгону, зближення , перетину курсу, плавання в узкостях, оснащення судновим обладнанням для безпечного судноводіння і використання їх на судах [6]. Також Міжнародна морська організація (ІМО) на сучасному етапі розробляє і застосовує норми і правила про заходи безпечного судноводіння і розведення шляхів. Значна увага при цьому приділяється розробці нових заходів: «жорстких» вимог і умов функціонування суднових систем і режимів судноводіння (що

безпосередньо пов'язано з поліпшенням суднових технічних засобів). Так в сучасних умовах для розробки обґрунтованих заходів по боротьбі з аварійністю і, зокрема, із зіткненнями судів вже недостатньо одних посилань на хорошу морську практику [5]. Тому потрібен більш глибокий аналіз, що охоплює основні аспекти, що впливають на забезпечення безпеки судноводіння і стану аварійності ситуацій.

Говорячи про аналіз аварійних ситуацій як базі для вироблення заходів щодо зниження числа зіткнень, необхідно виявлення конкретних характерних помилок і порушень судноводіїв (не тільки фіксація порушень тих чи інших положень нормативних документів), а також встановлення причин помилок і порушень та ін.

Мета статті. Тому метою даної статті є результати аналізу, які пов’язані з висвітленням ситуацій аварійності під час керування судном та факторів що впливають на якість безпеку судноводіння.

Таблиця 1

Кількість морських аварій і інцидентів в залежності від ступеня тяжкості події

Морські аварії та інциденти	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Всього
Дуже серйозні	94	88	79	63	106	63	493
Серйозні	880	706	832	799	849	752	4818
Менш серйозні	1819	1902	1922	1842	1724	1919	11128
Інцидент	451	645	411	559	585	328	2979
Всього	3244	3341	3244	3263	3264	3062	19418

Таблиця 2

Кількість аварійних ситуацій за факторами за 2019 рік

Типи аварійних ситуацій	Кількість випадків	Категорії факторів, що впливають на тип аварій		
		Зовнішні середа	Керування судном	Курування з берегу
Небезпечна ситуація	158	1	101	56
Людський фактор	2386	79	1749	558
Через стороннє управління	385	204	85	96
Відмова суднових систем або обладнання	701	6	432	263
Невідома причина	10	0	5	5
Загальна кількість	3640	290	2372	978

Виклад основного матеріалу. Більшість аварійних випадків відбувається з судами в портових водах, так як в умовах обмеженого простору плавання суднові навігаційні прилади не дає належну точність, ніж у відкритому морі. При цьому, швидко змінюється обстановка і підвищена напруженість роботи екіпажу (людський фактор), є ключовим в ході вироблення керуючого рішення щодо поточної обстановки [1]. При цьому, часом обсяг інформації, що надходить стає більше того обсягу, який може сприйняти і проаналізувати людина, внаслідок цього частина найважливіших відомостей залишається неврахованої. Чи не правильне прийняття рішення або так званий «людський фактор» може привести до водних пригод в внаслідок: неправильного маневрування, при розбіжності або обгоні, завищеній швидкості руху, несвоєчасного виявлення надмірного зближення, прорахунків при виборі безпечної дистанції та інші. Крім «людського фактора» необхідно враховувати фактори впливу на керованість судна пов'язані із зовнішніми впливами [3÷5].

До зовнішніх факторів впливу на керованість судна відносять гідродинамічні сили, які змінюють рух і повороткість судна за рахунок конфігурації, конструктивних особливостей побудови судна і її надбудов. В основному до зовнішніх чинників відносять три взаємопов'язані сили: вітрове навантаження, хвилювання моря, тиску течії [7]. Таким чином, в результаті вплив зовнішніх сил необхідно враховувати особливості їх впливу на рух судна під їх впливом. Це дасть можливість оцінювати навігаційну обстановку і безпеку судноводіння. В результаті зовнішніх впливів поділяють сили на [7]:

інерційні - обумовлені інертністю судна і приєднаних мас води, і виникають тільки при наявності прискорень. Напрямок дії інерційних сил завжди протилежно до чинного прискоренню;

неінерціонние - обумовлені в'язкістю води і повітря і є гідродинамічними і аеродинамічними силами.

Керованість судна під впливом зовнішніх факторів залежить від основних розмірів і якісних його характеристик, а також від їх співвідношень, тангажу, форми і розмірів палубних споруд і швидкості судна під впливом його опору і залежить від опору його руху, яке можна обчислити як [3, 7, 8]

$$C = C_t + C_f + C_w + C_k + C_a, \quad (1)$$

де C_t – опір тертя, викликане взаємодією корпусу судна і води з урахуванням тангажу;

C_f – опір форми, викликане розподілом гідродинамічних тисків вздовж корпусу судна;

C_w – хвильовий опір, яке визначається хвилеутворенням уздовж корпусу судна при його русі;

C_k – опір виступаючих частин корпусу судна, яке визначається наявністю керма, гвинта, виличні кілів і т. п.;

C_a – аеродинамічний опір руху судна.

Дослідження літератури [3, 4, 7, 9] показало, що зовнішні фактори впливу на управління судном можна поділити на дві групи зовнішніх впливів: залежність від стану моря і гідрометеорологічних умов. У табл. 3 представлені результати аналізу гідрофізичних процесів впливу зовнішніх факторів на управління судном з урахуванням виділення основних елементів впливу.

Таблиця 3

Гідрофізичні процеси, які впливають на якість судноводіння

Гідрофізичні процеси	Напрямки впливів на судноводіння				
	Навігаційні пристрої	Судові енергетичні установки	Судно	Людський фактор	Управлінське рішення
Хвилююча поверхня	Переломленя, затухання та поглинання сигналу	Збільшення енергетичних втрат	Фізико-хімічний вплив на корпус судна	Психо-неврологічна хвороба руху	Вплив на судноводіння
Гідрометеорологічні умови	Вплив гідрометеорів на якість приймання сигналу	Вплив на швидкість судна	Вплив вітру та атмосферних явиш на конятрукцію судно	Вплив атмосферних явиш	Вплив на керованість судна

Морська поверхня характеризується станом поверхневих хвиль (висоти і довжини хвилі) і її діапазоном, що утворює качку судна під дією гідродинамічних сил, обумовлених ефектом вітрового хвилювання, що обурюється. Це призводить до складності експлуатації гідромеханічних машин, механізмів і приладів через вплив виникають сил інерції, а також створює додаткові навантаження на міцні елементи корпусу судна і надає фізичний вплив на екіпаж [1, 4, 8]. При цьому основними елементами качки є: амплітуда хитавиці (характеризує

найбільше відхилення судна від початкового положення); розмах качки (характеризує суму двох послідовних амплітуд (нахил судна на обидва борти)); і період качки (час між двома послідовними нахиленнями або час, протягом якого судно здійснює повний цикл коливань, повертаючись до того стану, при якому почався відлік) [3, 9]. Наслідки хвилювання морської поверхні призводить до [1, 4, 8]: зменшення швидкості ходу судна; збільшення витрати палива на одиницю шляху; зменшення точності розташування судна і визначення місцезнаходження морських об'єктів; утруднення обслуговування судна; додаткового навантаження на корпус судна; зміни умов управління судном; погіршення умов експлуатації суднових машин і механізмів; фізіологічного впливу на людей.

Хвилювання моря безумовно шкідливе явище вимагає додаткового вивчення для зменшення впливу на конструкції судна і його механізми, а також на екіпаж. Зазвичай для компенсації хвилювання морської поверхні на судах встановлюють виличні кили, активні керма, заспокійливі цистерни, гіроскопічні заспокоювачі, які в основному зменшують бортову качку [8].

Гідрометеорологічні умови впливають в основному на суднові навігаційні прилади, які використовуються при судноводінні. Найбільший вплив надають гідрометеори при прийомі радіосигналу в радіонавігаційних систем (РНС) і суднових радіолокаційних приладах РЛП, а також засобів автоматичної радіолокаційний прокладки (ЗАРП) у вигляді поглинання, спотворення сигналу, а також відображення його від морської поверхні [10]. Крім цього атмосфера також впливає на екіпаж судна у вигляді психоневрологічного впливу як в період виконання обов'язків, так і в період відпочинку. Також зовнішні чинники впливають на системи автоматики судна, енергетичні установки та автоматизацію судна цілому [11]. Це проявляється в погіршені експлуатаційних характеристик судна та параметрів технічних установок за якісними показниками. В даному випадку електроенергетичні системи є одним з найбільш складних комплексом суднових технічних засобів, що повинні забезпечувати безперебійне виробництво і розподіл електроенергії [9, 11]. Це пов'язано з якісним експлуатаційним періодом коли необхідно приймати управлінське рішення при швидкої зміні навколишнього оточення і режимів роботи агрегатів і механізмів, а також в умовах малого часу на виконання кожної операції. Тому від їх правильних дій значною мірою залежить живучість судна та безпека судноводіння.

Результати аналізу літератури можна уявити в табл. 4 у вигляді факторів впливів в період управління судном і необхідні дії для їх обліку і компенсації в якості рекомендацій щодо вивчення. На сьогодні багато питань пов'язані з урахуванням впливу зовнішніх впливів частково вирішені. Однак комплексного вирішення пов'язаної з взаємовпливом, не знайдено.

Для оцінки показника коефіцієнта ступеня ризику на основі всіх факторів впливу (об'єктивних і суб'єктивних) застосовується вираз (2) [7, 11]. При цьому, оцінка ризику кількісно характеризується відповідно, можливістю появи і рівнем «негаразди» збіг різних обставин. Таким чином, показник ступеня ризику (Р), буде визначаться декількома факторами, такими як

$$P = K_a + K_b + K_c + K_d, \tag{2}$$

де K_a – сумарні гідрометеорологічні чинники;

K_b – тип судна, його мореплавство;

K_c – технічний стан судна, його вік;

K_d – людський фактор (досвід судноводія).

В даному випадку оцінка ризику представляє собою ймовірність того, що певна подія буде мати місце і воно буде мати потенційний негативний вплив в умовах судноводіння.

Таблиця 4

Фактори, що впливають на судноводіння та напрямки
для врахування процесів впливу

№ з/п	Фактори, що впливають на якість судноводіння	Напрямки щодо розробки рекомендацій для врахування процесів впливу
В умовах гідрометеорологічного впливу		
1.	Період часу року	Вибір оптимальних режимів роботи суднових систем
2.	Період доби	
3.	Вітер	Врахування впливу на площу судна для корегування курсу в навігації
3.1.	Режим вітру	
3.2.	Швидкість вітру	
3.3.	Напрямок вітру	
4.	Тумани, дощі	Врахування в ближньому режимі роботи РНС, судової РЛП та прокладки шляхів в ЗАРП
5.	Атмосферний тиск, температура повітря та води	
6.	Морська поверхня	Врахування в роботі судових РНС та РЛС (ЗАРП) приймання сигналу
6.1.	Хвилювання поверхні	
6.2.	Рівень колихання	
6.3.	Морські течі	Врахування в навігації судна
Під час експлуатації судна		
1.	Напрямок руху	Врахування помилок судноводіння
2.	Навігаційні помилки	
3.	Суднові енергетичні установки	Врахування вплив на конструкцію судна та енергетичні установки
4	Маневрування судна	Врахування вплив на конструкцію судна та можливості енергетичних установок
5	Робота автоматизованих систем управління судном, засоби, машини, пристрої та вузли	Врахування впливу на автоматизовані системи управління судна та корегування роботи енергетичних установок
Помилки екіпажу під час судноводіння		
1.	Помилки бачення	Використання додаткових методів спостереження
2.	Психологічний вплив	Врахування при виконанні службових обов’язків
3.	Управлінські помилки	Перерозподіл праці між людиною та машиною на основі ергатичних систем управління судном

ЛІТЕРАТУРА

1. http://emsa.europa.eu/publications/reports/item/4266-annual-overview-of-marine-casualties-and-incidents-2020.html.
2. https://www.agcs.allianz.com/news-and-insights/reports/shipping-safety.html
3. 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.
4. Вагущенко Л.Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути / Л.Л. Вагущенко. – Одесса: Фенікс, 2013. – 180 с.
5. Баранов Г.Л. Функціональна стійкість навігаційного обслуговування безпеки судноплавства на внутрішніх водних шляхах / Г.Л. Баранов, А.М. Носовський, І.В. Тихонов // Монографія - Київ: КДАВТ, 2012. – 149 с.
6. Convention on the International Regulations for preventing Collisions at sea (COLREG), 1972 (МППСС-72).

7. Якушев А.О. Зависимость размеров судовой безопасной области от плотности распределения вероятностей позиционной погрешностей / А.О. Якушев [Текст] // Водный транспорт. – 2014. - №2 (20).– С. 84 – 88.
8. 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.
9. Носенко В.М. Судовые энергетические установки / В.М. Носенко. − Николаев: ФЛН Швед В.Д., 2013. − 443 с.
10. Современные информационные технологии обеспечения безопасности судоходства и их комплексное использование / В.Е. Леонов, В.И. Дмитриев, О.М. Безбах, А.А. Гуров, В.Б. Сыс, В.Ф. Ходаковский // под ред. Леонова В.Е. – Херсон: ИЦ ХГМА, 2014. – 324 с.
11. Вагущенко Л.Л. Бортовые автоматизированные системы контроля мореходности / Вагущенко Л.Л., Вагущенко А.Л., Заичко С.И - Одесса: Феникс, 2005. - 274 с.

Трофименко І.В., Бойко А.Д., Іваненко В.В., Федунов В.М.

АНАЛИЗ ФАКТОРОВ АВАРИЙНОСТИ СУДОВОЖДЕНИЯ: ПРИЧИНЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИХ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЮ

В статье представлены результаты анализа безопасности управления судном. В ходе исследований показано, какие факторы приводят к аварийности судовождения. В первую очередь рассмотрены погодные условия, условия наблюдения, ошибки при управлении судном и технические неисправности, которые могут привести к аварийности. Рассмотрены наиболее характерные ошибки и нарушения при управлении судном, а также раскрыты субъективные и объективные причины. На основе вышеизложенного представлены рекомендации по их предупреждению.

Ключевые слова: *аварийность, безопасность судовождения, управления судном, факторы влияния*

Trofimenko I.V., Boyko A.D., Ivanenko V.V., Fedunov V.M.

ANALYSIS OF SHIPPING ACCIDENT FACTORS: CAUSES AND RECOMMENDATIONS FOR THEIR PREVENTION

The article presents the results of the safety analysis of ship control. Research has shown which factors lead to shipping accidents. First of all, weather conditions, ship handling errors and technical malfunctions, which can lead to accidents, are considered. The most characteristic errors and violations in the management of the vessel are considered, as well as subjective and objective reasons are revealed. Based on the above, recommendations for their prevention are presented.

Key words: *accident, safety of navigation, ship control, factors of influence*

МЕТОДИКА НАВЧАННЯ

УДК 51:378.147:656.61.052 doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.09

Ткаченко К.О.

НЕЧІТКЕ ОНТОЛОГІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗНАНЬ В ІНФОРМАЦІЙНИХ НАВЧАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

Розглянуто проблематику підвищення рівнів знань, вмінь та компетенцій осіб, що навчаються (студентів, учнів, курсантів, слухачів курсів тощо) при використанні інформаційних систем дистанційної освіти – інформаційних навчальних систем. Шляхом вирішення проблеми автором обрано моделювання експертних знань в інформаційних навчальних системах на основі онтологічного підходу (аналізу та відповідної класифікації). Проаналізовані підходи виявили наявність проблеми у такій слабкоформалізуємій предметній області, як навчальні курси, які, переходячи від викладачів, що читають їх «вживу», до електронних навчальних курсів, втрачають індивідуалізацію процесу як надання навчального матеріалу, так і відповідного тестового контролю знань, вмінь та компетенцій, що отримуються тими, хто навчається. Саме тому актуальним є онтологічне моделювання експертних знань в інформаційних навчальних системах. Таке моделювання дозволяє перейти до індивідуалізації процесів навчання, використовуючи теорію нечіткого онтологічного моделювання та нечіткі множини: тем, індивідуальних версій курсу, питань, відповідей та підказок.

Використання нечіткого онтологічного моделювання при формуванні персональних знань сприяє збільшенню ступеня повноти і достовірності оцінки підготовки осіб, що навчаються, завдяки враховуванню різних факторів, що впливають на відповіді цих осіб.

Онтологічний підхід дозволяє сформувати досить повну і структуровану інформаційну базу для забезпечення компетентнісного підходу в освіті: оновлення навчальних планів у тісному зв'язку із конкретними вимогами ринку праці; оновлення електронних навчальних курсів відповідно до вимог стейкхолдерів; формування комплексу робочих графіків під один і той же навчальний план. Все це сприятиме переходу до індивідуалізації освітнього процесу з урахуванням індивідуальних інтересів і можливостей окремих осіб, що навчаються.

Ключові слова: *інформаційна навчальна система, електронний навчальний курс, експертні знання, моделювання, онтологія, нечітка онтологічна модель.*

Постановка проблеми. Сучасні інформаційні навчальні системи (ІНС) є специфічним класом інформаційних систем, бо широко використовують елементи інтелектуальних систем, зокрема інтелектуальний інтерфейс та знання експерта, що реалізує педагогічну мету в деякій предметній області.

Актуальність інформатизації та інтелектуалізації навчальних процесів поза сумнівом, що вочевидь продемонструвала ситуація з освітнім процесом в умовах карантинних обмежень. Тому розробка на сучасному рівні як самих ІНС, так і окремих її компонентів (баз навчальних даних, баз експертних знань, баз моделей, що використовуються для здійснення оптимального вивчення тем того чи іншого курсу) є важливими і сучасними проблемами, що потребують свого вирішення. Але існуючі засоби представлення знань експерта в ІНС не в повній мері задовольняють сучасним вимогам індивідуалізованого підходу до навчання,

тому задача їх удосконалення шляхом використання різного роду моделей знань (класичних інформаційних, онтологічних, математичних тощо) є достатньо актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Багатьма авторами досліджувалися різні аспекти моделювання знань та процесів у таких сферах діяльності людини, як освіта, наука, бізнес [1 – 5]. Авторами цих робіт, зокрема, стверджується, що моделювання має ітераційний характер, коли кожен етап включає аналіз отриманих на попередніх етапах результатів і надає можливість повернути процес на будь-який попередній етап. Такий підхід є доцільним і в ІНС, щоб у особи, яка навчається, була можливість шляхом ітерацій отримати необхідні рівні знань, вмінь та компетенцій.

Задача представлення знань експерта про процес навчання в ІНС часто базується на онтологічному аналізі і класифікації знань, семантичному та когнітивному підході, про що свідчать роботи [6 – 9]. Тому задача представлення експертних знань на основі відповідних моделей є на часі і актуальною.

Мета дослідження. Основною метою роботи, що пропонується, є формування моделі експертних знань в ІНС на основі їх онтологічного поділу на: предметні та персональні знання. Запропонована модель має враховувати такі етапи освітнього процесу як: надання навчальних тем курсу, що планується до вивчення, та перевірка отриманих особою, що навчається (ОН), відповідних знань, вмінь та компетенцій.

Основний матеріал дослідження. В процесі комп'ютерного навчання приймають участь: ІНС, що виконує роль педагога та той, хто навчається (учень, курсант, студент, слухач курсів тощо). Виходячи з цього база знань ІНС повинна містити знання експерта про предметну область (так звані педагогічні знання) та знання про того, хто навчається (так звані персональні знання). В подальшому ОН – це особа, що навчається (учень, студент, курсант тощо). Тобто основна задача моделювання знань в ІНС має полягати у побудові адекватних моделей на основі онтологій. При дослідженні і побудові онтологічної моделі знань про предметну область будемо використовувати систему показників навчання, запропоновану В.П. Беспальком [10].

Навчальний матеріал ІНС являє собою набор предметних елементів (ПЕ) – дидактично завершених блоків, що відображають зміст навчальної дисципліни. Відношення між ПЕ відображають структуру навчального матеріалу. В цьому контексті предметне знання є системою знань, що складається з ПЕ і відношень між ними, які відображають знання про склад і структурні властивості навчального матеріалу.

Позначимо через E множину ПЕ. Структурні зв'язки ПЕ визначає бінарне відношення, яке позначимо через $S \subset E \times E$ будемо називати *структурним відношенням*. Множина E і структурне відношення S формуються експертом – розробником електронного навчального курсу (в подальшому – курсу). Базовими ПЕ, з яких формується множина E, є теми. Позначимо T – множину тем, представлених в ІНС. T – скінчена, дискретна, строго впорядкована множина. Базову структуру предметних знань визначає бінарне відношення $S_t = T \times T -$ «підтема теми», таке, що $(t_i, t_j) \in S_i, i \in [1, n], j \in [1, n], i \neq j$, якщо зміст теми t_i розкриває зміст теми t_j.

Серед всіх тем курсу можна виділити підмножину опорних тем $T_G \subseteq T$, рівнів засвоєння яких ОН визначає успішність процесу навчання. При еталонному рівні знань опорних тем ОН отримують набір вмінь, навичок, компетенцій, що відповідають вимогам сьогодення до відповідних спеціалістів в даній ПрО. Множину T_G будемо називати множиною цілей навчання.

При формалізації процесу навчання, як правило, виділяються необхідна та достатня цілі навчання. *Необхідна ціль навчання* – це сукупність тем, діагностика еталонного знання яких

при проходженні курсу необхідна для допуску до продовження вивчення курсу. *Достатня ціль навчання* – це сукупність тем, у випадку недосягнення по яким еталонного рівня знань, ці теми рекомендуються для повторного вивчення, при цьому ОН має допуск до любої теми навчального курсу. Виділення кількох цілей одночасно надає експерту більші можливості при побудові курсу.

Згідно з сучасними вимогами до ІНС, зміст електронного навчального курсу має бути адаптованим до ОН. Відповідно, слід доповнити зміст тем адаптивною частиною – блоками навчального матеріалу, які будемо називати індивідуальними версіями. Альтернативні індивідуальні версії теми розрізняються ступенем деталізованості та глибини подання навчального матеріалу, що сприяє адаптуванню змісту навчального курсу до різного рівня попередньої підготовки ОН. При цьому у всіх альтернативних індивідуальних версіях представлено базовий зміст теми, необхідний для вивчення теми всіма ОН незалежно від їхньої підготовки.

Позначимо через C – множину індивідуальних версій всіх тем курсу. Множина C є дискретною, скінченою та строго впорядкованою. Експерт, формуючи навчальний курс, встановлює відношення $S_c \subseteq C \times T$ – «індивідуальна версія теми» так, що $(c,t) \in S_c$, якщо зміст індивідуальної версії C погоджено зі змістом теми t.

Альтернативні індивідуальні версії теми можуть бути представлені на різних рівнях, що відповідають підготовці ОН. Ці рівні назвемо рівнями складності. Експертна оцінка степені складності кожного варіанта індивідуальної версії теми є суб'єктивною і лінгвістично невизначеною, що ускладнює застосування точних кількісних методів при її формальному описуванні на основі відповідної онтологічної моделі курсу.

Позначимо через $\tilde{S}_c \subset S_c, \tilde{S}_c = \{(c.t), \mu_{\tilde{S}_c}(c,t)\}$ – нечітке відношення «складна індивідуальна тема». Функція приналежності $\mu_{\tilde{S}_c}$ є відображення: $\mu_{\tilde{S}_c} : S_c \to M$, що характеризує степінь складності кожного питання теми. Нечітке відношення S_c може бути задано експертом шляхом явного перелічення всіх кортежів і відповідним їм значень функції приналежності, оскільки носій цього нечіткого відношення скінчений, дискретний і з невеликою кількістю елементів.

Крім теоретичного матеріалу, курс повинен супроводжуватися й діагностичним матеріалом, призначеним для контроля знань. Як правило, в ІНС оперативний контроль знань здійснюється за допомогою тестів, що складаються із відповідного набора тестових завдань (ТЗ). ТЗ – це ясне і чітке завдання з конкретної предметної області, що потребує однозначно визначеної відповіді чи виконання відповідного алгоритму дій. Виділена структура універсальних типів ТЗ, що найбільш часто використовуються в тестах будь-якої предметної області:

- *Вибір відповіді.* ТЗ даного типу представлено питанням і скінченою, дискретною множиною відповідей на нього.
- *Відповідність (упорядкування).* ТЗ – це питання та скінчена, дискретна множина підпитань до нього. Множина відповідей скінчена і дискретна. До цього типу ТЗ також відносяться питання на упорядкування списку. В цьому випадку необхідність а розміщенні кожного елемента списку в потрібному місці розглядається як підпитання. Множина відповідей розглядається як множина можливих місць у списку.
- *Введення числових даних*. ТЗ складається з питання і множини варіантів відповіді. Експерт в якості відповіді на ТЗ цього типу може вказати або число (декілька чисел), або числовий інтервал. числовий інтервал задається експертом шляхом задання його меж. Аналогічно ОН при відповіді на подібне ТЗ вказує число чи декілька чисел (меж інтервалу). Відповідно, множина вказаних відповідей скінчена та дискретна.

– *Введення тексту (символьних даних).* ТЗ цього типу є питанням і скінченою та дискретною множиною вказаних відповідей на нього.

Таким чином, ТЗ в ІНС представлено питаннями та відповідями і призначено для діагностики ступеня знань ОН матеріалу будь-якої теми. Передбачимо також ймовірність того, що при відповіді ОН на питання ТЗ йому буде надана можливість використати додатковий інформаційний матеріал – *підказки* (*довідки, допомога*).

Позначимо через Q – множину питань, представлених в ІНС; A – множину відповідей, представлених в ІНС; P – множину представлених в ІНС підказок. Множини Q, A, P скінчені, дискретні, строго впорядковані. Аналіз ТЗ виявляє наявність таких відношень між ПЕ, як «питання теми», «підпитання питання», «відповідь на питання» і «підказка до питання». Надамо їх формальне визначення:

- $S_q \subset Q \times T$ – відношення «питання теми», таке, що $(q,t) \in S_q$, якщо питання $q \in Q$ діагностує знання теми $t \in T$;
- $S_q^* \subset Q \times Q$ – відношення «підпитання питання», таке, що $(q_i, q_j) \in S_q^*, i \in [1,l], j \in [1,l], i \neq j$, якщо питання q_i входить до складу питання q_j;
- $S_a \subset A \times Q$ – відношення «відповідь на питання», таке, що $(a,q) \in S_a$, якщо ПЕ $a \in A$ вказано у якості відповіді на питання $q \in Q$;
- $S_p \subset P \times Q$ – відношення «підказка до питання», таке, що $(p,q) \in S_p$, якщо ПЕ $p \in P$ містить додаткову інформацію по питанню $q \in Q$.

Згідно з [1], питання кожній темі повинні мати різний рівень складності для більш точної діагностики рівня підготовленності СН.

Позначимо $\tilde{S}_q \subset S_q, \tilde{S}_q - \{(q,t), \mu_{\tilde{S}_q}(q,t)\}$ – нечітке відношення «складне питання теми». Функція приналежності $\mu_{\tilde{S}_q}(q,t)$ є відображенням $\mu_{\tilde{S}_q} : S_q \to M$, що характеризує ступінь складності питання до теми курсу.

У більшості тестів відповіді на питання оцінюються як вірні (правильні) або невірні (неправильні). Але викладач, що контролює знання ОН «вживу», враховує також частково правильні відповіді, визначаючи по ним пробели у знаннях ОН, тобто слід, щоб відповіді на питання мали різну ступінь правильності.

Позначимо через $\tilde{S}_a \subset S_a, \tilde{S}_a - \{(a,q), \mu_{\tilde{S}_a}(a,q)\}$ – нечітке відношення «правильна відповідь на питання». Функція приналежності $\mu_{\tilde{S}_a}(a,q)$ – відображення $\mu_{\tilde{S}_a} : S_a \to M$, що характеризує ступень правильності відповіді на питання. Підказки можуть з різним ступенем детальності розкривати зміст питання.

Позначимо через $\tilde{S}_p \subset S_p, \tilde{S}_p - \{(p,q), \mu_{\tilde{S}_p}(p,q)\}$ – нечітке відношення «повна підказка». Функція приналежності $\mu_{\tilde{S}_p}(p,q)$ є відображенням $\mu_{\tilde{S}_p} : S_p \to M$, що характеризує ступень повноти підказки до питання.

Нечіткі відношення $\tilde{S}_q, \tilde{S}_a, \tilde{S}_p$ задаються експертом при формуванні курсу. Оскільки носії нечітких відношень скінчені, дискретні і з відносно невеликою кількістю елементів, то нечіткі відношення встановлюються експертом шляхом явного перелічення всіх кортежів і відповідних їм значень функції приналежності.

Таким чином, множина предметних елементів $E = T \cup C \cup Q \cup A \cup P$ скінчена і дискретна. Сукупність виділених за функціональною ознакою підмножина $F = \{T, C, Q, A, P\}$ є покриттям множини E, причому підмножини покриття множини E не перетинаються.

Дійсно, підмножинами покриття множини предметних елементів є множина тем, множина індивідуальних версій, множина питань, множина відповідей і множина підказок. Будемо вважати, що підмножини покриття перетинаються. Тоді існує предметний елемент, функціональні властивості якого задовольняють декільком підмножинам покриття одночасно. Це неможливо, бо функціональні властивості ПЕ різних підмножин покриття взаємовиключаючі, бо підмножини покриття множини предметних елементів E не перетинаються, сукупність F є розбиттям множини E, яке задає на множини E відношення еквівалентності за функціональною ознакою; позначимо його як F_e і будемо називати в подальшому функціональним відношенням еквівалентності.

З проведеного дослідження випливає, що структуру предметних знань характеризує бінарне відношення $S \subset E \times E$, яке виходячи з аналізу виявлених відношень антирефлексивно, асиметрично та транзитивно. Сукупність виділених за змістовним навантаженням структурного зв'язку підвідношень $W = \{S_t, S_c, S_q, S_q^*, S_a, S_p\}$ не перетинаються (обґрунтовується аналогічно з приведеним вище твердженням). Відповідно, сукупність W є розбиттям відношення S, яке задає на S відношення еквівалентності за функціональним навантаженням структурного зв'язку; позначимо його як W_s і будемо називати *структурним відношенням еквівалентності.*

Представлення експерта про навчальний предмет на якісному рівні формально описує нечіткі множини $\tilde{N} \subset T$, $\tilde{D} \subset T$, що характеризують цілі навчання, і нечіткі відношення $\tilde{S}_C \subset S_C$, $\tilde{S}_q \subset S_q$, $\tilde{S}_a \subset S_a$, $\tilde{S}_p \subset S_p$, що виділені з урахуванням дидактичних показників Беспалька [1].

Представлення предметних знань в реляційній базі даних ІНС відображається нечітким орієнтованим графом G. Множина вершин графа відображає сукупність ПЕ, множина дуг – виділені вище структурні відношення. Вершини і дуги маркировані значеннями функції приналежності встановлених нечітких множин і відношень. Фактор-множина вершин графа $E / F_E = \{T, C, Q, A, P\}$ по відношенню еквівалентності F_E, породженому розбиттям F за функціональною ознакою, визначає необхідні таблиці реляційної бази даних ІНС, в яких зберігаються функції приналежності виділених вище нечітких множин і відношень. Фактор-множина зв'язків графа $S / W_S = \{S_t, S_c, S_q, S_q^*, S_a, S_p\}$ по відношенню еквівалентності W_S, породженому розбиттям W, встановлює зв'язки даних таблиць.

Запропонований спосіб формалізованого опису предметних знань дозволяє чітко визначити представлення предметних знань в реляційній базі даних ІНС з урахуванням якісних характеристик навчального матеріалу. Крім того, можливо залучити експертів для обговорення повноти змісту і цільових показників вже на початковій стадії проектування, визначити варіанти траєкторії засвоєння навчального матеріалу в ІНС, формулювати вимоги до типу, кількості і послідовності вправ для осмислення і закріплення теоретичного матеріалу.

Онтологічна модель персональних знань. Персональні знання відображають відомості про успішність ОН в межах вивчаємого курсу. Об'єктивна оцінка ступеня засвоєння ОН матеріала навчального курсу має прнпципове значення для успіху всього комп'ютерного навчання, бо ефективне управління процесом навчання неможливе без обробки зв'язків, що реалізується в персональних знаннях.

Широко відомі дві задачи, рішення яких необхідне при диагностиці ступеня компетентності ОН в будь-якій предметній області. Основною задачею викладача-екзаменатора є «вилучення» максимуму знань, які є відомі ОН. Основною задачею ОН є

«демонстрація» максимуму своїх знань. Очевидно, що цілі викладача-екзаменатора та ОН є достатньо близькими. Ти не менше, в результаті автоматизованного тестування досягти цих цілей можна не завжди, що є причиною занижених і завишених оцінок. Таким чином, задача полягає у розробці способа формування персональних знань, що дозволить об'єктивно відобразити ступінь підготовки ОН.

Маємо множину відповідей *A*, множина питань *Q*, взаємозв'язків яких визначає нечітке відношення $\tilde{S}_a \subset S_a$ – «правильна відповідь на питання». ОН, відповідаючи на питання ТЗ, формує підмножину $A' \subseteq A$ вказаних відповідей. Тоді підмножина A' і нечітке відношення $\tilde{S}_a$ індуцирують в Q умовну нечітку підмножину $\tilde{Q}_a \subseteq Q$, що відображає правильність відповіді ОН. Слід визначити функцію приналежності нечіткої множини $\tilde{Q}_a$, яка буде найкращим чином відповідати реальній оцінці правильності вказаної відповіді. Очевидно, що найбільш часто використуємe max-min-представлення умовної нечіткої множини не підходить, бо в даному випадку однаково важливі оцінки всіх вказаних ОН відповідей. В цьому випадку має сенс застосувати average-представлення умовної нечіткої підмножини $\tilde{Q}_a \subseteq Q$:

$$\mu_{\tilde{Q}_A}(q) = \frac{1}{K_A(q)} \cdot \sum_a \left(\mu_{A'}(a) \cdot \mu_{\tilde{S}_a}(a,q) \right),$$

де $K_A(q)$ – average -коефіцієнт оцінок відповідей, вказаних ОН на питання *q*.

При визначенні коефіцієнта $K_A(q)$ слід враховувати побудову ТЗ, в яких передбачається наявність *m* абсолютно правильних відповідей із загальної кількості *n* відповідей. ОН, формуючи відповідь на питання ТЗ подобного типу, може надати в якості відповіді тільки один варіант, який є одним з правильних, при цьому відповідь ОН не може вважатися повністю правильною. Також можливі випадки вибору ОН в якості відповіді *m+1* варіанта, що також не можна оцінити як повністю правильну відповідь. Адекватно оцінити ступінь правильності відповіді дозволяє введення коефіцієнта осереднення, який враховує як кількість варіантів відповіді, наданих ОН, так и кількість абсолютно правильних варіантів відповіді, введених викладачем-екзаменатором. Таким чином, average-коефіцієнт $K_A(q)$ доцільно визначити наступним чином:

$$K_A(q) = \max\left\{ \sum_{a \in A'} \mu_{S_a}(a,q), \sum_{a \in A'} \mu_{cor\tilde{S}_a}(a,q) \right\},$$

де $\mu_{cor\tilde{S}_a}(a,q)$ – функція приналежності ядра нечіткої множини $\tilde{S}_a$.

Умовна нечітка підмножина $\tilde{Q}_A \subset Q$ відображає правильність відповіді ОН на питання ТЗ типу «вибір відповіді», «введення числових даних», «введення символьних даних (тексту)» і додаткові питання ТЗ типу «відповідність». Побудова ТЗ типу «відповідність» обумовлює необхідність визначення способа оцінки відповіді ОН на *надпитання* (додаткові більш складні питання).

Q – це множина, на якій задано нечітку підмножину $\tilde{Q}_A \subset Q$ і відношення $S_q^* \subset Q \times Q$ – «підпитання питання». тоді нечітка множина $\tilde{Q}_A$ і відношення S_q^* індуцирують в *Q* умовну нечітку підмножину $\tilde{Q}_A \subset Q$, що відображає ступінь правильності відповіді ОН на надпитання ТЗ типу «відповідність».

Функцію приналежності нечіткої підмножини $\tilde{Q}_A$ доцільно визначити з урахуванням звичайної практики оцінювання на основі average-представлення:

$\mu_{\tilde{Q}_A}(q) = \frac{1}{K_Q^*(q)} \cdot \sum_{q^*} \mu_{\tilde{Q}_A}(q^*) \cdot \mu_{S_q^*}(q^*, q)$, де $K_Q^*(q)$ – average-коефіцієнт оцінок відповідей ОН на підпитання питання *q*.

Оцінку відповіді на надпитання в рівній мірі визначають оцінки, що отримуються ОН за підпитання. З урахуванням цього, average-коефіцієнт доцільно визначити так:

$$K_Q^*(q) = \sum_{q^*} \mu_{S_q^*}(q^*, q).$$

Таким чином, на множині Q формуються нечіткі підмножини $\tilde{Q}_A \subset Q$ і $\tilde{Q}_A^* \subset Q$, що відображають правильність відповіді СН на питання різних типів. Тоді оцінити правильність відповіді ОН на питання будь-якого типу дозволяє об'єднання даних нечітких множин в нечітку множину $\tilde{A}$ – «правильна відповідь ОН»:

$$\tilde{A} = \tilde{Q}_A \cup \tilde{Q}_A^*, \tilde{A} \subset Q.$$

Функція приналежності нечіткої множини $\tilde{A}$ має вигляд:

$$\mu_{\tilde{A}}(q) = \max\left\{\mu_{\tilde{A}'}(q) - \mu_{\tilde{A}^*}(q)\right\}.$$

Проведемо подальше дослідження процесу тестування. P – множина підказок і Q – множина питань, взаємозв'язок яких визначає нечітке відношення «повна підказка до питання»: $\tilde{S}_p = \left\{(p,q), \mu_{\tilde{A}'}(p,q)\right\}$, $\tilde{S}_p \subset S_p$. ОН, використовуючи підказки, формує підмножину $P' \subset P$ використаних підказок. Тоді підмножина P' і нечітке відношення $\tilde{S}_p$ індуцирують в Q умовну нечітку підмножину $\tilde{P} \subset Q$, що характеризує ступінь повноти всіх використаних ОН підказок при відповіді. При виборі способа представлення умовної нечіткої підмножини $\tilde{P}$ слід враховувати, що кожна наступна використана підказка збільшує повноту отриманної додаткової інформації по питанню. Таким чином, функцію приналежності нечіткої множини $\tilde{P}$ можна визначити, використовуючи операції граничного об'єднання:

$$\mu_{\tilde{P}}(q) = \min\left\{\sum_{p} \mu_{p'}(p) - \mu_{\tilde{S}_P}(p), 1\right\} \quad .$$

Близкість рішення суб'єктом навчання ТЗ до еталонного рішення характеризують вказані варіанти відповіді та використання підказки. Кожен варіант відповіді характеризується відповідним ступенем правильності, кожна використана підказка знижує характеристику правильності.

Q – множина питань. На Q задані нечіткі множини $\tilde{A} \subset Q$ і $\tilde{P} \subset Q$, що відображають правильність відповіді ОН і повноту використаних ним підказок. Оцінка рішення суб'єктом навчання ТЗ визначається різницею між оцінкою правильності вибраних варіантів відповіді і оцінкою повноти використаних підказок. Тоді успішність проходження ОН теста характеризує нечітку множину «еталонне рішення ТЗ»: $\tilde{Q} = \tilde{A} \setminus \tilde{P}\left(\tilde{Q} \subset Q\right)$, функція приналежності якої має вигляд

$$\mu_{\tilde{Q}}(q) = \max\left\{\mu_{\tilde{A}}(q) - \mu_{\tilde{P}}(q), 0\right\}.$$

Після закінчення тестування слід визначити інтегральну оцінку підготовки ОН – оцінити ступінь освоєння ним матеріалу кожної з тем, по яким проводився контроль.

Q – множина питань і T – множина тем, взаємозв'язок яких характеризує відношення $S_q \subset Q \times T$ – «питання теми». Тоді нечітка множина $\tilde{Q} \subset Q$ – «еталонне рішення ТЗ» і відношення S_q ініціюють умовну нечітку підмножину $\tilde{T}_Q \subset T$, що відображає ступінь засвоєння матеріала теми ОН. Умовну нечітку множину $\tilde{T}_Q$ визначимо з урахуванням традиційної практики оцінювання на основі average-представлення:

$$\mu_{\tilde{T}_Q}(t) = \frac{1}{K_Q(t)} \cdot \sum_q \mu_{\tilde{Q}}(q) \cdot \mu_{S_q}(q,t),$$

де $K_Q(t)$ – average-коефіцієнт оцінок, отриманих ОН при рішенні ТЗ по темі *t*.

Ступінь засвоєння ОН тем навчального курса будуть визначати тільки видані при контролі питання. Позначимо через Q' множину питань, виданих при тестуванні $(Q' \subset Q)$, тоді average-коефіцієнт можна визначити формулою

$$K_Q(t) = \sum_{q \in Q'} \mu_{S_q}(q\ ,t).$$

Умовна нечітка підмножина $\tilde{T}_Q \subset T$ не дозволяє відобразити ступінь засвоєння ОН матеріала надтем.

T – множина тем і $\tilde{T}_Q \subset T$ – нечітка підмножина. Відношення $S_t \subset T \times T$ формалізує відношення «підтема теми». Нечітка множина $\tilde{T}_Q$ і відношення S_t ініціюють в T умовну нечітку підмножину $\tilde{T}_T \subset T$, що відображає ступінь засвоєння ОН матеріалу надтем. Функція приналежності нечіткої підмножини $\tilde{T}_T$ визначається за допомогою average-представлення:

$\mu_{\tilde{T}_T}(t) = \frac{1}{K_T(t)} \cdot \sum_{t^*} \mu_{\tilde{T}_Q}(t^*) \cdot \mu_{S_t}(t^*, t)$, де $K_T(t)$ – average-коефіцієнт оцінок, отриманих ОН за підтемою теми *t*.

Позначимо через T' множину **тем**, по яким було проведено тестування $(T' \subset T)$. В цьому випадку average-коефіцієнт $K_T(t)$можна визначити так

$$K_T(t) = \sum_{t^* \in T'} \mu_{S_t}(t^*, t).$$

Таким чином, на множині тем *T* визначено нечітку підмножину $\tilde{T}_Q \subset T$, що відображає ступінь засвоєння ОН матеріала підтем, і нечітку підмножину $\tilde{T}_T \subset T$, що характеризує ступінь засвоєння надтем. Оцінити володіння суб'єктом навчання матеріалом будь-якої теми курсу дозволяє об'єднання виділених нечітких множин в нечітку множину «еталонне засвоєння теми»: $\tilde{T} = \tilde{T}_Q \cup \tilde{T}_T, \tilde{T} \subset T$.

Функція приналежності нечіткої множини $\tilde{T}$ має вигляд

$$\mu_{\tilde{T}}(t) = \max\left\{\mu_{\tilde{T}_Q}(t), \mu_{\tilde{T}_T}(t)\right\}.$$

Згідно з принципом узагальнення, склад і структура персональних знань формується в результаті побудови нечітких підмножин множини *E*, послідовно обумовлюючи один одного:

$$A' \approx \frac{av}{\tilde{S}_a \circ S_q^*}\tilde{A};\ P' \approx \frac{qr}{\tilde{S}_p}\tilde{P};\ \tilde{Q} = \tilde{A} \setminus \tilde{P};\ \tilde{Q} \approx \frac{av}{S_q \circ S_t}\tilde{T},$$

де av – позначення операції індуцирування в average-формі; qr – позначення операції індуцирування в формі граничного об'єднання.

Склад і структуру онтології персональних знань відображає нечіткий орієнтований граф

$$\tilde{G}' = \left(E', S', \mu_{\tilde{G}'}(e'), \mu_{\tilde{G}'}(s')\right).$$

Нечіткий орієнтований граф G' відображає представлення персональних знань в реляційній базі даних ІНС. Вершини графа G' відображають склад діагностованих предметних знань – підмножина $E' \subseteq E$; дуги графа G' відображають структуру діагностованих предметних знань – підвідношення $S' \subseteq S$. Вершини та дуги маркировані значеннями функції приналежності розглянутих вище нечітких множин і відношень.

Фактор-множина вершин графа E'/F_E, що є наслідком функціонального відношення еквівалентності, визначає таблиці бази нечітких даних, в яких зберігаються функції приналежності розглянутих нечітких множин і відношень. Фактор-множина зв'язків графа S'/W_S, що є наслідком структурного відношення еквівалентності, відображає зв'язки даних таблиць.

Метою побудови персональних знань є встановлення ступеня досягнення ОН цілей навчання і знаходження у відповідності зі встановленним ступенем досягнення цілей підмножини тем, що рекомендовані до вивчення. Позначимо через $T'' \subseteq T$ – множину тем, що пропонуються до вивчення. Задача полягає у визначенні склада множини T''.

Ступінь володіння ОН матеріалом курсу відображає нечітка множина $\tilde{T} \subseteq T$ – «еталонне засвоєння теми». На множині *T* також задані нечіткі множини $\tilde{N}$ і $\tilde{D}$, що характеризують відповідно необхідну і достатню цілі навчання. Тоді нечітка множина $\tilde{N} \setminus \tilde{T}$, задана на множині тем *T*, відображає ступінь досягнення ОН необхідної цілі навчання. Функція приналежності нечіткої множини має вигляд:

$$\mu_{\tilde{N}\setminus\tilde{T}}(t) = \max\left\{\mu_{\tilde{N}}(t) - \mu_{\tilde{T}}(t), 0\right\}.$$

В цьому випадку, носій даної нечіткої множини – підмножина $N \subseteq T'$, $N = \left\{t \middle| \mu_{\tilde{N}\setminus\tilde{T}}(t) > 0\right\}$, є множиною незарахованих тем. При наявності незарахованих тем ОН не допускається до подальшого вивчення курсу, тобто в цьому випадку $T'' = N$.

Ступінь досягнення ОН достатньої цілі навчання відображає нечітка множина $\tilde{D} \setminus \tilde{T}$, що задана на множині протестованних тем T', функція приналежності якої

$$\mu_{\tilde{D}\setminus\tilde{T}}(t) = \max\left\{\mu_{\tilde{D}}(t) - \mu_{\tilde{T}}(t), 0\right\}.$$

При цьому носій нечіткої множини $\tilde{D} \setminus \tilde{T}$ є множиною зарахованих тем $D = \left\{ t \middle| \mu_{\tilde{D} \setminus \tilde{T}}(t) > 0 \right\}$ $(D \subseteq T')$, що надаються для повторного вивчення. У випадку встановлення тем, по яким не досягнута достатня ціль навчання, ці теми разом з ще невивченими складають множину тем, які слід вивчити СН. Тоді $T'' = D \cup \overline{T}'$, де $\overline{T}' = T \setminus T'$ – множина не вивчених тем курсу.

Таким чином, у загальному випадку множина тем, які слід вивчити ОН для отримання цілісного образа знань з курсу, є підмножина $T'' \subset T$, така, що

$$T'' = \begin{cases} N, N \neq \varnothing \\ D \subset \overline{T}', N = \varnothing \end{cases}$$

Висновки. Таким чином, використання теорії нечіткого онтологічного моделювання при формуванні персональних знань дозволяє значно збільшити ступінь повноти і достовірності оцінки підготовки ОН завдяки враховуванню як різних факторів, що впливають на відповідь ОН, так і ступеня їхнього впливу.

Онтологічний підхід дозволяє сформувати достатньо повну і добре структуровану інформаційну базу для вирішення основних завдань щодо впровадження компетентнісного підходу в освітній процес:

- можливість оновлення навчальних планів у тісному зв'язку із виявленими конкретними вимогами ринку праці;
- можливість оновлення електронних навчальних курсів відповідно до вимог стейкхолдерів;
- можливість формування комплексу робочих графіків під один і той же навчальний план, з тим, щоб перейти до індивідуалізації процесів навчання з урахуванням індивідуальних інтересів і можливостей окремих ОН.

Важливим є також доступ ОН і викладачів до онтології як окремого курсу, так і курсів, що складають освітньо-професійну програму з відповідного напрямку, що дозволить ОН оцінювати свої позиції й перспективи (в освітньому процесі та на ринку праці); включатися в процес вдосконалення освітнього процесу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Kulinich A.A. The methodology of cognitive modeling of complex poorly defined situations. URL: http://www.raai.org/about/ persons/kulinich/.
2. Maksimov V.I., Kornoushenko E.K., Kachaev S.V. Cognitive technologies to support managerial decision making. URL: http://emag.iis.ru/arc/infosoc/emag.nsf/BPA/092aa276c601a997c32568c0003ab839.
3. Kostenko K.I. Simulation of inference operator for hierarchical knowledge representation formalisms // Programmnaja Ingenerija. 2016. № 9. vol. 7. P. 424 – 431.
4. Denisenko V.N., Krasina E.A. General theory of systems and linguistic systemology of professor G.P. Melnikov: Methodology and Method // Bulletin of RUDN University. Series Theory of Language. Semiotics. Semantics. 2014. No. 1, P. 15-21.
5. Tabular information models. URL: https://spravochnick.ru/informatika/ informacionnaya_model/tablichnye_informacionnye_modeli/.
6. Зайцева С.А, Иванов В.В. Современные информационные технологии в образовании. URL: http://sgpu2004.narod.ru/infotek/infotek2.htm (in Russian)
7. Ткаченко О.А., Ткаченко О.І. Деякі аспекти ситуаційно-семантичного моделювання складних об’єктів, процесів та систем //Водний транспорт. 2017. Вип.№ 1 (26). С.129-133.

8. Smirnov S.V. Ontological analysis of subject areas of modeling. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ontologicheskiy-analiz-predmetnyh-oblastey-modelirovaniya.
9. Bondarenko M., Matorin S., Solovieva E. Features of the theory and practice of solving complex problems based on ontology // Artificial Intelligence. 2000. No. 3, P. 25-33.
10. Беспалько В.П. Слагаемые педагогической технологии. Москва: Педагогика, 1989. 192 с.

REFERENCES

1. Kulinich A.A. The methodology of cognitive modeling of complex poorly defined situations. URL: http://www.raai.org/about/ persons/kulinich/.
2. Maksimov V.I., Kornoushenko E.K., Kachaev S.V. Cognitive technologies to support managerial decision making. URL: http://emag.iis.ru/arc/infosoc/emag.nsf/BPA/092aa276c601a997c32568c0003ab839.
3. Kostenko K.I. (2016). Simulation of inference operator for hierarchical knowledge representation formalisms // Programmnaja Ingenerija. № 9. vol. 7. P. 424 – 431.
4. Denisenko V.N., Krasina E.A. (2014). General theory of systems and linguistic systemology of professor G.P. Melnikov: Methodology and Method // Bulletin of RUDN University. Series Theory of Language. Semiotics. Semantics. No. 1, P. 15-21.
5. Tabular information models. URL: https://spravochnick.ru/informatika/ informacionnaya_model/tablichnye_informacionnye_modeli/.
6. Zaytseva S.A, Ivanov V.V. Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii v obrazovanii [Modern information technologies in education]. URL: http://sgpu2004.narod.ru/infotek/infotek2.htm (in Russian).
7. Tkachenko O.A., Tkachenko O.I. (2017). Deyaki aspekty sytuatsiyno-semantychnoho modelyuvannya skladnykh ob″yektiv, protsesiv ta system [Some aspects of situational-semantic modeling of complex objects, processes and systems] // Vodnyy transport [Water transport]. Vyp. № 1 (26). P.129-133. (in Ukranian).
8. Smirnov S.V. Ontological analysis of subject areas of modeling. URL: https://cyberleninka.ru/article/n/ontologicheskiy-analiz-predmetnyh-oblastey-modelirovaniya.
9. Bondarenko M., Matorin S., Solovieva E. (2000). Features of the theory and practice of solving complex problems based on ontology//Artificial Intelligence. No.3, P. 25-33.
10. Bespal'ko V.P. (1989). Slagayemyye pedagogicheskoy tekhnologii [Components of educational technology]. Moskva: Pedagogika. 192 p.

Ткаченко К.А.

НЕЧЕТКОЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗНАНИЙ В ИНФОРМАЦИОННЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМАХ

Рассмотрена проблематика повышения уровней знаний, умений и компетенций обучающихся (студентов, учеников, курсантов, слушателей курсов и т.п.) при использовании информационных систем дистанционного образования – информационных обучающих систем. Путем решения проблемы автором избрано моделирование экспертных знаний в информационных обучающих системах на основе онтологического подхода (анализа и соответствующей классификации). Проанализированные подходы выявили наличие проблемы в такой слабкоформализуемой предметной области, как учебные курсы, которые, переходя от преподавателей, читающих их «вживую», в электронные учебные курсы, теряют индивидуализацию процесса как предоставление учебного материала, так и соответствующего тестового контроля знаний, умений и компетенций, получаемых учащимися. Именно поэтому актуальным является онтологическое моделирование экспертных знаний в информационных обучающих системах. Такое моделирование позволяет перейти к индивидуализации процессов обучения, используя теорию нечеткого

онтологического моделирования и нечеткие множества: тем, индивидуальных версий курса, вопросов, ответов и подсказок.

Использование нечеткого онтологического моделирования при формировании персональных знаний способствует увеличению степени полноты и достоверности оценки подготовки обучающихся, благодаря учитыванию различных факторов, влияющих на ответы этих лиц.

Онтологический подход позволяет сформировать достаточно полную и структурированную информационную базу для обеспечения компетентностного подхода в образовании: обновление учебных планов в тесной связи с конкретными требованиями рынка труда; обновление электронных учебных курсов в соответствии с требованиями стейкхолдеров; формирование комплекса рабочих графиков к одному и тому же учебному плану. Все это будет способствовать переходу к индивидуализации образовательного процесса с учетом индивидуальных интересов и возможностей отдельных обучающихся.

Ключевые слова: *информационная обучающая система, электронный учебный курс, экспертные знания, моделирование, онтология, нечеткая онтологическая модель.*

Tkachenko K.A.

FUZZY ONTOLOGICAL MODELING OF KNOWLEDGE IN INFORMATION TRAINING SYSTEMS

The problems of increasing the levels of knowledge, skills and competencies of students (students, pupils, cadets, course students, etc.) when using information systems of distance education - information training systems are considered. By solving the problem, the author chose the modeling of expert knowledge in information training systems based on the ontological approach (analysis and appropriate classification). The analyzed approaches revealed the presence of a problem in such a poorly formalized subject area as training courses, which, when passing from teachers who read them live to electronic training courses, lose the individualization of the process, both the provision of training material and the corresponding test control of knowledge, skills and competencies received by students. That is why the ontological modeling of expert knowledge in informational training systems is relevant. Such modeling allows you to move on to individualizing learning processes using the theory of fuzzy ontological modeling and fuzzy sets: topics, individual versions of the course, questions, answers, and tips.

The use of fuzzy ontological modeling in the formation of personal knowledge contributes to an increase in the degree of completeness and reliability of the assessment of student training, by taking into account various factors affecting the responses of these individuals.

The ontological approach allows the formation of a sufficiently complete and structured information base to ensure a competency-based approach to education: updating curricula in close connection with the specific requirements of the labor market; updating electronic training courses in accordance with the requirements of stakeholders; the formation of a set of work schedules for the same curriculum. All this will facilitate the transition to the individualization of the educational process, taking into account the individual interests and capabilities of individual students.

Key words*: information educational system, electronic training course, expert knowledge, modeling, ontology, fuzzy ontological model.*

УДК 004.421.2, 004.4 doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.10

Ткаченко О.І., Ткаченко О.А., Ткаченко К.О.

КОНЦЕПТУАЛЬНІ АСПЕКТИ ПРИДБАННЯ, МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЗАСТОСУВАННЯ ЗНАНЬ

У статті проведено аналіз концептуальних підходів до процесів отримання, генерації нових знань з наявних даних і знань. Розглянуто та проведено дослідження шляхів когнітивних досліджень (наприклад, створення, набуття та отримання нових знань).

Проаналізовано застосування основних джерел знань (наприклад, інша система знань, інша фізична система для деякої системи знань, сама система знань), яка або має, або створює елементарні знання та інші структури знань.

Описана KDD (Knowledge Discovery in Databases) – сфера забезпечення автоматизованих рішень щодо аналізу даних та процесів генерації знань. Було визначено, що знання формуються лише всередині якоїсь системи знань (наприклад, інтелект користувача, інтелектуальна система знань).

Описано основні поняття систем знань та їх поєднання за допомогою відповідної комп'ютерної моделі.

Ключові слова: *знання, система знань, подання знань, моделювання систем знань, управління знаннями.*

Постановка проблеми. Для знань і систем знань важливим є вирішення проблем аналізу і створення нових знань, вирішення когнітивних проблем та проблем застосування знань для розв'язання практичних задач. Тому дослідження концептуальних аспектів придбання, моделювання та застосування знань є актуальною проблемою.

Анаіз останніх досліджень і публікацій. Є багато процесів, в яких користувачі отримують знання. Серед цих процесів в інженерії знань важливими є: пізнання, виробництво та створення знань, навчання, сприйняття, розпізнавання, розуміння (тлумачення), придбання та виявлення знань. Ці процеси досліджуються, зокрема в [1 – 7]. В [1 – 4] розглянуто, в основному, технологічні аспекти, а в [5 – 7] увага приділяється більше філософським чи теоретичним аспектам роботи зі знаннями. Підходам, що об'єднують технологічність та гносеологічність, і присвячена дана робота.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою роботи є дослідження процесів, що відбуваються у світі знань, який поєднує різні системи знань, їх представлень та носіїв. Цілями роботи є розгляд таких процесів, як пізнання, виробництво, здобуття, виявлення та обробка знань, управління знаннями та їх застосування. Ці процеси використовують різні способи подання (представлення) знань.

Для ефективного виробництва знань слід розробити багаторівневу модель виявлення знань, рівнями якої є: видобуток даних, пошук інформації та формування знань. Кожен із цих рівнів має декілька підрівнів. Наприклад, видобуток даних виконується на рівні вихідних даних, рівні інтерпретованих даних та рівні атрибутивних даних. Поділ видобутку даних, пошуку інформації та формування знань, а також їх підрівнів базується на загальній теорії інформації та системній теорії знань, що використовують математичні методи теорії множин, теорії категорій та загальної теорії властивостей.

Виклад основного матеріалу дослідження. Виробництво знань, навчання та набуття будемо розглядати як основні когнітивні процеси. Когнітивність притаманна інтелектуальним системам. Шляхами когнітивних досліджень, зокрема є: створення / виробництво нових знань; набуття знань / активне навчання, коли особа, що навчається (студент, курсант, учень,

курсант, пізнавач тощо), активно здійснює пошук наявних знань в якійсь предметній області; отримання знань або результатів навчання особами, що навчаються.

Створення/виробництво знань відбувається на таких рівнях: особистому, груповому та соціальному. Особистий, груповий та соціальний інтелект і творчі здібності, що застосовуються до особистих / групових / соціальних знань, породжують (створюють, виробляють) нові знання. Слід зауважити, створення знань – індивідуальна дія, а виробництво знань є процесом, який складається з окремих дій щодо утворення знань. Виробництво знань можна трактувати як різновид набуття (отримання, вилучення) знань із системи, яка виробляє ці знання. Створення/виробництво знань має такі форми:

- генерація нових знань;
- перетворення існуючих знань в нові відомості/знання;
- еволюція знань;
- реорганізація/реструктуризація існуючих знань з метою отримання нових знань.

Вказані форми залежать від правил, що використовуються при визначенні класу форми. Наприклад, якщо правила дедукції (такі як modus ponens) трактуються як інструкції щодо генерації, то дедукція – це генерація знань. А якщо правила дедукції трактуються як інструкції щодо трансформації, то дедукція – це трансформація знань.

Різниця між трансформацією знань та реструктуризацією знань є відносною. Якщо розглядати знання як єдине ціле, то реструктуризація знань є різновидом трансформації знань. Якщо вважати елементи знань окремими об’єктами, то трансформація знань змінює ці елементи, тоді як реструктуризація знань змінює лише відношення між цими елементами.

Можна виділити такі способи генерації знань [1]:

- передчуття, коли модель об'єкту (явища, процесу) змінюється, виробляючи нові знання з відношень між передбаченням і тим, що спостерігається;
- привласнення знань, існуючих в іншій системі;
- артикуляція (експлікація та реконструкція) відношень у системі знань.

Основні способи пізнання відповідають наступним джерелам знань:

- Особистий і соціальний інтелект та креативність, що застосовуються до особистих/соціальних знань.
- Матеріальна діяльність (спостереження, експерименти, запити на інформацію, пошук у книгах, базах даних (БД), Інтернеті тощо) є джерелом знань та досвіду. У свою чергу, досвід може дати нові знання тим, хто може вчитися на досвіді (як своєму, так і чужому). Форми матеріальної діяльності є різні, зокрема: спостереження; експериментування; практична діяльність; взаємодія; пошук; ігри (в тому числі й комп’ютерні) тощо.
- Носії знань (інші люди, книги, бази знань, ПК, Інтернет та соціальні мережі) можуть надавати знання самостійно.

Основними етапами засвоєння знань когнітивною (інтелектуальною) системою, зокрема, є:

- пошук та вибір інформації,
- вилучення, збір та накопичення інформації,
- перетворення інформації у знання.

Усі ці етапи базуються на знанні системи пізнання. Тому можна сказати, що знання породжують (збільшують) знання. У набутті знань основними джерелами є: з практики/досвіду; з міркувань/мислення та з авторитету/думки. Маємо таку класифікацію набуття знань:

- на практиці/досвіді означає, що когнітивний агент отримує знання з практичної діяльності;
- шляхом розмірковування (думки) означає, що знання набуваються на основі думки, яка вважається авторитетною (це може бути думка окремої людини чи соціальної групи, взята з якогось джерела);
- шляхом міркувань/мислення здійснюється в сенсі когнітивного агенту.

Пошук знань може здійснюватися згідно з одним із таких типів:

- внутрішній, коли система здійснює пошук у власних сховищах знань / інформації, таких як пам'ять, БД або база знань;
- зовнішній, коли система здійснює пошук у своєму середовищі;
- змішаний, коли система здійснює пошук скрізь.

Пошук та відбір відповідних знань – це когнітивні процеси, засновані на знаннях, які система вже має. Справді, необхідно знати, що шукати, де шукати та які інструменти підходять для пошуку. Наприклад, сприйняття, розпізнавання об'єктів залежить від використання знань, що зберігаються в системі, і потребує вибору відповідних правил виведення нових знань.

Існують такі основні типи знань при їх виробництві/створенні: виробництво знань шляхом логічного висновку, що включає дедукцію та індукцію; виробництво процедурних/навчальних знань, наприклад, шляхом експериментів або трансформації; інтуїтивне виробництво знань шляхом підсвідомого споглядання, вгадування тощо.

Основними типами отримання знань або активного навчання є [5, 6]:
- отримання знань за допомогою пошуку,
- збір знань шляхом відбору,
- збір знань шляхом експлікації чи вилучення.

Часто ці процеси йдуть один за одним, формуючи активний цикл навчання.

Основними компонентами когнітивної продуктивності є інтелект, наполегливість і креативність. Існують такі види інтелектуальної діяльності:
- *репродуктивна* – відбір і відтворення даних знань;
- *обмежена продуктивна* – пошук необхідних знань;
- *продуктивна* – створення/виробництво нових знань.

В деяких випадках вибір та/або відтворення знань можуть бути більш складними діями, ніж пошук чи створення нових знань. Щодо засобів досягнення результату слід вказати такі види інтелектуальної діяльності: репродуктивна інструментальна інтелектуальна діяльність; розширена інструментальна інтелектуальна діяльність; творча інтелектуальна діяльність.

Прикладом розширеної інструментальної інтелектуальної діяльності є використання логіки для побудови мов програмування та написання програм.

Класифікація інтелектуальної діяльності корисна тому, що:
- допомагає при вивченні пізнання та творчості з різних точок зору;
- дозволяє розробляти орієнтовану на людину когнітивну методологію та технологію;
- забезпечує теоретичну базу для розвитку когнітивних та творчих навичок.

Метакомпоненти контролюють функціонування штучного інтелекту, повідомляючи, що він повинен робити. Ці компоненти важливі при вирішенні проблем та прийнятті рішень.

Компоненти продуктивності – це процеси, які фактично виконують дії, що диктують метакомпоненти, дозволяючи користувачам сприймати проблеми та відношення між об'єктами предметної області, перетворюючи зображення та застосовуючи відношення до іншого набору термінів. *Компоненти набуття знань* використовуються для отримання нової інформації, вибору корисної інформації з нерелевантної інформації та побудови нових знань, поєднуючи різні частини інформації.

Введемо наступні тлумачення понять. *Адаптація* – процес внесення змін в об'єкт предметної області для кращого пристосування до навколишнього середовища. *Формування* – процес внесення змін у навколишнє середовище, щоб краще відповідати потребам користувача (системи, замовника тощо). *Розміщення* включає переосмислення поточної ситуації, зміну когнітивної моделі та схем поведінки, що використовуються. *Акомодація* – внутрішнє формування ситуації в інтелектуальній системі, в розумі людини тощо. *Асиміляція* – процес пристосування до поточної ситуації без зміни її інтерпретації, наприклад, шляхом зміни схем поведінки. *Відбір* – процес зміни місця розташування об'єкту на те, яке краще відповідає цілям цього об'єкту предметної області.

Існують такі основні джерела знань для деякої системи знань E, яка має/створює елементарні знання та інші структури знань:

- інша система знань R (наприклад, книга, БД, експерт).
- інша фізична система R (наприклад, молекула, атом, зірка, пристрій).
- сама система знань E (наприклад, коли E витягує/згадує власні знання чи виробляє нові знання).

Джерела знань можна поділити на: *активні* (ці джерела самі надсилають інформацію, і користувач лише приймає/не приймає те, що надіслано); *реактивні* (ці джерела надсилають інформацію у відповідь на запит); *пасивні* (ці джерела не надсилають інформацію, і тому користувач повинен «витягувати» інформацію з пасивних джерел).

Вилучення знань із джерела можна робити шляхом: взаємодії, коли вплив на джерело знань враховується чи ні; запиту до джерела, яке відповідає наданням відповіді на цей запит.

Важливими процесами, що відбуваються в системах знань різних предметних областей, є переклад знань та інтеграція перекладу знань [1, 2, 7].

Переклад знань – це передача знань з однієї предметної області в іншу та їх адаптація до нової предметної області. *Інтеграція знань* з різних предметних областей – це їх передача у спільну область та взаємна адаптація.

Наукове пізнання при дослідженні проблеми і відповідного отримання знань до системи, що відповідає цій проблемі, використовує такі процеси, як: теоретичні міркування; спостереження та експеримент; інтуїтивне розуміння. Як правило, ці процеси є окремими, але залежать і підтримують один одного, розширюючись у паралельному режимі з кількома циклами та ітераціями.

Логічний висновок як засіб отримання нових знань є формалізованим способом відображення теоретичного міркування. Основні методи міркування застосовуються до декларативних знань і знань у формі виразів/формул із використовуванням наукової/логічної мови. Для отримання властивостей операційних та репрезентативних знань використовуються дедукція і індукція.

Дедукція – це тип логічного висновку про знання, що здійснюється шляхом застосування конкретних правил дедукції: $A \rightarrow B$ або $A * B$, де A називається *припущенням правила*, B – *висновком правила*, і кожне з них є кінцевою кількістю виразів або формул. Наприклад, взявши вираз «*X в Y*», можна побудувати правило дедукції:

“*U знаходиться в V*”, “*V знаходиться в W*” $*$ “*U знаходиться в W*”.

Застосовуючи це правило до тверджень «Ми живемо в Україні» та «Україна розташована в Європі» як *A*, можна вивести твердження «Ми живемо в Європі» як *B*. Цей висновок гарантує істинність висновку з урахуванням істинності припущень. У загальному випадку для отримання необхідного висновку слід застосовувати правила дедукції кілька разів.

Найчастіше уживаним правилом дедукції є modus ponens, що має вигляд:

$\phi, \phi \rightarrow \psi * \psi,$ де ϕ і ψ – твердження чи пропозиції. Це правило має таке значення: *Якщо ϕ є істинним, а ϕ означає ψ, то ψ є істинним*.

Дедукція використовується не стільки для виробництва знань, скільки для їх обґрунтування. Дедукцію формалізують рекурсивні алгоритми та більшість логічних систем.

Індукція є формою логічного висновку, що дозволяє зробити висновок із загального твердження з окремих випадків, які забезпечують докази цього загального твердження (висновку). Якщо докази не є повними, висновок може бути неправильним.

Аналіз обчислювальних процесів дозволяє виявити окремий вид індукції – конструктивну математичну індукцію, яка називається *рекурсією*. Неформальна рекурсія – методика, що, враховуючи значення *f(n)* деякої функції, визначеної для натуральних чисел, дозволяє обчислювати значення *f(n + 1)*. Цей прийом дозволяє обчислити всі значення функції *f*. При конструктивній математичній індукції опис загального кроку обчислень передбачає можливість виконувати обчислення для безкінечної кількості входів. *Індуктивне міркування* – це обчислення функції істини.

Можна виділити такі типи індукції при виробництві знань: індукцію спостереження (емпіричну індукцію), абстрактну індукцію. Індукція спостереження – це висновок, зроблений

для великої колекції об’єктів, наприклад, подій, систем, процесів, на основі спостереження (експериментів) з деякою невеликою частиною цієї колекції. *Абстрактна індукція* – висновок, зроблений для великої (часто безкінечної) колекції об’єктів на основі міркувань про якусь кінцеву невелику частину цієї колекції.

Статистичний висновок (один з видів імперативної індукції) дозволяє отримати властивості великого набору об’єктів статистичної сукупності, використовуючи дані про ці властивості, отримані з деяких невеликих підмножин всієї сукупності. Ці підмножини називаються зразками і відбираються відповідно до визначених правил. Дійсність статистичного висновку залежить від відповідності статистичної моделі, що використовується до проблеми для отримання висновку. Статистична модель складається з [2]:

- набору припущень, що стосуються всієї сукупності;
- правила відбору зразків;
- правила оцінки властивостей обраних зразків та для висновку з отриманих даних.

Використовуються такі типи припущень щодо моделювання:

- *повністю параметричні* (розподіли ймовірностей, які описують сукупність та процес, повністю описуються множиною/сімейством розподілів ймовірностей, що включає лише невелику кількість невідомих параметрів.
- *непараметричні* (припущення щодо сукупності та процесу формування статистичних даних мінімальні);
- *напівпараметричні* (припущення не є повними, як у повністю параметричних, але й не такі малі, як у непараметричних).

Існують логічні системи, які формалізуючи індукцію та індуктивне міркування, розробляють логічні уявлення лише для якоїсь математичної індукції, що є процедурою переводу в логічне числення.

Емпірична індукція моделюється та досліджується в теорії абстрактних моделей (автоматів, графів, мереж, тощо), алгоритмів та обчислень. Математичне моделювання емпіричної індукції може здійснюватися в одному з напрямків: теорії Соломоно про універсальний індуктивний висновок; індуктивний висновок, заснований на вивченні в межі; індуктивний висновок, заснований на індуктивних машинах Тьюрінга. Підхід Соломоно трактує здобуття знань як здобуття здатності передбачати символ у послідовності на основі знання попередніх символів із цієї послідовності. Основне припущення в цій теорії полягає в тому, що символи в послідовності слідують деякому обчислюваному розподілу ймовірностей.

Мета індуктивного висновку – розпізнати функцію з урахуванням деяких її значень. Процес індуктивного висновку виконується абстрактним автоматом – індуктивною машиною Тьюрінга, що стало кроком у розвитку інформатики, забезпечуючи більш адекватні та ефективні моделі для сучасних комп’ютерів (ПК) і комп’ютерних мереж та становлення класу суперрекурсивних алгоритмів.

Інтуїтивне знання – це сприйняття певної згоди/незгоди двох безпосередньо зіставлених ідей, тобто інтуїція обмежується знанням ідей. *Інтуїція* – це пропозиційне ставлення, яке або здається істинним, або воно представляється суб'єкту як істинне, або спонукає суб'єкта повірити в те, що представлені в ньому пропозиції є істинними.

Поняття – це уявлення, які є загальними та опосередкованими, тоді як інтуїція є окремими, безпосередніми уявленнями. *Досвід* – це поєднання інтуїції з поняттям у формі судження. Таким чином, для людини інтуїція відіграє принципово важливу роль у створенні знань. *Інтуїція* відображає аспекти реальності, а не лише враження від цих аспектів. Можна виділити, зокрема, такі типи інтуїтивного виробництва знань: аналогія; розширення або узагальнення. У цьому контексті розширення є формою логічного висновку від менш загального до більш загального. При виробництві знань використовується інформація, що належить до одного з таких типів:

- звичайна інформація, яка діє на центр міркувань (ця інформація дає знання, змінює переконання та генерує ідеї, таким чином, її можна називати когнітивною інформацією);
- емоційна інформація (її ще називають ефективною інформацією);

− регулятивна (або пряма ефективна інформація).

Когнітивна інформація змінює вміст системи знань (тезаурус) та її носія. Пряма дієва інформація є загальнішою, ніж пряма емоційна інформація. Існують різні підходи до формалізації інтуїтивного виробництва знань:

− *Ймовірнісний підхід*, який поєднує класичну логіку та теорію ймовірностей (ймовірнісні логіки, логіки ймовірностей). В ймовірнісних логіках значення істини не обмежуються лише двома значеннями (істинне та хибне) як у традиційних логіках, а є ймовірністю бути справжнім виразом. У порівнянні зі звичайними логіками, ймовірнісні логіки забезпечують формалізми з широким спектром можливих сфер застосування. Однак ймовірнісні логіки мають й недоліки: висока обчислювальна складність обробки ймовірнісних та логічних компонентів; наявність можливості контр-інтуїтивних результатів.

− *Підхід, що базується на нечітких логіках та лінгвістичних змінних*.

Одним з напрямків застосування ПК для отримання знань є їх виявлення у БД за допомогою KDD (Knowledge Discovery in Databases) [8]. KDD – це процес пошуку корисних знань в так званих "сирих" даних. Знання отримуються шляхом пошуку інформації, який базується на зборі даних, видобутку та аналізі. Обсяг даних, що є в БД, сьогодні значно перевищує нашу здатність аналізувати дані без використання методів автоматизованого аналізу. KDD спрямований на підвищення ефективності обробки інформації.

KDD – це сфера, яка забезпечує автоматизовані рішення з аналізу даних та визначення процесів, в яких знання є кінцевим продуктом, а дані є вихідним джерелом. Етапом у цьому процесі є видобуток даних, який полягає у застосуванні конкретних алгоритмів для вилучення даних. Для роботи з БД були розроблені різні методи видобутку даних. Однак аналіз даних, хоча і дає більш узагальнені та/або адекватні дані, але не дає знань як таких. Наприклад, пошук даних в Інтернеті надає користувачеві великі обсяги даних, але користувач має сам перетворити ці дані у знання. Знання формуються лише всередині якоїсь системи знань. Це може бути розум користувача або автоматизована система знань на ПК.

KDD надає можливість виявляти нову та значущу інформацію за допомогою наявних даних. Обсяг даних, що потребує обробки у великій БД, перевищує можливості людини, а труднощі перетворення вихідних даних у знання перевищують межі традиційних БД. Повне використання збережених даних залежить від методів виявлення знань. KDD є інтерактивним та ітеративним, включаючи ітерації та цикли, що вимагають від користувача багатьох рішень. Основними етапами процесу KDD є:

− *розуміння* області застосування, пошук відповідних попередніх знань та визначення цілей процесу KDD з точки зору замовника;

− *формування цільової сутності* в БД вибір набору даних чи зосередження уваги на підмножині змінних/зразках даних, на яких необхідно виконати виявлення знань);

− *очищення та попередня обробка даних*, включаючи видалення шуму, збір необхідної інформації для моделювання чи обліку шуму, прийняття рішення щодо стратегій обробки відсутніх даних та/або полів даних;

− *скорочення даних і змінних* для пошуку функцій та інваріантних подань обраних даних залежно від мети/завдання;

− *узгодження цілей* KDD з методом видобутку даних (узагальнення, класифікація, регресія, кластеризація тощо);

− *аналіз з вибором моделі*, вибором алгоритмів отримання даних і методів пошуку шаблону даних;

− *отримання* (видобуток) *даних*, який здійснює пошук моделей, що цікавлять у певній формі репрезентації або наборі таких подань, включаючи правила класифікації, дерева, регресію, кластеризацію тощо;

− *інтерпретація видобутих шаблонів*, візуалізація шаблонів, моделей та/або даних, отримання знань і повернення до будь-якого з попередніх етапів для подальшої ітерації;

− *дія на виявлені знання* шляхом використання знань, включення знань в іншу систему для подальших дій або відповідного документування. Цей процес включає перевірку та

вирішення конфліктів з наявними або витягнутими (отриманими) знаннями.

Існує багато методів, класифікованих як методи KDD і використовуваних для пошуку інформації та виявлення знань, зокрема, це кількісні методи (ймовірнісний та статистичний) та схеми KDD, які використовують методи візуалізації, класифікаційні підходи до KDD (такі як байєсівська класифікація, індуктивна логіка, очищення даних / виявлення закономірностей та аналіз дерева рішень), інші підходи, що включають відхилення та аналіз тенденцій, генетичні алгоритми, нейронні мережі та гібридні методології.

Іншими популярними методами виявлення та набуття знань на основі ПК є розпізнавання образів (зразків), комп'ютерне моделювання (КМ), алгоритми навчання та технологія експертних систем. КМ є важливою частиною експериментів у багатьох сферах, наприклад, фізика високих енергій, в якій КМ знижує вартість експериментів та зберігає середовище від негативного впливу деяких фізичних експериментів. Дослідження основ когнітивних процесів використовують математичне моделювання, КМ та поведінкові експерименти.

Сучасна інженерія знань приділяє велику увагу розробці, наприклад, інтелектуальних систем доведення теорем, дедукції та загальних міркувань. Автоматизоване доведення теорем використовується, наприклад, для перевірки правильності програмного забезпечення (ПЗ) та відповідного апаратного забезпечення.

Планування процесів знань та оцінка результатів включає побудову та вдосконалення систем знань, ефективне вбудовування систем знань у робочі системи. Управління знаннями висуває вимоги до стратегічного розуміння, здатності вирішувати проблеми людини, яка бере участь у цій діяльності [9].

Щоб бути ефективним, КМ процесів отримання нових знань повинно грунтуватися на: *визначенні та ідентифікації* потреб у тих чи інших знаннях; *виявленні та пошуку* початкових (вихідних) знань/інформації; *перетворенні* даних у знання; *створенні/виробництві* знань (генерації/конструюванні загальних нових знань або реконструкції локально нових знань); *отриманні знань* (отриманні інформації, надісланої іншою системою, та перетворенні її у знання); *набутті знань*, яке має різні форми (прийняття створених, отриманих або знайдених знань в систему); *фіксації* наявних неявних знань і перетворення їх у явні знання за допомогою спідкування інженерів знань з експертами, які мають ці неявні знання; *привласненні та представленні* знань (отриманні знань, придатних для визначених людей, завдань, організацій, шляхом трансформації знань, подання знань і носіїв знань); *кодифікації* знань (зміні представлення знань, спрямованій на розміщення знань у структурованому сховищі за допомогою моделей знань); *зберіганні* знань (накопиченні знань у фізичному сховищі (БД, базі знань, бібліотеці чи архівах)); *інтеграції* знань, яка має декілька форм (інтеграція однієї системи знань в іншу, перетворення декількох систем знань в одну, інтеграція системи знань у деяку сферу діяльності тощо); *оцінці* знань активів (пошуку важливих властивостей, параметрів, характеристик та атрибутів знань в тій чи іншій предметній області); *обміні* та *розповсюдженні* знань; *приховуванні* знань (захисті знань від несанкціонованого доступу); *перекладі* знань (передачі знань від одного до іншого); *підтримці* знань, що складається з дій, спрямованих на модифікацію, оновлення та корекцію знань таким чином, щоб підтримувати їх в експлуатації та прийнятними для своїх користувачів, збільшуючи їх корисність); *застосуванні*, *впровадженні* та *використанні* знань; моніторингу знань (в тому числі контролю та оцінки використання знань); *обміні* знаннями з іншими користувачами; *перегляді* знань (оцінці ситуації та зміні знань, коли це обґрунтовано чи необхідно); *вилученні* знань.

Кожен із видів діяльності в процесі управління знаннями передбачає: визначення цілей; визначення рішень; організацію та реалізацію діяльності; оцінку результату. Всі ці заходи тривають одночасно, формуючи різні цикли. Наприклад, пошук знань може бути повторений кілька разів, перш ніж буде отриманий результат, або цикл створення знань – привласнення знань – зберігання знань проводиться багато разів протягом усього КМ. Важливою складовою

управління знаннями є організаційний цикл знань, який передбачає: набуття знань; поширення знань; використання знань.

Деякі з цих видів діяльності, наприклад, кодифікація знань або зберігання знань, включають лише явні знання, тоді як інші, наприклад, створення знань або привласнення знань, включають як явні, так і неявні знання. Набуття знань включає вилучення, збір, аналіз, моделювання та перевірку знань.

Всі дослідження та застосування системи управління знаннями концентрують свою увагу на знаходженні, створенні, придбанні та зберіганні знань [9]. Але захист знань за допомогою приховування знань ще й досі використовується не в повній мірі. На відміну від обміну знаннями, приховування – це навмисне приховування запитаних шуканих іншим користувачем знань. Існують такі способи приховування знань: ухильне приховування, раціоналізоване приховування та «гра в німого» [10, 11].

Ще однім процесом який досліджується недостатньо, є вивільнення знань. Забувати – це важливий принцип ефективного управління знаннями. Забуття, тобто усунення або видалення знань, важливе коли:

- в базі знань необхідно звільнити місце для нових знань (тут необхідно правильно вибрати те, що можна видалити);
- нові знання суперечать збереженим знанням;
- збереження старих знань може знизити ефективність системи;
- деякі знання можуть зашкодити системі, їх усунення є життєво важливим.

Підтримка знань в основному розробляється для оперативних знань у вигляді комп'ютерного та мережевого ПЗ. Багато компаній ІТ-сфери пропонують оновлення для вирішення різних проблем зі своїм ПЗ [11]. У той же час слід підтримувати описові та репрезентативні знання. Наприклад, важливо постійно оновлювати інформацію в БД та базах знань, бо застаріла інформація може бути дуже шкідливою. Такі процеси постійно відбуваються в системах веб-пошуку, що постійно оновлюють збережені дані пошуку.

Висновки. У статті було визначено, що управління знаннями відбувається в системі, яка має такі основні компоненти: користувачі, технології та процеси. Процеси визначають ролі та знання, необхідні користувачам/системам, тоді як технології забезпечують підтримку людей. Процеси визначають потреби в технології, а технологія робить можливими нові види процесів.

Слід зауважити, що управління знаннями є дуже популярною сферою досліджень. Крім того, важливо розуміти, що знання самі по собі не вирішують проблем користувачів. Навіть маючи найкращі знання, користувачі/системи часто не роблять або не можуть робити те, що необхідно для досягнення поставлених цілей.

Таким чином, надзвичайно важливо не тільки, як організовані процеси придбання нових знань, моделювання знань у відповідних системах знань, але дуже важлими є процеси застосування/використання знань.

Проведений аналіз концептуальних аспектів отримання, моделювання та використання знань сприятиме формуванню цілісного підходу до процесів інженерії знань.

ЛІТЕРАТУРА

1. Valiant J. Strategic knowledge engineering. [Electronic resourse]. – URL: http://cranedge.wordpress.com/2010/11/15/strategic-knowledge-engineering/
2. Гаврилова Т.А., Кудрявцев Д.В., Муромцев Д.И. Инженерия знаний. Модели и методы. М.: Изд-во Лань, 2016. 324 с.
3. Головко В.А., Краснопрошин В.В. Нейросетевые технологии обработки данных. Мінськ: БГУ, 2017. 263 с.
4. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный поход. М.: Изд. дом «Вильямс», 2006. 1408 с.
5. Bellinger G., Castro D., Mills A. Data, Information, Knowledge, and Wisdom. [Electronic resourse]. – URL: http://www.outsights.com/systems/dikw/dikw.htm.

6. Bengson J. Moett M.A. Two conceptions of mind and action: Knowing how and the philosophical theory of intelligence. Knowing How: Essays on Knowledge, Mind and Action. Oxford: Oxford University Press, 2012. pp. 3-58.
7. Душкин Р.В. Методы получения, представления и обработки знаний с НЕ-факторами. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: file:///C:/Users/Olga/Downloads/Методы%20получения,%20представления%20и%20обработки%20знаний%20с%20НЕ-факторами%20(Душкин%20Р.).pdf
8. Knowledge Discovery in Databases — обнаружение знаний в базах данных. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://basegroup.ru/community/articles/kdd
9. Управление знаниями. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://sites.google.com/site/upravlenieznaniami/inzeneria-znanij
10. Модели и методы представления и организации знаний. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://it-claim.ru/Library/Books/Semantics_IT/gl1_1/glava1_1.htm
11. Edwards, J. S.) A process view of knowledge management: It ain't what you do, it's the way you it //Electronic Journal of Knowledge Management. 2011. V. 9. No. 4. pp. 297-306.

Tkachenko O.I, Tkachenko O.A, Tkachenko K.O.

CONCEPTUAL ASPECTS OF ACQUISITION, MODELING AND APPLICATION OF KNOWLEDGE

The article analyzes the conceptual approaches to the processes of obtaining, generating new knowledge from existing data and knowledge. The researches of ways of cognitive researches (for example, creation, acquisition and acquisition of new knowledge) are considered and carried out.

The application of the main sources of knowledge (for example, another system of knowledge, another physical system for some system of knowledge, the system of knowledge itself), which either has or creates elementary knowledge and other knowledge structures, is analyzed.

KDD (Knowledge Discovery in Databases) is described – the field of providing automated solutions for data analysis and knowledge generation processes. It was determined that knowledge is formed only within a system of knowledge (eg, user intelligence, intelligent knowledge system).

The basic concepts of knowledge systems and their combination using the appropriate computer model are described.

Keywords: *knowledge, knowledge system, knowledge representation, modeling of knowledge systems, knowledge management.*

Ткаченко О.И., Ткаченко А.А., Ткаченко К.А.

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ПРИОБРЕТЕНИЯ, МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ЗНАНИЙ

В статье проведен анализ концептуальных подходов к процессам получения, генерации новых знаний из имеющихся данных и знаний. Рассмотрено и проведено исследование путей когнитивных исследований (например, создания, приобретения и получения новых знаний).

Проанализировано применение основных источников знаний (например, другая система знаний, другая физическая система для некоторой системы знаний, сама система знаний), которая либо имеет, либо создает элементарные знания и другие структуры знаний.

Описана KDD (Knowledge Discovery in Databases) – сфера обеспечения автоматизированных решений по анализу данных и процессам генерации знаний. Было определено, что знания формируются только внутри какой-то системы знаний (например, интеллект пользователя, интеллектуальная система знаний).

Описаны основные понятия систем знаний и их сочетания с помощью соответствующей компьютерной модели.

Ключевые слова*: знания, система знаний, представление знаний, моделирование систем знаний, управления знаниями.*

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 51:378.147 doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.11

Проценко В.О., Бабій М.В., Настасенко В.О., Білоконь А.О.

НАПРЯМКИ ТА РЕЗЕРВИ ПІДВИЩЕННЯ ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ РУЛЬОВИХ МАШИН ПЛУНЖЕРНОГО ТИПУ З ТАНГЕНСНИМ МЕХАНІЗМОМ

Стаття стосується найбільш поширеного типу суднових гідравлічних рульових машин (ГРМ) плунжерного типу, оснащених тангенсним важільним механізмом. Показано, що джерелом недоліків рульових машин плунжерного типу є недосконаліть важільної системи, серед них зокрема її низький ККД, висока навантаженість деталей, та наявність значної кількості надлишкових зв'язків. Метою роботи є встановлення основних напрямків та оцінка резервів підвищення технічного рівня механізму ГРМ плунжерного типу. Задачі роботи полягають у наступному: визначити основні критерії технічного рівня механізму ГРМ плунжерного типу, що враховують досконаліть структури, енергетичну ефективність його роботи, а також навантаженість деталей; виконати оцінку цих критеріїв для поширених конструкцій ГРМ плунжерного типу; намітити напрямки підвищення технічного рівня механізму ГРМ плунжерного типу та оцінити резерви їх застосування. Для розвантаження плунжерів та ущільнень гідроциліндрів від поперечних сил застосовують напрямні, які сполучаються з плунжерами нижчими кінематичними парами. Це забезпечує наявність в механізмі ГРМ q = 20 надлишкових зв'язків, що унеможливлюють самовстановлення ланок механізму. Резервом для зменшення кількості надлишкових зв'язків є відмова від напрямних та підвищення класу кінематичних пар механізму ГРМ. В результаті досліджень на прикладі машини прототипа YOOWON-MITSUBISHI YDFT-335-2 показано, що в ній забезпечується виникнення значних поперечних сил, що передаються від румпеля на плунжери та напрямні та сягають близько 53% від колових зусиль на румпелі. Для розвантаження плунжерів та ущільнень гідроциліндрів від поперечних сил застосовують напрямні, які здатні сприйняти лише 5...7% поперечного навантаження. Втрати на тертя плунжерів в ущільненнях серед усіх втрат на тертя в механізмі ГРМ складають 39%. Показано, що підвищення технічного рівня ГРМ, зокрема структурної досконалості, енергоощадності та зниження навантаженості деталей ГРМ має своїм ключем заміну тангенсного важільного механізму, що перетворює поступальний рух плунжерів в обертальних рух румпеля, на інший.

Ключові слова: *рульова машина плунжерного типу, плунжер, напрямна, румпель, момент, поперечна сила, розподіл навантаження, деформація, коефіцієнт корисної дії, структура.*

Вступ. Гідравлічні рульові машини є одними з найбільш важливих і вартісних елементів сучасних суден, від технічного рівня ГРМ залежать витрати на їх побудову та експлуатацію. Безвідмовність ГРМ забезпечує стабільну керованість судна та безпеку мореплавства, оскільки аварії суден, причинами яких стали безпосередньо відмови ГРМ не рідкість в морській практиці.

Приводи силових насосів ГРМ є джерелом значного навантаження суднової електростанції, а відтак і збільшення собівартості перевезень. ГРМ з плунжерним приводом поширені на крупних магістральних суднах завдяки своїм перевагам, але для них властиві і недоліки, зокрема низький механічний коефіцієнт корисної дії [1], значна вага через високу навантаженість деталей, а відтак висока вартість.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. Відомі дослідження плунжерних ГРМ обмежені, в основному, проблемами удосконалення керування [2], досліджень автоколивних процесів [3], удосконалення гідросистеми [4], елементів приводів силових насосів [5]. Інші недоліки ГРМ, серед яких недосконаліть важільної системи, зокрема її низький ККД та висока навантаженість деталей, залишаються, за деякими виключенням [6], поза увагою дослідників. Викладені факти формують умови для виконання нових досліджень у даній галузі.

Постановка мети та задач дослідження. Метою роботи є встановлення основних напрямків та оцінка резервів підвищення технічного рівня механізму ГРМ плунжерного типу.

Задачі, що необхідно розв’язати для досягнення поставленої мети:

- визначити основні критерії технічного рівня механізму ГРМ плунжерного типу, що враховують досконаліть структури, енергетичну ефективність його роботи, а також навантаженість деталей;
- виконати оцінку цих критеріїв для поширених конструкцій ГРМ плунжерного типу;
- намітити напрямки підвищення технічного рівня механізму ГРМ плунжерного типу та оцінити резерви їх застосування.

Виклад основного матеріалу дослідження. Приступаючи до розв’язання поставлених задач слід зазначити, що значна частина відмов елементів машин багатьох класів пов’язана з наявністю у їх механізмах надлишкових зв’язків [7-11]. Не виключенням є і важільні механізми рульових машин. Тому першим із критеріїв технічного рівня механізму ГРМ вважатимемо кількість надлишкових зв’язків q, що ілюструє його структурну досконаліть. Цей критерій характеризує здатність ланок механізму до самовстановлення та рівномірність розподілу навантаження між ними. Вищий технічний рівень матиме механізм з найменшою кількістю надлишкових зв’язків.

Наступним критерієм вважатимемо коефіцієнт навантаження плунжерів коловою силою K_{tp}, що являє собою питоме поперечне навантаження, що передається на плунжери з боку румпеля, оскільки від його величини залежить довговічність циліндрових втулок, ущільнень та величина витоків мастила через них:

$$K_{pt} = \frac{F_p}{F_t}, \tag{1}$$

де F_p – бічна (поперечна) сила, що сприймається плунжером;

F_t – колова сила на румпелі.

$$F_t = \frac{M_t}{2H}\cos\alpha, \tag{2}$$

де α – кут повороту румпеля;

M_t – момент на румпелі (з урахуванням гідродинамічного опору повороту стерна та втрат в опорах балера).

Що нижчим є коефіцієнт K_{pt}, то менше зношуватимуться ущільнення та циліндрові втулки і відповідно вищий технічний рівень матиме ГРМ.

Критерієм, що характеризує енергетичну ефективність механізму ГРМ є механічний коефіцієнт його корисної дії, що є являє собою відношення корисної та витраченої роботи на поворот румпеля

$$\eta_m = \frac{A_u}{A_u + A_f}., \tag{3}$$

де A_u – робота сил корисного опору повороту плунжера;

A_f – робота сил шкідливого опору повороту плунжера (втрат на тертя в механізмі ГРМ).

Проаналізуємо структуру важільного механізму ГРМ з метою встановлення наявності та розташування надлишкових зв'язків на прикладі двоплунжерної машини YOOWON-MITSUBISHI YDFT-335-2 фірми Mitsubishi Heavy Industries (ГРМ-прототип). Для спрощення розрахунків розглядатимемо половину механізму, що пов'язана лише з одним із плунжерів (рис. 1). В такому варіанті механізм містить чотири рухомі ланки (n = 4) – плунжер із опорою, що ковзає по напрямній, румпель і два повзуни. Кількість кінематичних пар п□ятого класу тут становить P_5 = 3 (O_5, C_5, I_5), кількість кінематичних пар четвертого класу P_4 = 3 (A_4, D_4, E_4), кількість кінематичних пар третього класу P_3 = 2 (B_3, M_3), другого та першого класів $P_2 = P_1 = 0$.

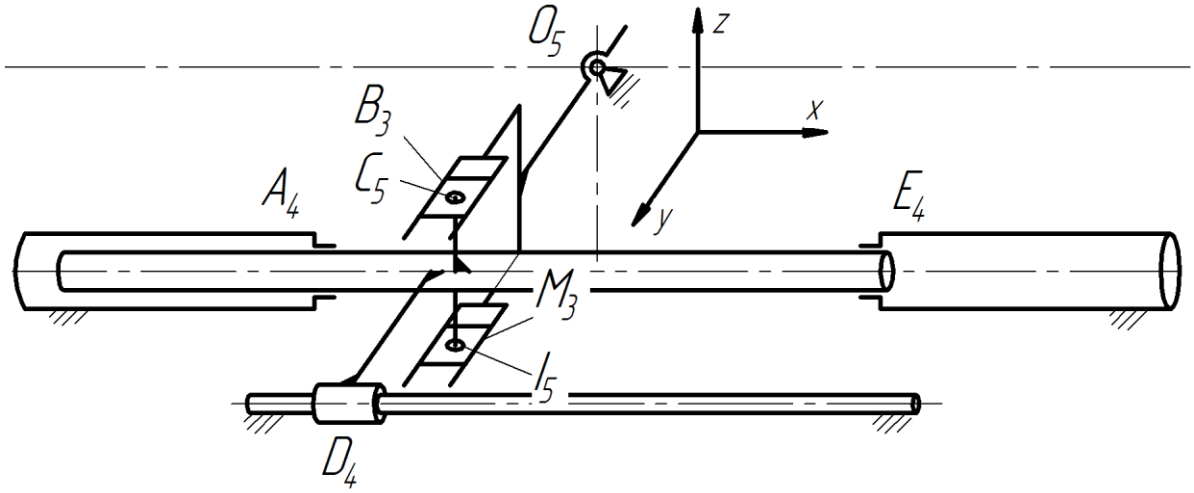

Рисунок 1 – Структурна схема механізму рульової машини плунжерного типу

Тоді загальна кількість кінематичних пар

$$P = P_5 + P_4 + P_3 + P_2 + P_1 = 3 + 3 + 2 + 0 + 0 = 8. \tag{4}$$

Сума рухомостей кінематичних пар

$$f = 1P_5 + 2P_4 + 3P_3 + 4P_2 + 5P_1 = \\ = 1\times3 + 2\times3 + 3\times2 + 4\times0 + 5\times0 = 15. \tag{5}$$

Кількість незалежних замкнених контурів механізму за формулою Гохмана [12, 13]

$$k = P - n = 8 - 4 = 4. \tag{6}$$

Перший незалежний контур механізму – $O_5B_3C_5A_4O_5$, другий контур – $O_5M_3I_5E_4O_5$, третій контур – $O_5B_3C_5D_4O_5$, четвертий контур – $C_5B_3M_3I_5C_5$.

Ступінь рухомості механізму за формулою Войня і Атанасіу [14]

$$W = N - \sum r_i = 15 - (4 + 4 + 3 + 3) = 1, \tag{7}$$

де N = 15 – кількість однорухомих кінематичних пар, що дорівнює сумі рухомостей;

$r_1 = r_2 = 4$, $r_3 = r_4 = 3$ – ранг осей незалежних контурів.

Кількість надлишкових зв'язків механізму за формулою Сомова-Малишева

$$q_{CM} = W + 5P_5 + 4P_4 + 3P_3 + 2P_2 + P_1 - 6n = \\ = 1 + 5\times 3 + 4\times 3 + 3\times 2 + 2\times 0 + 0 - 6\times 4 = 10. \quad (8)$$

Кількість надлишкових зв'язків механізму за формулою Озола [15]:

$$q_{O3} = W + 6k - f = 1 + 6\times 4 - 15 = 10\,. \quad (9)$$

Таким чином, кількість надлишкових зв'язків у механізмі $q = q_{CM} = q_{O3} = 10$. Підтверджує наведені викладки і застосування поконтурного методу (табл. 1), який дозволяє вказати місце виникнення надлишкових зв'язків. Таким чином, загалом у механізмі двоплунжерної ГРМ, кількість надлишкових зв'язків буде q = 20. Таке значення обумовлене наявністю кінематичних пар низьких класів, деякі з них застосовані вимушено (D_4), щоб передати поперечне навантаження на напрямні з плунжерів із метою розвантаження останніх. Наведений розрахунок ілюструє резерв для підвищення технічного рівня ГРМ за рахунок зменшення числа надлишкових зв'язків, чого можна досягти шляхом зменшення кількості кінематичних пар та підвищенням їх класу.

З метою визначення коефіцієнта K_{pt} навантаження плунжера коловою силою треба оцінити навантаження, що передається від румпеля на плунжер. До плунжера і напрямної з боку румпеля прикладається поперечна сила F_l, що нерівномірно розподіляється між ними через відмінності у їх жорсткостях.

Таблиця 1 – Застосування поконтурного методу до механізму ГРМ YOOWON-MITSUBISHI

Контур	Пласкі рухомості f_n	Непласкі рухомості $f_н$
	f_x' f_y' f_z''	f_x'' f_y'' f_z'
$O_5B_3C_5A_4O_5$	A B OC W_0	A Ø B q_1
$O_5M_3I_5E_4O_5$	E M I	E Ø M q_2
$O_5B_3C_5D_4O_5$	D Ø Ø q_3 q_4	DB Ø Ø q_5
$C_5B_3M_3I_5C_5$	Ø Ø Ø q_6 q_7 q_8	M Ø Ø q_9 q_{10}
$W = 1,\ q = 10$		

Для оцінки співвідношення між силами F_p та F_g, складаємо розрахункову схему плунжерів та напрямних при сумісному їх навантаженні бічною силою F_l. При складанні розрахункової схеми використовуємо ряд припущень:

- деформування плунжерів та напрямних відбувається в межах границі пружності їх матеріалів;
- плунжер і напрямна мають незмінний по довжині момент інерції перерізу;
- контактними деформаціями в місцях контакту плунжера з втулкою та напрямною можна знехтувати;
- зазор у стику опори плунжера і напрямної (точка B, рис. 2) відсутній;
- напрямна закріплена на рамі машини жорстко обома кінцями і умови закріплення її кінців протягом навантаження незмінні;

- вплив тертя між повзуном та румпелем на зменшення бічної сили на даному етапі дослідження не враховується;

- зазор посадки плунжера у втулці становить $0{,}90\times 2Z_{lim}$ = 0,675 мм [16], що є достатнім для вільного повороту його кінців при деформуванні.

Плунжер і напрямна при дії на них поперечного навантаження утворюють статично невизначену балкову систему, розподіл навантаження між елементами якої належить вивчити. Встановлені припущення дають можливість скласти розрахункову схему, де плунжер вважається балкою на шарнірних опорах, а напрямна - балкою із жорстко защемленими обома кінцями (рис. 2).

Умова сумісності деформування плунжера та напрямної записується у вигляді рівності їх деформацій, що в результаті дає систему (9).

$$\begin{cases} F_l = F_p + F_g; \\ \delta_p = \delta_g. \end{cases} \tag{10}$$

Деформації плунжера та напрямної за прийнятої розрахункової схеми запишуться наступним чином [17-19]

$$\delta_p = F_p \frac{\left(L - L_1\right)^2 L_1^2}{3EJ_p L} = F_p \lambda_p; \tag{11}$$

$$\delta_g = F_g \frac{\left(L - L_1\right)^3 L_1^3}{3EJ_g L^3} = F_g \lambda_g, \tag{12}$$

де E – модуль пружності матеріалу плунжера та напрямної;

J_p та J_g – моменти інерції поперечного перерізу плунжера та напрямної відповідно;

λ_p та λ_g – лінійні піддатливості плунжера та напрямної відповідно.

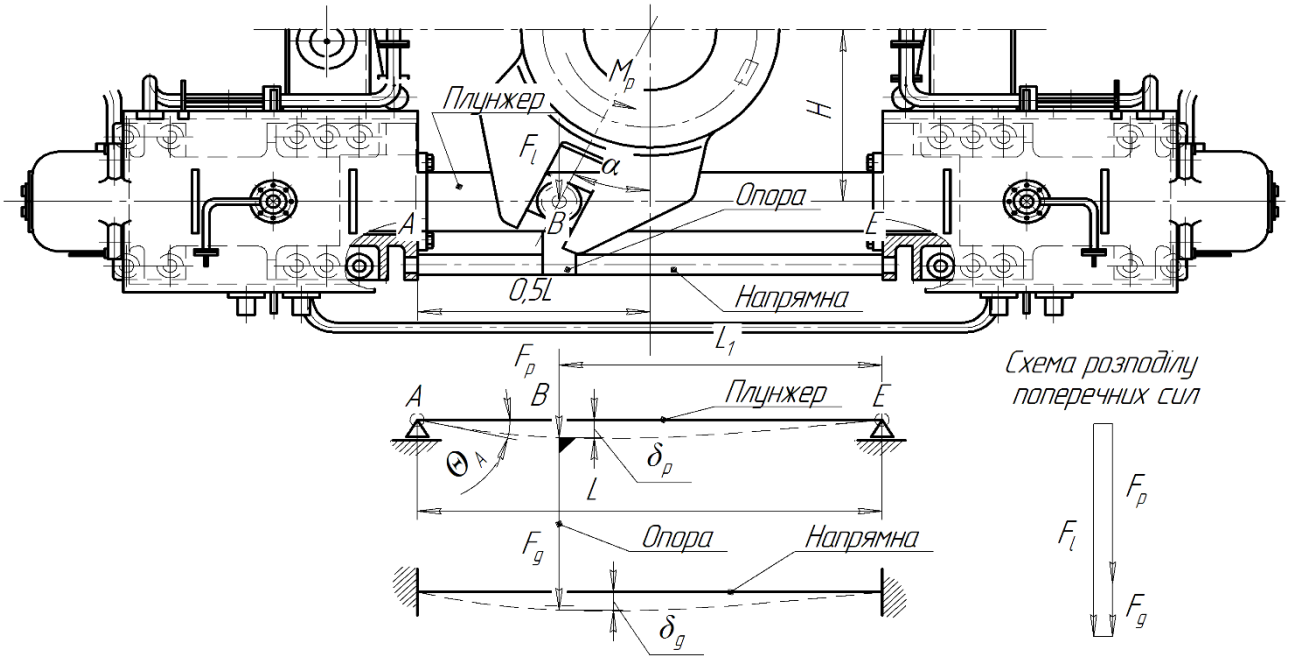

Рисунок 2 – Розрахункова схема плунжерної ГРМ

Розв’язання системи (10) з урахуванням (11) та (12) дає вираз (13) для поперечного навантаження плунжера.

$$F_p = \frac{F_l}{1+\lambda_p / \lambda_g} \tag{13}$$

Кількісний аналіз розподілу поперечного навантаження між плунжером та напрямною виконаємо на прикладі ГРМ-прототипа, що розвиває максимальний момент на балері 3432 кН·м. Її основні геометричні параметри наступні: діаметр плунжера та його втулок d_p = 300 мм, напрямна циліндрична, її діаметр d_g = 100 мм, відстань між циліндрами L = 2100 мм, між осями плунжерів $2H$ = 1700 мм. Плунжер та напрямна сталеві, E = 2,1×10^5 МПа. Відстань L_1 до точки B прикладення поперечної сили (рис. 2) при цьому обчислюється за виразом (14), а поперечне зусилля, яке сприймають плунжер і напрямна за виразом (15), момент інерції перерізу плунжера та напрямної визначатиметься як $J_i \approx 0{,}05d^4$

$$L_1 = 0{,}5L + Htg\alpha; \tag{14}$$

$$F_l = F_t \sin\alpha = \frac{M_t}{2H}\sin\alpha. \tag{15}$$

Роботу ГРМ-прототипа розглядатимемо у припущенні її встановлення на контейнеровозі місткістю 2842 TEU (DWT = 39374 т, l = 222 м, B = 30 м, V = 22,6 вуз), для якого було обчислено [1] момент на румпелі (рис. 3) при кутах перекладки стерна 0...35º. Ефективність роботи напрямної по розвантаженню плунжера оцінюватимемо за рахунок обчислення коефіцієнта навантаження напрямної

$$K_{gl} = \frac{F_g}{F_l} = \frac{F_l - F_p}{F_l} = \frac{\lambda_p / \lambda_g}{1+\lambda_p / \lambda_g}. \tag{16}$$

Результати розрахунків представлені на рис. 4, що демонструє залежність коефіцієнта K_{gl} від кута повороту стерна α. На цьому-ж графіку подано залежність зміни кутового зазора $\Delta\theta_A$ деформованого плунжера в опорі A, що доводить коректність застосування прийнятої розрахункової схеми, оскільки цей зазор більший за нуль при всіх α, що ілюструє забезпечення вільного повороту плунжера у втулці.

Рисунок 3 – Графік залежності моменту на румпелі від кута перекладки стерна

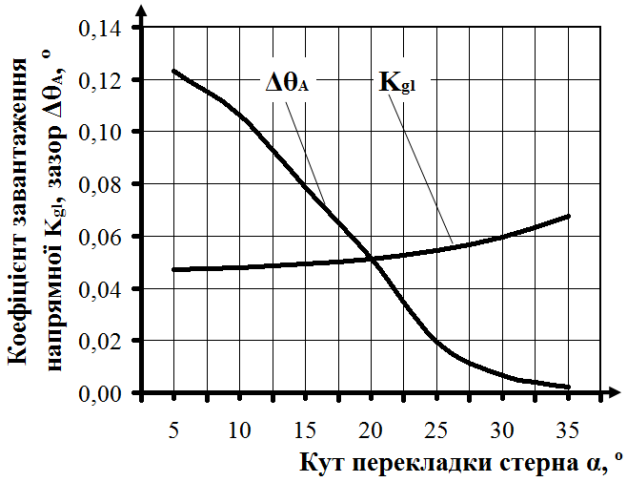

Рисунок 4 – Графік залежності коефіцієнта завантаження напрямної від кута перекладки стерна

Аналіз графіка на рис. 4 говорить про те, що протягом перекладки стерна з діаметральної площини на борт напрямна сприймає лише 4,7...6,8% поперечного навантаження, а відтак працює неефективно.

Тоді коефіцієнт K_{tp} (1) з урахуванням (2) та (13) для ГРМ оснащеної тангенсним [19] важільним механізмом, з урахуванням (13), становитиме

$$K_{pt} = \frac{F_p}{F_t} = \frac{\dfrac{F_t}{1+\lambda_p/\lambda_g}}{F_t} = \frac{\sin\alpha}{1+\lambda_p/\lambda_g}. \qquad (17)$$

Кількісний аналіз співвідношення (17) дозволяє встановити, що в машині YOOWON-MITSUBISHI YDFT-335-2 за існуючого співвідношення піддатливостей плунжера та напрямної, коефіцієнт передачі колового навантаження на плунжер (при α = 35º) становить K_{pt} = 0,535, тобто плунжер навантажений поперечним зусиллям, що становить 53,5% колового зусилля F_t на румпелі. З метою оцінки резерву зниження K_{pt} (а відтак підвищення K_{gl}) за рахунок зменшення піддатливості напрямної λ_g шляхом збільшення її діаметра, виконували моделювання за наведеними виразами, результати якого показані у вигляді графіків на рис. 5 та рис. 6. Ці графіки, які подано у координатах K_{pt} - Δm та K_{gl} - Δm (Δm – приріст маси ГРМ), демонструють, що зменшення поперечного навантаження на плунжери в два рази (зниження K_{pt} з 0,535 до 0,265 та відтак підвищення K_{gl} з 0,068 до 0,538), потребує встановлення напрямних, маса яких дорівнює понад 1200 кг (діаметр напрямних d_g при цьому необхідно збільшувати вдвічі проти базового варіанту (до 200 мм)).

Виконаний розрахунок і аналіз виразу (17) ілюструє той факт, що резерв для зниження навантаженості плунжерів ГРМ (зниження K_{pt}) без зміни власне механізму, що перетворює поступальний рух плунжерів в обертовий рух румпеля незначний, оскільки K_{pt} залежить від кута перекладки стерна α, величина якого регламентується вимогами IMO, та співвідношення піддатливості плунжера та напрямної, зменшення якого неефективне. Таким чином, основний вплив на величину навантаження плунжерів обумовлений силовою взаємодією ланок застосованого в аналізованій конструкції ГРМ тангенсного механізму, а тому значне підвищення технічного рівня ГРМ не можливе без зміни цього механізму на інший.

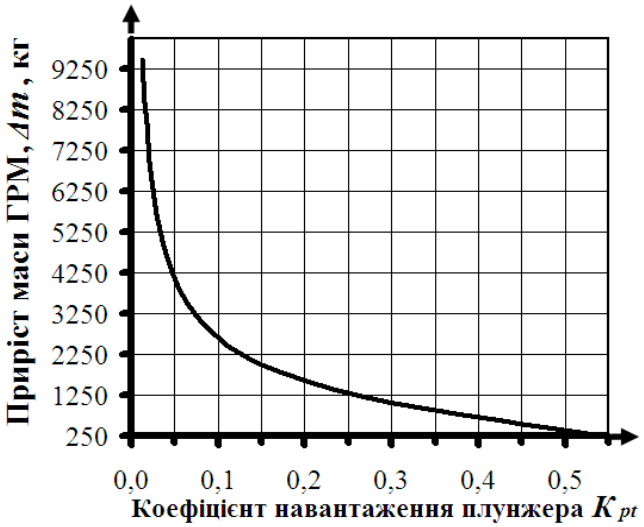

Рисунок 5 – Графік залежності моменту на румпелі від кута перекладки стерна

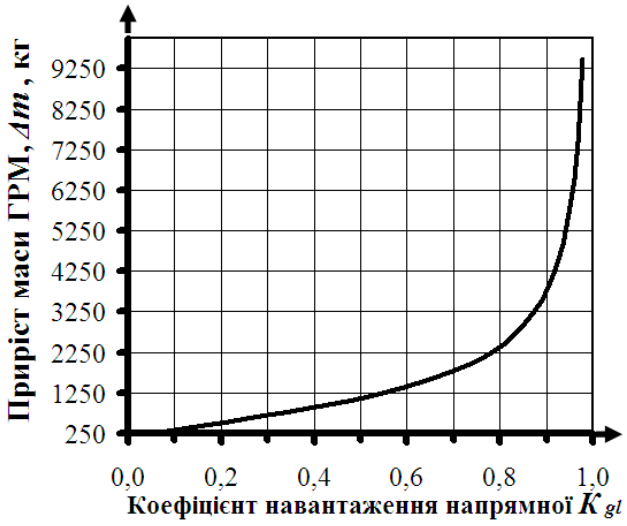

Рисунок 6 – Графік залежності коефіцієнта завантаження напрямної від кута перекладки стерна

Переходячи до третього, енергетичного критерію – механічного ККД важільного механізму ГРМ, для визначення відповідних робіт (3) складемо силову схему механізму ГРМ (рис. 7) та використаємо метод можливих переміщень. При наданні румпелю можливого переміщення на кут $d\alpha$, сили, що діють в механізмі ГРМ виконають роботу на переміщеннях dS_1, dS_2, dH (рис. 8). Перелік сил, вирази для їх визначення та можливі переміщення, на яких вони виконують роботу, наведені в табл. 2.

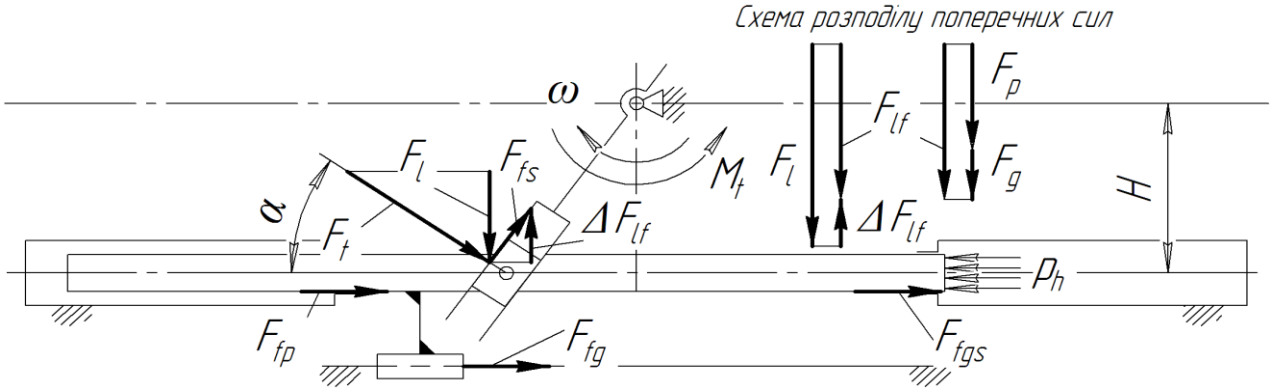

Рисунок 7 – Силова схема механізму рульової машини плунжерного типу

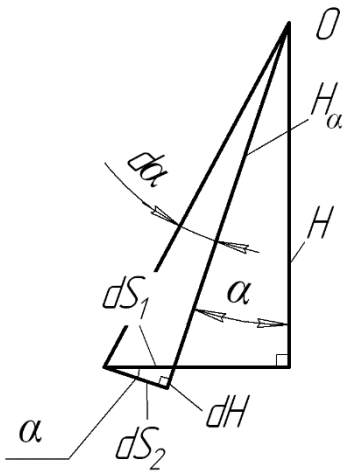

Рисунок 8 – Схема до визначення можливих переміщень ланок механізму ГРМ

Далі враховуємо, що сила тертя F_{fs} між повзуном та румпелем розвантажує плунжер і напрямну від поперечної сили.

$$F_{lf} = F_l - \Delta F_{lf} = F_t \sin\alpha - F_t f_s \cos\alpha = F_t(\sin\alpha - f_s \cos\alpha). \tag{18}$$

$$K_{gl} = \frac{F_g}{F_{lf}} = \frac{F_{lf} - F_p}{F_{lf}} = \frac{F_t(\sin\alpha - f_s\cos\alpha) - F_t K_{pt}}{F_t(\sin\alpha - f_s\cos\alpha)} = \frac{\sin\alpha - f_s\cos\alpha - K_{pt}}{\sin\alpha - f_s\cos\alpha}. \tag{19}$$

Обчислюючи роботи сил корисного та шкідливого опору як добуток цих сил та їх переміщень, подамо вираз (3) для механічного ККД у виглядах (30)…(32). Вираз (30) є початковим етапом для отримання зручних для подальшого аналізу співвідношень (31) і (32), що отримані після перетворень, де dS_2, $d\alpha$, dH виражено через dS_1, чисельник і знаменник поділено на $F_t dS_1$ та помножено на cosα, з використанням (18) і (19)

$$\eta_m = \frac{F_t dS_1}{F_t dS_1 + F_{fp} dS_2 + F_{fg} dS_2 + F_{fgs} dS_2 + F_{fG} dS_2 + F_{fs} dH + 0{,}5 F_t f_j d_j d\alpha}; \tag{30}$$

Таблиця 2

Сили, що виконують роботу в механізмі ГРМ

Найменування та позначення сили	Вираз для розрахунку		Можливе переміщення	
Сила корисного опору				
Колова сила F_t	(2)		$dS_1 = H_\alpha d\alpha = \frac{H}{\cos\alpha} d\alpha$	(20)
Сили шкідливого опору				
Сила тертя плунжера у втулках F_{fp}	$F_{fp} = (1-K_{gl})F_{lf} f_p = = F_t(\sin\alpha - f_s\cos\alpha)(1-K_{gl}) f_p$	(21)	$dS_2 = \frac{dS_1}{\cos\alpha}$	(22)
Сила тертя опори плунжера на напрямній F_{fp}	$F_{fg} = K_{gl}F_{lf} f_g = = F_t(\sin\alpha - f_s\cos\alpha)K_{gl} f_g$	(23)	dS_2	
Сила тертя плунжера в ущільненнях F_{fgs}	$F_{fgs} = \pi d_p h p_{gs} f_{gs}$	(24)	dS_2	
Сила тертя повзунів в пазах румпеля F_{fs}	$F_{fs} = F_t f_s$	(25)	$dH = dS_1 tg\alpha$	(26)
Сила тертя від ваги плунжера у втулках F_{fG}	$F_{fG} = G f_p$	(27)	dS_2	
Сила тертя повзунів на їх осях F_{fj}	$F_{fj} = F_t f_j$	(28)	$0{,}5 d_j d\alpha$	(29)
Позначення у наведених виразах	f_p, f_g, f_{gs}, f_s, f_j – коефіцієнти тертя, відповідно, у парах: «плунжер-втулка», «опора плунжера-напрямна», «плунжер-ущільнення», «повзун- паз румпеля»; h – висота ущільнень (в обох циліндрах), p_{gs} – тиск, що діє на ущільнення (дорівнює 80% тиску p_h в силовому контурі гідросистеми ГРМ ($p_{gs} = 0{,}8\ p_h$); G – вага плунжера; d_j – діаметр осі плунжерів.			

З урахуванням отриманих вище результатів для M_t та K_{gl}, приймаючи $h = d_p = 300$ мм, $d_j = 150$ мм, $f_p = f_s = f_j = 0{,}12$, $f_g = 0{,}10$, $f_s = 0{,}03$ [20], $p_h = 25$ МПа, $G = 2900$ кг, враховуючи вираз (2) для F_t, вираз (31) для механічного ККД, побудовано графік $\eta_m = f(\alpha)$ (рис. 9), з якого можна зробити висновок, що при найбільш сприятливих умовах ($\alpha = 17{,}5^\circ$) механічний ККД досягає значень лише 82%. тобто 18% потужності, що підводиться до механізму ГРМ, витрачається на подолання втрат на тертя. На рис. 10 показано діаграму розподілу загального обсягу роботи механічних втрат (100%) при $\alpha = 35^\circ$ за категоріями, що наведені в табл. 2 (на рис. 10 вони позначені: 1 – втрати на тертя плунжера у втулках та їх опор на напрямній; 2 – втрати на тертя плунжерів в ущільненнях; 3 – втрати на тертя від ваги плунжера у втулках; 4 – втрати на тертя повзунів у пазу румпеля; 5 – втрати на тертя повзунів на їх осях).

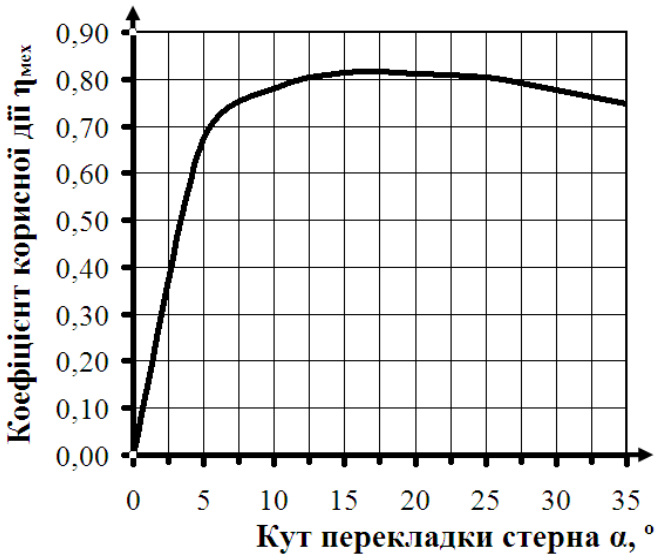

Рисунок 9 – Графік залежності механічного ККД механізму ГРМ від кута повороту стерна

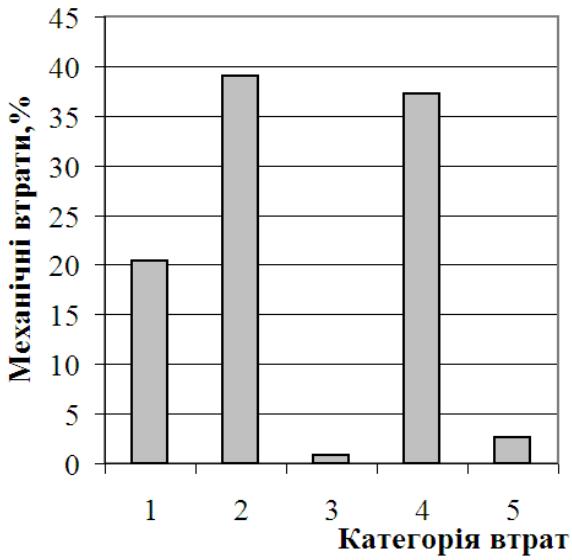

Рисунок 10 – Діаграма розподілу загального обсягу механічних втрат за категоріями

Діаграма на рис. 10 свідчить, що найбільший обсяг механічних втрат становлять втрати на тертя плунжера в ущільненнях (39%), на тертя плунжерів в пазах румпеля (37 %) і тертя плунжерів у втулках та опор плунжера на напрямних (20%), що ілюструє напрямки підвищення ККД механізму ГРМ за рахунок зниження втрат за цими категоріями. Так, зниження тиску затягування ущільнень, за рахунок, наприклад, переходу від плунжерної конструкції до поршневої (в результаті тиск перед ущільненнями можна знизити на порядок), дає можливість суттєво підвищити ККД (рис. 11). Так при зниженні тиску p_{gs} з 20 МПа до 2 МПа, механічний ККД може бути підвищений на 8% (з 75% до 83%).

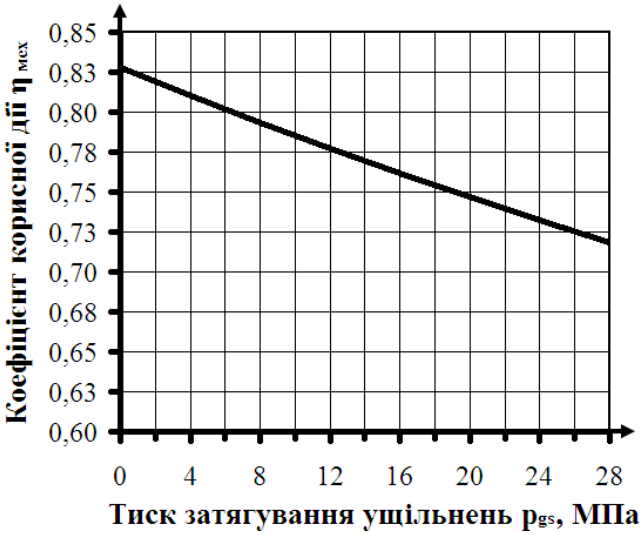

Рисунок 11 – Графік залежності механічного ККД механізму ГРМ від тиску в гідросистемі

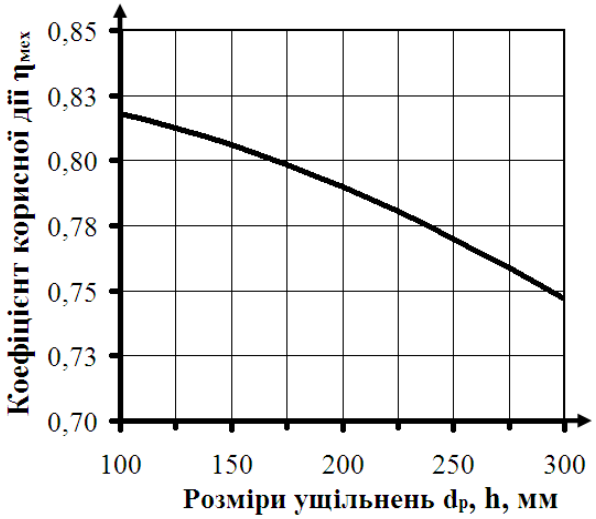

Рисунок 12 – Графік залежності коефіцієнта завантаження напрямної від кута перекладки стерна

Ці ж втрати можуть бути знижені додатково за рахунок зменшення діаметра та ширини ущільнень (при переході до поршневої конструкції шляхом зниження діаметра поршневого штока) – при зниженні діаметра та ширини ущільнень (рис. 12) з 300 мм до 150 мм (при p_h = 25 МПа), ККД може бути підвищений на 6% (з 75% до 81%). Перехід від плунжерної до

поршневої конструкції, однак, можливий лише за зниження поперечного навантаження на плунжери (поршневі штоки), тобто зниження K_{pt}, що, як уже було показано, неможливо за вжитого в даній конструкції тангенсного механізму.

Висновки. Головною особливістю сучасних ГРМ плунжерного типу, що поширені на суднах є застосування тангенсного важільного механізму, що забезпечує перетворення поступального руху плунжерів в обертовий рух румпеля, при цьому (на прикладі ГРМ YOOWON-MITSUBISHI YDFT-335-2) показано, що:

- забезпечується виникнення значних поперечних сил, що передаються від румпеля на плунжери та напрямні та сягають близько 53% від колових зусиль на румпелі (при α = 35º), що вимагає виконувати плунжери значного діаметра та маси;

- для розвантаження плунжерів та ущільнень гідроциліндрів від поперечних сил застосовують напрямні, які сполучаються з плунжерами нижчими кінематичними парами. Це забезпечує наявність в механізмі ГРМ q = 20 надлишкових зв'язків, що унеможливлюють самовстановлення ланок механізму. Резервом для зменшення кількості надлишкових зв'язків є відмова від напрямних та підвищення класу кінематичних пар механізму ГРМ;

- напрямні здатні сприйняти лише 5...7% поперечного навантаження, тобто працюють неефективно, створюючи додаткові втрати на тертя, ускладнюючи технічне обслуговування та збільшуючи масу ГРМ. Резерв підвищення ефективності роботи напрямних збільшенням їх жорсткості ілюструється наступним - для зменшення навантаження на плунжери в два рази необхідно збільшити діаметр напрямних в стільки ж разів, що адекватно зростанню маси ГРМ на 1225 кг. Резервом, що може забезпечити відмову від напрямних, є застосування іншого типу механізму для перетворення поступального руху плунжерів в обертовий рух румпеля, який створюватиме менші поперечні навантаження;

- значні поперечні навантаження вимагають застосування скальчастих плунжерів великого діаметру, що обумовлює значні втрати на тертя плунжерів в ущільненнях - серед усіх втрат на тертя в механізмі ГРМ ці втрати складають 39%. Резервом для зниження втрат в ущільненнях є: по-перше, перехід до поршневої конструкції, що дасть можливість знизити тиск затягування ущільнень. Так, при зниженні цього тиску з 20 МПа до 2 МПа, механічний ККД важільного механізму ГРМ може бути підвищений на 8% (з 75% до 83%). По-друге, втрати в ущільненнях можуть бути знижені за рахунок зменшення їх діаметра та ширини (при переході до поршневої конструкції шляхом зниження діаметра плунжера і перетворення його в поршневий шток).Так, при зниженні діаметра та ширини ущільнень з 300 мм до 150 мм (при p_h = 25 МПа) ККД важільного механізму ГРМ може бути підвищений на 6% (з 75% до 81%). Перехід до поршневої конструкції потребує зниження поперечних навантажень, тобто є черговою передумовою заміни механізму тангенсного типу на інший.

Таким чином можна констатувати, що підвищення технічного рівня ГРМ, зокрема структурної досконалості, енергоощадності та зниження навантаженості деталей ГРМ має своїм ключем заміну тангенсного важільного механізму, що перетворює поступальний рух плунжерів в обертальних рух румпеля, на інший, що дозволить знизити поперечні навантаження на плунжери, та зробить можливим:

- відмову від напрямних, додаткових кінематичних пар ковзання, зменшення за рахунок цього втрат на тертя та кількості надлишкових зв’язків;
- зниження діаметра плунжерів, переходу за рахунок цього до поршневої конструкції, що дозволить зменшити втрати на тертя шляхом зниження тиску затягування ущільнень, зменшення їх довжини та діаметру.

Комплексне впровадження намічених заходів може дати синергетичний ефект.

Перспективні напрямки подальших досліджень:

- розроблення заходів зі зниження кількості надлишкових зв’язків у важільному механізмі ГРМ;
- розроблення механізму ГРМ, що забезпечує зниження поперечного навантаження на плунжери та оцінка його енергетичних параметрів.
-

ЛІТЕРАТУРА

1. Завиша В.В. Судовые вспомогательные механизмы и системы / В.В. Завиша, Б.Г. Декин. – М.: Транспорт, 1984 – 357 с.
2. Гончаренко А.В. Експлуатація активних транспортних систем в умовах багатоальтернативності та невизначеності: дис. ... д-ра техн. наук: спец. 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту; Національний авіаційний університет. – К., 2016. – 328 с.
3. Булюкина Н.А. Фрикционные автоколебания в судовых гидравлических рулевых машинах: автореф. дис. канд. техн. наук: спец 05.08.05 – судовые энергетические установки и их элементы (главные и вспомогательные); ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственные морской технический университет». – СПб., 2013. – 23 с.
4. Месропян А.В. Методика идентификации струйно-золотниковой гидравлической рулевой машины / А.В. Месропян, К.А. Широкова, В.А. Целищев // Вестник УГАТУ. Серия «Машиностроение. Гидравлические машины, гидропневмоагрегаты». – Уфа: УГАТУ. – 2007. – Т.9, №6(24). – С. 44 – 55.
5. Проценко В.О. Експертиза відмови муфти насосного агрегату суднової гідравлічної рульової машини / В.О. Проценко // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – Херсон: ХДМА. – 2013. – № 1(8) – С. 179 – 184.
6. Овчарук О.М. Обґрунтування параметрів приводу суднової рульової машини з важільною редукцією / О.М. Овчарук, В.О. Проценко // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – Херсон: ХДМА. – 2014. – № 2(11) – С. 185 – 196.
7. Pogrebnyak R.P. Structural analysis and rational design parallelogram arm gripping device / R.P. Pogrebnyak // Теория и практика металлургии. – 2015. – № 1-2. – С. 123 – 125.
8. Sydorenko I. Reducing the reliability of equipment as a result of the reduction of the culture of production / I. Sydorenko, E. Kravtsov, I. Prokopovych, M. Korolkova, S. Dmitrieva // Праці Одеського політехнічного університету, 2019. Вип. 3(59). – 2019. – Вип. 3(59). – С. 5 –13.
9. Atarer F., Korkmaz K., Kiper G. (2017). Design alternatives of network of Altmann linkages. *International Journal of Computational Methods and Experimental Measurements, 5(4)*, 495 – 503.
10. Самойленко Л.К. Про структуру механізму колодкового гальма і підвищення його надійності / Л.К. Самойленко, В.О. Проценко // Науковий вісник Херсонського державного морського інституту. – Херсон: ХДМІ. – 2010. – № 2(3) – С. 211 – 216.
11. Проценко В.О. Аналіз відмов та напрямки удосконалення відцентрових муфт сепараторів суднових енергетичних установок / В.О. Проценко, Л.К. Самойленко, М.В. Бабій // Підйомно-транспортна техніка. Науково-технічний та виробничий журнал. – Одеса: ІНТЕРПРІНТ. – 2016. – №3 – С. 59 – 71.
12. Решетов Л.Н. Самоустанавливающиеся механизмы / Л.Н. Решетов. – М.: Машиностроение, 1985. – 272 с.
13. Фролов К.В. Теория механизмов и механика машин / К.В. Фролов и др. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. – 566 с.

14. Машнев М.М. Теория механизмов и машин и детали машин / М.М. Машнев, Е.Я. Красковский, П.А. Лебедев. – Л.: Машиностроение, 1980. – 512 с.
15. Озол О.Г. Теория механизмов и машин / О.Г. Озол. – М.: Наука, 1984. – 432 с.
16. Ремонт судовых гидравлических систем / В.И. Маркитантов, П.М. Милованцев, М.Я. Морозов. – М.: Транспорт, 1989. – 174 с.
17. Посацький С.Л. Опір матеріалів / С.Л. Посацький. – Львів: Видавництво Львівського університету, 1963. – 360 с.
18. Прикладна механіка / Е.М. Гуліда, Л.Ф. Дзюба, І.М. Ольховий. – Львів: Світ, 2007. – 384 с.
19. Прикладная механика / К.И. Заблонский, М.С. Беляев, И.Я. Телис и др. – К.: Вища школа, 1979. – 280 с.
20. Макаров Г.В. Уплотнительные устройства / Г.В. Макаров. – М.: Машиностроение, 1973. – 232 с.

REFERENCES

1. Zavisha V.V. Ship auxiliary mechanisms and systems / V.V. Zavisha, B.G. Dekin. – M.: Transport, 1984 – 357 s.
2. Goncharenko A.V. Operation of active transport systems in conditions of multi-alternativeness and uncertainty: dis. ... d-ra tekhn. nauk: specz. 05.22.20 – ekspluataczi`ya ta remont zasobi`v transportu; Naczi`onal`nij avi`aczi`jnij uni`versitet. – K., 2016. – 328 s.
3. Bulyukina N.A. Friction auto oscillations in marine hydraulic steering gears: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk: specz 05.08.05 – sudovy`e e`nergeticheskie ustanovki i ikh e`lementy` (glavny`e i vspomogatel`ny`e); FGBOU VPO «Sankt-Peterburgskij gosudarstvenny`e morskoj tekhnicheskij universitet». – SPb., 2013. – 23 s.
4. Mesropyan A.V. Method of identification of jet-spool hydraulic steering gear / A.V. Mesropyan, K.A. Shirokova, V.A. Czelishhev // Vestnik UGATU. Seriya «Mashinostroenie. Gidravlicheskie mashiny`, gidropnevmoagregaty`». – Ufa: UGATU. – 2007. – T.9, Vol.6(24). – S. 44 – 55.
5. Protsenko V.O. Examination of the failure of the coupling of the pump unit of the ship's hydraulic steering machine / V.O. Protsenko // Naukovij vi`snik Khersons`koyi derzhavnoyi mors`koyi akademi`yi. – Kherson: KhDMA. – 2013. – Vol. 1(8) – S. 179 – 184.
6. Ovcharuk O.M. Substantiation of parameters of the drive of the ship's steering machine with lever reduction / O.M. Ovcharuk, V.O. Proczenko // Naukovij vi`snik Khersons`koyi derzhavnoyi mors`koyi akademi`yi. – Kherson: KhDMA. – 2014. – Vol. 2(11) – S. 185 – 196.
7. Pogrebnyak R.P. Structural analysis and rational design parallelogram arm gripping device / R.P. Pogrebnyak // Teoriya i praktika metallurgii. – 2015. – Vol. 1-2. – S. 123 – 125.
8. Sydorenko I. Reducing the reliability of equipment as a result of the reduction of the culture of production / I. Sydorenko, E. Kravtsov, I. Prokopovych, M. Korolkova, S. Dmitrieva // Praczi` Odes`kogo poli`tekhni`chnogo uni`versitetu, 2019. Vip. 3(59). – 2019. – Vol. 3(59). – S. 5 –13.
9. Atarer F., Korkmaz K., Kiper G. (2017). Design alternatives of network of Altmann linkages. *International Journal of Computational Methods and Experimental Measurements, 5(4),* 495 – 503.
10. Samojlenko L.K. On the structure of the mechanism of the shoe brake and increase its reliability / L.K. Samojlenko, V.O. Proczenko // Naukovij vi`snik Khersons`kogo derzhavnogo mors`kogo i`nstitutu. – Kherson: KhDMI`. – 2010. – Vol. 2(3) – S. 211 – 216.
11. Protsenko V.O. Analysis of failures and areas for improvement

centrifugal couplings of separators of ship power plants / V.O. Protsenko, L.K. Samojlenko, M.V. Babij // Pi`djomno-transportna tekhni`ka. Naukovo-tekhni`chnij ta virobnichij zhurnal. – Odesa: I`NTERPRI`NT. – 2016. – Vol.3 – S. 59 – 71.
12. Reshetov L.N. Self-aligning mechanisms / L.N. Reshetov. – M.: Mashinostroenie, 1985. – 272 s.
13. Frolov K.V. Machines and mechanisms theory / K.V. Frolov i dr. – M.: Izd-vo MGTU im. N.E`. Baumana, 2017. – 566 s.
14. Mashnev M.M. Machines and mechanisms theory and machines elements / M.M. Mashnev, E.Ya. Kraskovskij, P.A. Lebedev. – L.: Mashinostroenie, 1980. – 512 s.
15. Ozol O.G. Machines and mechanisms theory / O.G. Ozol. – M.: Nauka, 1984. – 432 s.
16. Repair of ship hydraulic systems / V.I. Markitantov, P.M. Milovanczev, M.Ya. Morozov. – M.: Transport, 1989. – 174 s.
17. Posacz`kij S.L. Strength ofmaterials / S.L. Posacz`kij. – L`vi`v: Vidavnicztvo L`vi`vs`kogo uni`versitetu, 1963. – 360 s.
18. Applied mechanics / E.M. Guli`da, L.F. Dzyuba, I`.M. Ol`khovij. – Lviv: Svit, 2007. – 384 s.
19. Applied mechanics / K.I. Zablonskij, M.S. Belyaev, I.Ya. Telis i dr. – K.: Vishha shkola, 1979. – 280 s.
20. Makarov G.V. Sealing devices / G.V. Makarov. – M.: Mashinostroenie, 1973. – 232 s.

Protsenko V.O., Babiy M.V., Nastasenko V.O., Bilokon A.O.

DIRECTIONS AND RESERVES OF RAM-TYPE STEERING GEAR WITH TANGENTS-TYPE MECHANISM TECHNICAL LEVEL

Article deals with one of most commonly used ram-type steering gears. On the basis of theoretical analysis main disadvantages of ram-type steering gears are highlighted. Main of them are low mechanic efficiency, high details load, lot of redundant connections in steering gear lever mechanism structure. So, main purpose of the article is to show main directions and to access reserves of ram-type steering gear equipped with tangential lever mechanism technical level increasing. Main tasks for purpose achievement are: to define main criteria of ram-type steering gear mechanism technical level, that take into account structure perfection, its operation energy efficiency and also details load; to evaluate that criteria for widespread ram-type steering gears; to outline directions of ram-type steering gears technical level increasing and access reserves of its application. Done structure analysis showed that that number of redundant connections in steering gear YOOWON-MITSUBISHI YDFT-335-2 lever mechanism is 20. Reason for having such redundant connections number is kinematic pairs connecting plungers and guide beams and low class of most kinematic pairs. Reserve for decreasing redundant connections number is upgrading kinematic pair class and refusing of guide beams. It is shown that in time of rudder feather shifting from diametric plane to board (when $\alpha = 5…35°$), guide beam could take only 5…7% of lateral force. The source of origin significant loads on plungers in ram-type steering gears is application of tangents-type mechanism for transformation progressive plunger motion to rotating tiller motion. Decreasing lateral loads on plunger through using unloading guide beams, with considering low unloading percent is ineffective. Guide beams availability complicates steering gear construction, increasing number of friction surfaces and trough this complicates steering gear maintenance. It is shown that friction losses in plunger gaskets is 39% of all friction losses. Reserve to decrease gaskets losses is transition from ram-type to piston-type stock equipped construction. Main result is that increasing of ram-type steering gear technical level need to change the type of mechanism for transformation progressive plunger motion to rotating tiller motion from tangents-type to another.

Keywords: *steering ram-type gear, plunger, guide beam, tiller, torque, lateral force, load distribution, deformation, efficiency, structure.*

Проценко В.А., Бабий М.В., Настасенко В.А., Белоконь А.О.

НАПРАВЛЕНИЯ И РЕЗЕРВЫ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ РУЛЕВЫХ МАШИН ПЛУНЖЕРНОГО ТИПА С ТАНГЕНСНЫМ МЕХАНИЗМОМ

Статья касается наиьолее распространенного типа судовых гидравлических рулевых машин (ГРМ) плунжерного типа, оснащенных тангенсным рычажным механизмом. Показано, что источником недостатков рулевых машины плунжерного типа является несовершенство рычажной системы, среди них, в частности, ее низкий КПД, высокая нагруженность деталей и наличие значительного количества избыточных связей. Целью работы является установление основных направлений и оценка резервов повышения технического уровня механизма ГРМ плунжерного типа. Задачи работы состоят в следующем: определить основные критерии технического уровня механизма ГРМ плунжерного типа, учитывающих соаершенство структуры, энергетическую эффективность работы, а также нагруженность деталей; выполнить оценку этих критериев для распространенных конструкций ГРМ плунжерного типа; наметить направления повышения технического уровня механизма ГРМ плунжерного типа и оценить резервы их применения. Для разгрузки плунжеров и уплотнений гидроцилиндров от поперечных сил применяют направляющие, которые соединяются с плунжерами низшими кинематическими парами. Это обеспечивает наличие в механизме ГРМ q = 20 избыточных связей, исключающих возможность самоустановки звеньев механизма. Резервом для уменьшения количества избыточных связей является отказ от направляющих и повышение класса кинематических пар механизма ГРМ. В результате исследований на примере машины прототипа YOOWON-MITSUBISHI YDFT-335-2 показано, что в ней обеспечивается возникновение значительных поперечных сил, передающихся от румпеля на плунжеры и направляющие и достигающих около 53% от окружных усилий на румпеле. Для разгрузки плунжеров и уплотнений гидроцилиндров и поперечных сил применяют направляющие, способные воспринять только 5…7% поперечного усилия. Потери на трение плунжеров в уплотнениях среди всех механических потерь составляют 39%. Показано, что повышение технического уровня ГРМ, в частности структурного совершенства, энергетической эффективности и снижения нагруженности деталей, имеет своим ключем замену тангенсного рычажного механизма, преобразующего поступательное движение плунжеров во вращательное движение румпеля на другой.

Ключевые слова: *рулевая машина плунжерного типа, плунжер, направляющая, румпель, момент, поперечная сила, распределение нагрузки, деформация, коэффициент полезного действия, структура.*

УДК 621.5 doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.12

Кучерук Г.Ю., Шапіро Г.В., Ткаченко В.В.

РОЗРОБКА АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РУХОМ СУДНА

В статті запропоновано підхід руху судна на основні оцінювання результатів текучих параметрів руху та аналізу інформації про стан місцеположення за допомогою адаптивних систем керування. На ряду з описом технічного рішення системи керування судном висвітлюються позитивні та негативні властивості при побудові адаптивної системи. Також в праці висвітлюється умови роботи адаптивної системи керування судном.

Метою даної статті є розглянути можливість побудови адаптивних систем керування судном в складних умовах для забезпечення безпеки судноводіння

В статті обґрунтовано схема адаптивної системи керування судном для безпосередньої експлуатації в умовах тривалого морського плавання та інтенсивної роботи. Особливістю запропонованої схеми є ведення моделі руху судна та блоків оцінювання і адаптації до зовнішніх впливів для визначення та ведення поправки.

Ключові слова: *автоматизована система керування, адаптивна система, керування судном, безпека судноводіння*

Вступ. Актуальним питанням розвитку водного транспорту на сьогоднішній день залишається вдосконалення автоматизованої системи управління судном, інтеграція даних від різних навігаційних пристроїв в навігаційно-інформаційному комплексі, а також підвищення якості роботи суднових електроенергетичних систем і енергетичних установок [1]. Сучасні тенденції розробки суднового обладнання орієнтується на створення єдиного інформаційно-керуючого простору судна на основі комплексного управління судном, що дозволить більш точно визначати місцеположення в акваторії для своєчасного маневрування, а також бути інтегрованим до застосування в сучасні навігаційні технології (Е-навігація) [2]. При цьому, впровадження і використання складних обчислювальних комплексів відкрили нові можливості щодо забезпечення своєчасного виконання керуючих впливів [2]. У зв'язку з цим, виникає необхідність розробити для застосування єдиного адаптивного комплексу управління судном, який може дозволити не тільки чітко і своєчасно виконувати судові операції з маневрування в обмеженому просторі акваторії, але і як наслідок забезпечити безпеку судноводіння в складних умовах.

Аналіз літератури. Аналітичний огляд аварійних випадків [1, 3] свідчить, що основні причини аварійності суден пов'язані не тільки з неправильних виробленим керуючого рішенням, але і з інертними характеристиками суден та не своєчасність відпрацювання автоматики в електроенергетичних систем. При цьому, умови мореплавства в першу чергу пов'язані з суттєвим ускладненням судноплавства в прибережних районах та акваторіях портів, обумовлених зростанням швидкості руху, водотоннажності і розмірів транспортних суден, а також збільшенням загальної кількості [1, 2]. Крім цього, вивчаються динамічні характеристики і параметричні властивості систем автоматики і людини (яка приймає рішення), що також впливає на динаміку руху судна як ергатичної системи. Тому поряд з підвищенням рівня знань керівному складу судна необхідно розуміння процесів руху морським транспортним засобом та судновими технічними засоби керування, у тому числі засобами автоматизації та обміну інформації між ними. Крім того, засоби автоматизації керування судном потребують керуючи засоби адаптивного характеру [1, 3]. Це пов'язано з цім, що виникають ситуації при судноводінні в яких умови руху змінюються в залежності від

метеорологічних явищ або під іншими обставинами. Необхідність активного розвитку і впровадження технічних засобів автоматизації руху на судах визначається об'єктивними передумовами, такі як: динамічними умовами морської поверхні; розвиток конструктивних матеріалів суднів та методів судноплавства; підвищення параметрів, що пов'язані з точністю судноводіння; інтенсивною розробкою та використанням засобів приладобудування, електроніки і радіоелектроніка, а також спеціальних обчислювальних систем і автоматики. Крім того на сьогодні існують адаптивні авторульові. Однак дані адаптивні системи здійснюють тільки стабілізацію руху судна за заданим курсом. Також недоліком адаптивних авторульових є обмеження судноводіння в акваторіях портів [2, 4]. Тому виникає необхідність розглядати адаптивні системи керування рухом судна як ціле.

Мета статті. Метою даної статті є розглянути можливість побудови адаптивних систем керування судном в складних умовах для забезпечення безпеки судноводіння.

Виклад основного матеріалу. Дослідження літератури [2, 4, 5] показали, що автоматизація судноводіння пов'язана з сукупністю методів і технічних засобів, які забезпечують автоматичне або автоматизоване управління рухом судна. При цьому, судно є об'єктом управління, а рух по курсу з оптимальними параметрами забезпечується за допомогою різних суднових навігаційних пристроїв, які необхідні для управління. Вирішення задач судноводіння є достатньо специфічним, яке характеризується рішенням навігаційних завдань, а також оцінкою морської навігаційної обстановки, яка динамічно змінюється. Тому в сучасних водних транспортних засобах присутні два, три и більше типів навігаційних приладів. Таким чином, адаптивна система управління судном повинна включати не тільки технічні засоби автоматизованого керування електроенергетичних систем і енергетичних установок [6, 7], але і суднові засоби навігації, які будуть здійснювати оцінку стійкості руху судна по заданому курсу. Це пов'язано з підвищенням вимог до точності, надійності, оперативності прийняття рішень як при судноводінні, так і при маневруванні судна [3, 4]. Тому необхідно підвищувати якість оцінювання навігаційної параметрів місцеположення для руху судна.

Аналізуючи літературу [1, 2], можливо прийти до висновку, що в даний час розробляються і впроваджуються засоби автоматизації судноводіння поділяється на три основні напрямки.

Перший напрямок пов'язано зі складністю алгоритмів автоматизації завдань судноводіння. В даному випадку розробка і впровадження автоматизованих систем навігації і управління судном, найбільш повно і ефективно реалізують основну ідею автоматизації судноводіння - об'єднання навігації з керуванням рухом судна. Завдяки цьому зменшується роль суб'єктивних факторів при виробленні керуючого рішення по управлінню судном в різних умовах плавання, що сприяє підвищенню точності, надійності і економічності судноводіння і як наслідок зменшує появи аварій.

Другий напрямок – використання інформаційно-обчислювальних радіонавігаційних, радіолокаційних і пошукових гідроакустичних приладів і систем. На відміну від першого напряму інформаційно-обчислювальні системи забезпечують тільки автоматизацію вимірювань і обробки різноманітної навігаційної і гідроакустичної інформації. Автоматичне управління судном в таких системах не передбачено.

Третій напрям – застосування спеціалізованих і універсальних ЕОМ для автоматизації вирішення навігаційних, астрономічних і експлуатаційно-технічних завдань. Застосування спеціалізованих ЕОМ використовуються на малих судах. Це пов'язано з масо-габаритними характеристиками. Автоматизація обробки різноманітної судновий інформації за допомогою спеціалізованих і універсальних ЕОМ, хоча і переважно з ручним введенням вихідних даних, звільняє судноводія від обчислень і дозволяє зосередити зусилля на управлінні судном.

Враховуючи вищевикладене, а також аналіз літератури [3, 4, 5] щодо побудови оптимального курсу з врахуванням зовнішнього впливу розробимо перспективну систему керування рухом судна основним елементом якої є розробка адаптивної системи керування за допомогою оцінювання навігаційної обстановки та обчислювання поправки в системі

адаптації яка визначається з результатів моделі судноводіння (дивись рис. 1). В свою чергу внесення моделі руху судна з теоретичними можливостями автоматизації судноводіння забезпечує розуміння істоти закладених в алгоритм методів управління енергетичними установками, що дозволяє здійснювати контрольоване керування судном в постановці і вирішенні завдань судноводіння за допомогою ЕОМ [2, 3]. Особливістю моделі також є вироблення оптимального керування на основі алгоритмів які враховують зовнішні дії.

Найбільш характерними рисами адаптивної системи керування судном є комплексна обробка інформації навігаційних даних від різних засобів в обчислювачах підсистем в спецобчислювачах, а також надання їх в модель руху для автоматичного виявлення зміни курсу судна і керування в цілому. Враховуючи схему побудови системи керування судном [2, 4, 5], запропонована адаптивна

система керування для водних транспортних засобів основана на оцінюванні отриманих даних і виробленні поправки руху або оптимальної керуючої дії (рис.1). Адаптивна система керування судном здійснює розрахунок оптимальної керуючої дії (поправки руху) на основі здобуття інформації від блока оцінювання і керувань і посилки інформації про навігаційні параметри процесу руху судна, що дозволяє побудувати адаптивну до зовнішніх дій. В даному випадку система адаптивного керування, отримуючи інформацію від блоку оцінювання посилає сигнали на керований об’єкт з можливістю визначення свого стану. Адаптивна система керування судном здійснює керований процес руху судна, а судноводіння за допомогою інформації про вектор стану і параметри моделі керованого процесу, здійснює оптимальне керування цим процесом [4, 5].

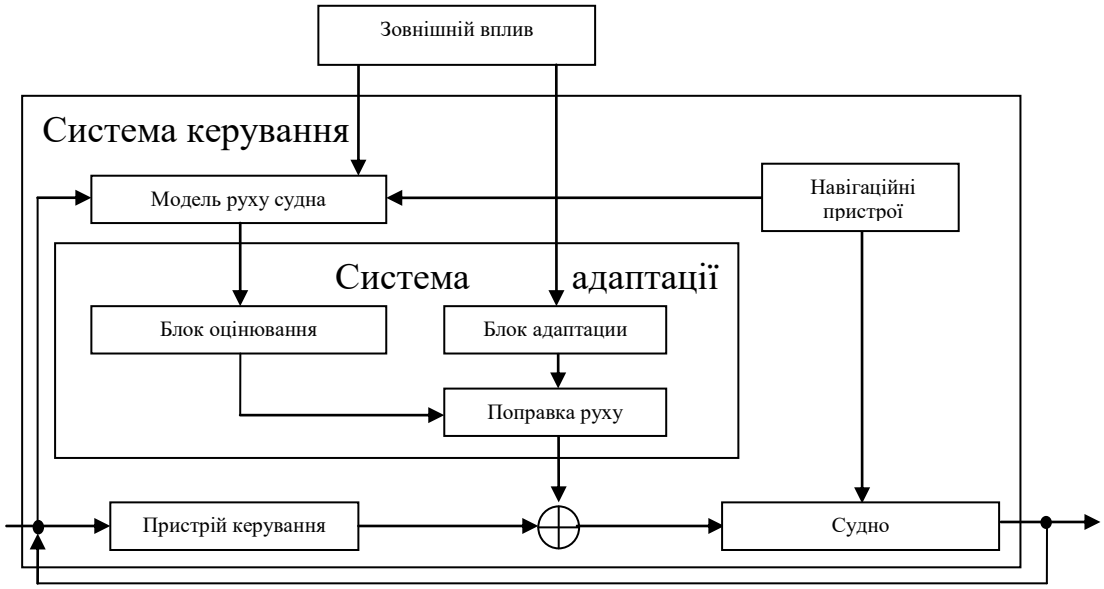

Рисунок 1 – Адаптивна система керування судном

Висновки

Проблема підвищення безпеки судноводіння є однією з найважливіших завдань, яке можливо вирішити на основі інтеграції силових установок з навігаційно-інформаційним комплексом для оптимального керування рухом судна. Вищевикладене показує, що автоматизація судноводіння охоплює досить широке коло питань, в тому числі способи отримання і обробки навігаційної інформації, вибір оптимального шляху плавання, регулювання руху судна по заданому курсу і траєкторії, в процесі маневрування, а також обробка даних від технічних засобів автоматизації управління судном.

Враховує умови використання рухових установок и силових агрегатів судна, які управляються за допомогою їх автоматизації, можливо побудувати нову систему керування адаптовану до зовнішніх факторів.

В статті обґрунтовано запропонована схема адаптивної системи керування судном для безпосередньої експлуатації в умовах тривалого морського плавання та інтенсивної роботи. Особливістю запропонованої схеми є ведення моделі руху судна та блоків оцінювання і адаптації до зовнішніх впливів для визначення та ведення поправки.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вагущенко Л.Л. Системы автоматического управления движением судна // Л.Л. Вагущенко, Н.Н. Цымбал. – Одесса: Фенікс, 2007. – 328 с.
2. Вагущенко Л.Л. Современные информационные технологии в судовождении / Л.Л. Вагущенко - Одесса: ОНМА, 2013. – 135 с.
3. http://emsa.europa.eu/publications/reports/item/4266-annual-overview-of-marine-casualties-and-incidents-2020.html.
4. Карасев В.В. Современная система автоматизация судовождения / В.В. Карасев, Н.В. Вовченко. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2005. – 108 с.
5. Власов К.П. Теория автоматического управления / К.П. Власов. – Харьков: Изд-во Гуманитарный центр, 2007. – 526 с.
6. Артемов Г.А. Суднові енергетичні установки / Г.А. Артемов, В.М. Горбов. − Миколаїв: УДМТУ, 2002. − 356 с.
7. Носенко В.М. Судовые энергетические установки / В.М. Носенко. − Николаев: ФЛН Швед В.Д., 2013. − 443 с.

Kucheruk G.Yu., Shapiro G.V., Tkachenko V.V.

DEVELOPMENT OF AN ADAPTIVE CONTROL SYSTEM MOVEMENT OF THE SHIP

The article proposes an approach to the movement of the vessel for the main estimates of the results of the current parameters of movement and analysis of information about the state of the location using adaptive control systems. Along with the description of the technical solution of the ship control system, positive and negative properties are highlighted in the construction of an adaptive system. The work also highlights the operating conditions of the adaptive ship control system.

Key words: *automated control system, adaptive system, ship control, navigation safety*

Кучерук Г.Ю., Шапиро Г.В., Ткаченко В.В.

РАЗРАБОТКА АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ СУДНА

В статье предложен подход движения судна на основные оценки результатов текущих параметров движения и анализа информации о состоянии местоположения с помощью адаптивных систем управления. На ряду с описанием технического решения системы управления судном освещаются положительные и отрицательные свойства при построении адаптивной системы. Также в работе освещается условия работы адаптивной системы управления судном.

Ключевые слова: *автоматизированная система управления, адаптивная система, управление судном, безопасность судовождения*

УДК 629.123 doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.13

Тимощук О.М., Дакі О.А., Бойко О.А., Карадобрій Т. А.

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД АДАПТИВНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ СУДНОМ ТА ШЛЯХИ ЇХ ПОБУДОВИ

В статті відображаються основні результати аналізу джерел інформації що стосується побудови адаптивних систем щодо управління судном. На ряду з аналітичним оглядом технічних рішень систем керування судном висвітлюються позитивні та негативні властивості при побудові адаптивних систем автоматизації судном. Також в праці розкриваються особливістю побудови адаптації авторульових систем судна та можливості покращення якості судноводіння в складних умовах.

Пропонується розглядати судноводіння як єдиний процес керування судном з врахуванням всіх підсистем що впливають на управління в цілому за рахунок підвищення достовірності інформації від різних енерготехнічних систем та навігаційних пристроїв що надають додаткові дані в систему керування судном.

Ключові слова: *адаптивні системи, судноводіння, керування судном, автоматизована система керування*

Вступ. Ефективне управління судном з врахуванням безпечного судноводіння забезпечується за рахунок автоматичного управління суднових вузлів, пристроїв і систем з можливістю вироблення керуючого впливу в реальному масштабі часу [1, 2]. Стрімкий розвиток інформаційних технологій та засобів автоматизації створили передумови і можливості не тільки щодо реалізації автоматизованих систем управління судном в складних умов, але і їх функціонування за рахунок адаптації до зовнішніх і внутрішніх дій [2]. Крім цього, аналіз інформаційно-керуючої зв'язків в архітектурі системи управління судна показав, що для забезпечення оптимального судноводіння і безпеки плавання в акваторіях потрібно систему керування судном розглядати як єдиний інтегрований комплекс, який пов'язаний з усіма технічними пристроями, засобами і вузлами на основі взаємопов'язаних спеціальних обчислювальних систем з наявними програмно-алгоритмічним забезпеченням з можливістю обробки даних і сигналів для оцінки водної обстановки і прокладки оптимального маршруту руху [3].

Аналіз літератури. Аналітичний огляд літератури [1÷4], показав що одним з напрямків підвищення якості судноводіння і ефективності функціонування суднових технічних засобів, є створення адаптивних систем управління судном, які дозволяють поліпшити процес керованості водного транспорту і забезпечують безпеку судноводіння в складних навігаційних умовах, а також помітно підвищує ефективність застосування під час їх експлуатації. Крім цього, адаптивні системи керування судном вирішують завдання не тільки судноводіння по заданому курсу щодо прямолінійної траєкторії руху, але і забезпечують оптимальне маневрування на основі надання різних даних про зовнішні умови і навігаційної обстановки [3]. Так одним з перспективних напрямів підвищення керованості судна в умовах динаміки, є комплексна автоматизація з урахуванням впливу зовнішніх впливів і загальної обстановки на морі, яка здійснює автоматизацію процесів навігації та судноводіння, з одного боку, а з іншого забезпечує ефективну експлуатацію роботи енерготехнічних систем за рахунок автоматизації їх управління. При цьому розробка і впровадження нових автоматизованих систем для управління судном повинна вестися з урахуванням ергатичних особливостей для оптимального вироблення керуючого впливу [4]. Тому основний автоматизації морських суден на даному етапі є розробка адаптивних систем автоматизації роботи електроенергетичних установок, палубних механізмів, вантажних пристроїв і

приладів навігації з можливістю комплексного обліку різних динамічних впливів. Так впровадження адаптивних систем автоматизації пов'язане з можливістю застосування складних цифрових обчислювальних машин, з паралельною обробкою різних типів даних з урахуванням зовнішніх і внутрішніх впливів.

Мета статті. Тому метою даної статті є провести аналіз і представити результати досліджень щодо побудови адаптивних систем керування судном з можливістю підвищення ефективності судноводіння під час його експлуатації в складних умовах для забезпечення безпеки управління судна.

Виклад основного матеріалу. Аналіз джерел [1, 2, 3] показав, що основними впливами на водний транспортний засіб є: вплив морської поверхні і вітрового навантаження. Так на об'єкт управління (судно) вплив даних збурень призводять до зміщення заданого курсу, втрати енергії в рухових установках, а також зміна властивостей маневрування і відхилення від курсу судна.

Розглянемо особливості впливу вітрового навантаження і морської поверхні на рух судна.

Найбільший вплив на водний транспортний засіб надає вітрове навантаження, яка призводить до зміни рисканья. Так наприклад, попутний вітер призводить до збільшення нишпорення судна, а при бічному вітрі відбувається до нестаціонарним змін заданого ходу судна з динамічною зміною носа і корми [3]. Також хвилювання морської поверхні сприяє до збільшення нишпорення судна, а гвинт і кермо можуть тимчасово підніматися над водною поверхнею, що також веде до зміни лінії заданого ходу і курсу з погіршенням маневреності при судноводінні [1]. В результаті вивчення літератури [1, 2] можна виділити наступні відхилення судна від лінії заданого курсу, викликані впливу вітрового навантаження і морського хвилювання морської поверхні на рух судна відповідно трьох типів:

зміни крену, асиметрії обводів корпусу, упору гвинтів. Спектр цих впливів низькочастотний і знаходиться в смузі пропускання системи управління судном;

зміна частотного спектра за межами смуги пропускання системи управління, викликане хвилюванням і різким поривом вітру;

зміни гідродинамічних характеристик морської поверхні, які призводять до зміни швидкості руху судна, а також до кормових навантажень і глибини під кілем (особливо це істотно на мілководді).

Для обліку впливів першого і другого типу застосовують Авторульові системи, які реагують на обурення щодо відхилення судна. При цьому, Авторульові реакція на відхилення судна від курсу, викликані збуреннями другого типу, що знаходяться поза смуги пропускання системи управління, призводить до форсованого впливу на рульовий привід, що не сприяє стабілізації судна на курсі і є одним з недоліків таких систем [1, 2] . Зазначений недолік усувають, введенням запізнювання в контур управління або застосуванням фільтра низьких частот на вході авторульового [4].

Третій тип збурень призводять до відхилення від курсу. В даному випадку, при постійному контролі й компенсації в системі автоматичного регулювання не можливо усунути вплив за допомогою зворотного зв'язку [4]. Дослідження збурень третього типу показав, що для оптимального управління судном необхідно виробляти перенастроювання параметрів регулятора, тобто змінювати закону регулювання, що призводить до зміни схеми управління судном [1, 2, 4]. В даному випадку зміни не враховуються в перенастроюванні регулятора, що призводить до втрат корисної потужності енергетичної установки, за рахунок [3, 4]:

збільшення шляху через відхилення від заданого курсу на частоту власних коливань судна;

додатковому опору води при русі корпусу і керма внаслідок появи кута дрейфу судна;

гальмування судна під впливом кутової швидкості нишпорення і лінійної швидкості бокового зміщення судна, а також при одночасному дрейфі і нишпоренні.

Чи не врахування зовнішніх факторів призводить до додаткової витрати палива при управлінні судном.

Таким чином, в ході проведених досліджень структурного побудова системи управління морського транспортного засобу можна виділити ряд вимог, які суттєво впливають на побудову адаптивних систем управління судном для здійснення оптимального судноводіння, такі як:

1. Визначення, оцінка та облік зовнішніх впливів впливають на технічні засоби управління судном під час експлуатації, в тому числі метеорологічних умов [1, 3, 5].

2. Забезпечення достовірності, своєчасності та надійності циркулюючої інформації в системі управління судном. При цьому автоматизована система управління судном повинна відповідати наступним принципам [3, 5]:

- функціональна автономія технічних засобів, в тому числі прийому і обробки первинної інформації (сигналів);
- модульний принцип побудови системи управління технічними засобами, а також функціональна незалежність обладнання друг від друга;
- функціональна надлишковість циркулюючої інформації з можливістю дублювання деяких видів завдань функціонування судна;
- можливість проведення оцінки та обчислення похибок в аналого-цифровому тракті для передачі інформації в систему обробки;
- можливість здійснення постійного систем контролю первинної інформації (сигналів), в тому числі стану ланцюгів передачі (вузлів і контурів) в автоматизованій системі управління судном;
- забезпечення надійної і безвідмовної роботи технічних засобів, вузлів і контурів.

3. Реалізація цифрової обробки інформації в системі управління судном з можливістю проміжного контролю і відображення даних [5].

4. Можливість в реальному масштабі часу передачі інформації (сигналів) в інформаційно-керуючої системи судна, зі збереженням своїх характеристик, в тому числі і в несприятливих умовах навколишнього середовища [3, 5].

З огляду на вищевикладене та аналізуючи літературу [4 ÷ 7], можна прийти до висновку про необхідність своєчасного реагування на зміни в системі управління судном. Таким чином, система управління повинна мати властивість перенастроювання параметрів і здійснювати «пристосування» до зміни внутрішніх і зовнішніх умов роботи. На сучасному етапі побудови суднових адаптивних систем поширені адаптивні Авторульові, в яких проводиться автоматична перебудова параметрів регулятора відповідно до заданого критерію оптимальності [3, 4]:

стабілізація судна за курсом за рахунок збільшення швидкості ходу і витрачається потужності;

максимальна точність стабілізації за курсом відповідно навігаційної безпеки з мінімальною втратою палива;

маневр відповідно заданими характеристиками по швидкості повороту з заданим радіусом кривизни.

В даному випадку адаптивні Авторульові виконують функцію оптимальної перенастроювання параметрів системи управління судном при зміні його стану в умовах зовнішніх впливу. При цьому їх можна розділити на дві основні групи [4]:

1. Група: в адаптаційної схемою в системі управління судном використовується еталонна математична модель судна (див. Рис.1 а) - автономні системи управління.

2. Група: в адаптаційної схемою в системі управління судном використовуються інформація про зовнішні дії (див. Рис.1 б) - неавтономні системи управління.

Відмінність даних груп полягає в способі формування керуючих сигналів, які впливають на систему управління судном.

Так в першій групі при автономному Авторульові сигнал формується на основі аналізу можливості управління судна за курсом і текучим вимірам, а також з модельований вихідних параметрів судна всієї системи управління. В даному випадку, такими параметрами є кут відхилення від курсу і швидкості зміни. При цьому, особливістю автономних адаптивних Авторульові є наявність еталонної математичної моделі, заснованої на диференціальних рівняннях руху судна з бажаними гідродинамічними характеристиками [3].

Процес адаптації здійснюється наступним чином. На вхід еталонної моделі надходить таке ж керуючий вплив, як на реальний об'єкт (рис. 1а). З виходу моделі знімається сигнал кутової швидкості повороту, який відповідає бажаної реакції судна. Обчислюється зміна різниці і відбувається порівняння кутової швидкості повороту з фактичної кутовий швидкістю водного транспорту. При цьому, різниця показує вимір коригуючого сигналу. В даному випадку адаптація відбувається щодо зміни і здійснюється автоматична настройка параметрів управління на основі коригуючого сигналу.

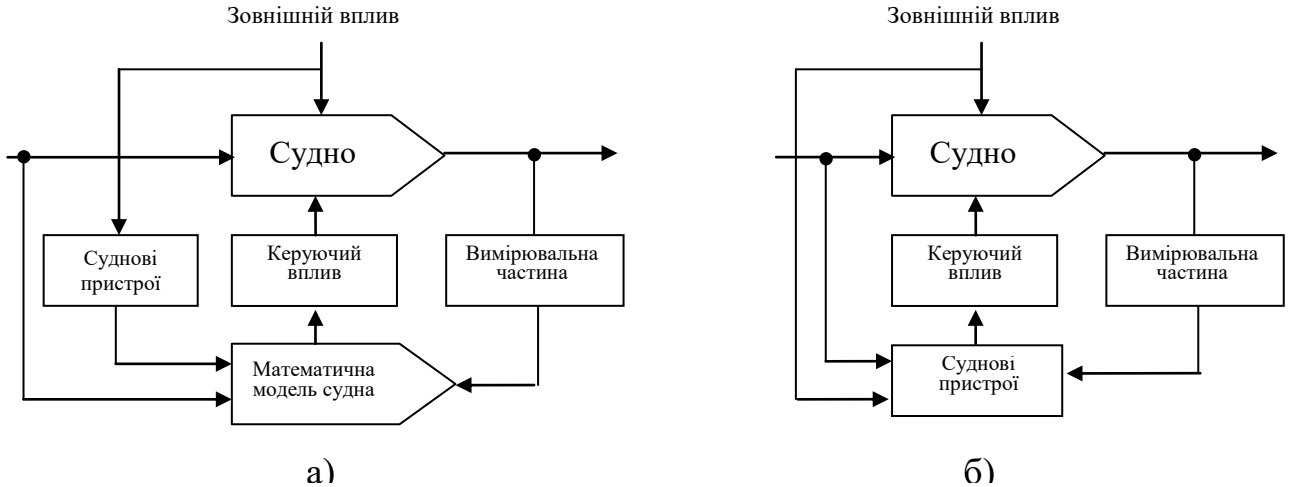

Рисунок 1 – Загальні схеми:
а) адаптована система управління судном з використанням математичної моделі;
б) адаптована система управління судном з використанням суднових пристроїв.

У другій групі адаптація авторульового здійснюється на основі заздалегідь встановленої залежності змін управління судном від зовнішніх умов: глибини під кілем, швидкості, завантаження судна, хвилювання моря і т.д. [1, 3]. Зміна зовнішніх умов оцінюється за допомогою відповідних датчиків, таких як: ехолот, лаг, вимірювача качки і інші. При цьому, обурення, що діють на систему управління судном, призводять до відхилення його від заданого курсу і до зміни параметрів руху як об'єкта управління. Такі системи відносяться до автономних пошуковим системам. При цьому, особливістю неавтономних систем адаптивного управління Авторульові є використання додаткового контуру самонастроювання, який забезпечує виконання наступних функцій [1, 3, 4]:

додаткова інформація про зовнішні дії, а також про властивості основного контуру в динамічному режимі системи управління в процесі експлуатації;

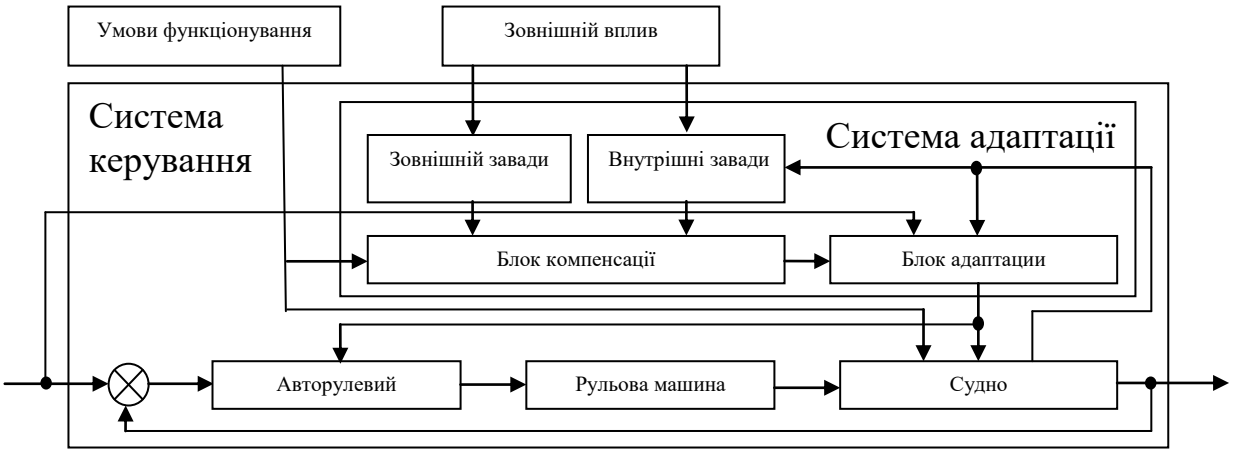

Рисунок 2 – Схема неавтономної адаптивної системи керування судном

обчислення ефективності по заданому критерію якості на основі інформації, що використовується;

забезпечення оптимального режиму роботи системи управління судна на основі вироблення керуючого сигналу для мінімізації за обраним критерієм якості.

Відповідно вищевикладеного неавтономні адаптивні системи управління судном (рис. 2) можна поділити на дві групи [5, 6]:

настройка системи управління по оптимальних значень параметрів;

аналіз статистичних даних в процесі управління з можливістю адаптації системи управління.

В даному випадку настройка системи управління по оптимальних значень параметрів залежить від перенастроювання Авторульові з адаптацією, яка здійснюється за обраним критерієм якості. Так у схемі авторулёвого використовується спеціалізований обчислювальний комплекс з набором програм і в разі надходження інформація від суднових датчиків (гірокомпас, лаг, маятникового кренометр і інші) виробляється перенастроювання енерготехнічна системи судна за обраним критерієм. На сьогоднішній день вимірювальна інформація, яка надходитиме від датчиків (первинна інформація) енергетичних установок обробляється за допомогою алгоритму Калмана, який служить для виділення корисного сигналу управління на тлі перешкод, викликаних відхиленням судна від курсу при хвилюванні [6 7]. Алгоритм Калмана досить вивчений і дозволяє забезпечувати вироблення оцінок параметрів руху судна, необхідних для оптимізації налаштування авторульового і прогнозування бажаної реакції судна на дії. Крім цього, даний алгоритм визначає оптимальні значення параметрів настройки авторульового. Про даному алгоритмі написано багато літератури, в якій по кроків розписані дії про його виконанні.

Також на сучасному етапі розвитку систем управління судном в деяких типах Авторульові використовуються дані отримані від системи автоматичного регулювання рухом судна відповідно динаміки роботи по курсу в різних умовах функціонування [6, 7]. Це здійснюється за допомогою бортових обчислювальних комплексів за спеціальними програмами. Застосування даних програм здійснюється в залежності від набору текучих параметрів швидкості судна, смуги пропускання частот системи, а також вибору критерію якості.

У другій групі: використання Авторульові з адаптацією, заснованої на аналізі статистичних даних в процесі управління, необхідно розглядати поведінку судна як стаціонарний випадковий процес. В даному випадку поведінка руху судна можна описати за допомогою багатовимірної моделі, яка визначається процедурою пошуку мінімуму інформаційного критерію [7]. При цьому математична модель ненадійна. Це пов'язано з тим що виникає необхідність забезпечувати високу точність апріорної інформації від зовнішніх впливів. В даному випадку апроксимація процесу чутлива до статистичного шуму і призводить до огрубіння отриманих первинних результатів. Застосовуючи цю модель, необхідно проводити аналіз спектра змінних стану судна і обчислювати оптимальні значення параметрів настройки системи. Обробка поточних параметрів моделі здійснюється за допомогою методу максимальної правдоподібності. Тому в адаптивних Авторульові найбільшого поширення набули економічні критерії якості управління [6, 7]. Це пов'язано з простотою оцінки ефективності різних економічних критеріїв, які залежать від погодних умов.

На сучасному розвитку обчислювальної техніки пропонується створення об’єднаного комплексу управління судном в якому процес керування судном буде розглядати як єдиний під час судноводіння з врахуванням всіх підсистем що впливають на управління в цілому. Одним із перспективних напрямків є необхідність більшої інтеграції систем управління судном в умовах забезпечення встановлених вимог судноводіння на основі інтеграції системи керування та енергетичних підсистем судна. Це дає можливість не тільки полегшити процес адаптації систем керування судном, але і підвищити достовірність прийняття рішення під час управління судном в складних умовах та отримання своєчасної інформації від різних енерготехнічних систем та навігаційних пристроїв що надають додаткові дані в систему керування судном.

Висновки. Аналізуючи літературу та досвід експлуатаційної роботи, можна зробити висновок, що створення і впровадження в практику адаптивних систем керування судном є перспективним. Це пов'язано з тим, що виникає необхідність здійснювати судноводіння в складних умовах, а також розвитком нових шляхів реалізації Е-навігації.

ЛІТЕРАТУРА

1. Вагущенко Л.Л. Системы автоматического управления движением судна // Л.Л. Вагущенко, Н.Н. Цымбал. – Одесса: Фенікс, 2007. – 328 с.
2. Карасев В.В. Современная система автоматизация судовождения / В.В. Карасев, Н.В. Вовченко. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2005. – 108 с.
3. Баранов Г.Л. Функціональна стійкість навігаційного обслуговування безпеки судноплавства на внутрішніх водних шляхах / Г.Л. Баранов, А.М. Носовський, І.В. Тихонов // Монографія - Київ: КДАВТ, 2012. – 149 с.
4. Власов К.П. Теория автоматического управления / К.П. Власов. – Харьков: Изд-во Гуманитарный центр, 2007. – 526 с.
5. Вагущенко Л.Л. Современные информационные технологии в судовождении / Л.Л. Вагущенко - Одесса: ОНМА, 2013. – 135 с.
6. Артемов Г.А. Суднові енергетичні установки / Г.А. Артемов, В.М. Горбов. − Миколаїв: УДМТУ, 2002. − 356 с.
7. Носенко В.М. Судовые энергетические установки / В.М. Носенко. − Николаев: ФЛН Швед В.Д., 2013. − 443 с.

Тимощук О.М., Дакі О.А., Бойко О.А., Карадобрій Т. А.

ANALYTICAL INSPECTION OF ADAPTIVE VESSEL CONTROL SYSTEMS AND WAYS OF THEIR CONSTRUCTION

The article presents the main results of the analysis of information sources related to the construction of adaptive systems for ship control.

Along with the analytical review of technical solutions of ship control systems, the positive and negative properties in the construction of adaptive ship automation systems are highlighted. The paper also reveals the peculiarity of the construction of the adaptation of the rudder systems of the ship and the possibility of improving the quality of navigation in difficult conditions. It is proposed to consider navigation as a single process of ship control, taking into account all subsystems that affect control in general by increasing the reliability of information from various energy systems and navigation devices that provide additional data to the ship control system.

Key words: *adaptive systems, navigation, ship control, automated control systems*

Tymoshchuk O.M., Daki O.A., Boyko O.A., Karadobriy T.A.

АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СУДНОМ И ПУТИ ИХ ПОСТРОЕНИЯ

В статье отображаются основные результаты анализа источников информации связанные с построения адаптивных систем управления судном. На ряду с аналитическим обзором технических решений систем управления судном освещаются положительные и отрицательные свойства при построении адаптивных систем автоматизации судном. Также в работе раскрываются особенностью построения адаптации авторулевого систем судна и возможности улучшения качества судовождения в сложных условиях. Предлагается рассматривать судовождения как единый процесс управления судном с учетом всех подсистем влияющие на управление в целом за счет повышения достоверности информации от различных энерготехнических систем и навигационных устройств, предоставляющих дополнительные данные в систему управления судном.

Ключевые слова: *адаптивные системы, судовождение, управление судном, автоматизированная система управления*

УДК 629.123 doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.14

Зазірний А.А.

МЕТОД ФОРМАЛІЗАЦІЇ ЗНАНЬ ПРО ПРОЦЕС ОЦІНКИ ДІЙ СУДНОВОДІЯ СУДНА-ПОТЕНЦІЙНОЇ ЗАГРОЗИ

У статті розроблено метод формалізації знань про процес оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози, який дозволяє автоматизувати оцінку маневру судна-потенційної загрози для попередження ситуацій небезпечного зближення (зіткнення). Експлуатація складних систем, до якої можна віднести діяльність судноводія під час управління рухом судна, характеризується високим ступенем напруженості роботи при виникненні небезпечних ситуацій. При експлуатації можуть змінюватися загальні характеристики системи "судноводій – судно – середовище" через варіабельність характеристик судноводія, викликану зміною впливу навігаційної обстановки, в якій відбувається експлуатація судна, складністю реалізованих алгоритмів діяльності, часом безперервної роботи оператора і т. п. Ефективність функціонування системи "судноводій – судно – середовище" як кінцевої ланки у безпеці плавання у значній мірі визначається впровадженням нових інформаційних технологій та можливостями судових систем управління. Наявність навігаційних небезпек та інтенсивність руху суден значною мірою ускладнюють судноводіння в обмежених водах і створюють підвищені ризики виникнення аварійних ситуацій. У разі небезпечного зближення суден виникає ситуація, яка передбачає спільні узгоджені дії судноводіїв щодо попередження можливого зіткнення. Однак питання формалізації оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози, особливо координованих взаємодій мало досліджені, хоча проблема актуальна, тому що її рішення дозволяє забезпечити більш високий рівень безпеки розходження судів. Тому розробка методу формалізації знань про процес оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози дозволить підвищити безпеку судноплавства за рахунок підвищення оперативності та обґрунтованості прийняття рішення при плануванні маневру розходження в ситуації небезпечного зближення (зіткнення).

Ключові слова: *судно, судноводій ситуація небезпечного зближення, навігаційна обстановка.*

Постановка проблеми. Впровадження систем підтримки прийняття рішення (СППР) у системи управління судном дозволило удосконалити процес прийняття рішень з оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози. Отримані результати дослідження діяльності судноводія показали, що при проектуванні СППР, як правило, застосовувався системотехнічний підхід [1]. У кращому випадку характеристики та обмеження, властиві людині, враховувалися при проектуванні підсистем введення – виведення інформації систем управління судном. При цьому таке врахування поширювалося в основному на психофізіологічні параметри людини.

Застосування нових підходів до проектування СППР дозволить розвинути управлінські інформаційні системи до високого ступеня інтелектуалізації діяльності судноводія при прийнятті рішень в ситуаціях небезпечного зближення (зіткнення), що характеризуються високою складністю, невизначеністю та слабкою структурованістю [2]. Концептуальною основою проектування сучасних систем управління, що включають в себе СППР, повинен бути антропоцентричний підхід [3]. Ґрунтуючись на результатах дослідження діяльності судноводія при оцінці дій судноводія судна-потенційної загрози і з огляду на антропоцентричний підхід до автоматизації процесів інформаційного забезпечення його діяльності, необхідно автоматизувати рішення таких завдань:

– оцінка ситуації, відповідно до навігаційної обстановки, що склалася в межах зони відповідальності судноводія;
– оцінка маневру судна-потенційної загрози.

Такий підхід вдосконалення інформаційного забезпечення процесу оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози призводить до необхідності розробки методів автоматизованого рішення завдань оцінки навігаційної обстановки та дій судноводія, а також зміни структури інформаційних моделей та методів управління ними.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літератури показав, що дане завдання є актуальним, і для його рішення розроблені підходи, засновані на різних методах обробки інформації і вироблення рішень. У роботі [4] розглядаються стандартні підходи для оцінки ситуації небезпечного зближення, засновані на прогнозуванні подальшої ситуації на чисельних методах розрахунку руху суден. Даний підхід враховує, в основному, інформацію від одного джерела, не враховує методи об'єднання інформації від різних джерел для отримання більш повної інформаційної моделі ситуації. Пропонується використовувати математичний апарат нечітких множин для оцінки ризику небезпечної ситуації. У роботі [5] для оцінки ситуації запропоновано використовувати сценарну модель настання аварійної морської події (АМП). Розглянуті в роботі методи засновані на евристичній ймовірнісній ідентифікації, графоаналітичній формалізації і супроводі за показовим законом зміни поточної ситуації за часом. Використовується імовірнісна модель аварійної ситуації. Недоліком є досить велика надмірність системи. У роботах [6-7] ситуації визначаються на основі формування результуючих часткових взаємодій судів. Для побудови використовуються навігаційні параметри руху судна і правила МППСС-72. У роботі [8] ситуації небезпечного зближення визначають на основі розроблених методів побудови небезпечних зон, потрапляння судів в які може призвести до зіткнення. Для побудови цих зон розглядаються лише навігаційні параметри руху суден. У роботі [9] запропоновано використовувати математичний апарат нечітких множин для обробки сигналів від суднових РЛС для більш точного визначення параметрів руху суден і формування на основі цих даних інформації про ситуацію. У роботі [10] розглянута гібридна модель логічного виведення з об'єднанням механізму прийняття рішень на основі прецедентів з механізмом, заснованим на правилах або обмеженнях. Показано, що завдання вироблення рішень для забезпечення безпеки судна є актуальними для запобігання небезпечним ситуація в водних акваторіях.

Мета дослідження полягає у підвищенні оперативності та обґрунтованості прийняття рішення у процесі планування маневру розходження в ситуації небезпечного зближення (зіткнення).

Основні результати дослідження. Одним із завдань оцінки навігаційної обстановки при плануванні маневру запобігання небезпечного зближення (зіткнення) є завдання оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози (далі судно-загроза). У ході вирішення даного завдання необхідно врахувати ряд допоміжних завдань. Такими завданнями є: завчасне розпізнавання судна-потенційної загрози, визначення зони можливих маневрів судна-потенційної загрози, прогнозування дій судноводія судна-загрози щодо попередження ситуації небезпечного зближення (зіткнення) та ін. Необхідно відмітити, що вирішення даного завдання значно ускладняється в умовах складної навігаційної обстановки (складні метеогідрологічні умови, проходження мілководдя, вузькостей, районів з інтенсивним рухом та ін.). За цих умов судноводії не можуть у повній мірі користуватися вимогами керівних документів щодо запобігання ситуацій небезпечного зближення (зіткнення), оскільки виконуючи маневр відповідно до вимог керівних документів, може виникнути ситуація небезпечного зближення (зіткнення) з іншою навігаційною перешкодою. Далі розглянемо метод рішення завдання оцінки маневру судна-загрози при виникненні ситуації небезпечного зближення (зіткнення).

Рішення оцінки маневру судна-загрози є однією зі складових процесу оцінки навігаційної обстановки судноводієм. Якість вирішення даного завдання в значній мірі впливає на формування рішення при плануванні маневру розходження в ситуації

небезпечного зближення (зіткнення). Оцінка маневру судна-загрози проводиться на основі аналізу таких даних:

1. Дані про власне судно.

2. Навігаційна обстановка в зоні відповідальності судноводія.

3. Дані про судно-загрозу.

4. Можливі напрямки руху, найбільш ймовірні маневри; можливі варіанти дій судноводія судна-загрози та ін.

Визначити маневр судна-загрози можна з урахуванням даних про його просторове положення, знань про цілі та завдання, покладені на судноводія судна-загрози. Методи вирішення завдання визначення маневру судна загрози були розглянуті в роботі [4].

Проведений аналіз показує, що існуючі методи оцінки маневру судна-загрози не дозволяють врахувати динаміку зміни навігаційної обстановки в умовах накопичення інформації про дії судноводія судна-загрози, а також використовувати знання про способи побудови виконання маневру розходження в ситуації небезпечного зближення (зіткнення). Не враховуються також цілі та завдання, які вирішуються судноводієм в ситуації небезпечного зближення (зіткнення). Таким чином, актуальним є розробка методу оцінки маневру судна-загрози в небезпечних ситуаціях, що враховує недоліки зазначені вище. При розробці методу оцінки маневру судна-загрози введемо ряд припущень і обмежень:

1. Судноводій судна-загрози діє цілеспрямовано і прагне до досягнення своїх цілей.

2. Основною метою дій судноводія судна-загрози є забезпечення безпеки плавання, збереження життя та здоров'я екіпажу, недопущення пошкодження або втрати судна та вантажу.

3. Судноводій судна-загрози керується накопиченим досвідом управління судном, що робить можливим використання даного досвіду при розробці пропонованого методу.

4. Судноводій судна-загрози намагається мінімізувати свої втрати в ситуації небезпечного зближення (зіткнення).

5. Судноводій судна-загрози керується вимогами керівних документів [3] при побудові маневру розходження, і ці дані використовує при визначенні маршруту при запобіганні ситуації небезпечного зближення зіткнення.

6. Маневр розходження судно-загроза здійснює найкоротшим шляхом. У ситуації небезпечного зближення (зіткнення) судноводій судна-загрози змінює маршрут тільки після зникнення небезпеки для власного судна.

Керуючись даними припущеннями та обмеженнями, перейдемо до розробки методу оцінки маневру судна-загрози в ситуації небезпечного зближення зіткнення, який буде включати в себе такі складові.

Нехай відомі наступні дані про судно-загрозу:

$$I_{pt}\left(x_{pt}, \mathrm{y}_{pt}, q_{pt}, v_{pt}\right), \tag{1}$$

де x_{pt}, y_{pt} – координати судна-загрози, q_{pt} – курс судна-загрози, v_{pt} – швидкість судна-загрози. Нехай також відомі дані про розміри та глибину зони взаємних обов'язків:

$$Z_{res}\left[l_Z, \mathrm{s}_z, \mathrm{d}_z\right], \tag{2}$$

де $l_Z, \mathrm{s}_z, \mathrm{d}_z$ – просторові характеристики ширини довжини та глибини Z_{res}. Тоді можна задати зону маневру судна-загрози, в якому можлива побудова маршруту розходження:

$$Z_{mov}^{pt}\left[l_{mov}^{pt}, \mathrm{s}_{mov}^{pt}, \mathrm{d}_{mov}^{pt}\right] \tag{3}$$

де $l_{mov}^{pt}, \mathrm{s}_{mov}^{pt}, \mathrm{d}_{mov}^{pt}$ – просторові характеристики ширини довжини та глибини Z_{mov}^{pt}.

При цьому, $l_{mov}^{pt}, \mathrm{s}_{mov}^{pt}$ – визначаються навігаційною обстановкою, а d_{mov}^{pt} – технічними можливостями судна-загрози. Умовне графічне зображення Z_{mov}^{pt} та Z_{res} при наявності навігаційних перешкод у ситуації небезпечного зближення зіткнення показано на рис.1

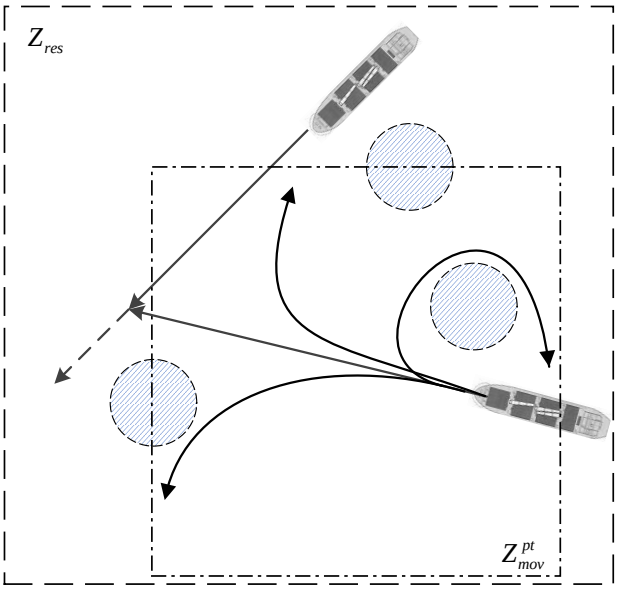

Рисунок 1 – Умовне графічне зображення Z_{mov}^{pt} та Z_{res} при наявності навігаційних перешкод

Визначення Z_{mov}^{pt} судна-загрози дозволяє судноводію визначити можливі маневри розходження, що може застосувати судноводій судна-загрози при настанні ситуації небезпечного зближення (зіткнення). Але для більш повного врахування чинників, що впливають на вибір маневру розходження, необхідно, врахувати завдання, що вирішуються судноводієм судна-загрози при плануванні маршруту, а також цілі, які стоять перед ним відповідно обстановки, що складається. Для цього необхідно формалізувати знання про множину завдань, що вирішуються судноводієм судна-загрози:

$$G\left(g_i\right), i = \overline{1, I}. \tag{4}$$

Множина цілей, що стоять перед судноводієм судна-загрози при плануванні маневру розходження, задамо як:

$$C\left(c_j\right), j = \overline{1, J}. \tag{5}$$

Множину можливих маневрів судна-загрози представимо як:

$$M\left(m_v\right), v = \overline{1, V} \tag{6}$$

Множину завдань, вирішення яких необхідне для досягнення цілі c_j, можна задати морфізмом μ^{c_j}:

$$\mu^{c_j} : c_j \xrightarrow[i=\overline{1,I}]{} g_i \tag{7}$$

Таким чином, можна задати морфізм, що визначає перелік можливих маневрів судна-загрози, до виконання яких судноводій буде прагнути, вирішуючи завдання g_i для досягнення цілей c_j:

$$\mu^{g_i} : g_i \xrightarrow[v=\overline{1,V}]{} m_v \tag{8}$$

Після чого визначається множина маневрів, які судноводій дозволяють виконати характеристики судна-загрози. Далі перевіряємо, чи потрапляють маневри з m_v у зону маневру судна-загрози. Далі для формалізації знань, що використовуються при вирішенні завдання оцінки маневру судна загрози в якості вхідних даних, візьмемо такі:

$$I_{pt}\left(x_{pt}, \mathrm{y}_{pt}, q_{pt}, v_{pt}\right),$$

$$Z_{res}\left[l_Z, \mathrm{s}_z, \mathrm{d}_z\right], Z_{mov}^{pt}\left[l_{mov}^{pt}, \mathrm{s}_{mov}^{pt}, \mathrm{d}_{mov}^{pt}\right], G\left(g_i\right), i=\overline{1,I}, M\left(m_v\right), v=\overline{1,V}, C\left(c_j\right), j=\overline{1,J}.$$

Структура методу формалізації знань про процес оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози наведена на рис. 2.

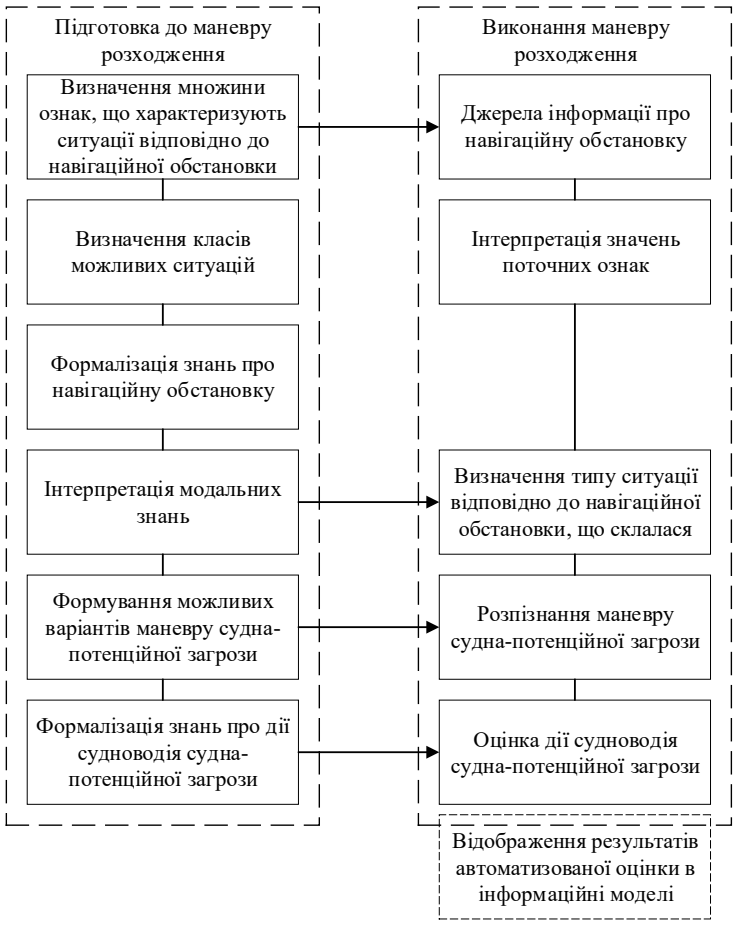

Рисунок 2 – Структура методу формалізації знань про процес оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози

Висновки. Представлено метод формалізації знань про процес оцінки дій судноводія судна-потенційної загрози, в якому вперше запропоновано спільне використання методів розпізнавання навігаційної обстановки зі знаннями про цілі та завдання судноводія судна-загрози. При цьому забезпечується можливість врахування результатів етапу планування і динаміки зміни навігаційної обстановки.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Смоленцев С. В.** Автоматический синтез решений по расхождению судов в море / С. В. Смоленцев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2016. – № 2 (38). – С. 7–15.
2. **Цымбал Н. Н.** Определение группы взаимодействующих судов в ситуации опасного сближения / Н.Н. Цымбал, М.А. Булгаков, В.В. Байрак // Судовождение: Вып. 16. – Одесса: «ИздатИнформ», 2009. – С. 193-197.
3. **Шептуха Ю. М.** К вопросу синтеза эргатической системы принятия решений о маневре безопасного расхождения судов /Ю. М. Шептуха // Кибернетика и вычислительная техника. – 1989. № 84. – С. 43-45.
4. **Вагущенко Л. Л.** Поддержка решений по расхождению с судами / Л.Л. Вагущенко Одесса: Феникс, 2010. – 229 с.
5. **Обертюр К. Л.** Повышение безопасности эксплуатации судов методами управления событиями: дис. ... кандидата техн. наук 05.22.20 / Обертюр Константин Леонидович. Одесса, 2015. – 223 с.
6. **Бужбецкий Р. Ю.** Совершенствование методов предупреждения столкновения судов с учетом особенностей их взаимодействия: дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.13 / Бужбецкий Ростислав Юрьевич. Одесса, 2016. – 223 с.
7. **Булгаков А. Ю.** Разработка метода выбора стратегии расхождения судов с использованием областей опасных курсов: дис. ... кандидата техн. наук : 05.22.13 / Булгаков Александр Юрьевич. Одесса, 2016. – 256 с.
8. **Бурмака А.И.** Разработка метода выбора стратегии расхождения в ситуации чрезвычайного сближения судов: дис. ... кандидата техн. наук …05.22.13 / Бурмака Алексей Игоревич. Одесса, 2016. – 246 с.
9. **Гриняк В. М**. Разработка математических моделей обеспечения безопасности коллективного движения морских судов: дис. ... доктора техн. наук : 05.13.18 / Гриняк Виктор Михайлович. Владивосток, 2016. – 297 с.
10. **Астреин В. В.** Методология анализа и синтеза сложных активных технических систем и ее реализация в системе безопасности судовождения: дис. ... доктора техн. наук : 05.13.01 / Астреин Вадим Викторович. Краснодар, 2017. – 311 с.

REFERENCES

1. **Smolentsev, S. V** (2016). Automatic synthesis of solutions for diverging vessels at sea [Avtomaticheskiy sintez resheniy po raskhozhdeniyu sudov v more]. Bulletin of the State University of the Sea and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov. Vol. 2, № 39. P.7-15.
2. **Tsymbal, N. N.** (2009). Determination of a group of interacting vessels in a situation of dangerous approach [Opredeleniye gruppy vzaimodeystvuyushchikh sudov v situatsii opasnogo sblizheniya]. Navigation. Vol. 16. P.193-197.
3. **Sheptukha, Yu. M.** (1989). On the synthesis of an ergatic system for making decisions on the maneuver of safe separation of ships [K voprosu sinteza ergaticheskoy sistemy prinyatiya resheniy o manevre bezopasnogo raskhozhdeniya sudov]. Cybernetics and Computer Science. №84. P.43-45.

4. **Vagushchenko, L. L.** (2010). Support for decisions on discrepancy with ships [Podderzhka resheniy po raskhozhdeniyu s sudami], Fenix, Odesa, 229 p.
5. **Oberture, K. L.** (2015), Improving the safety of ships operation by event management methods [Povysheniye bezopasnosti ekspluatatsii sudov metodami upravleniya sobytiyami]: PhD thesis, Odesa national maritime academy, Odesa, 223 p.
6. **Buzhbetsky, R. Yu.** (2016), Improvement of methods for preventing collision of ships, taking into account the peculiarities of their interaction [Sovershenstvovaniye metodov preduprezhdeniya stolknoveniya sudov s uchetom osobennostey ikh vzaimodeystviya]: PhD thesis, Odesa national maritime academy, Odesa, 223 p.
7. **Bulgakov, A. Yu.** (2016), Development of a method for choosing a divergence strategy using areas of dangerous courses [Razrabotka metoda vybora strategii raskhozhdeniya sudov s ispol'zovaniyem oblastey opasnykh kursov]: PhD thesis, Odesa national maritime academy, Odesa, 256 p.
8. **Burmaka A.I.** (2016), Development of a method for choosing a divergence strategy in a situation of emergency approach of ships [Razrabotka metoda vybora strategii raskhozhdeniya v situatsii chrezvychaynogo sblizheniya sudov]: PhD thesis, Odesa national maritime academy, Odesa, 246 p.
9. **Grinyak,V. M.** (2016), Development of mathematical models for ensuring the safety of the collective movement of sea vessels [Razrabotka matematicheskikh modeley obespecheniya bezopasnosti kollektivnogo dvizheniya morskikh sudov]: PhD thesis, Eastern Federal University, Vladivostok, 297 p.
10. **Astrein, V.V.** (2017), Methodology of analysis and synthesis of complex active technical systems and its implementation in the navigation safety system [Metodologiya analiza i sinteza slozhnykh aktivnykh tekhnicheskikh sistem i yeye realizatsiya v sisteme bezopasnosti sudovozhdeniya]: PhD thesis, Kuban State Technological University, Krasnodar, 311 p.

Zazirnyi Andrii

METHOD OF FORMALIZATION OF KNOWLEDGE ABOUT THE PROCESS OF EVALUATION OF THE ACTION OF A SHIP-DRIVER OF A SHIP-POTENTIAL THREAT

The article develops a method of formalizing knowledge about the process of assessing the actions of the master of the ship-potential threat, which allows to automate the assessment of the maneuver of the ship-potential threat to prevent situations of dangerous approach (collision). The operation of complex systems, which can be attributed to the activities of the master while controlling the movement of the vessel, is characterized by a high degree of work intensity in the event of dangerous situations. During operation, the general characteristics of the system "master - ship - environment" may change due to the variability of the characteristics of the master, caused by changes in the navigation environment in which the vessel operates, the complexity of the implemented algorithms, the time of continuous operation, etc. The effectiveness of the system "master - ship - environment" as the final link in the safety of navigation is largely determined by the introduction of new information technologies and capabilities of ship management systems. The presence of navigational hazards and the intensity of vessel traffic significantly complicate navigation in limited waters and create increased risks of accidents. In the event of a dangerous approach of vessels, a situation arises which provides for joint concerted actions by the drivers to prevent a possible collision. However, the issues of formalizing the assessment of the actions of the ship's captain-potential threat, and especially coordinated interactions have been little studied, although the problem is relevant because its solution allows to ensure a higher level of safety of divergence. Therefore, the development of a method of formalizing knowledge about the process of assessing the actions of the master of the ship-potential threat will increase the safety of navigation by increasing the efficiency and validity of decision-making when planning a maneuver of divergence in a dangerous approach (collision).

Key words: *ship, navigator, situation of dangerous approach, navigation situation.*

Андрей

МЕТОД ФОРМАЛИЗАЦИИ ЗНАНИЙ О ПРОЦЕССАХ ОЦЕНКИ ДЕЙСТВИЙ СУДОВОДИТЕЛЯ СУДНА-ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ УГРОЗЫ

В статье разработан метод формализации знаний о процессе оценки действий судоводителя судна-потенциальной угрозы который позволяет автоматизировать оценку маневра судна-потенциальной угрозы для предупреждения ситуаций опасного сближения (столкновения). Эффективность функционирования системы "судоводитель - судно - среда" как конечного звена в безопасности плавания в значительной степени определяется внедрением новых информационных технологий и возможностями судовых систем управления. В случае опасного сближения судов возникает ситуация, которая предусматривает совместные согласованные действия судоводителей по предупреждению возможного столкновения. Однако, вопрос формализации оценки действий судоводителя судна-потенциальной угрозы, особенно координированных взаимодействий мало исследованы, хотя проблема актуальна, так как ее решение позволяет обеспечить более высокий уровень безопасности расхождения судов. Поэтому разработка метода формализации знаний о процессе оценки действий судоводителя судна-потенциальной угрозы позволит повысить безопасность судоходства за счет повышения оперативности и обоснованности принятия решения при планировании маневра расхождения в ситуации опасного сближения (столкновения).

Ключевые слова: *судно, судоводитель ситуация опасного сближения, навигационная обстановка.*

УДК 621.791 doi.org/10.33298/2226-8553/2020.3.31.15

Міхеєв О.І., Федотов В.Г., Сєрова Т.О.

ФЕНОМЕН МОРСЬКОЇ ВОДИ

У статті наведені маловідомі дані про воду звичайну, але більше про морську, про цю дивовижну субстанцію, без якої людина перетворюється в порожнє місце, та й сама планета наша без води - це вже не царство життя, але царство смерті. Останнім часом людина навіть перестала звертати увагу на воду лише тому, що вона до неї банально звикла, вона її як би не помічає. А насправді вона її просто недооцінила. В реальності ж її існування вода є чи не головною складовою частиною людського життя, і вона, людина, не просто повинна, але зобов'язана про це завжди пам'ятати. Виявляється, що морська та океанська вода також має дуже велике принципове значення для життя людини як і звичайна питна вода тому, що вона не просто солона, а містить в себе саме від 34 до 39‰. Чому це так? Особливо зараз встає і друге питання – яка властивість морської води є головною для людства серед її інших фізичних характеристик? Таким чином, мета теперішній статті – знайти відповіді на ці та інші питання, що в неї поставлені.

Ключові слова: *морська вода, електропровідність, корозія, пам'ять*

Вступ. Перш, ніж писати про морську воду згадаємо спочатку, що таке звичайна, питна, «проста» вода? Наскільки пам'ятає себе людина, протягом багатьох століть вона настільки долучилася до звичайної води, що до недавнього часу взагалі перестала звертати на неї свою увагу. Вона просто до неї звикла. Але, виявляється, звикання – далеко не завжди є корисною людською властивістю. У цьому сенсі особливо актуальне народне прислів'я: «Що маємо - не бережемо, а втративши - гірко плачемо!» Саме такий час вже настав. Сучасна наука активно заявляє, що XXI століття, особливо його друга половина, перетвориться в міжнародне суперництво за власне володіння ресурсами питної води.

Всім добре відомо, що сама людина складається приблизно на 70% з води, але сталося так, що вона - «цар природи» не може і дня обійтися без H_2O. Ця рідина є другим, після повітря, стратегічно необхідним для людини життєвим продуктом.

У той же час мало кому відомо, що вода є найбільший Божий дар! І, мабуть, найдивовижніша на нашій планеті даність, бо вода являє собою сокровенну таємницю самого життя на Землі!

Незважаючи на те, що вода прийнята за стандартні зразки мір щільності, об’єму, температурної шкали (за Цельсієм) і ін., але сама вона, як це не парадоксально, має пряме відношення, мабуть, до найбільш загадкового одночасно і до речовини, і суті, що поєднує в собі і живий і неживий початок! Не знаємо, як правильно об'єднати ці два поняття в одне ціле? Швидше за все, найбільш вірним цільним визначенням води, на наш погляд, є слово – субстанція.

До таких дивовижних властивостей цієї субстанції («звичайної води») можна віднести наступні:

1. Протилежна в порівнянні з іншими тілами реакція на негативні температури: вода при замерзанні не стискується як все інше матеріальне, а навпаки - розширюється. Об’єм льоду, що утворився, при цьому збільшується на 9 ... 11%, а його щільність стає менша за воду і саме тому лід не тоне. Температура води під льодом коливається в межах 1…4° С, теплопровідність ж води в 4 рази менша аналогічної характеристики льоду. З огляду на те, що більш теплі і, відповідно, більш важкі шари води (+ 4° С) знаходяться практично біля самого дна, тому глибокі водойми в зимовий час ніколи не промерзають до самого дна.

2. Ще одна аномальна характеристика води - максимальної щільності вода набуває при температурі + 4° С, що сприяє її постійному переміщенню в глибини водойми. З цієї причини властивість води завжди перемішуватися, забезпечує доставку кисню з поверхневих шарів в глибинні, підтримуючи життя рибної фауни і водної флори у всьому обсязі простору водойми.

3. У порівнянні з будь-якою рідиною вода є чемпіоном за кількістю тепла, яке віддається в навколишній простір при випаровуванні, і тому робить її найкращим регулятором температури людського тіла.

4. З усіх відомих рідких і твердих речовин вода володіє найбільшою теплоємністю. Це означає, що при поглинанні певної кількості тепла температура води підвищиться менше, ніж у іншої будь-якого речовини. Наприклад, при нагріванні на 10° С у кухонної солі виділяється тепла в 5 разів більше, у заліза - в 10 разів, у свинцю - в 30 разів більше, ніж у води. Вірно і зворотне - при охолодженні однакової маси різних речовин саме вода віддає найбільшу кількость тепла. Завдяки цій властивості вода в порівнянні з іншими речовинами здатна накопичувати максимальну кількість тепла, тим самим, забезпечуючи сталість температури тіла людини та інших теплокровних тварин і в спеку, і в холод.

5. Наступна унікальна властивість «звичайної» води - це її висока прихована теплота плавлення. Саме з цієї причини навесні повільне танення снігів і льодів, хоча і призводить до серйозних підтоплень, але все ж не несе глобальної, катастрофічної повені континентального масштабу. При цьому грунт встигає увібрати в себе величезну кількість талої вологи, оберігаючи багато рослин від можливої посухи в літній час.

6. Реально незвичайним поєднанням таких властивостей, як в'язкість, поверхневий натяг, змочуваність і дивовижна здатність розчиняти в собі практично всі речовини, дозволяє воді бути незамінним, єдино можливим «генератором» життя планети, людини, тварин і рослинного світу Землі: саме ці властивості води забезпечують оптимальний рух крові по нашим судинам, переміщення нескінченних потоків підземних вод у всіх напрямках в приповерхневих шарах земної кори (на відміну від інших рідин в'язкість води при підвищенні тиску знижується!), а також загадковим чином піднімають розчинені у воді корисні мінерали по стовбурах найвищих дерев від рівня коренів до самого останнього листочка їх крон та ін.

7. І, звичайно ж, пам'ять води, яка дозволяє їй реагувати практично на будь-яку зовнішню інформацію, запам'ятовуючи її за допомогою власної мікроструктурної перебудови на рівні свого ближнього порядку (кластерів). Такий механізм пам'яті води проявляється при впливі практично будь-яких зовнішніх збурень - електромагнітних полів, температурних коливань, звукових змін у вигляді слів або музики, радіаційних полів і т.п. [1].

Розуміючи, що в нашому світі випадковостей не буває (бо будь-яка уявна випадковість - це ще не пізнана людиною певна закономірність!), можна відповідально заявити про ще досить низький інтелектуальний рівень розвитку сучасного людства. В ході свого цілісного зростання людина в особі істинної науки, що спирається на релігійні постулати, лише в останні часи приступила до вивчення власного великого Дому - Землі, на якій її предки живуть вже протягом багатьох тисячоліть. Одним з ще незрозумілих людському розуму елементів планети Земля і є вода і її дивовижні властивості!

Таким чином, природна, звична нам вода є, як це не парадоксально звучить, глибокою, поки ще прихованою від людини великою таємницею! І тільки зараз, в XXI столітті людина намагається почати своє знайомство з цією разюче багатогранною субстанцією. І нехай це знайомство переросте в справжню дружбу і любов!

Постановка задач. З огляду на те, що звичайна вода є невід'ємною основною частиною морської води, то, мабуть, багато що викладено вище, в тій чи іншій мірі відноситься і до морської води. Однак, автори, розуміючи обмеженість обсягу цієї статті, поставили перед собою тільки три питання, на які вони і спробували відповісти у запропонованій статті:

а). Для чого води Світового океану завжди солоні, а, припустимо, не прісні?

б). Чому ця солоність має конкретний, досить вузький інтервал значень: 34- 37 ‰?

в). Що несе самій людині її вплив на стійкість і стабільність властивостей вод Світового океану і чи небезпечно це?

Результати дослідження. Головна відмінність морської води від звичайної, прісної полягає в наявності в ній розчинених різних солей Na, K, Mg, Ca та ін., Але, в першу чергу, хлористих. Саме хлористий натрій (кухонна сіль) робить морську воду солоною. Але навіщо і кому це порібно, щоб води Світового океану були солоними? Щоб відповісти на поставлене в задачах дослідження питання скористаємося двома рівнями значущості солоності океанських вод: 1 - планетарним (глобальним) і 2 - людським (земним).

Отже, перший рівень (планетарний) пов'язує в єдину глобальну налаштовану на постійну гармонію електромагнітну макросистему: сонце, найближчі планети-побратими Землі і саму Землю, в першу чергу, її ноосферу, іоно- і магнітосфери, а також води Світового океану, вулкани, земну кору, мантію і, звичайно ж, ядро нашої планети.

Другий рівень (людський) характеризує тісну взаємозалежність людини і нашої планети. Без всякого сумніву Земля створювалася виключно заради людини, забезпечуючи її максимальний комфорт життя, але тільки за однієї неодмінної умови - у відповідь любові до природи або, якщо в більш вузькому сенсі, до земної біосфері.

Тепер спробуємо послідовно розкрити сутнісний взаємний зв'язок між головними дійовими «особами» в системах цих двох рівнів.

На життя макросистеми першого рівня впливає, в першу чергу, сонце, формуючи потрібні вузькі інтервали кліматичних параметрів існування біосфери Землі. Географічно простір біосфери включає в себе атмосферу, гідросферу і літосферу або кору планети. У свою чергу, атмосфера, газоподібний кокон земної кулі, що оберігає наше життя від всіляких згубних зовнішніх факторів і регулює клімат біосфери землі, поширюється на висоту до 1000 км.

Гідросфера - земні води Світового океану займають, приблизно, 71...72% всієї поверхні планети. Ну, і нарешті, літосфера або земна кора має різну товщину (від 5 до 75 км) в залежності від координат вимірювання (на суші або під океаном).

Що ж стосується глибинних шарів Землі, то їх своєрідне «життя» визначається вже не нашим небесним світилом, а енергією внутрішнього земного генератора геомагнітного поля (ГМП). Пріоритетною, що залишається стійкою до теперішнього часу, гіпотезою про походження геомагнітного поля Землі є теорія гідромагнітного динамо [2], де головним елементом генератора ГМП безсумнівно може бути тільки ядро. При цьому саме ядро складається ніби з двох частин: внутрішньої твердої частини з радіусом ~1300 км і зовнішньої напіврідкої, що має радіус ~2200 км. Температура ядра дорівнює приблизно 6000º С при тиску 370...380 ГПа, щільність матеріалу ядра відповідає ~ 12,5 т/м^3 [3].

Виходячи з цієї гіпотези генератор ГМП являє собою ряд вихрових кілець, які утворюються в результаті пошарових рухів розігрітих і остигаючих рідких мас електропровідної оболонки, всередині якої знаходиться тверде металеве (в основному - залізне) ядро Землі, що обертається. При цьому виникає магнітне поле в результаті перенесення речовиною «вморожених» в шари магнітних ліній за рахунок конвекції. При перетині магнітних ліній твердим ядром (ротором), що обертається, в контурі напіврідких кілець «статора» індукується ЕРС. Верхні шари цих вихрових кілець за допомогою численних внутрішніх електропровідних каналів з'єднані із земною корою, через які утворюється електричний струм і тече до поверхні планети, заряджаючи земну кору негативно. Розрахунки показали, що напруженість електричного поля біля поверхні Землі приблизно дорівнює 100 В/м, така величина відповідає сумарному заряду поверхні планети в 400000 Кл [4]. На думку вчених сама Земля являє собою планетний сферичний суперконденсатор з прикладеною напругою 400 кВ. Обкладинками ж цього суперконденсатора є: з одного боку вся поверхня Землі (суша і вода), а з іншого - її іоносфера. Потенціал іоносфери відносно поверхні Землі завжди позитивний, а її величину формує і регулює грозова активність верхніх шарів атмосфери. Існує певний зв'язок між верхніми (мезосферою) і нижніми (хмарним покровом) шарами атмосфери. Цей зв'язок,

перш за все, формує блискавична активність Землі з частотою 30 ... 50 блискавок в секунду. Як встановлено [5], така блискавична активність може носити і неблискавій характер, коли відсутність «грому» і сяючого блискавичного шнура замінює «тихий, холодний» розряд у вигляді дифузного сяйва. Як правило, «неблискаві блискавки» типові для верхніх шарів атмосфери - нижнього шару іоносфери. Періодичний розряд планетного сферичного суперконденсатора має складний характер і відбувається як пробою діелектричного простору між нижніми шарами іоносфери і Земною поверхнею. В якості ж тригера, що запускає сам пробій, виступають типові громові блискавки між хмарами і Земною поверхнею.

Під дією прикладеної напруги з верхніх шарів атмосфери в нижні весь час тече струм силою $2...4 \cdot 10^{13}$ А, щільність якого становить $1...2 \cdot 10^{-12}$ А/м^2, при цьому виділяється енергія до 1,5 ГВт. І це електричне поле Землі зникло б, якби не було блискавок, а також випаровувань і дощів. За рахунок випаровувань і конденсації вологи відбувається поділ зарядів, причому негативний заряд залишається переважно в рідкій і твердій (крижинки) фазах, а позитивний заряд - в газовій. Разом з опадами негативний заряд як би падає на землю, додатково заряджаючи її негативно. При досягненні критичних значень цей конденсатор розряджають блискавки. Тому блискавки і називають розрядами [6].

Підсумовуючи викладену вище інформацію, можна констатувати, що наша Земля за рахунок внутрішньопланетного генератора постійно виробляє необхідну електричну енергію, заряджаючи поверхню негативним потенціалом. З іншого боку, в результаті впливу космічного випромінювання, сонячного вітру (магнітного і електричного полів сонця) і магнітноелектричного поля Землі утворюється досить потужний іоносферний шар, щодо земної кори заряджений позитивно. У свою чергу, земна поверхня і іоносфера нашої планети являють собою своєрідний сферичний конденсатор з прикладеною напругою приблизно 400000 В. Будь-яке порушення оптимальних, по Божому провидінню, параметрів, перш за все, електричних в цьому конденсаторі коригується грозовими розрядами блискавок, що дозволяють знижувати періодично зростаючий негативний потенціал земної кори (і на твердій, і на рідкій - водній поверхні). Саме з цієї причини *води Світового океану повинні бути солоними, тобто електропровідними.*

Тепер приступимо до відповіді на *друге питання: з якою метою діапазон солоності світових основних водних просторів коливається всього лише в межах трьох проміле - від 34 до 37 ‰*? Перш за все, розглянемо зв'язок між хімічним складом морської води (її солоністю) і кисневою розчинністю. Загальна солоність і її склад в водах Світового океану практично постійна, а у внутрішніх морях солоність істотно різниться (табл. 1) [7].

Таблиця 1– Солоність світових водних акваторій

Водні акваторії	Солоність, ‰
1. Мертве море	270,0…310,0
2. Атлантичний океан	34,0…35,5
3. Тихий океан	34,0…35,5
4. Середземне море	37.0…39,0
5. Інші моря	10,0…25,0
6. Річкова вода	0,1…0,3

Розуміючи, що загальна солоність морів і океанів визначається наявністю добре розчинних у воді таких солей, в першу чергу, як: NaCl, KCl, $CaCl_2$ і ін., а також розчинних у воді сполук йоду, брому, і, з огляду на нейтральний характер морської води (pH = 7,2 ... 8,6), можна зробити висновок про високу її електропровідність і корозійну активність. Зміна електропровідності морської води в залежності від концентрації розчинних в ній солей представлено на рис. 1. Ці криві досягають екстремумів при концентрації солі в інтервалі 50... 60 ‰ (0,16; 0,18 і 0,20 Ом$^{-1}$см$^{-1}$ відповідно при температурах 12° С; 20° С і 24° С). При

подальшому збільшенні солоності питома електропровідність води падає практично до нуля при насиченості води сіллю в межах 130... 140 ‰.

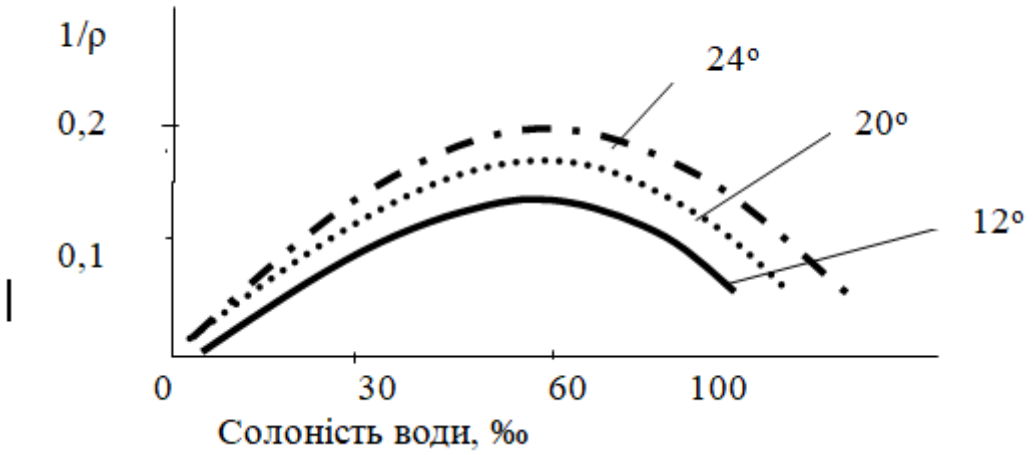

Рисунок 1 – Зміна питомої електропровідності води (1/ρ) залежно від концентрації NaCl

З табл.1 і рис.1 випливає, що води Мертвого моря повністю позбавлені іонної провідності як механізму передачі електрики і з точки зору електропровідності абсолютно «імпотентні». В принципі один цей факт вже серйозно підвищує ймовірність припущення про неможливість електрохімічної корозії в таких «мертвих» водах.

На рис. 2 показана залежність швидкості корозії стали марки Ст. 3 у відносних одиницях k від масової концентрації NaCl при температурі 200° С [9].

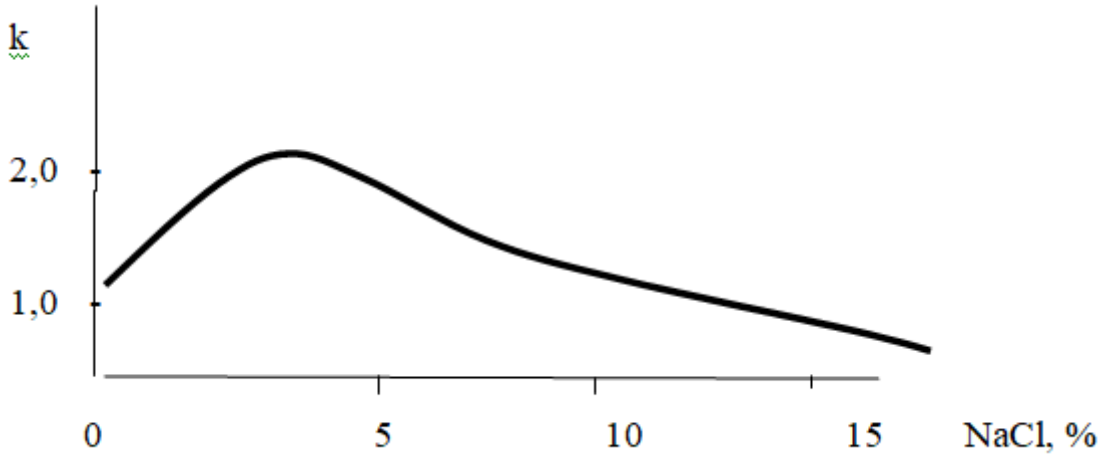

Рисунок 2 – Залежність швидкості корозії стали марки Ст.3 «k» від масової концентрації NaCl при 200° С

У таблиці 2 наведені дані розчинності атмосферного кисню в залежності від солоності води по джерелу [10].

Таблиця 2 – Розчинність атмосферного кисню ($мл O_2 \cdot л^{-1}$)при тиску 1 атм залежно від солоності води

Температура, °С	Солоність води, ‰				
	0	10	20	30	40
0	10,29	9,65	9,01	8,36	7,71
10	8,02	7,56	7,10	6,63	6,17
20	6,57	6,22	5,88	5,53	5,18
30	5,57	5,27	4,96	4,65	4,35

Швидкість корозії досягає свого максимуму десь в діапазоні концентрацій 35... 40 ‰. З рис. 1 випливає, що при такій концентрації солі електропровідність води без впливу кисню знаходиться ще на підйомі, виходячи на екстремум при сольовий концентрації 55...60 ‰. Якщо корозійну активність електроліту прийняти за цільову функцію, то на її підсумковий результат будуть впливати, головним чином, два аргументи: вміст окислювача і концентрація солі. Попередньо можна припустити, що зі збільшенням солоності більше 40 ‰ кількість кисню, який розчиняється в такій воді, помітно знижується, а в підсумку істотно падає загальна швидкість корозії.

Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що зі зростанням концентрації солі у водному розчині розчинність атмосферного кисню в ньому досить різко падає і при вмісті солі 150...160 ‰ розчинність кисню практично дорівнює нулю. На це вказує екстраполяція табличних даних. Ось тому такий характер кривої з максимумом швидкості корозії при 35 ... 40 ‰ вмісту солі у воді ми і спостерігаємо. В цьому випадку при цілком хорошій іонної провідності і відповідної розчинності кисню досяжна саме така інтегральна максимальна швидкість корозії (див. Рис. 2).

Тобто, таким чином, спільна дія окислювача (розчиненого кисню), середньорічної температури і концентрації NaCl саме в межах 34...37 ‰ і дає високу електропровідність водам Світового океану. До речі, при середньорічній океанської температурі (17,7° С) і концентраціях хлористого натрію 34...37 ‰ кількість розчиненого кисню коливається в межах 5,3... 6,3 $мл \cdot л^{-1}$, що відповідає нормальним потребам життєдіяльності основної маси риб (не менше 3,0 - 4,0 $мл \cdot л^{-1}$). Мабуть, такий вузький діапазон солоності вод визначається не тільки однією лише електропровідністю, але і іншими не менш важливими параметрами: необхідною кількістю розчиненого у воді кисню, середньою температурою, pH водного середовища і ін. Такий унікальний сукупний збалансований облік різноманітних параметрів вод океану має найважливіше значення для біосфери їх мешканців: ссавців (китів, акул, дельфінів і т.д.), риб, планктону та інших представників морської флори і фауни. Обґрунтувавши вищевикладеною інформацією відповідь на друге питання завдання нашого дослідження, переходимо до формулювання відповіді і на останнє питання: Чи впливає людина на стійкість і стабільність властивостей вод Світового океану?

Виявляється, що існує реальний факт практично повної ідентичності хімічного складу океанської води і крові людини [11]. Кров людини і морська вода так схожі між собою, що можуть при необхідності заміняти один одного без негативних наслідків (див. Табл.3).

Таблиця 3 – Порівняльний аналіз хімічного складу крові людини і морської води (%)

Об'єкт аналізу	Na	K	Ca	Cl	O_2	Інші
К р о в	30,0	1,8	0,8	49,3	9,9	8,2
В о д а	30,6	1,1	1,2	55,0	5,6	6,5

Деякі «розумники» з цього аналізу роблять глибоко помилковий висновок про те, що людина в своєму «олюдненні» нібито вийшла, вірніше, виповзла з моря. Насправді ж це свідчить про деяку єдність електропровідних схем і середовищ одночасно у двох згаданих вище біоенергетичних системах. Саме через такі схеми-середовища відбувається усвідомлене управління і регулювання основних функцій планетного і людського організмів. Така спорідненість наших рідких середовищ як елемента управління нами цілком може означати і якусь близькість наших душ! А це, в першу чергу, вимагає взаємної поваги і навіть, більше того - взаємної любові! Любові між людиною і планетною водою, між людиною і Природою у всій своїй багатогранності. На превеликий жаль, такої взаємної любові вже немає давно! І головним винуватцем цього глобального розриву є людиноподібна істота (язик не повертається назвати її людиною) з її шаленим егоїзмом! На сьогоднішній день вже більше 41% океанської поверхні Землі, тобто близько 150 млн. км^2 отруєно нафтою, різними нафтопродуктами і пластиковими відходами. З огляду на те, що нафта є потужним діелектриком, можна стверджувати про повну втрату величезними водними просторами своєї основної функціональної властивості – електропровідності. З цієї причини порушена оптимізаційна система розрядки земної кори, що автоматично спричинить, якщо вже не спричинило, до збою роботи внутрішнього планетного генератора геоелектромагнітного поля, спотворені процеси кругообігу води в земній природі, масштабні водні простори повністю позбавлені можливості випаровування і можливості розчиняти в собі потрібні обсяги кисню, гинуть морські ссавці, риба, планктон... Порушено стійкість системи утворення хмарного покриву Землі, стабільність циклічної зміни температури, тиску, радіаційної та магнітної обставини – все це вже зараз призводить до непрогнозованої зміни клімату на нашій планеті!

Але є ще більш страшні та непоправні діяння «людські», які перетворюють земні водні стихії з друга в заклятого ворога! Це те зло, та ненависть, агресію і брехню, які народжуються в надрах ментальної і астральної субстанції душі «людської». Так, японський вчений Ямото Масару своїми експериментами переконливо показав здатність води через людський вплив на неї слів і музики змінювати свою матеріальну структуру, змінювати свою сутність. Добро і любов перетворює воду, перетворюючи її в друга. Ненависть, агресія і брехня змушують воду страждати, перетворюючи її на отруту.

Рухаючись шляхом Ямото Массару, наш колектив уже в цьому 2020 році провів дослідження різних словесних впливів людини на просту і солону (35‰ NaCl) воду. Були підготовлені по три зразка кожної води: звичайна вода – зразки №№ 1,2, 3, морська вода - зразки №№ 4,5 і 6. Перші два зразки простої і солоної води № 1 і № 4 відповідно не піддавалися ніякому впливу, залишаючись, так би мовити, у «одвічному» стані; на другу пару зразків (№ 2 і № 5) впливали негативні слова: «я тебе уб'ю», «я тебе ненавиджу», «смерть»; треті два зразка № 3 і № 6 сприймали своєю пам'яттю слова добрі: «Бог є Любов», «я тебе люблю!», «милосердя».

В якості результуючого (вихідного) параметра цих водних розчинів, чотири з яких протягом доби змушені були «читати» звернені до них тексти, був обраний головний, пріоритетний параметр, через який солона океанська вода до недавнього часу (принаймні, до початку XX століття) успішно реалізовувала своє Божественне призначення, - це її електропровідність.

Отримані результати проведеного експерименту представлені в табл. 4.

Таблиця 4 – Отримані результати експерименту

Головна властивість вод Світового океану	Зразки прісної (№№ 1,2,3) и солоної (№№ 4,5,6) води					
	1	-2	+3	4	-5	+6
Електропровідність, γ , $(Ом \cdot м)^{-1} \cdot 10^{-3}$	1,067	0,987	1,077	5,68	5,26	6,34

Що показує аналіз наведених у таблиці даних? В першу чергу, однозначно можна констатувати, що електропровідність і прісної, і солоної води з негативною інформацією знижується на 7,3% і 8,0% відповідно щодо своїх нейтральних аналогів. Але є й інший важливий висновок: результати зразків з позитивною інформацією перевершують мінусові проби на 9,1% для прісної води і аж на 20,5% у солоних зразків! Про яку перспективу свідчать ці дані? Про сумну!

Висновки. Мало того, що 150 млн. км^2 океанської водної поверхні практично повністю виведені з колись стабільного кругообігу води в природі (ці води втратили головну свою властивість - електропровідність, загублена здатність випаровуватися, розчиняти в собі кисень, був убитий планктон, а риба і ссавці або загинули, або назавжди пішли з цих районів та ін.), крім цього за рахунок наростаючого «людського» зла, насильства і смерті інші ще незабруднені нафтопродуктами і сміттям океанські території вбирають цей негативний астрал і ментал людей, що поступово сходять з розуму, втрачаючи своє Божественне призначення. Природа і вода в тому числі поступово починають бачити в людині свого жорстокого ворога з усіма витікаючими наслідками для останньої. Всі відомі дослідження загадкової води свідчать про її довгу пам'ять на все добре і на все погане. Причому, чим глибша рана нанесена воді, тим більше адекватна відповідна реакція послідує з її боку. В останні роки ми це все самі і спостерігаємо. Клімат стає непрогнозованим, урагани і цунамі приносять численні біди, коливання атмосферних температур і тисків уподібнюються «американським гіркам» - одним словом, все природне, земне виходить на шлях хаосу! Природа бере приклад з «людини».

Якщо порушиться збалансованість роботи сферичного Земного суперконденсатора (іоносфера - земна кора), то станеться збій налагодженого століттями механізму дії внутрішнього геоелектромагнітного генератора. Тоді наступне за цим істотне підвищення тиску і температури всередині планети спричинять вмикання в авральну роботу «запобіжних клапанів» - вулканів. Одночасний викид хоча б десятьма-п'ятнадцятьма вулканами лави і попелу на висоту 20...30 км протягом двох-трьох місяців перетворить нашу планету в брилу льоду з підсумковим катастрофічним фіналом - кінцем світу! Тепер залишається відповісти на останнє незаплановане, але відвічне питання - що робити? З прагматичних і більш-менш реальних відповідей можна запропонувати, на наш погляд, тільки два рішення:

1 - термінове очищення «загиджених» водних просторів, повністю ліквідовуючи діелектричний нафтовий і пластиковий прошарок, повертаючи воді споконвічний вигляд і її справжнє призначення!

2 - спільний колективний вибір всім людством нового шляху свого розвитку. Затаврувати колишні морально-етичні засади як помилкові, гріховні, в корені переглянути свої життєві принципи і закони, прийнявши дружбу, любов і мир в якості головного і основного постулату в будь-яких взаєминах між державами, корпораціями, організаціями та просто людьми!

ЛІТЕРАТУРА

1. https://portal-slovo.ru/impressionism/36279.php.
2. Зубов А.Г. Термоэлектрическая модель вековых вариаций магнитного поля Земли/Доклад на традиционной научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы». Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. Петропавлоск-Камчатский, 2012.–234 с.
3. https://Ru.wikipedia.org/wiki/.
4. https://nkj.ru/archive/articles/9014/.
5. Б.А.Хренов, Г.К.Гарипов Быстрые вспышки электромагнитного излучения в верхней атмосфере. /НИИ ядерной физики им. Д.В.Скобельцына, 2010. –М., 400 с.
6. https://scisne.net/t-4034.
7. Васильев В.И., Рощин М.Б., Товстых Е.В. Судостроительные материалы. Л.: Судостроение, 1972. – 384 с.
8. http:/all-about-water.ru/electroconductivity.php.
9. http://books.google.com.ua/books?isbn=548311213/
10. http:/tehtab.ru/Guide/GuideMedias/OxigenO2/OxygenSolubility/
11. https://bio.wikireading.ru

REFERENCES

1. https://portal-slovo.ru/impressionism/36279.php.
2. A.G. Zubov Thermoelectric model of secular variations of the Earth's magnetic field / Report at the traditional scientific conference "Volcanism and related processes ". Institute of Volcanology and Seismology, FEB RAS. PetropavloskKamchatsky, 2012. – 234 p.3.
3. https://Ru.wikipedia.org/wiki/.
4. https://nkj.ru/archive/articles/9014/.
5. BA Khrenov, GK Garipov Fast bursts of electromagnetic radiation in the upper atmosphere. / Research Institute of Nuclear Physics. D. V. Skobeltsyna, 2010. –M., 400 p.
7. Vasiliev V.I., Roshchin M.B., Tovstykh E.V. Shipbuilding materials. L .: Shipbuilding, 1972 .-- 384 p.
8. http:/all-about-water.ru/electroconductivity.php.
9. http://books.google.com.ua/books?isbn=548311213/
10. http:/tehtab.ru/Guide/GuideMedias/OxigenO2/OxygenSolubility/
11. https://bio.wikireading.ru

Михеев А.И., Федотов В.Г., Сєрова Т.А.

ФЕНОМЕН МОРСКОЙ ВОДЫ

В статье приведены малоизвестные данные о воде обычную, но больше о морской, об этом удивительном субстанцию, без которой человек превращается в пустое место, и сама планета наша без воды – это уже не царство жизни, но царство смерти. В последнее время человек даже перестала обращать внимание на воду только потому, что она к ней банально привыкла, она ее как бы не замечает. А на самом деле она ее просто недооценила. В реальности же ее существования вода является едва ли не главной составляющей частью человеческой жизни, и он, человек, не просто должна, но обязана об этом всегда помнить. Оказывается, что морская и океанская вода также имеет очень большое принципиальное значение для жизни человека как и обычная питьевая вода том, что она не просто соленая, а содержит в себе именно от 34 до 39 ‰. Почему это так? Особенно сейчас встает и другой вопрос - какая свойство морской воды является главным для человечества среди ее других физических характеристик? Таким образом, цель настоящее статьи - найти ответы на эти и другие вопросы, в нее поставлены..

Ключевые слова: *морская вода, электропроводимость, коррозия, память*

Miheev A., Fedotov V., Serova T.

PHENOMENON OF THE SEA WATER

The article presents little-known data about ordinary water, but more about sea water, about this amazing substance, without which man turns into an empty place, and our planet itself without water is no longer the realm of life, but the realm of death. Lately, people have even stopped paying attention to water just because they are banally used to it, they don't seem to notice it. In fact, she simply underestimated it. In reality, its existence is almost the main component of human life, and it, man, not only must, but must always remember this. It turns out that sea and ocean water is also very important for human life as ordinary drinking water because it is not just salty, but contains from 34 to 39 ‰. Why is this so? Especially now the second question arises - what property of sea water is the main for humanity among its other physical characteristics?

Nature and water in particular are gradually beginning to see in man his cruel enemy with all the ensuing consequences for the latter. All known studies of the mysterious water show its long memory for all the good and all the bad. Moreover, the deeper the wound inflicted on the water, the more adequate the appropriate response will follow from it. In recent years, we have seen it all ourselves. The climate is becoming unpredictable, hurricanes and tsunamis bring many troubles, fluctuations in atmospheric temperatures and pressures are like a "roller coaster" - in short, everything natural, earthly goes on the path of chaos! Nature takes an example from "man". Thus, the purpose of this article is to find answers to these and other questions posed in it.

Key words: *sea water, electrical conductivity, corrosion, memory*

АВТОРИ ВИПУСКУ

Івко П.П.		магістр, Державний університет інфраструктури та технологій
Бабій М.В.		к.т.н., доцент Херсонської державної морської академії, e-mail: M_Babiy@ukr.net
Білоконь А.О.		аспірант Херсонської державної морської академії e-mail: Nastasenko2004@ukr.net
Богом'я Володимир Іванович		доктор технічних наук, професор, Державний університет інфраструктури та технологій, https://orcid.org/0000-0003-4403-3130
Вильдяева Любов Миколаївна		старший викладач, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ
Войченко Тетяна Олегівна		144к.е.н., доцент, завідувач кафедри експлуатації засобів транспорту на внутрішніх водних шляхах, https://orcid.org/0000-0002-0109-4622
Давидов Володимир Семенович		к.т.н., доцент, доцент кафедри судноводіння та керування судном Державного університету інфраструктури та технологій. E-mail: vladimir.s.davydov@gmail.com, https://orcid.org/0000-0002-4985-1143
Дакі Олена Анатолівна		доктор технічних наук, професор кафедри, Державний університет інфраструктури та технологій, https://orcid.org/0000-0003-3932-462X
Доронін Володимир Васильович		к.т.н., доцент кафедри технічних систем та процесів управління в судноводінні Державного університету інфраструктури та технологій. E-mail: doronin_vladimir@ukr.net, https://orcid.org/0000-0002-8387-2992
Дудко Сергій Анатолійович		старший викладач кафедри Електроінженерії та Електроніки, Національний університет "Одеська морська академія", Одеса, Україна
Зазірний Андрій Андрійович		асистент кафедри судноводіння та керування судном Державного університету інфраструктури та технологій, https://orcid.org/0000-0002-5780-4654
Какаранзе Ю.		магістр, Державний університет інфраструктури та технологій
Коваленко А.Г.		магістр, Державний університет інфраструктури та технологій
Лісовенко Денис Валентинович		кандидат технічних наук, доцент кафедри Організації Тилового (логістичного) Забезпечення, Одеська Військова Академія, Одеса, Україна
Милюков В. І.		магістр, Державний університет інфраструктури та технологій

Міхеєв Олександр Іванович		к.т.н., доцент, кафедра природничо-технічного забезпечення діяльності водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, https://orcid.org/0000-0002-8696-5975
Найденов Андрій Ігорович		здобувач, Дунайський інститут Національного університету «Одеська морська академія»
Настасенко В.О.		д.т.н., професор Херсонської державної морської академії, e-mail: Nastasenko2004@ukr.net
Панов С.Л.		кандидат технічних наук, ст.викладач, Державний університет інфраструктури та технологій
Пліта Леонід Леонідович	–	аспірант, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ, https://orcid.org/0000-0001-6422-444X
Подлєвських С.С.		магістр, Державний університет інфраструктури та технологій
Проценко В.О.		д.т.н., професор Херсонської державної морської академії, e-mail: eseu@ukr.net
Радченко О.А.		доцент кафедри маркетингу Національного авіаційного університету. E-mail: mirnau@i.ua
Раховецький А.А.		магістр, Державний університет інфраструктури та технологій
Сєрова Тамара Олександрівна		старший викладач, кафедра природничо-технічного забезпечення діяльності водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій
Скляренко Інна Юрійовна		кандидат педагогічних наук, доцент, Державний університет інфраструктури та технологій, https://orcid.org/0000-0002-1428-1793
Тимощук Олена Миколаївна	–	доктор технічних наук, професор, директор інститутуб ДУІТ, м. Київ, https://orcid.org/0000-0003-3684-6182
Ткаченко Костянтин Олександрович		к.е.н., доцент, доцент кафедри Інформаційних технологій та дизайну Державного університету інфраструктури та технологій, https://orcid.org/0000-0003-0549-3396
Ткаченко Олександр Андрійович		к.ф.м., доцент, доцент кафедри інженерії программного забезпечення Національного авіаційного університету, https://orcid.org/0000-0001-6911-2770
Ткаченко Ольга Ивановна		к.ф.м., доцент кафедри інформаційних технологій Державного університету інфраструктури та технологій, https://orcid.org/0000-0003-1800-618X
Федотов Володимир Григорович		к.ф-мат.н., доцент, кафедра природничо-технічного забезпечення діяльності водного транспорту Державного університету інфраструктури та технологій

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

1. До друку у збірнику наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій «Водний транспорт» приймаються лише наукові статті, які мають такі необхідні елементи: **постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями**; **аналіз останніх досліджень і публікацій**, **в яких започатковано розв'язання даної проблеми**, **і на які спирається автор**, **виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття**; **формулювання цілей статті (постановка завдання)**; **виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів**; **висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку**.

2. Стаття має відповідати тематичному спрямуванню журналу і бути завізована власноручно підписом автора. Відповідальність за матеріали, наведені у статті, несе автор.

Разом з текстом статті і електронним носієм із записаним текстом до редколегії надаються: рецензія на статтю доктора наук (професора); довідка про авторів (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання, почесне звання, місце роботи, посада, номер контактного телефону, обліковий запис автора ORCID, поштова адреса).

3. Матеріал треба викладати стисло, послідовно, стилістично грамотно. Терміни та позначення повинні відповідати чинним стандартам. Не допускаються повтори, а також зайві подробиці при переказі раніше опублікованих відомостей – замість цього подаються посилання на літературні джерела. Одиниці вимірювання слід подавати лише за міжнародною системою одиниць SI чи в одиницях, допущених до застосування в Україні згідно з вимогами чинних державних стандартів.

4. До рукопису додається анотація трьома мовами (**українська, російська, англійська**), в якій має бути чітко сформульована головна ідея статті та коротко обґрунтована її актуальність (**обсяг не менш 1000 знаків**), а також ключові слова (трьома мовами, 5-10 слів).

5. Цитати, таблиці, статистичні дані, цифрові показники, що підвищують рівень аналітичних матеріалів, подаються з посиланням на джерела. Таблиці мають бути пронумеровані й мати заголовок.

6. Текстові матеріали готуються та друкуються на аркушах білого односортного паперу з використанням комп'ютерних текстових редакторів MS Word для Windows 98/2000/XP (формат А4), для набору формул використовують вбудовані редактори рівнянь, табличні матеріали можуть готуватись з використанням електронних таблиць (MS Excel). При цьому має застосовуватись шрифт Times New Roman.

7. Матеріали набирають та розміщують у послідовності: УДК – 12 пунктів, курсив (УДК повинно бути обов'язково). Розміщують зліва на сторінці; автори – 12 пунктів, напівжирний курсив. Розміщують зліва на сторінці; **НАЗВА СТАТТІ** – прописні літери, 12 пунктів, напівжирний. Розміщують посередині сторінки; анотація – 12 пунктів, курсив; основний текст – 12 пунктів, звичайний; **ЛІТЕРАТУРА** – 12 пунктів, напівжирний

8. Текст, формули, таблиці, рисунки, діаграми, схеми розміщуються на сторінці в одній колонці. Відступ першого рядка абзацу – 10 мм, інтервал між рядками – одинарний. Інтервали між елементами матеріалу такі: УДК – автори – 2; автори – назва статті – 2; назва статті – анотація – 2; анотація – основний текст – 1;

основний текст – назва таблиці (верхній край рисунка, схеми, діаграми) – 1; назва таблиці – її верхній край (нижній край рисунка, діаграми, схеми – їхні назви) – 1; нижній

край таблиці (назва рисунка, діаграми, схеми) – основний текст – 1; основний текст – ЛІТЕРАТУРА – 1; ЛІТЕРАТУРА – список літератури – 1.

Усі рисунки, таблиці, діаграми повинні мати назви та номери. Слова Рисунок, *Таблиця,* Діаграма, Схема та їхні номери набираються звичайним шрифтом, 12 пунктів, назви таблиць розміщуються над таблицями, а рисунків, діаграм, схем – під ними. Відривати назви від зазначених елементів забороняється.

Від рисунка до підпису і від підпису до наступного тексту потрібно відступити один інтервал. Посилання в тексті на таблиці або на рисунки даються у скороченому вигляді звичайним шрифтом: «табл. 1» або «рис.1».

Якщо таблиця не вміщається на одній сторінці, всі її колонки нумерують, а над перенесеною частиною таблиці справа надписують: «Продовження табл. 1» або «Закінчення табл. 1».

9. Графічні файли з формулами, графіками, рисунками, схемами та фотографіями повинні бути розташовані в тексті в таблиці MS Word. Номер формули проставляється справа в кінці рядка, в круглих дужках, не виходячи на поле. Формули розташовуються на сторінці по центру. Між ними та текстом витримується інтервал в один рядок.

Вводяться вони в графічному редакторі Microsoft Equation 3.0 для MS Word. Латинські літери та позначення величин (символи) набирають курсивом, українські та російські літери – тільки прямим шрифтом.

10. Список використаної літератури складається двома мовами та повинен включати **не менш 10 джерел кожний**. Перший (мовою оригінала джерела) відповідно до ДСТУ 7.1:2006, ДСТУ 8302:2015 «Бібліографічне посилання: загальні положення та правила складання». Другий (References) латиницею (транслітерацією) з обов'язковим перекладом назви джерела на англійську мову.

11.Рекомендується при оформленні наукової статті використовувати ДСТУ 3008:2015– ЗВІТИ У СФЕРІ НАУКИ І ТЕХНІКИ. Структура та правила оформлювання.

Наукове видання

ВОДНИЙ ТРАНСПОРТ

Збірник наукових праць

Випуск 3(31)

Відповідальний за випуск *Богомя В.І.*

Підп. до друку 20.12.2020. Формат 60х84/8. Папір для тиражувальних апаратів.
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 23,5. Наклад 100 прим.
Зам. № 431. Віддруковано з оригіналів.

Державний університет інфраструктури та технологій

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
(серія КВ № 23216-13056ПР від 23.02.2018 р.)
вул. Кирилівська, 9, м. Київ, 04071, Україна
тел./факс: (044) 463-74-70, тел. (044) 417-17-57
https://duit.edu.ua/research-activities/scientific-publications/water-transport