ISSN 2524-0102 (Print)
ISSN 2616-6011 (Online)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Приватний вищий навчальний заклад
«Університет новітніх технологій»

НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Збірник наукових праць

Випуск 1(8)

Київ
2019

ISSN 2524-0102 (Print)
ISSN 2616-6011 (Online)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Приватний вищий навчальний заклад «Університет новітніх технологій»

НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

випуск 1(8), 2019

EMERGING TECHNOLOGIES

issue 1(8), 2019

Заснований у 2015 році

Відображено результати аналізування та розв'язання наукових, технологічних, економічних та юридичних проблем ефективного функціонування та розвитку геоінформаційних систем, проблем підготовки наукових та науково-педагогічних кадрів у галузі геодезії, картографії та кадастру.

Засновники: ПВНЗ Університет новітніх технологій, Богом'я В.І., Бороденко Н.Д.

Адреса редакції:
пров. Машинобудівний, 28
Київ, Україна, 03067.

Телефон: +38(044) 503-07-86.

E-mail редакції:
journalNT@unt.kiev.ua

Інформаційний сайт:
http://www.unt.kiev.ua

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

Затверджений до друку вченою радою ПВНЗ Університет новітніх технологій (протокол від 15 лютого 2019 року №1/19)

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Головний редактор:
В.І. Богом'я (д-р техн. наук, проф.).

Заступники головного редактора: В.Ю. Суханко (д-р техн. наук, проф.); О.М. Тимощук (д-р техн. наук, доцент); В.П. Пунько (д-р геолого-мінеральних. наук, проф.); М.А. Павленко (д-р техн. наук, проф.).

Члени редколегії: В.О. Боровий (д-р техн. наук, проф.), В.Г. Бурачек (д-р техн. наук, проф.); А.О.Бєлятинський (д-р техн. наук, проф.); М.О. Попов (д-р техн. наук, проф.); С.А. Станкевич (д-р техн. наук, с.н.с.); В.В. Казимір (д-р техн. наук проф.); О.О. Железняк (д-р техн. наук проф.); Н.Д. Бороденко; В.М. Азарсков (д-р техн. наук, проф.); Ю.В. Кравченко (д-р техн. наук, проф.); В.В. Павликов (д-р техн. наук, проф.); О.І.Гонта (д-р.е.наук, доц.); В.І.Зацерковний (д-р техн. наук, доцент); Hànek Pavel (к-т техн. наук, доцент, Charles University, Prague, Czech Republic); Георгій Милєв (Bulgarian Academy of Sciences, doctor of science, prof.); Krzysztof Sikora (President University of economy, Bydgoszcz, Poland, doctor of science, prof.).

Відповідальний секретар: Богом'я О.Є.

Свідоцтво про державну реєстрацію від 22 січня 2016 року КВ № 21858 – 11757Р

Видання індексується міжнародними наукометричними базами Index Copernicus (Польща, ICV 2017- 54.76), Scientific Indexing Services (SIS), eLIBRARY.RU.

Збірник включено до **Переліку наукових фахових видань України**, у яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата з технічних наук (**Наказ Міністерства освіти і науки України № 326 від 04.04.2018**).

Новітні технології. Збірник наукових праць Приватного вищого навчального закладу «Університет новітніх технологій». – К.: ПВНЗ «Університет новітніх технологій», 2019. – Випуск 1(8). – 230 с. https://doi.org/10.31180/2524-0102/2019.1.08

© ПВНЗ Університет новітніх технологій, 2019

ЗМІСТ

ГІС-ТЕХНОЛОГІЇ	
Kuzmyn V.M., Zaliskyi M.Yu., Kozhokhina O.V., Kaminskyi Ye.O. APPROXIMATION OF TIME SERIES WITH MULTIPLE SWITCHING POINTS	6
Боровий В. О., Агапова О. Л., Зарицький О. В., Клипко А. Ю. ЗАСТОСУВАННЯ ТОПОГРАФІЧНИХ ДАНИХ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ГЕЛІОЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ГОЛОВНОГО КОРПУСУ КАРАЗІНСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ	14
ВОДНИЙ ТРАНСПОРТ: НАПРЯМИ РОЗВИТКУ	
Доронін В.В., Алєйніков М.В., Алейніков В.М. ЗАСТОСУВАННЯ КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МЕТОДУ НАВІГАЦІЇ НА ВВШ УКРАЇНИ	21
Коломієць О.М. МЕТОДИ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ	30
Абдуллаев Я.Р., Гасанов Э.А. ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ СУДОВОГО ШВАРТОВНОГО УСТРОЙСТВА ПРИ ИЗМЕНЕНИЯХ НАПРЯЖЕНИЯ И ЧАСТОТЫ	43
Михайлова Т.І, Шевченко А.П., Бойко С.О. СПОСІБ ПРОГНОЗУВАННЯ ВІДМОВ АГРЕГАТІВ СУДНОВИХ КОМПЛЕКСІВ ЗА ДАНИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ	52
Штрибець В.В. КОНТРОЛЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДВИГУНІВ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ВИПАДКОВИХ СИГНАЛІВ	59
Алиев А.Г., Гамидов М.Г., Мамедова Ф.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ	70
Фархадов В.Г., Байрамова И.П. МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОДВОДНЫМИ РОБОТАМИ	75
Эфендиев О.З., Алекперов Ш.Ш., Аллахвердиева А.Т. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЩНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНИ И ПЛОТНОСТИ ЖИДКОСТИ МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННЫМ УРОВНЕМЕРОМ	81
Султанов Э.Ф., Абдуллаев А.Н. ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ЧАСТОТНО-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ СУДОВЫХ БУКСИРНЫХ ЛЕБЁДОК	88

Дакі О.А. АВТОМАТИЧНІ ПРИЛАДИ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТА НАВІГАЦІЇ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ	96
Тимощук О.М., Ганношина І.М., Пархоменко Д.О., Ткачук Д.О. ПІДХІД ДО ВИРІШЕННЯ ЗАВДАННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВИЗНАЧЕННЯ МАРШРУТУ СУДНА ПРИ ПЛАНУВАННІ ПЕРЕХОДУ	105
Дмитрієв О.М., Мельник О.В., Макаров О.М., Єлєазаров О.М. МЕТОД ФОРМАЛІЗАЦІЇ ЗНАНЬ ПРО ПРОЦЕС РОЗПІЗНАВАННЯ СИТУАЦІЙ ОБСТАНОВКИ В АВТОМАТИЗОВАНІЙ СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ РУХОМ СУДЕН	112
ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ: СТАНДАРТИЗАЦІЯ, СЕРТИФІКАЦІЯ, ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ	
Медведева Н.А., Левицкий М.А., Сухенко В.Ю. ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ПЛАВЛЕНИХ СИРІВ	121
Розбицька Т.В., Сухенко В.Ю. ІНТЕГРОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ НА МОЛОКОПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ	128
Черевашко Д.І., Сухенко В.Ю. ПРОБЛЕМИ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ ДИСТИЛЯЦІЇ ПРИ ВИКОРИСТАННІ КОНТАКТНИХ ПРИСТРОЇВ	136
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ	
Сущенко О.А., Безкоровайний Ю.М., Новицька Н.Д., Голіцин В.О. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕОРТОГОНАЛЬНИХ КОНФІГУРАЦІЙ ТРИОСНИХ МЕМС-ДАТЧИКІВ	142
Глухов С.І. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ІНТЕРВАЛУ ПРОГНОЗУВАННЯ ПРИ ВИКОРИСТАННІ МЕТОДІВ ФІЗИЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ДЛЯ ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ	151
Федотов В.Г., Міхеев О.І. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМІЧНО ІНДУКОВАНОГО ВІДХИЛЕННЯ ЛАЗЕРНОГО ПРОМЕНЮ В КРИСТАЛАХ ДИФОСФІДІВ ЦИНКУ ТА КАДМІЮ І КОМУТАТОРИ НА ЇХ ОСНОВІ	158
Чередник В.М. ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ЩОДО ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ЕРЛІФТНОЇ УСТАНОВКИ ЗІ ШНЕКОВИМ ІНТЕНСИФІКАТОРОМ	163
Исмаилова С.М., Джалилов Т. А. АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ УРОВНЯ ИСПОЛНЕНИЯ ПРАВИЛ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ	169

Султанов Э.Ф., Мамедов Э.М. ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ЯКОРНОГО УСТРОЙСТВА С ПОМОЩЬЮ ЧАСТОТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ	175
Салимова А.К., Исмаилов С.С. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНШЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	185
Глущенко П.А., Панін В.В., Масік І.П., Зазарний А.Ю. АНАЛІЗ ВПЛИВУ СПІРОІДНИХ КІНЦЕВИХ АЕРОДИНАМІЧНИХ ПОВЕРХОНЬ НА АЕРОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРИЛ ДЛЯ МАЛОГАБАРИТНИХ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ КОРАБЕЛЬНОГО БАЗУВАННЯ	199
Сурков К.Ю., Суркова К.В., Кущ О.В., Войченко Т.О. МОДЕЛЬ ДІЙ ДИСПЕТЧЕРА УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ВИБІРКИ АДАПТИВНОГО ТРЕНАЖЕРУ	203
Онипченко П.М., Павленко М.А., Кучерук Г.Ю., Кукалець Л.М. АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ СКЛАДАННЯ ПЛАНОВОЇ ТАБЛИЦІ ПОЛЬОТІВ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПІДГОТОВКИ ЛЬОТНОГО СКЛАДУ	208
Гришманов Є.О., Захарченко І.В., Кудюкін П.В., Бєлоброва Т.А. ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ФОРМУВАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ВИБІРКИ ДЛЯ ГІБРИДНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ПРОГНОЗУВАННЯ НЕСПРИЯТЛИВИХ АВІАЦІЙНИХ ПОДІЙ	213
АВТОРИ ВИПУСКУ	224
ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ	229

ГІС-ТЕХНОЛОГІЇ

UDC 656.7.071: 656.7.052.002.5 (045) *DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.01*

Kuzmyn V.M., Zaliskyi M.Yu., Kozhokhina O.V., Kaminskyi Ye.O.

APPROXIMATION OF TIME SERIES WITH MULTIPLE SWITCHING POINTS

This paper deals with the problem of building and selecting the best mathematical model for describing the dynamics of oil imports in the United States of America from 1973 to 2016. The time-series that was investigated is non-stationary and has a changing geometrical structure, therefore, for its description multi-segmented linear regression was proposed. Two algorithms for approximation of this time series are considered. The first algorithm is based on a four-dimensional optimization paraboloid usage. Second algorithm corresponds to the moving angle method. Analytical expressions for the optimal equations of multi-segmented linear regressions are obtained. The general equation of four-segmented regression was obtained using Heaviside function. The optimization of the switching points abscissa was performed by minimizing the standard deviation. The obtained optimal models can be used to solve prediction tasks.

Key words: *time series, approximation, polygonal (multi-segmented linear) regression, optimization of abscissa of switching points, moving angle method, optimization paraboloid.*

Introduction

Statistical analysis of the dynamics of time series is an important area in various branches of human activity (for example, economics, econometrics, etc.). This area is often based on the use of elements of regression analysis, splines, moving averages, spectral analysis, etc. However, there are time series (in particular, with several linear segments) that cannot be reliably described based on these methods.

One of the possible implementations of time series in econometrics could be data about oil imports, in particular in the United States of America. The development of oil and gas industry is essential to the modern industrial human activity. Therefore, the time series analysis that is connected to the statistics of production, sale and usage of petroleum products allows us to construct a relevant, adequate mathematical model both within the boundaries of a given time series and for prediction tasks.

Analysis of literature and problem statement. A review of the literature in the field of statistical analysis of time series [1–5] showed that for their mathematical description the method of harmonic analysis is used mainly, as well as second, third and higher order polynomials without switching points, even in cases when the time series restructured (in other words a jump of derivatives is taking place). A transformation of their structure implies the occurrence of straight-line segments and their points of intersection (switching). In such cases, the usage of polynomials can lead to significant errors during solving problems of long-term prediction.

In literature, considerable attention is paid to solving this class of problems, especially optimizing the determination of abscissa of switching points.

In connection with this, example of solving an actual scientific and technical problem of building and comparative analysis of mathematical models of time series using various approximation algorithms based on polygonal regressions, as well as some new approaches to solving the optimization problem of abscissa of switching points and prediction tasks was considered in this paper.

Origin data analysis. As far as is known, a principal task of mathematical modelling and econometric involve research of the process of change and development of the considered phenomena over time, which can be solved by building and analyzing time series.

During the building and analyzing of time series the following tasks are solved: the building of generalized and local mathematical models, approximation, smoothing, prediction, and other.

In most cases, time series are non-stationary. This greatly complicates the building of their mathematical models. This paper concentrates on analysis of such a time series.

Let us consider a real-time example of the time series and its statistical processing. Initial data on realization of this series are contained in the Table 1 [4]. This time-series describes the dynamics of change in oil imports in the United States of America (thousand barrels per day) during the years 1973 – 2016.

The analysis showed that this series can be divided into several segments of stationary and non-stationary. Therefore, four quasilinear segments can be distinguished. In this case, the series contains three switching points, the determination of the location of which is important for the quality of the approximation, and especially for prediction tasks.

Table 1

Initial date of time-series

№ (x)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Year	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983
Oil imports (thousand barrels per day)	6256	6112	6055	7312	8807	8363	8456	6909	5995	5113	5051
№ (x)	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Year	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
Oil imports (thousand barrels per day)	5437	5067	6223	6678	7402	8060	8017	7627	7888	8620	8996
№ (x)	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
Year	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Oil imports (thousand barrels per day)	8835	9478	10161	10708	10852	11459	11871	11530	12264	13145	13712
№ (x)	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
Year	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Oil imports (thousand barrels per day)	13710	13469	12918	11696	11789	11447	10593	9860	9236	9452	10057

The initiatory step for time-series analysis is to check it for the possibility of approximating of a single linear regression (Fig. 1). This case is the simplest and allows to determine the general trend of data changes. To find a linear regression, the ordinary least squares method was used.

The resulting single linear regression equation is

$$y(x) = 153.566x + 5850 . \quad (1)$$

In this equation, as well as in further calculations, for simplicity, the data shift in time was carried out by 1973, in other words the zero reference point corresponds to 1973 year.

Algorithms of segmented approximation. Visual analysis of the data shows that in this case a more reliable method of approximation will be polygonal regression with three switching points (piecewise linear curve).

Consider two approaches to building such a regression.

1. Approximation with simultaneous optimization of three switching points (the first algorithm).

The equation of polygonal regression with three switching points in general form is

$$y(x) = a_0 + a_1 x + a_2 (x - x_{sw1})_+ + a_3 (x - x_{sw2})_+ + a_4 (x - x_{sw3})_+ ,$$

where a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 are constant coefficients; x_{sw1}, x_{sw2}, x_{sw3} are abscissa of switching points. In this case, for simplicity we assume

$$(x - x_{sw1})_+ = (x - x_{sw1}) h(x - x_{sw1}) ,$$

where $h(x - x_{sw1})$ is Heaviside step function.

Coefficients a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 were found using ordinary least squares method. Particular significance has the optimization of the position of abscissa of switching point. Ignoring this fact significantly affects the accuracy of approximation and prediction.

Visual analysis of the initial data allows approximately determine the variation range of switching points. In this paper, such variation range of abscissa of switching points is chosen $x_{sw1} = \{3;4;5;6\}$, $x_{sw2} = \{9;10;11;12\}$, $x_{sw3} = \{31;32;33;34\}$. The bandwidth of changes is only four points to simplify calculations.

In our case, for 4^3=64 possible variants of the abscissa of switching points were calculated standard deviation, which allows making a four-dimensional optimization paraboloid of the following form:

$$S(x_{sw1}, x_{sw2}, x_{sw3}) = b_0 + b_1 x_{sw1} + b_2 x_{sw1}^2 + b_3 x_{sw2} + b_4 x_{sw2}^2 + b_5 x_{sw3} + b_6 x_{sw3}^2 ,$$

where b_0, …, b_6 are paraboloid constant coefficients which are being calculated.

Calculated data of standard deviations are given in Table 2.

The data obtained from the Table 2 were approximated by a four-dimensional optimization paraboloid of the following type using the ordinary least squares method

$$S(x_{sw1}, x_{sw2}, x_{sw3}) = 3488 - 286.432 x_{sw1} + 29.627 x_{sw1}^2 -$$
$$- 357.357 x_{sw2} + 18.155 x_{sw2}^2 - 1940 x_{sw3} + 29.444 x_{sw3}^2 .$$

Determine the optimal values of the switching points by finding the partial derivatives for the paraboloid equation:

$$\frac{dS(x_{sw1}, x_{sw2}, x_{sw3})}{dx_{sw1}} = -286.432 + 59.254 x_{sw1} = 0 ,$$

$$\frac{dS(x_{sw1}, x_{sw2}, x_{sw3})}{dx_{sw2}} = --357.357 + 36.31x_{sw2} = 0,$$

$$\frac{dS(x_{sw1}, x_{sw2}, x_{sw3})}{dx_{sw3}} = -1940 + 58.888x_{sw3} = 0.$$

Table 2

Values of standard deviations, calculated for all options of switching points

		x_{sw3}	x_{sw1}				x_{sw3}	x_{sw1}			
			3	4	5	6		3	4	5	6
x_{sw2}	9	31	761.341	688.808	653.719	761.341	33	594.531	504.702	465.201	500.261
	10		703.873	630.467	599.9	627.793		583.075	497.898	466.964	511.631
	11		692.892	623.187	598.867	634.05		621.652	547.41	525.66	572.125
	12		709.761	646.076	627.99	667.259		675.375	611.308	596.323	642.072
x_{sw2}	9	32	644.366	560.092	521.235	548.615	34	587.131	498.166	461.208	499.984
	10		606.38	522.772	490.325	529.628		603.332	522.892	495.398	539.675
	11		622.469	546.74	522.859	567.295		655.631	586.312	566.769	610.776
	12		663.225	596.896	580.339	626.019		712.017	651.555	651.555	680.154

Based on these equations, the optimal values of the switching points were determined:

$$x_{sw1opt} = 4.834, \quad x_{sw2opt} = 9.842, \quad x_{sw3opt} = 32.940.$$

Substituting these optimal values of switching points abscissa into an approximating function of the initial data, the final equation for the four-segment linear regression was obtained

$$y(x) = 5641 + 635.941x - 1404(x - 4.834)_+ + 1146(x - 9.842)_+ - 830.414(x - 32.940)_+. \qquad (2)$$

Equation (2) is the best model in the range of research data among all possible approximating functions of the first algorithm. The graphic representation of the approximation is shown in Fig. 2.

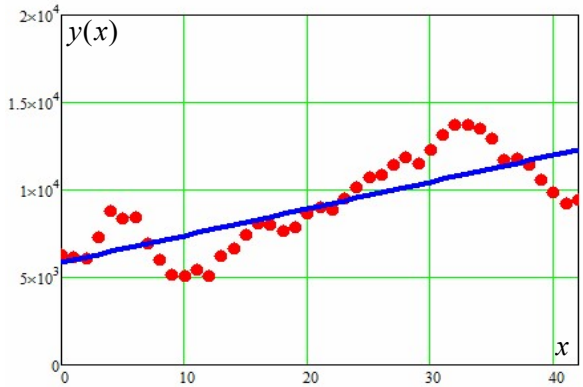


Fig. 1. The approximation of the time series of a single linear regression

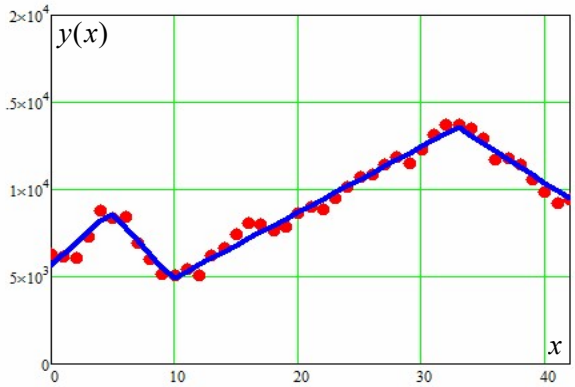


Fig. 2. Optimal polygonal approximation obtained as a result of simultaneous approximation by a four-dimensional optimization paraboloid

2. Approximation by moving angle method (second algorithm).

In the performance of a task of smoothing econometric data presented at time series, the moving average method is often used. This method involves average calculating for sequentially moving groups of values. By analogy, method of moving regression can be introduced. To the series considered in this paper, let us consider the moving angle method.

This method consists of the sequential search of all switching points as a result of the two-segmented regression movement. So the angle is a two-segmented polygonal regression.

Using this method, the problem of optimal choice of number of points included in the approximation and the subsequent determination of the optimal abscissa of the switching point need to be considered.

Have a closer look at this method based on researched examples of initial data (Table 1). A visual analysis of the initial data shows that, for optimization of first switching point, it is possible is limited to about first 11 values. These values are approximated by the following equation:

$$y(x) = a_0 + a_1 x + a_2 (x - x_{sw1})_+ .$$

For five variants of the abscissa of the switching points, standard deviations were calculated, which are given in Table 3.

Table 3

Data about standard deviations calculation

x_{sw1}	4	4.5	5	5.5	6
S	616.299	534.249	517.486	522.177	595.601

To find the optimal value of the first switching point abscissa in the first approximation, approximation of the data from the Table 3 was carried out using a second-degree parabola using the ordinary least squares method. The resulting parabola equation has the form:

$$S(x_{sw1}) = 2937 - 960.415 x_{sw1} + 94.972 x_{sw1}^2 .$$

After finding the derivative, the following value of the optimal abscissa of the first switching point was obtained:

$$x_{sw1\text{opt}} = 5.056 .$$

The first optimal angle is shown in Fig. 3.

As can be seen from Fig. 3, the first optimal moving angle adequately approximates the first eleven points. Let us shift angle to the right. For this purpose, all points to the first optimal switching abscissa are simply removed. In addition, the right border of the angle is determined visually. In this case, 28 points were used to form the second section of angle.

For five variants of the abscissa of the switching points, standard deviations were obtained, which are given in Table 4.

Table 4

Data about standard deviations calculation

x_{sw2}	8	8.5	9	9.5	10
S	924.846	758.202	685.197	654.765	688.461

Optimization of the abscissa of the second switching point is performed in the same way as for the first angle. The resulting parabola equation for the second segment and its optimum are as follows:

$$S(x_{sw2}) = 11970 - 2395 x_{sw2} + 126.644 x_{sw2}^2 ;$$

$$x_{sw2\text{opt}} = 9.455 .$$

The second optimal moving angle is shown in Fig. 5.

In the following shift the angle to the position from the second optimal switching point to the last reference point. For five variants of the abscissa of the switching points, standard deviations were obtained, which are given in Table 5.

Table 5

Data about standard deviations calculation

x_{sw3}	31	32	33	34	35
S	1083	880.699	685.197	894.060	1135

Optimization of the abscissa of the third switching point is performed in the same way as for the first angle. The resulting parabola equation for the third segment and its optimum are as follows:

$$S(x_{sw3}) = 100800 - 6077x_{sw3} + 92.253x_{sw3}^2;\ x_{sw3\text{opt}} = 32.937.$$

The third optimal sliding angle is shown in Fig. 5.

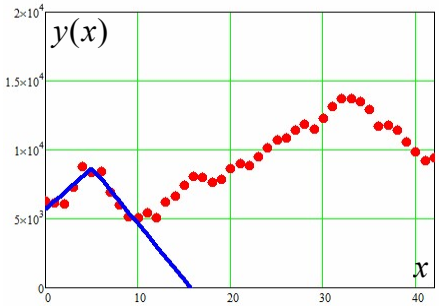


Fig. 3. The first optimal moving angle

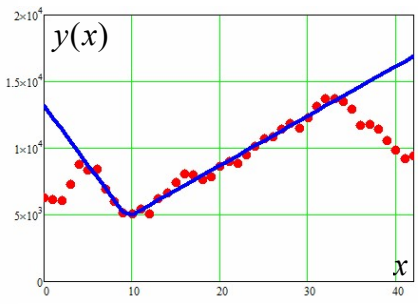


Fig. 4. The second optimal moving angle

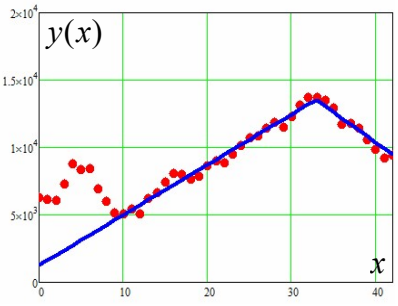


Fig. 5. The third optimal moving angle

The final stage of the approximation after the first forward pass of an angle is the compilation of a combined four-segmented regression, the equation of which has the form:

$$y(x) = 5439 + 834.568x - 1565(x - 5.056)_+ + 1099(x - 9.455)_+ - 813.64(x - 32.937)_+. \quad (3)$$

Graphic representation of the approximation is shown in Fig. 6.

To increase accuracy of the approximation, the angle can be shifted in the opposite direction, but taking into account the obtained optimal abscissas in the first approximation. After that, the following equation of polygonal regression was obtained, which was taken as final:

$$y(x) = 5692 + 597.915x - 1496(x - 5.079)_+ + 1271(x - 9.468)_+ - 827.25(x - 32.991)_+. \quad (4)$$

Graphical representation of the approximation is shown in Fig. 7.

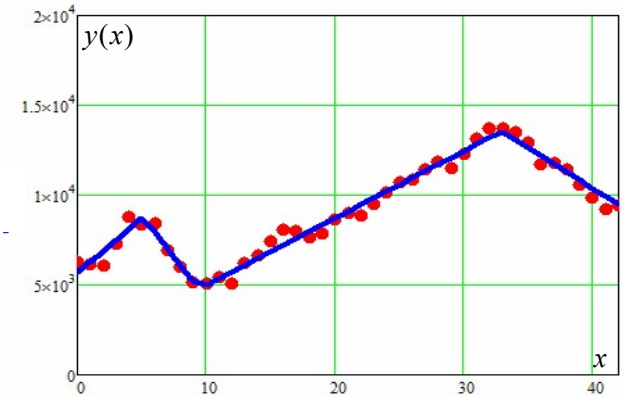


Fig. 6. Optimal polygonal approximation obtained after direct run of moving angle

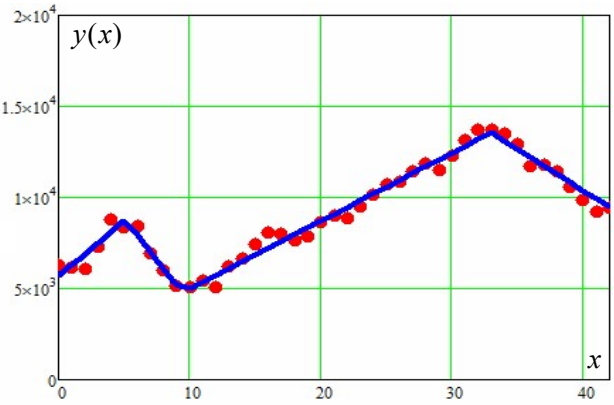


Fig. 7. The optimal polygonal approximation obtained after the reverse run of the moving angle

Visual analysis of Fig. 6 and 7, as well as the parameters of the equations (3) and (4) of polygonal regression shows that the difference between the resulting angles after direct and the reverse pass is insignificant. In general, the moving angle method is an iterative process that can involve several repetitions (that is passing along the entire row in both directions until the reduction in the total variance does not exceed the permissible error).

In the example given, it emerged that it is enough to make two runs of a sliding angle.

A comparative analysis of the standard deviations for the considered approximation options is given in Table 6.

Table 6

Data about standard deviations calculation

Approximation algorithm	Linear regression	First algorithm	Second algorithm (direct pass)	Second algorithm (reverse pass)
S	1737.323	460.558	454.412	454.381

Come over to the problem of prediction. For this purpose, bounding limitary lines through the vertices of the switching points for the latter approximation was drawn. From the last point a straight line, parallel to the third regression segment to the intersection with the upper bounding line was drawn. According to the accepted assumptions, the obtained possible value of the forecast of oil imports for 2047 is 20.740 barrels per day. Graphical representation of polygonal regression for prediction is shown in Fig. 8.

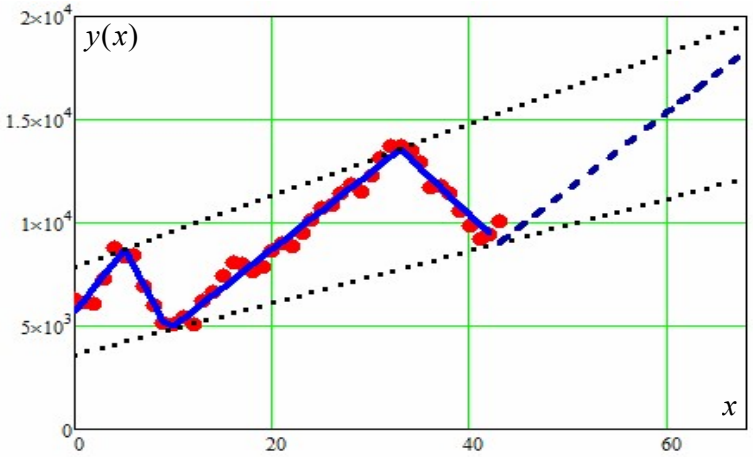


Fig. 8. Graphic representation of polygonal regression for prediction

Conclusions. Alternative methods of approximation of a real time series, the geometric structure of which has a saw-tooth character, was reviewed in the paper. Appropriate algorithms have been developed for these methods.

The first approximation algorithm uses the entire data set at the same time. This performs a four-dimensional optimization of the abscissa of the switching points according to the criterion for minimizing standard deviations using a four-dimensional optimizing paraboloid.

The second algorithm is based on the use of a moving angle (two-segmented linear regression), which is run across the entire set of data in different directions. This process is iterative and can continue until acceptable accuracy is achieved.

A comparative analysis of the considered approximation options showed that the best method is the moving angle method according to the standard deviation minimum criterion.

In addition, a new approach to improve long-term prediction is proposed.

REFERENCES

1. Mills C. F. Statistical Methods. New York: Pitman Publishing, 1965, 860 p.
2. Kendall M. Time-series. London. Charles. London: Griffin and Company Ltd, 1976, 197 p.
3. Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования. – М.: Статистика, 1977. – 200 с.
4. Montgomery D.C., Runger G.C. Applied Statistics and Probability for Engineers, Fours Edition, NJ: John Wiley & Sons, 2007, 768 p.
5. Ezekiel M. Fox K. A. Method of correlation and regression analysis. Linear and curvilinear. New York: John Wiley and sons, 1959, 548 p.
6. Kuzmin V.N. New Statistical Method for Identification of Nonlinearity of Empirical Data // Computer data analysis and modeling. Proceedings of the Fifth International Conference. June, 8 – 12, 1998, Minsk, Volume 1: A-M, pp. 159 – 164.
7. Reklaitis G.V., Ravindran A., Ragsdell K.M. Engineering optimization. Methods and applications. New York: John Wiley and sons, 1983, 688 p.

Кузьмин В.М., Заліський М.Ю., Кожохіна О.В., Камінський Є.О.

АПРОКСИМАЦІЯ ЧАСОВИХ РЯДІВ З ДЕКІЛЬКОМА ТОЧКАМИ ПЕРЕМИКАННЯ

У статті розглянуто задачу побудови та вибору найкращої математичної моделі для опису динаміки імпорту нафти в Сполучених Штатах Америки з 1973 по 2016 рік. Досліджуваний часовий ряд є нестаціонарним і має складну геометричну структуру, тому для його опису запропоновано багатосегментну лінійну регресію. Розглянуто два алгоритми апроксимації цього часового ряду. Перший алгоритм заснований на використання чотиривимірного оптимізаційного параболоїду. Другий алгоритм відповідає методу ковзного кутника. Отримано аналітичні вирази для оптимальних рівнянь багатосегментних лінійних регресій. Загальне рівняння чотирисегментної регресії було отримано з використанням функції Хевісайда. Оптимізацію точок абсцис перемикань виконувалась шляхом мінімізації стандартного відхилення. Отримані оптимальні моделі можуть бути використані для вирішення завдань прогнозування.

***Ключові слова**: часовий ряд, апроксимація, полігональна (багатосегментна лінійна) регресія, оптимізація абсцис точок перемикання, метод ковзного кутника, оптимізаційний параболоїд.*

Кузмин В.Н., Залисский М.Ю., Кожохина Е.В., Каминский Е.А.

АППРОКСИМАЦИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С НЕСКОЛЬКИМИ ТОЧКАМИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ

В статье рассмотрена задача построения и выбора лучшей математической модели для описания динамики импорта нефти в США с 1973 по 2016 год. Исследуемый временной ряд является нестационарным и имеет сложную геометрическую структуру, поэтому для его описания предложено использование многосегментной линейной регрессии. Рассмотрены два алгоритма аппроксимации этого временного ряда. Первый алгоритм основан на использование четырехмерного оптимизационного параболоида. Второй алгоритм соответствует методу скользящего угольника. Получены аналитические выражения для оптимальных уравнений многосегментных линейных регрессий. Общее уравнение чотирёхсегментной регрессии было получено с использованием функции Хевисайда. Оптимизацию точек абсцисс переключений выполнялась путем минимизации стандартного отклонения. Полученные оптимальные модели могут быть использованы для решения задач прогнозирования.

***Ключевые слова**: временной ряд, аппроксимация, полигональная (многосегментная линейная) регрессия, оптимизация абсциссы точек переключения, метод скользящего угольника, оптимизационный параболоид.*

УДК 528.952+551.521.31 *DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.02*

Боровий В. О., Агапова О. Л., Зарицький О. В., Клипко А. Ю.

ЗАСТОСУВАННЯ ТОПОГРАФІЧНИХ ДАНИХ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ГЕЛІОЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ГОЛОВНОГО КОРПУСУ КАРАЗІНСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ

В статті розглядаються можливості використання векторних топографічних даних для визначення показників геліоенергетичного потенціалу складних архітектурних комплексів та міських територій. Проаналізовано набір інструментів для просторового моделювання сонячного випромінювання. Обґрунтовано використання ГІС-інструментів для підрахунку значень сумарної сонячної радіації.

Продемонстровані можливості застосування результатів 3D-моделювання будівель для вирішення даної проблематики. Автори наголошують на важливості впорядкування та підготовка векторних топографічних даних до побудови цифрової моделі рельєфу.

В роботі за обраним методом визначаються показники сумарної сонячної радіації на дахах корпусів Каразінського університету.

Ключові слова: *топографічні дані, архітектурний комплекс, 3D-моделювання, геліоенергетичний потенціал, сумарна сонячна радіація.*

Актуальність проблеми. На сьогоднішній день виробництво електричної енергії є важливим аспектом стійкого функціонування багатьох галузей господарства та життєдіяльності населення. Однак, в Україні гостро стоїть проблема обмеженої кількості власних енергоресурсів, високої імпортної вартості та неефективного їх використання. Одним з найбільш перспективних напрямків збереження паливно-енергетичних ресурсів є підвищення темпів розвитку альтернативної енергетики, зважаючи також на її екологічність.

Досить високий сонячно-енергетичний потенціал в Україні зумовлює необхідність визначення показників геліоенергетичного потенціалу з метою подальшого впровадження сонячних енергетичних установок. Економічна ефективність такого способу виробництва електроенергії буде забезпечуватися за рахунок так званого зеленого тарифу, дію якого законодавчо закріплено до 2030 року.

Для точної оцінки геліоенергетичного потенціалу в межах міських територій або конкретних архітектурних косплексів є доцільним застосовування векторних топографічних даних. Вони є кінцевим продуктом топографо-геодезичної діяльності та формують архіви міських департаментів. Забезпечення однозначності географічної інформації відповідно до Національної інфраструктури геопросторових даних (НІГД) [1] сприяє впровадженню нових підходів на основі сучасних ГІС-інструментів на всіх рівнях адміністративного поділу країни.

Під час детального вивчення особливостей надходження променистої енергії на поверхню складних об’єктів у межах міської забудови слід брати до уваги орієнтацію, кути нахилу та висотне положення окремих елементів будівель. Лише перегляд моделей архітектурних споруд у 3D-представленні дозволяє в повній мірі врахувати все різноманіття чинників, які впливають на особливості інсоляції їх окремих частин (наприклад, дахів або фасадів).

Аналіз літератури. Комплексний набір інструментів для просторового моделювання сонячного випромінювання Solar Analyst для геоінформаційної системи ArcView був вперше запропонований у 1999 році. Він обчислював інсоляційні карти на основі вхідної растрової

цифрової моделі рельєфу. Алгоритми даного інструменту враховували вплив прозорості атмосфери, орієнтації поверхні, висоти та атмосферних умов. Основною метою було отримання інформації про кількість сонячної радіації в різних географічних положеннях, яка може істотно коливатися на коротких відстанях через топографічну неоднорідність певної території [2].

Для аналізу сонячного випромінювання та оцінки геліоенергетичного потенціалу фасадів і дахів авторами статті [3] було створено 3D-модель будівель кампусу Лісабонського університету. Для розрахунку параметрів сонячного випромінювання було використано алгоритм моделювання тіней та застосовані інструменти аналізу прямого і розсіяного сонячного випромінювання. У результаті, опромінення фасадів виявилося значно нижчим, ніж опромінення дахів, але завдяки своїй більшій площі фасади мають більший потенціал для застосування сонячних енергетичних установок .

У роботі [4] моделювання геліоенергетичного потенціалу використовуються для оцінки можливості виробництва сонячної енергії на дахах та фасадах частини міста Мюнхен з використанням 3D-моделей будівель. Були створені річні та сезонні карти оцінки надходження прямого, розсіяного та сумарного сонячного випромінювання на поверхні будівель. Також були отримані дані про кількість сонячної енергії, що надходить щомісячно, та ідентифіковані підходящі ділянки для встановлення фотоелектричного обладнання.

Також було створено сонячно-енергетичну карту норвезького міста Тромсе та докладно описано алгоритм її створення. Було доведено, що дахи південної експозиції мають достатній геліоенергетичний потенціал для встановлення сонячних модулів. Також автором був визначений принцип роботи групи інструментів Solar Radiation та обґрунтований вплив вхідних показників на кінцевий результат [5].

В умовах багатокомплексної міської забудови буває досить складно відобразити реальну ситуацію за допомогою плоских карт. На сьогоднішній день все частіше застосовується 3D-візуалізація, яка покликана дати більш точне уявлення про взаємне планове і висотне розміщення окремих архітектурних споруд та їх частин. Автори В. О. Боровий, О. В. Зарицький проаналізували, що впровадження технологій тривимірного моделювання є важливою умовою для реалізації нових проектів щодо об’єктів міської інфраструктури [6].

Виклад основного матеріалу. Актуальні цифрові топографічні дані на сьогоднішній день є базовими в Національній інфраструктурі геопросторових даних (НІГД) та становлять основу для координатно-просторової прив’язки тематичних даних, що отримують під час польових досліджень. Бази топографічних геоданих містять інформаційну модель для відображення та управління географічною інформацією. Таку інформаційну модель представляють у вигляді набору таблиць з даними, що містять класи просторових об’єктів, набори растрів і атрибути.

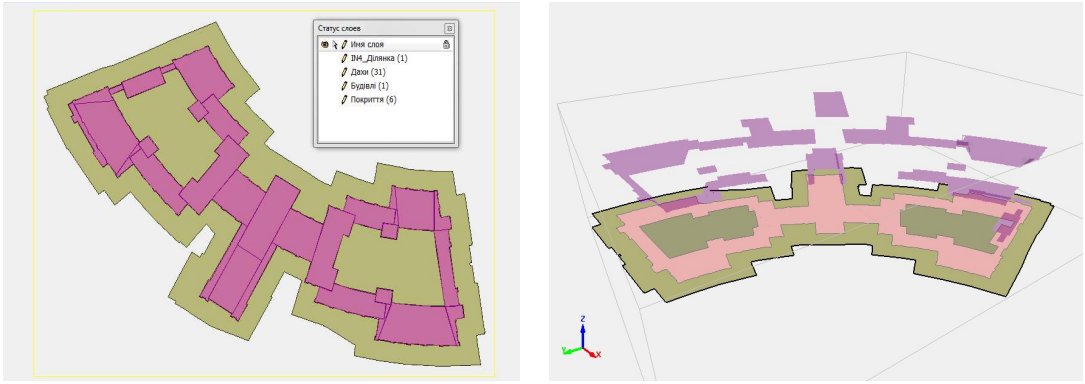
Створена база топографічних даних території головного корпусу Каразінського унівеситету, отримана під час топографо-геодезичної зйомки на основі тахеометричного методу, містить 98 активних шарів. 97 з них мають векторну геометрію, 1 – растрову (ортофотоплан). Всього база даних містить 1705 об’єктів.

На основі виконаних польових робіт та існуючих графічних планів з використанням інтегрованої системи обробки результатів комплексу геодезичних і картографічних робіт «Digitals/Delta XE for Windows Version 5.0 Professional» у прийнятій системі умовних знаків складено цифровий план території головного корпусу Каразінського університету масштабу 1:500 у місцевій похідній системі координат УСК-2000 (рис. 1).

Окремим етапом є впорядкування та підготовка векторних топографічних даних до побудови цифрової моделі рельєфу з метою уникнення збігу контурів фундаменту та даху, а також накладання висот різних фрагментів даху для більш коректного відображення їх у 3D-вигляді (рис. 2 а-б).

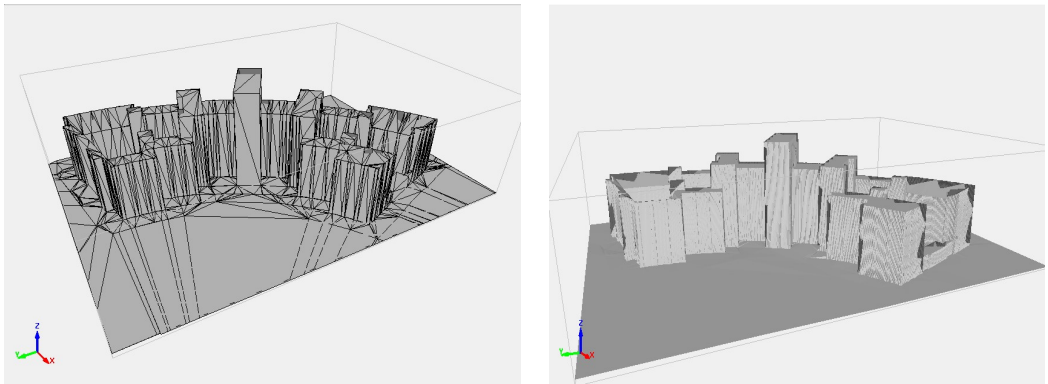
Рис. 1. Фрагмент топографічного плану масштабу 1:500 головного корпусу Каразінського університету

Згідно положень про земельно-кадастрову інвентаризацію та інструкції про встановлення (відновлення) меж земельних ділянок в натурі (на місцевості) та їх закріплення межовими знаками середньоквадратична похибка місцезнаходження точок контурів місцевості відносно найближчих пунктів геодезичних мереж не повинна перевищувати у містах обласного підпорядкування 0,1 м. Оскільки відібраний набір векторних даних відповідає цій точності, результат побудови сітки ЦМР також задовольняє такі умови (рис. 3 а-б).



а б

Рис. 2. Впорядковані векторні топографічні дані для побудови ЦМР головного корпусу Каразінського університету у вигляді 2D (а) та 3D (б)



а б

Рис. 3. Векторна TIN-модель (а) та растрова ЦМР (б) головного корпусу Каразінського університету

Під геліоенергетичним потенціалом розуміють кількісні характеристики потоків сумарної сонячної інсоляції та можливість їхнього використання для роботи різних типів сонячних установок. Найчастіше інформацію про кількість сонячної радіації у межах значних за площею територій отримують за допомогою обробки даних метеорологічних спостережень. Проте, ці дані часто сильно змінюються на коротких відстанях через топографічні особливості окремих об'єктів, тому не можуть бути достовірними для локальних місцеположень.

Для розрахунку інсоляції у межах всієї обраної території використано інструмент Area Solar Radiation модуля Spatial Analyst геоінформаційної системи ArcInfo. Під час розрахунків програма враховує атмосферні явища, широту, висоту, крутизну та напрямок за компасом (експозицію), щоденні та сезонні зміни кута падіння сонячних променів, а також ефекти тіней оточуючих об'єктів.

На випромінювання можуть сильно впливати топографічні особливості та об'єкти поверхні, тому для ключового компонента алгоритму розрахунку потрібне створення спрямованої вгору напівсферичної видимості для кожного місцеположення цифрової рельєфної моделі (ЦМР). Саме кількість видимого повітряного простору грає визначну роль в освітленні конкретного місцеположення. Формули для розрахунку глобального випромінювання, що обчислюється програмою як сума прямого і розсіяного випромінювання всіх секторів сонячного освітлення та повітряного простору, визначені дослідженням [2].

Для території головного корпусу Каразінського університету за допомогою інструменту Area Solar Radiation були побудовані карти сумарної або глобальної сонячної радіації для всього 2017 року (рис. 4) та його окремих місяців для порівняння сезонних потенціалів – січня, квітня, липня та жовтня (рис. 5). Забарвлення кожної чарунки растру залежить від конкретного значення глобальної сонячної радіації, обчисленого на дану територію в кіловатах на квадратний метр (кВт·год/м^2).

Для дахів головного корпусу Каразінського університету, які за рахунок особливостей свого висотного положення та експозиції мають найбільші значення сумарної сонячної радіації був визначений її середньорічний прихід на одиницю площі (табл. 1). Всього було розглянуто дахи 15 секцій.

Таблиця 1

Секція даху	Назва секції даху	Досліджувана площа даху, м^2	Абсолютна висота секції даху, м	Експозиція даху	Середнє значення сумарної сонячної радіації на одиницю площі, кВт·год/м^2
I	Корпус 1	506	178,03	Південна	1236
II	Корпус 1а	245	174,60	Південно-західна	1079
III	Корпус 2	304	178,03	Плоский дах	993
IV	Корпус 3	507	192,03	Плоский дах	1281
V	Корпус 4	796	172,03	Північна	1039
VI	Корпус 5	414	179,16	Плоский дах	1217
VII	Корпус 6	409	187,88	Плоский дах	991
VIII	Корпус 7	596	205,09	Плоский дах	1306
IX	Корпус 8	542	159,43	Плоский дах	1137
X	Корпус 9	412	187,86	Плоский дах	854
XI	Корпус 10	502	192,03	Плоский дах	1275
XII	Корпус 11	418	178,01	Плоский дах	1166
XIII	Корпус 12	768	172,01	Південно-східна	1102
XIV	Корпус 13	308	178,01	Плоский дах	994
XV	Корпус 14	479	178,01	Плоский дах	1264

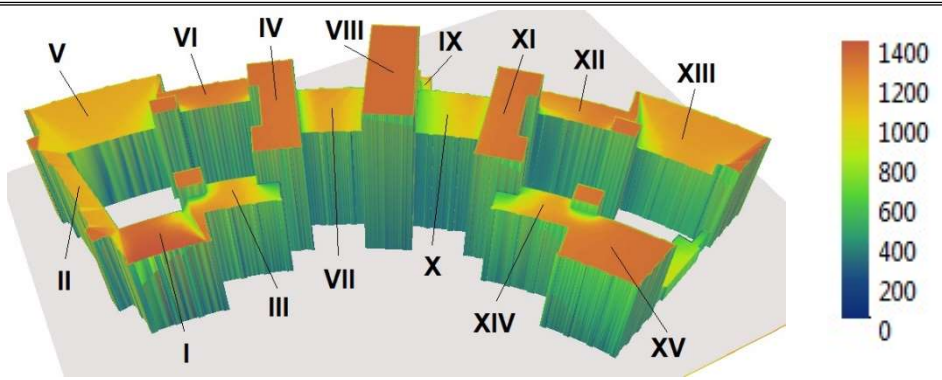


Рис. 4. Значення сумарної сонячної радіації (кВт·год/м^2) за 2017 рік

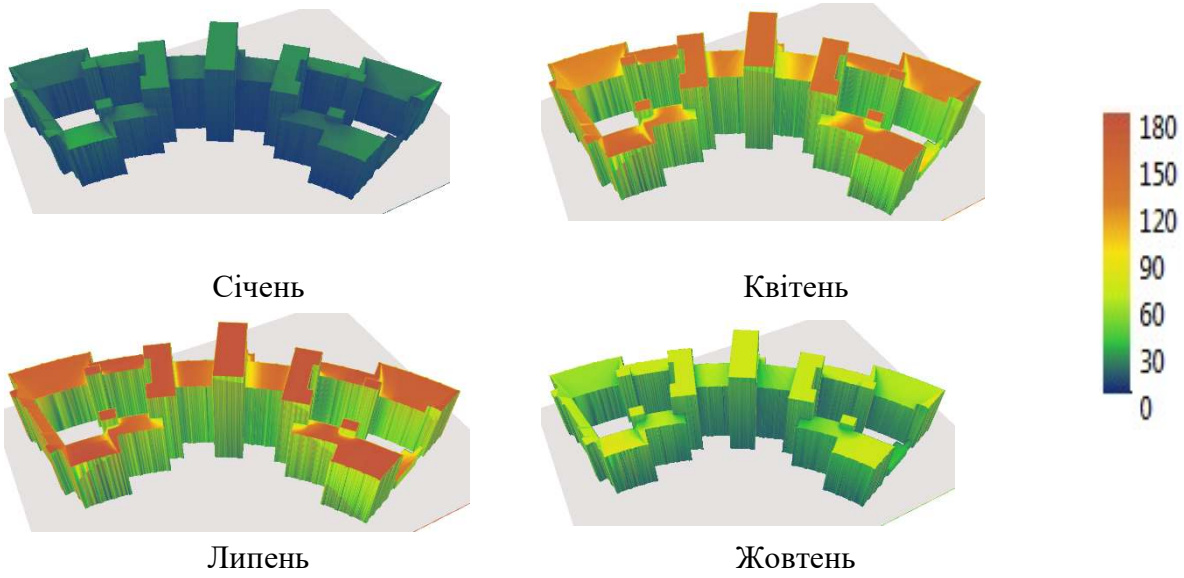


Рис. 5. Значення сумарної сонячної радіації (кВт·год/м^2)
за січень, квітень, липень та жовтень 2017 року

З даних таблиці 1 можна підсумувати, що найбільшу кількість сумарної сонячної радіації отримують плоскі дахи найвищих будівель та дах з південною експозицією корпусу 1.

Висновки. Бази топографічних даних доцільно використовувати для створення цифрових моделей рельєфу (ЦМР), цифрових моделей місцевості (ЦММ), що є складовими 3D-моделювання. Векторні топографічні дані відрізняються своєю високою точністю у порівнянні з космічними знімками та результатами аерофотозйомки. Використання ГІС-інструментів набору Solar Radiation для підрахунку значень сумарної сонячної радіації дозволили отримати точну інформацію про геліоенергетичний потенціал окремих елементів складного архітектурного комплексу головного корпусу Каразінського університету, враховуючи такі параметри як географічна широта території, орієнтація, висоти досліджуваної поверхні та атмосферні умови. Встановлено, що річні значення сумарної сонячної радіації значно коливаються на коротких відстанях через особливості конфігурації будівлі. Найбільшу річну кількість променистої енергії отримують плоскі дахи найвищих частин навчального корпусу та дахи з південною експозицією. Також чітко прослідковуються сезонні зміни кількості надходження сонячної енергії, пов’язані зі зміною кута падіння сонячних променів у різні пори року. Отримана інформація про особливості розподілу інсоляційного потоку у різних місцеположеннях дахів досліджуваної будівлі в майбутньому дозволить перейти до

оцінки її геліоенергетичного потенціалу та обґрунтування доцільності встановлення сонячних енергетичних установок.

ЛІТЕРАТУРА

1. СОУ 71.12-37-944:2014. База топографічних даних. Загальні вимоги [Електронний ресурс] // Київ : Міністерство аграрної політики України, 2014. – 15 с. (Стандарт Мінагрополітики України) – Режим доступу до ресурсу: http://nsdi.land.gov.ua/ua/standarts.
2. Fu P. Design and implementation of the solar analyst: An Arcview extension for modeling solar radiation at landscape scales / P. Fu, P. Rich. // Proceedings of the Nineteenth Annual ESRI User Conference. – 1999.
3. Redweik P. Solar energy potential on roofs and facades in an urban landscape / P. Redweik, C. Catita, M. Brito. // ScienceDirect. – 2013. – №97. – P. 332–341.
4. Modelling solar potential in the urban environment: State-of-the-art review / S.Freitas, P. Redweik, C. Catita, M. Brito. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2015. – №41. – P. 915–931.
5. Falklev E. H. Mapping of solar energy potential on Tromsøya using solar analyst in ArcGIS / E. H. Falklev. – Tromsø: The Arctic University of Norway, 2017. – 99 c.
6. Боровий В. О. 3D візуалізація як більш повне бачення шляхів планування та експлуатації зонінгу за допомогою ГІС-технологій / В. О. Боровий, О. В. Зарицький. // Новітні технології. – 2016. – №2. – С. 6–10.

Borovyi V., Ahapova O., Zarytskyi O., Klypko A.

USING TOPOGRAPHIC DATA FOR MODELING THE SOLAR ENERGY POTENTIAL OF THE MAIN BUILDING KARAZIN UNIVERSITY

This article considers opportunities of using vector topographic data for determining parameters of solar energy potential of architectural complexes and urban areas. A set of tools for space modeling of solar radiation had been analyzed. Using of GIS tools for calculating the values of total solar radiation is substantiated.

Also, possibilities for solving problems regarding using results of 3D-modling of buildings are demonstrated. Beside these authors emphasize the importance of streamlining and preparation vector`s topographical data for the construction relief`s digital model.

There were determined how these methods of indication of global solar radiation on the Karazin University roof.

Keywords: topographical data, architectural complex, 3D modeling, solar energy potential, total solar radiation.

REFERENCES

1. SOU 71.12-37-944:2014. Topographic database. General requirements [Electronic resource] // Kyiv : Ministry of agrarian policy of Ukraine, 2014. – 15 p. (Standard of the Ministry of agrarian policy of Ukraine) – Resource: http://nsdi.land.gov.ua/ua/standarts.
2. Fu P. Design and implementation of the solar analyst: An Arcview extension for modeling solar radiation at landscape scales / P. Fu, P. Rich. // Proceedings of the Nineteenth Annual ESRI User Conference. – 1999.
3. Redweik P. Solar energy potential on roofs and facades in an urban landscape / P. Redweik, C. Catita, M. Brito. // ScienceDirect. – 2013. – №97. – P. 332–341.
4. Modelling solar potential in the urban environment: State-of-the-art review / S.Freitas, P. Redweik, C. Catita, M. Brito. // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2015. – №41. – P. 915–931.

5. Falklev E. H. Mapping of solar energy potential on Tromsøya using solar analyst in ArcGIS / E. H. Falklev. – Tromsø: The Arctic University of Norway, 2017. – 99 p.
6. Borovyi V. O. 3D-visualization as a more complete vision of the ways of planning and operation of zoning using GIS / V. O Borovyi, O. V. Zarytskyi. // The new technologies. – 2016. – №2. – P. 6–10.

Боровой В. О., Агапова Е. Л., Зарицкий А. В., Клыпко А. Ю.

ПРИМЕНЕНИЕ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ГЕЛИОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ГЛАВНОГО КОРПУСА КАРАЗИНСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

В статье рассматриваются возможности использования векторных топографических данных для определения показателей гелиоэнергетического потенциала сложных архитектурных комплексов и городских территорий. Проанализирован набор инструментов для пространственного моделирования солнечного излучения. Обосновано использование ГИС-инструментов для подсчета значений суммарной солнечной радиации.

Продемонстрированы возможности применения результатов 3D-моделирования зданий для решения данной проблемы. Авторы подчеркивают важность упорядочения и подготовки векторных топографических данных до построения цифровой модели рельефа.

В работе по выбранному методу определяются показатели суммарной солнечной радиации на крышах корпусов Каразинского университета.

***Ключевые слова**: топографические данные, архитектурный комплекс, 3D-моделирование, гелиоэнергетический потенциал, суммарная солнечная радиация.*

ВОДНИЙ ТРАНСПОРТ: НАПРЯМИ РОЗВИТКУ

УДК 629.05 *DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.03*

Доронін В.В., Алєйніков М.В., Алейніков В.М.

ЗАСТОСУВАННЯ КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СТІЙКОСТІ ІНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МЕТОДУ НАВІГАЦІЇ НА ВВШ УКРАЇНИ

У статті запропоновано метод вибору критеріїв оцінки функціональної стійкості складної системи, що відображає ефект від застосування інструментального методу навігації на базі електронно-картографічних систем Inland ECDIS на ВВШ України. Здійснена математична формалізація критеріальних визначень з використанням моделі неорієнтованого графа, що сприятиме підвищенню безпеки руху водних транспортних засобів з урахуванням специфіки функціонування транспортної системи України.

Наведено основна відмінність стійкості функціонування системи від поняття функціональної стійкості, що характеризує зміну екранних координат при розрахунковому і зміненому стані системи.

Запропонований метод застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на ВВШ України сприятиме надійності вирішення навігаційних задач для підвищення безпеки руху ВТЗ з урахуванням специфіки функціонування транспортної системи України.

Ключові слова: *безпека судноплавства, інструментальний метод навігації, функціональна стійкість, критеріальні визначення, неорієнтований граф, електронно-картографічна система.*

Вступ. У XXI столітті річковий транспорт стає одним з найважливіших елементів транспортних перевезень, а його розвиток – потужним каталізатором економічного зростання й обороноздатності держави. В сучасних умовах глобальною вимогою розвитку і використання річкового транспорту на ВВШ України є безпека судноплавства.

Ефективним механізмом експлуатації водних транспортних засобів (ВТЗ) у сучасних умовах інтелектуалізації системи прийняття рішень є перехід на інструментальний метод навігації й подальше підвищення безпеки руху ВТЗ на внутрішніх водних шляхах (ВВШ) України. Застосування теорії функціональної стійкості при інструментальному методі навігації на ВВШ України включає сукупність логічно пов'язаних між собою теоретичних і технологічних основ щодо вирішення нової наукової проблеми.

Розвиток річкових електронно-картографічних систем (*Inland ECDIS*) значно впливає на підвищення ефективності експлуатації ВТЗ, а це передбачає розробку додаткових програмних, інформаційних та інструментальних засобів оперативного синтезу дієвих систем підтримки прийняття рішень для вахтових помічників капітанів.

Постановка проблеми. Функціонування суднового навігаційного обладнання та обладнання берегової інфраструктури ВВШ України при інструментальному методі навігації можна віднести до розподіленої ієрархічної інтелектуалізованої системи управління складного технічного об'єкта. При інструментальному методі навігації реальний процес функціонування системи суднового навігаційного обладнання та обладнання берегової інфраструктури повинен відповідати розрахунковому. Стійкість функціонування такого методу заснована на аналізі цілого ряду факторів, які в даний час не враховуються у зв'язку з використанням приблизних моделей. Слід зазначити, що проблема визначення функціональної стійкості такої

складної організаційної системи, як система забезпечення інструментального методу навігації (СЗІМН) на ВВШ України, на сьогоднішній день залишається відкритою.

Теорія функціональної стійкості СЗІМН передбачає нові підходи щодо вирішення наукової проблеми та включає сукупність логічно пов'язаних між собою концептуальних, теоретичних і технологічних основ. В теоретичних основах основна керівна ідея забезпечення функціональної стійкості СЗІМН повинна досліджується за допомогою науково-обгрунтованих підходів, методів, методик, алгоритмів і математичних моделей. Технологічні основи відображають практичну сторону використання основної ідеї СЗІМН на всьому життєвому циклі системи.

Таким чином, теорія функціональної стійкості СЗІМН висуває такі основні напрями досліджень: математична формалізація критеріальних визначень, розробка методів підвищення функціональної стійкості; визначення найефективніших засобів підвищення їх функціональної стійкості.

Мета роботи. Стаття присвячена вибору критеріїв оцінки функціональної стійкості складної системи, що відображає ефект від застосування інструментального методу навігації на базі електронно-картографічних систем *Inland ECDIS* на ВВШ України.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Залежно від призначення системи застосовуються різні варіанти понять стійкості – стійкість по Ляпунову, стійкість по ймовірності, стійкість по Лагранжу та інше. Це поняття відноситься не до даного об'єкта, а тільки до якої-небудь його властивості. Для різних систем розроблено достатньо багато методів аналізу стійкості: методи Ляпунова, Гурвіца, Михайлова, Попова та інше. В класичній теорії стійкості розроблено критерії, за якими можна встановити факт стійкості системи.

Поняття функціональної стійкості для динамічної системи вперше визначено у роботах професора Машкова О.А. Теорію побудови функціонально-стійких розподілених автоматизованих систем управління запропоновано професором Барабашем О.В. Даний підхід базується на оцінках зв'язності графів мережі. Є також й інші підході щодо забезпечення функціональної стійкості для навігаційних систем спеціального призначення (професор Кравченко Ю.В.).

Слід зазначити, що класичні підходи теорії стійкості для сучасних систем, засновані на активному використанні методів штучного інтелекту, часто не відповідають вимогам щодо адекватності й надійності оцінок стійкості функціонування таких систем. Разом з тим, моделі і методи теорії функціональної стійкості залежать від предметної області їх застосування.

Викладення основного матеріалу. Інструментальний метод навігації на базі електронно-картографічних систем *Inland ECDIS* повинен оптимізуватися за комплексом критеріїв, що характеризують виконання поставлених завдань з ймовірністю безпечного плавання $P_{бп}$ для конкретних умов руху ВТЗ:

$$P_{бп} = 1 - exp\,(D_{min}/M)^2, \qquad (1)$$

де D_{min} – найкоротша відстань до найближчої небезпеки;

M – СКП зчислюваного місця ВТЗ у точці найкоротшої відстані до найближчої небезпеки.

У [4] наведено основну відмінність стійкості функціонування системи від поняття функціональної стійкості. Що стосується інструментального методу навігації на ВВШ України, то стійкість функціонування такої системи характеризує зміну екранних координат при розрахунковому та зміненому стані системи.

$$\forall E > 0 \Rightarrow \Delta_{x,y} > 0,\ V\left[(x_0, y_0), (x_0^1, y_0^1)\right] < \Delta_{x,y} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow V\left\{(x, y)\left[t, (x_0, y_0)\right], (x, y)\left[t, (x^1, y^1)\right]_0\right\} < E, \quad \forall t \in (o, \infty),$$

де (x_0, y_0) – екранні координати при розрахунковому стані системи;

(x_0^1, y_0^1) – екранні координати при зміненому стані системи;

V – векторний простір (x_0, y_0);

E – раціональні числа, що показують відхилення зміненого стану системи від розрахункового.

Функціональна стійкість такої системи характеризує відхилення основних функцій від екранних координат при розрахунковому та зміненому стані системи.

$$\forall E > 0 \Rightarrow \Delta_{x,y} > 0,\ V\left[f(x_0, y_0), f(x_0^1, y_0^1)\right] < \Delta_{x,y} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow V\left\{f(x, y)\left[t, (x_0, y_0)\right], f(x, y)\left[t, (x^1, y^1)\right]_0\right\} < E, \quad \forall t \in (o, \infty),$$

де $f(x, y)$ – функція від координат руху при розрахунковому та зміненому стані системи.

Таким чином, функціональна стійкість системи забезпечення інструментального методу навігації (СЗІМН) є його властивість зберігати протягом заданого часу виконання своїх основних функцій в межах, встановлених нормативними вимогами в умовах протидії зовнішніх дестабілізуючих факторів.

На рис. 1 показані основні етапи функціональної стійкості СЗІМН на ВВШ України, що включає систему елементів берегової інфраструктури та суднового навігаційного обладнання.

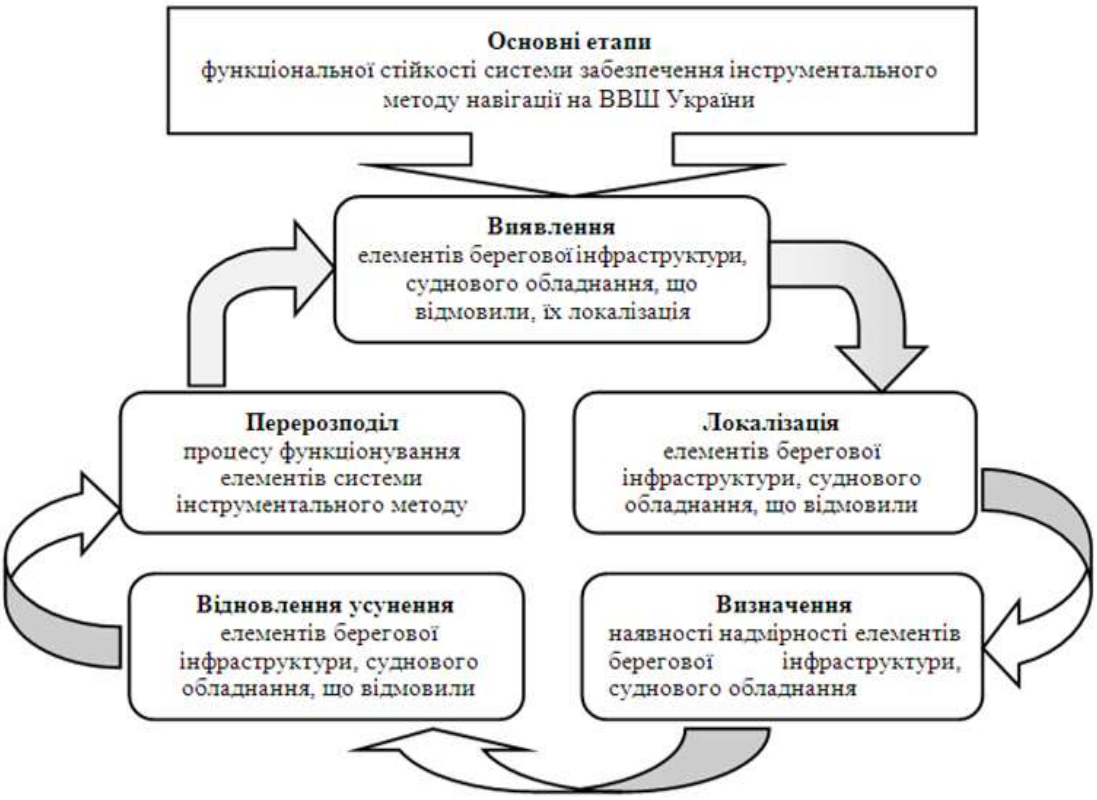


Рис. 1. Основні етапи функціональної стійкості СЗІМН на ВВШ України

У процесі функціонування етапів функціональної стійкості берегової інфраструктури, суднового навігаційного обладнання СЗІМН не виключається ситуація, коли окремі її елементи можуть бути неоптимальними, а система в цілому оптимальною відповідно до встановлених вимог, у зв'язку з чим різновидність критеріїв найчастіше призводить до суперечності їх один одному. У цьому випадку задоволення всіх критеріїв, є компромісним варіантом. При інструментальному методі навігації, окрім встановлення факту стійкості, повинен бути визначений запас стійкості, а також області стійкості у векторному просторі параметрів системи. СЗІМН є адаптивною системою, тобто вона має можливість перебудовуватися до зовнішніх умов для оптимального досягнення загальної мети.

Поняття надійності та функціональної стійкості СЗІМН внаслідок того, що вони виражають і характеризують якісну визначеність системи, співпадають у певному відношенні, і в той же час вони виражають різні критерії функціонування внутрішнього механізму системи. Забезпечення функціональної стійкості в даному випадку вимагає спеціального додаткового апаратного й програмного забезпечення, яке не враховується в безвідмовній системі.

Принципово те, що усунення наслідків позаштатних ситуацій здійснюється перерозподілом уже існуючих ресурсів шляхом усередині підсистем; зміни алгоритму функціонування СЗІМН; зміни режиму роботи її підсистем. Таким чином, на будь-яку позаштатну зміну стану СЗІМН на ВВШ України повинна бути вироблена реакція у вигляді набору керуючих впливів, спрямованих на нейтралізацію наслідків за мінімальний час з мінімальними втратами показників функціональної стійкості системи.

На рис. 2 показаний алгоритм реалізації функціональної стійкості СЗІМН на ВВШ України.

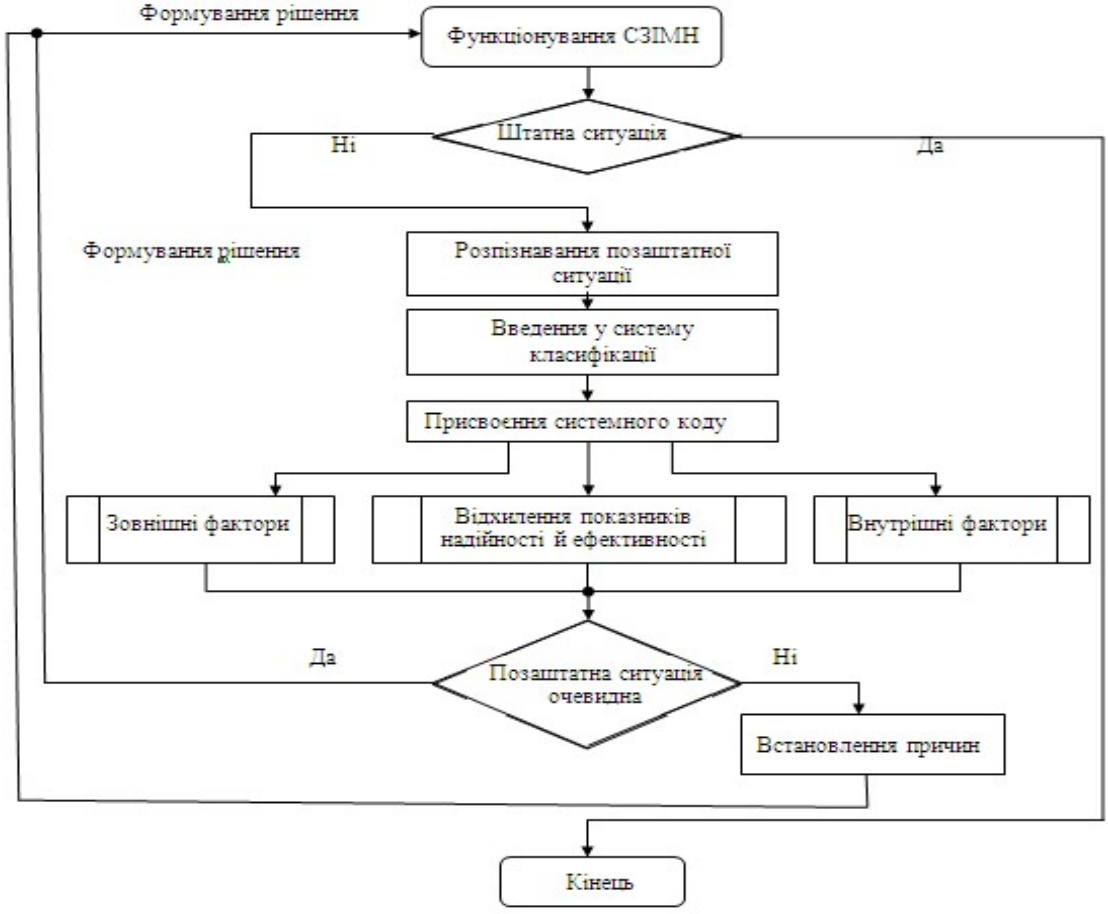


Рис. 2. Алгоритм реалізації функціональної стійкості СЗІМН на ВВШ України

СЗІМН є багатопозиційною телекомунікаційною системою. Звідси витікають основні вимоги до критеріїв забезпечення функціональної стійкості системи.

Використовуємо математичну модель у вигляді неорієнтованого графа у зв'язку з тим, що логічні зв'язки в СЗІМН є двосторонні. У графі відсутні петлі й кратні ребра. Множина вершин V відповідає множині складових елементів СЗІМН потужності n, а множині ребер $\langle E,F\rangle$ відповідає множина функціональних зв'язків між складовими елементами СЗІМН.

$$G(V,\langle E,F\rangle),\ V=\{v_i\},\ \langle E,F\rangle=\{\langle e,f\rangle_{ij}\},\ i,j=1,2,.....n \qquad (2)$$

Тоді $\langle v,e,f\rangle$ характеризує конкретний стан СЗІМН,

де $v\subseteq V,\ |v|\le|V|;\quad e\subseteq E,\ |e|\le|E|;\quad f\subseteq F,\ |f|\le|F|.$

$$\Delta v=v^+\cap v^-.\quad \Delta e=e^+\cap e^-.\quad \Delta f=f^+\cap f^-,$$

де $v^+,\ e^+,\ f^+$ – збільшені значення $\{V,E,F\}$ складових елементів СЗІМН;

$v^-,\ e^-,\ f^-$ – зменшені значення $\{V,E,F\}$ складових елементів СЗІМН

$$|v^+|=|V|.\quad |e^+|=|E|.\quad |f^+|=|F|.\quad |v^-|<|V|.\quad |e^-|<|E|.\quad |f^-|<|F|.$$

Наприклад, аналіз основних критичних факторів, що визначають обмеження руху ВТЗ, представляє принциповий інтерес для застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на ВВШ України і можливостей їх реалізації за наступними значеннями:

– критичні фактори, що визначають обмеження для руху ВТЗ щодо габаритів суднового ходу V_1

$$v_1^-<k_1\cdot V_1 \quad за\ умови \begin{cases} k_1=0{,}67 & для\ односторон.\ руху,\\ k_1=0{,}38 & для\ двосторон.\ руху,\\ k_1=0{,}35 & для\ двосторон.\ руху\\ & з\ урухування\ м\ рискання\ суден. \end{cases}$$

– критичні фактори, що визначають обмеження для руху ВТЗ щодо радіусів заокруглення суднового ходу V_2 на ВВШ в районі перекатів

$$v_2^-<k_2\cdot V_2,$$

де V_2 – радіус заокруглення суднового ходу,

k_2 – коефіцієнт запасу.

– критичні фактори, що визначають обмеження для судноплавства щодо глибин суднового ходу V_3

$$v_3^-<V_3-\Delta_3,$$

де Δ_3 – осадка судна на стоянці;

V_3 – глибина суднового ходу/

Δ_3 – запас по глибині, який залежить від значення V_3 і типу ґрунту.

– критичні фактори, що визначають обмеження для судноплавства щодо габаритів шлюзів

$$v_4^- < V_4 \qquad v_{4-1}^- < V_{4-1} - \Delta_{4-1};$$

$$v_{4-2}^- < \begin{cases} 0{,}8 \ м/сек & для\ вантажних\ составів, \\ 1.0 \ м/сек & для\ одиночних\ самохідних\ суден, \end{cases}$$

де V_4 – фактична довжина шлюзової камери;

$V_{4\text{-}1}$ – фактична ширина шлюзової камери;

$\Delta_{4\text{-}1}$ – запас по ширині, що приймається в шлюзах України, $\Delta_{4\text{-}1} = 0{,}8$ м;

v_{4-2}^- – швидкість заходу суден до камери шлюзу.

– критичні фактори, що визначають обмеження для судноплавства щодо габаритів підходів до судноплавних шлюзів

$$v_5^- < 0{,}26 \cdot V_5, \qquad v_{5-1}^- < 3 \cdot V_5, \qquad \frac{V_5}{V_{5-2}} = 7{,}9.$$

де V_5, $V_{5\text{-}2}$ – габарити підхідного каналу шлюзу;

v_{5-1}^- – радіус циркуляції судна.

– критичні фактори, що визначають обмеження для судноплавства щодо габаритів мостів

$$v_6^- < V_6 - 2 \cdot \Delta_6, \qquad v_{6-1}^- < V_{6-1} - \Delta_{6-1},$$

де V_6 – гранична ширина суднового ходу при проході під мостами, позначена на картах;

Δ_6 – максимальне відхилення від осі суднового ходу при проході під мостами;

$V_{6\text{-}1}$ – висота моста над фактичним рівнем води;

$\Delta_{6\text{-}1}$ – мінімальний запас по висоті, який залежить від $V_{6\text{-}1}$ і характеру ВВШ: наявність течії або зрегульовані ділянки.

– критичні фактори, що визначають обмеження для судноплавства щодо висоти проводів повітряних ліній електропередачі

$$v_7^- < V_7 - \Delta_7,$$

де V_7 – найменша відстань проводів від фактичного рівня води;

Δ_7 – мінімальний запас по висоті, який залежить від напруги в лінії електропередачі.

Для суден внутрішнього плавання, у тому числі з динамічними засобами підтримки та ватерлінією обмеженої площі, реальну небезпеку становлять знаки плавучого огородження, якірні бочки, колоди, коріння дерев та ін. Для таких суден основною проблемою руху є відсутність надійних засобів і методів виявлення зазначених небезпек в темний час доби та в умовах обмеженої видимості та, як наслідок, відсутність відображення на електронно-картографічній системі. В навігації основним є метод руху, який полягає в безперервному веденні зчислення і в регулярному визначенні місця судна.

Безпека руху ВТЗ залежить, насамперед, від частоти та точності визначення місця, внаслідок чого визначення місця судна відносять до основних завдань експлуатації. Процес виміру та обробки експлуатаційних параметрів супроводжується похибками, які впливають на координати місця судна. Тому, для обґрунтування маневру ВТЗ з метою розбіжності з

реальною небезпекою, електронно-картографічна система повинна виконувати оцінку точності визначення місця ВТЗ замість ручної обробки зазначеної інформації.

Нормативи точності знання координат у обмежених районах руху за наявності на судні сучасної супутникової навігаційної системи складають: допустима величина похибки визначення місця $e_1^- \le 10$ *м* (з ймовірністю 0,95), інтервал дискретності поновлення координат $f_1^- \le 2c$.

$$(1) \Rightarrow P_{бп} < P_{зад} \Rightarrow e_1^- = f(P_{зад}, t_д) \Rightarrow f_1^- = t_д - 2 \cdot t_{обс} \Rightarrow \text{побудова графіка } f(M_д, M_т). \qquad (3)$$

Розрахунки (3) потрібно автоматизувати в Inland ECDIS по аргументах D і M, використовуючи

$$p_{бп} = 0{,}5[1 + \Phi(Z)],$$

де $\Phi(Z)$ – функція Лапласа, що визначається по аргументу $Z = D\sqrt{2}/M$.

При лоцманському проведенні суден на р. Дніпро кількісним критерієм безпеки руху є безпечна дистанція, яка характеризується мінімальною відстанню, яка вимірюється або визначається візуально між судном і небезпекою. Найбільш ймовірне зіткнення з небезпечними об'єктами, розташованими на гострих курсових кутах судна.

Визначення величини безпечних дистанцій v_8^+ для розходження з виявленими нерухомими небезпеками, використовуючи ребра в неорієнтованому графі (2), може визначатися за формулами, вказаними в [3]:

– при ухиленні від небезпеки активним чи пасивним гальмуванням судна

$$v_8^+ \ge V_8 - \upsilon \cdot \Delta_t - S_t - m_D - m_S,$$

де V_8 – дистанція виявлення небезпеки;
υ – швидкість судна до моменту початку маневру ухилення;
Δ_t – мертвий проміжок часу при здійсненні маневру машинами;
S_t – гальмівний шлях судна до моменту його повної зупинки;
m_D – гранична із заданою ймовірністю похибка визначення дистанції до небезпеки;
m_S – гранична із заданою ймовірністю похибка визначення гальмівного шляху;

– при ухиленні від небезпеки поворотом судна

$$v_8^+ \ge V_8 - v_{8-1}^- - \upsilon \cdot \Delta_{t-1} - S_t - m_R - m_D,$$

де Δ_{t-1} – мертвий проміжок часу при здійсненні маневру повороту;
v_{8-1}^- – радіус фактичної циркуляції судна;
m_R – гранична похибка із заданою ймовірністю визначення реального радіусу циркуляції судна.

Для даного прикладу ознаками функціональної стійкості системи є зв'язність графа {К=1} і наявність в його складі мостів $N_L \ge 1$, а також вузлів з'єднання $N_V \ge 1$

$$\{K = 1\} \wedge \lfloor \{N_V \ge 1\} \vee \{N_L \ge 1\} \rfloor. \qquad (4)$$

Слід зазначити, що (4) суттєвим чином знижує функціональну стійкість розподіленої інформаційної системи, оскільки всі маршрути передачі інформації з вершин одного підграфа у вершини іншого будуть включати в себе цей міст або вузол сходження. Тому для приведення

системи в функціонально стійкий стан необхідно вводити в структуру резервні лінії зв'язку для того, щоб не було в структурі мостів або вузлів зчленування. При цьому будуть з'являтися декілька незалежних та альтернативних маршрутів передачі інформації.

Висновок. Запропонований метод застосування критеріїв оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на ВВШ України сприятиме надійності вирішення навігаційних задач для підвищення безпеки руху ВТЗ з урахуванням специфіки функціонування транспортної системи України.

Наведеними вище деякими кількісними критеріями безпеки руху ВТЗ належить керуватися для формалізації критеріїв, закладених в логіку аналізу експлуатаційної інформації за допомогою *Inland ECDIS* при застосуванні критеріїв оцінки функціональної стійкості інструментального методу навігації на ВВШ України.

Застосування теорії функціональної стійкості при інструментальному методі навігації на ВВШ України включає сукупність логічно пов'язаних між собою теоретичних і технологічних основ щодо вирішення нової наукової проблеми.

ЛІТЕРАТУРА

1. Баранов Г.Л. Алгебраїзація маршрутів руху транспортних засобів / Г.Л. Баранов, В.В. Доронін, В.Р. Косенко, Д.М. Прохоренко // Інформаційні процеси, технології та системи на транспорті. Київ, Національний транспортний університет. – 2014. – Випуск 1. – С. 60–70.
2. Доронін В.В. Системна технологія розв'язку оперативних задач навігації для синтезу законів експлуатації водного транспорту. Системи обробки інформації. Збірник наукових праць. Харків, Харківський університет Повітряних Сил України. – 2015. – Випуск 10 (135). – С. 186–191.
3. Катенин В.А. Навигационно-гидрографическое обеспечение судоходства на внутренних водных путях / В.А. Катенин, А.В. Зернов, Г.Г. Фадеев // – М.: МОРКНИГА, 2010. –344 с.
4. Машков О.А. Розвиток теорії функціональної стійкості як стійкості функціонала якості складної системи / В.Р. Косенко, О.А. Машков // Intellectual systems for decision making and problems of computational intelligence.
5. Матеріали міжнародної наукової конференції ISDMCI'2016. Збірник наукових праць. Херсон, Херсонський національний технічний університет. Видавництво ПП Вишемирський В. С., 2016. – 382 с.

Доронин В.В., Алейников М.В., Алейников В.М.

ПРИМЕНЕНИЕ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО МЕТОДА НАВИГАЦИИ НА ВВП УКРАИНЫ

В статье предложен метод выбора критериев оценки функциональной устойчивости сложной системы, который отражает эффект от применения инструментального метода навигации на базе электронно-картографических систем Inland ECDIS на ВВШ Украины. Осуществлена математическая формализация критериальных определений с использованием модели неориентированного графа, что будет способствовать повышению безопасности движения водных транспортных средств с учетом специфики функционирования транспортной системы Украины.

Приведены основное отличие устойчивости функционирования системы от понятия функциональной устойчивости, характеризующий изменение экранных координат при расчетном и измененном состоянии системы.

Предложенный метод применения критериев оценки функциональной устойчивости инструментального метода навигации на ВВШ Украины будет способствовать надежности решения навигационных задач для повышения безопасности движения ВТЗ с учетом специфики функционирования транспортной системы Украины.

Ключевые слова: *безопасность судоходства, инструментальный метод навигации, функциональная стойкость, критериальные определения, неориентированный граф, электронно-картографическая система.*

Doronin V., Aleynikov M., Aleynikov V.

OPERATIONAL USE OF THE CRITERIA FOR ASSESSMENT OF FUNCTIONAL STABILITY INSTRUMENTAL METHODS NAVIGATION ON WATERWAYS OF UKRAINE

The article proposes a method for selecting criteria for evaluating the functional stability of a complex system, reflecting the effect of using the instrumental method of navigation based on Inland ECDIS electronic mapping systems on the Higher School of Internal Affairs of Ukraine. The mathematical formalization of criterion definitions was carried out using the model of an undirected graph, which will contribute to improving the safety of the movement of water vehicles taking into account the specifics of the functioning of the transport system of Ukraine.

The main difference between the stability of the system and the concept of functional stability, which characterizes the change in screen coordinates for the estimated and altered state of the system, is given.

The proposed method of applying the criteria for assessing the functional stability of the instrumental method of navigation on the Higher School of Internal Affairs of Ukraine will contribute to the reliability of solving navigation problems to improve the safety of the Volzhsky Pipeline, taking into account the specifics of the functioning of the transport system of Ukraine.

Keywords*: safety of navigation, instrumental navigation method, functional stability, the critical determination, undirected graph, electronic chart system.*

УДК 681.515:545 *DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.04*

Коломієць О.М.

МЕТОДИ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

У статті проведено дослідження принципів автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту визначило таки: принцип узгодженості; принцип інтеграції; принцип незалежності виконання.

Визначено, що найбільш ефективною є стратегія удосконалення моделі автоматизованого контролю технічного стану засобів водного транспорту, яка на відміну від існуючих базується на марковських процесах, методі Рунге-Кутта чисельного рішення системи диференціальних рівнянь Колмогорова та апріорної інформації про інтенсивності переходів зі стану в стан.

Використання програмної реалізації моделі значно покращує показники оперативності за рахунок ергономічності інтерфейсу та зменшення кількості операцій.

Моделювання технічного стану засобів водного транспорту за допомогою розробленого програмного забезпечення свідчить про те, що розробка є функціональною, тому що програмне забезпечення задовольняє усім потребам користувача. Модель є адекватною, а дане програмне забезпечення є досить надійним. Інтерфейс програми зручний та ергономічний.

Ключові слова: *метод; автоматизація; контроль; технічний стан; засоби водного транспорту; програмне забезпечення; апріорна інформація*

Вступ. В сучасних умовах активне виконується державне завдання інтенсивного економічного та соціального розвитку країни та її участі в міжнародної інтеграції. Особа роль в цьому відводиться транспортної галузі, а саме морським та річним перевезенням. Тому перехід на інвестиційно-інноваційний етап розвитку є логічним шляхом підвищення ефективності виконання будь-яких завдань [1–3].

На даному етапі водний транспорт України у цілому задовольняє лише базові потреби економіки та населення у перевезеннях. Водний транспортний комплекс є складною структурою, яка, як відоме, охоплює низку завдань та функцій. Варте підкреслити, що рівень безпеки, показники ефективності перевезень пасажирів та вантажів, інші важливі властивості не відповідають сучасним вимогам. Порівняльний аналіз аварійності засобів водного транспорту (ЗВТ) свідчить про зменшення подібних ситуацій, але це не знижує актуальність наукових досліджень в галузі підвищення ефективності та надійності за рахунок автоматизації. Аналіз закордонного та вітчизняного досвіду впровадження систем автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту свідчить про можливість значного підвищення їх ефективності та якості функціонування.

Постановка проблеми в загальному вигляді

Таким чином, незважаючи на розвиток транспортної галузі України, водного транспорту зокрема, актуальним є ***наукове завдання*** удосконалення існуючих та розробки нових моделей та методів автоматизації контролю технічного стану (ТС) засобів водного транспорту у різноманітних умовах експлуатації, вирішенню цього завдання і присвячена стаття.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питання технічної експлуатації, обслуговування і ремонту засобів водного транспорту висвітлюється у роботах В.В. Паніна, М.М. Цимбала, Б.В. Васильєва, Ю.Г. Дейнего, О.А. Оніщенко, С.І. Сербіна, В.І. Богомї, Д.І. Севастєєва, С.Р. Смирнова та ін.

У тому числі, щодо питань автоматизації контролю технічного стану засобів водного транспорту у різноманітних умовах експлуатації відомі роботи вчених: І.П. Атаманюка, І.О. Мачаліна, В.М. Глушкова, М.З. Згуровського, О.Г. Івахненка, В.Д. Кудрицького, Р.К. Мурасова, В.С. Пугачова, Р.А. Варбанця та ін. Але коло проблем звужується досить повільно. Це обумовлено багатьма факторами, в тому числі її складністю завдання.

Таким чином, актуальність досліджень визначається невідповідністю існуючих методів автоматизації реальним умовам функціонування. Тобто, на практиці не існує такого підходу, який ґрунтується на сучасному науково-обґрунтованому апарату та дає відповідні результати.

Евристична модель оперативного визначення технічного стану ЗВТ в умовах відсутності достовірної статистичної інформації

У сучасних умовах розвитку науки, впровадження її результатів в практику пов'язані зі створенням таких систем, які автоматично витягають із середовища необхідні дані, переробляють їх, координують дії щодо наявних цілей та володіють при цьому здатністю обробляти значні масиви інформації, а також функціонувати, не маючи постійних контактів з людиною-оператором. Це в повній мірі відноситься і до систем автоматичної (автоматизованої) оцінки технічного стану засобів водного транспорту [1-4].

В загальному випадку такі системи необхідні в умовах, коли віддаленість дослідника не дозволяє йому своєчасно реагувати на зміни обстановки в районі об'єкта досліджень при роботі в середовищах, небезпечних для людини (наприклад, через радіацію, високих температур та ін.). А згідно теми досліджень в умовах, які вимагають додатково складних і багато вартісних підготовчих робіт (наприклад, повної або часткової розбірки агрегатів судна, при обробці великих масивів вихідної різнорідної інформації, пов'язаною з графіком заходів щодо технічної експлуатації судна.

Наведені міркування висувають необхідність застосування якісно нових методів вирішення завдань, шляхом моделювання процесу мислення людини, методів, які забезпечать ефективне розв'язання особливо складних завдань, зокрема контролю технічного стану обладнання судна, в умовах неповної, недостатньої поточної інформації. Такі завдання виникають в умовах функціонування систем, що залежать від багатьох різнорідних змінних. Методи вирішення таких завдань в умовах, коли через складність або недостатності інформації не можна точно окреслити межі їх застосування та оцінити допустимі помилки, називають евристичними [5].

Евристичні методи, на відміну від строгих, припускають вивчення принципової переробки інформації, що здійснюється людиною не різних етапах його діяльності при вирішенні різних завдань, і побудова на цій основі комп'ютерних програм. Цей процес зазвичай називають евристичним програмування.

Слід зазначити, що характерною особливістю евристичного програмування є широке вивчення методів роботи людини при вирішенні завдання в умовах неповної поточної інформації, особливостей накопичення даних про процес вирішення аналогічних завдань; формування досвіду і моделювання всього процесу переробки інформації шляхом розчленування його на елементарні підетапи.

Евристичні рішення принципово відрізняються від строгих. Основним в їх утворенні є процедури пошуку взаємопов'язаності компонентів рішення, який починається в умовах відсутності відповідного алгоритму та будь-яких відомостей про існування рішення і його єдності. При цьому при процесі пошуку іноді проводиться додатковий збір необхідної інформації. Загально прийнято, що центральне місце в теорії евристичних рішень займають проблеми впізнання ситуацій та явищ навколишнього світу, що являють собою звернення приватних проблем розпізнавання образів [6].

Важливе значення у створенні теорії евристичних рішень уявляє дослідження елементарних інформаційних процесів на різних рівнях. Під дослідженням елементарних інформаційних процесів зазвичай розуміють «факторизацію», дроблення, програмування розумового процесу, а головним завданням дослідження є виявлення правил об'єднання цих

елементарних інформаційних процесів у складні програми. Це безумовно віддзеркалює один з основних принципів системного підходу – принципу декомпозиції.

Метод оцінки ефективності моделей автоматизації

Уявлення абстрактної моделі виведення у вигляді розгалуженого процесу або, що те ж саме, у вигляді орієнтованого графа дозволяє виявити ряд властивостей моделі, звертаючи до теорії графів [5,7,9].

Нехай корінь вузлова точка розгалуженого процесу, у яку входить одна операція (гілка) попереднього етапу і виходить Z альтернатив (гілок), породжуваних операціями на даному етапі.

Вважаємо, що на кожному етапі кожен корінь має на виході Z гілок, тоді загальна кількість гілок розгалуженого процесу, що з'являється на U –му етапі, дорівнює Z^U, а загальна кількість гілок цього дерева

$$V(U) = Z\left(Z^U - 1\right)/(Z-1).$$

Позначимо коріння їх адресами, уявними індексами коренів попереднього етапу (крім нульового), що породили розглянутий корінь, і його порядковим номером зверху вниз.

Наприклад, корінь $S_{j_1 j_2 \cdots j_{k-1} j_k}$ породжений коренем попереднього етапу і його порядковий номер $S_{j_1 j_2 \cdots j_{k-1}}$, та його порядковий номер k.

Позначимо операції через r з індексом, рівним індексу кореня результату. Для скорочення запису в ряді випадків позначимо складний індекс $j_1 j_2 \ldots j_{k-1} j_k$, як j_k. Неважко бачити, що нижній індекс у крайній правій букви означає етап, на якому розглядається дані корінь. Потім також, що в ряді випадків складний індекс кореня $S_{j_1 j_2} \cdots j_k$ можна інтерпретувати як деяке число, записане за певним модулем.

Так, за допомогою випадкових пошукових дій, здійснюваних за допомогою розгалуженого процесу, що містить Z альтернатив в кожному корінні і маючого довжину U, а також маючого один вірний шлях до мети, буде потрібно в середньому $(0{,}5\ Z)^U$ проб: у тому ж дереві, якщо евристичний тест дозволить відкинути як марне половину альтернатив в кожному корені і здійснити випадковий пошук, кількість проб скоротиться до $0{,}5\ (0{,}5\ Z)^U$, тобто в два рази і так далі [5].

Отриманий граф в результаті застосування того або іншого тесту називають усіченим розгалуженим процесом [5]. Розглянемо модель ефективність пошуку рішень при використанні усіченого розгалуженого процесу. Нехай t_1, t_2, t_{k+1} – кількість усічених коренів розгалуженого процесу на *1*-му, *2*-му, … U – му, $(U+1)$ – му етапах рішення кількість, а Z – кількість застосовуваних операції. Тоді кількість гілок на цих етапах буде відповідно дорівнювати:

$$\begin{aligned} v_1 &= Z - t_1, \\ v_2 &= (Z - t_1)Z - t_2, \\ &\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \\ v_U &= Z^U - t_1 Z^{U-1} - \ldots - t_{U-1} Z - t_U, \\ v_{U+1} &= Z^{U+1} - t_1 Z^U - \ldots - t_{U-1} Z^2 - t_U Z - t_{U+1} \quad . \end{aligned} \tag{3}$$

Зрозуміло, якщо на деякому, наприклад на U-му етапі, досягнуто рішення, то на наступному $U+1$-му етапі, на всі гілки слід відсікти, тобто

$$v_{U+1} = 0\,. \tag{4}$$

Якщо загальна кількість відсічених коренів *T*, а загальна кількість залишених гілок – *V*. Тоді

$$T = \sum_{j=1}^{T+1} t_j \,, \tag{5}$$

$$V = \sum_{j=1}^{T+1} v_j \tag{6}$$

підсумовуючи (3.3), отримаємо

$$V = Z\frac{Z^{U+1}-1}{Z-1} - t_1\frac{Z^{U+1}}{Z-1} - t_2\frac{Z^{U}-1}{Z-1} - \ldots - t_{U+1}\frac{Z-1}{Z-1},$$

або, помічаючи прийдемо до результату

$$V = \frac{T-Z}{Z-1}. \tag{7}$$

Вважаючи, що кількість залишилися гілок може бути інтерпретовано як довжина шляху, що веде до вирішення, отриманий результат можна сформулювати в наступній формі: довжина шляху, що веде до вирішення, залежить від співвідношення числа відсічених коренів і числа застосовуваних операторів.

Розуміючи надалі під ефективністю рішення Ξ (U) відношення довжин шляхів до вирішення без використання V^* і з використанням *(V)* того чи іншого тексту, отримаємо

$$\Xi(U) = \frac{V^*}{V}. \tag{8}$$

Без використання цього тесту кількість шляхів до вирішення буде максимальне та дорівнює

$$V^* = \frac{Z\left(Z^U-1\right)}{Z-1}.$$

Підставляючи отримане у (7) та у (8) отримали

$$\Xi(U) = \frac{Z\left(Z^U-1\right)}{T-Z}.$$

Знайдемо граничне значення *T*, через нього та Ξ *(U).*

1 варіант) $T_{\min}$ можливо, коли на кожному з *U* етапів є тільки один шлях, а на *(U+1)*-му етапі немає жодного шляху (так як рішення вже знайдено), тобто

$$t_1 = t_2 = ..t_U = Z-1\,;\; m_{U+1} = Z\,.$$

Звідси слідує

$$T_{\min} = (Z-1)U + Z\,.$$

2 варіант) $T_{\max}$ можливо, коли на кожному з *U* етапів є місце всіх шляхів, а на *U+1*-му а етапі всі шляхи відсічені, тобто

$$m_1 = m_2 = ...m_U = 0\,;\; m_{U+1} = Z^{U+1}\,.$$

Звідси, $T_{\max} = Z^{U+1}$.

Підставляючи ці значення в рівність (8), отримаємо межі зміни ефективності рішення

$$1 \le \Xi(U) \le \frac{Z}{U}\frac{\left(Z^U - 1\right)}{Z-1}.$$

Порахуємо далі ефективність рішення при використанні ієрархічної системи рішення. Нехай передостанній рівень ієрархічної системи утворює *c* підцілей (а, отже *c* підетапом) об'єднуючих по U' операції останнього рівня. Тоді

$$U = c\,U'.$$

Загальне число гілок, ведучих до кожної з підцілей, відповідно до раніше сказаного буде

$$\frac{Z\left(Z^U - 1\right)}{Z-1},$$

а загалі

$$V^{**} = \frac{Z\left(Z^{U'} - 1\right)}{Z-1}c,$$

або

$$V^{**} = \frac{Z\left(Z^{U'} - 1\right)}{Z-1}\frac{U}{U'}.$$

Порівнюючи отриманий вираз з загальною кількістю шляхів до вирішення отримаємо

$$\frac{V^*}{V^{**}} = \frac{Z^U - 1}{Z^{U'} - 1}\frac{T'}{T},$$

або, враховуючи що $Z^U >> 1$ та $Z^{U'} >> 1$, отримаємо кінцевий вираз для методу оцінки ефективності моделей автоматизації контроля ТС ЗВТ

$$\frac{V^*}{V^{**}} \approx \frac{U'}{U}Z^{U-U'}.$$

Метод автоматизації на основі інтелектуальної моделі вирівнювання динамічних рядів

Однією з проблем автоматизації процесу контролю технічного стану судна є проблема достовірності статистичних даних для формування моделі прогнозу. Слід зазначити, що знижують достовірність ряд факторів, пов'язаних як з неточністю вимірювань, так і з недостатньою кількістю самих вимірювань. Таким чином, актуальна класична задача вирівнювання динамічних рядів [4,5].

Нагадаємо, що в загальному випадку динамічний ряд – ряд однорідних величин, що характеризують зміни явища у часі [6]. Відомо так само, що динамічні ряди можуть бути представлені тільки однорідними величинами: абсолютними, відносними або середніми величинами. Моментний ряд характеризує зміну значень явища на певний момент, а інтервальний ряд –за певний період (інтервал часу).

Особливу роль для вирішення завдання прогнозу відводять процесам перетворення і вирівнювання ряду. Перетворення застосовується для більшої наочності змін досліджуваних явищ, а вирівнювання – при стрибкоподібних змінах (коливаннях) рівнів ряду. Мета

вирівнювання – усунути вплив випадкових факторів і виявити тенденцію змін значень явищ (або ознак), а в подальшому встановити закономірності цих змін.

Звернемо увагу саме на вирівнювання. Як відомо, способами вирівнювання динамічного ряду є: укрупнення періодів, розрахунок груповий середньої, розрахунок ковзної середньої, і метод найменших квадратів.

Укрупнення періодів застосовується, коли явище в інтервальному ряду виражено в абсолютних величинах, рівні яких підсумовуються по більшим періодів. Обчислення груповий середньої застосовується, коли рівні інтервального ряду виражені в абсолютних, середніх або відносних величинах, які підсумовуються, а потім діляться на число доданків. Застосовується при кратному числі періодів.

Розрахунок ковзаючої середньої застосовується, коли рівні явищ будь-якого ряду виражені в абсолютних, середніх або відносних величинах. Даний метод застосовується при наявності некратними числа тимчасових періодів (7, 11, 13, 17, 19) досить довгого динамічного ряду. Шляхом обчислення групової середньої значень 3 періодів, а в подальшому переходячи на певний рівень і два сусідніх з ним, здійснюється "ковзання" за періодами. Кожен рівень замінюється на середню величину (з даного рівня і двох сусідніх з ним). Даний метод застосовується, коли не потрібно особливої точності, коли є достатньо довгий ряд і можна знехтувати втратою двох значень ряду; у випадках, коли вивчається розвиток явища під впливом одного або двох факторів.

Метод найменших квадратів застосовується для більш точної кількісної оцінки динаміки досліджуваного явища. Цим способом виходять такі вирівняні значення рівнів ряду, квадрати відхилень яких від справжніх (емпіричних) показників дають найменшу суму. Найбільш простий і часто зустрічається в практиці є лінійна залежність [4–7].

Аналіз показав, що використовувати ці методи при вирішенні поставленого наукового завдання важко в силу вище зазначених причин (неточність вимірювань; недостатньою кількістю вимірів). Тому е cnfnns пропонується новий підхід, а саме, інтелектуальна модель вирівнювання динамічних рядів.

Попередньо нагадаємо, що для поглибленого вивчення процесів в часі розраховують наступні показники динамічного ряду. Для характеристики швидкості зміни процесу застосовуються такі показники, як абсолютний приріст (спад), темп приросту (убутку).

Абсолютний приріст (спад) характеризує швидкість зміни процесу (абсолютну величину приросту (убутку) в одиницю часу). Абсолютний приріст розраховується як різниця між даними рівнем і попереднім; позначається знаком "+", характеризуючи приріст, або знаком "-", характеризуючи спад.

Темп приросту (убутку) характеризує величину приросту (убутку) у відносних показниках в% і визначається як процентне відношення абсолютного приросту (убутку) до попереднього рівня ряду; позначається знаком "+" (приріст) або знаком "-" (спад). Темп зростання (зниження) - для характеристики зміни процесу одного періоду по відношенню до попереднього періоду.

Для узагальненої кількісної оцінки тенденцій динамічного ряду використовується показник, іменований середнім темпом приросту (зниження), виражений в %. При його розрахунку для більшості рядів використовують формулу

$$T_{пр.сн.} = \frac{в \times K}{a} \times 100,$$

де: K = 1 при непарному числі рівнів ряду; K = 2 при парному числі рівнів ряду; a та $в$ – показники лінійної залежності, що використовуються при вирівнюванні ряду методом найменших квадратів.

Задача вирівнювання динамічних рядів та її місце в аналізі різних явищ досить відомі та обґрунтувати доцільність розробки ефективних методів для вирішення навряд чи необхідно. В роботі пропонується інтелектуальний підхід, суть якого в наступному. Звернемо Вашу увагу на дві обставини: 1) процес вирівнювання динамічних рядів є початковим етапом обробки даних, здійснюваних при сприйнятті та 2) результати вирівнюючи в кінцевому рахунку служать вихідною базою для виявлення різних тенденцій та закономірностей зміни технічного стану ЗВТ, дозволяючи перейти до маловивченої процедури переробки інформації привиду або прогнозу.

Нагадаємо, що в досить довгому динамічному ряду простежується деяка група змін, яка існуючи об'єктивно, утворює при сприйнятті деякі типи.

Зазвичай виділяються наступні типи змін [6,7]: зміна головної тенденції; коливальні зміни протягом тривалого періоду часу, або цикл; періодичні коливання протягом коротких відрізків часу, що має більш-менш постійні форми та повторювані через рівні проміжки часу; безладні коливання.

Варто підкреслити, що ці типи змін є багато в чому довільними, їх можна розширювати та стискати. Відомо, що класичний чисельно-аналітичний підхід до вирівнювання динамічних рядів полягає: 1) у підборі деякої функції (формули), що наближається найбільш близькою до результатів спостереження, так звана аналітична заміна та 2) вибору деякого критерію, як заходів наближення, згоди функції, що наближається та результатів спостереження. Зазвичай аналітична заміна здійснюється багаточленами, а у якості міри наближення висувається деяка сукупність вимог, наприклад, функція, що наближається, повинна збігатися з даними значеннями у вузлових точках, або сума квадратів відхилень між вихідними даними та функції, що наближається у вузлових точках повинна бути мінімальною, або щось подібне з того, що відображає минулий досвід дослідника. Важливо відзначити, що, незважаючи на математичну обґрунтованість цих положень, вони багато в чому суб'єктивні та призводять до результатів, відмінних від результатів, отриманих інтуїтивно практиками-експертами. У той же час, якщо такий групі експертів запропонувати вирівняти деякий динамічний ряд, то отримані результати будуть близькі між собою [6].

Отже, сформулюємо завдання. Нехай є деякий динамічний ряд, що відображає результати спостережень (вимірювань) за параметрами функціонування системи судна, заданий через рівні інтервали часу точками на площині $Z_1, Z_2, ..., Z_t, ..., Z_T$. Тоді завданням вирівнювання динамічного ряду з'явиться знаходження відображення μ, утвореного при сприйнятті та представленого при реалізації точками на тій же площині $x_1, x_2, ..., x_t, ..., x_T$, або іншими словами побудови структури $\mu(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4)$. Де μ_1, μ_2, μ_3, μ_4 – деякі особливості зорового сприйняття, про який піде далі мова, використовувані для знаходження $x_1, x_2, ..., x_t, ..., x_T$.

Аналіз виявив ряд проблем, пов'язаних з вирішенням завдання вирівнювання динамічних рядів. Вони зводяться до виявлення загальних принципів, керуючих заснуванням які сприймаються у психологічному полі, до появи зв'язків цих принципів з основною гіпотезою теорії евристичних рішень, що визначає гіпотетичні механізми переробки інформації при сприйнятті мислення та поведінку [5–8].

Скористаємося моделлю німецького вченого Макса Вертгеймера (фундатора відомої гєштальттеорії). Їм встановлені такі закономірності, якими здебільшого несвідомо користується людина, при утворенні єдності зі скупчення точок, що здобувають у слідстві цього важливого значення. А саме, 1) відповідність наявної установці (в моделі це μ_1,); 2) минулий досвід (в моделі це μ_2,); 3) близькості у полі зору (в моделі це μ_3,); 4) добра безперервність (в моделі – μ_4) – які спільно з іншими об'єднуються у **один раціональний закон.** Цей закон є основою запропонованої в дисертації математичної моделі, яка в свою чергу визначає науковий результат – метод автоматизації визначення технічного стану ЗВТ.

Розглянемо більш докладно ці закономірності. Перша – відповідність особистої установці – направляє спостерігача на зближення $<\mu^t_1>$ подумки утворених точок $x_1, x_2, ..., x_t, ..., x_T$ з відповідними точками на площині $Z_1, Z_2, ..., Z_t, ..., Z_T$, тобто

$$\mu^t_1(Z_t, x_t)_{df} < \mu^t_1 > Z_t, x_1 \ \ (t=1, 2, ..., t, ..., T).$$

Другий фактор – минулий досвід – спрямовує спостерігача на будь-який відомий йому з минулого спосіб групування точок та, зокрема, орієнтує його на зближення $<\mu^t_2>$ подумки утворених точок $x_1, x_2, ..., x_t, ..., x_T$, яке спостерігалося в минулому $h_1, h_2 \ldots h_t, h_1,$ тобто

$$\mu^t_2(h_t, x_t)_{df} < \mu^t_2 > h_t, x_t \ (t=1, 2, \ldots, t, \ldots, T-1).$$

Третій фактор близькість у полі зору – об'єднує відносно близькі один одному точки у групи. У задачі вирівнювання динамічних рядів цей фактор стимулює для кожної пари своє зближення $<\mu^t_3>$ точок x_t та x_{t+1}.

$$\mu^t_3(x_{t+1}, x_t)_{df} < \mu^t_3 > x_{t+1}, \quad (t=1, 2, \ldots, t, \ldots, T-1).$$

Четвертий фактор – гарна безперервність – звертає увагу спостерігача на об'єднання точок по загальним для них напрямками, наприклад уздовж певних ліній та наприклад, цей фактор орієнтує на зближення μ^t_4 трійок точок x_{t+2}, x_{t+1}, x_t, тобто

$$\mu^t_4(x_{t+2}, x_{t+1}, x_t)_{df} < \mu^t_4 > x_{t+2}, x_{t+1}, x_t \ \ (t=1, 2, \ldots, t, \ldots, T-1),$$

причому характер цього зближення $<\mu^t_4>$ для кожної трійки точок у найзагальнішому вигляді носить індивідуальний характер [9].

Вводимо системоутворюючий оператори μ_1, μ_2, μ_3 та μ_4, що зв'язують індивідуальні особливості реалізації розглянутих факторів

$$\mu_1(Z_t, x_t)_{df} < \mu_1 > \mu_1(Z_1, x_1), \ldots, \mu^T_1(Z_T, x_T),$$
$$\mu_2(h_t, x_t)_{df} < \mu_2 > \mu_2(h_1, x_1), \ldots, \mu^T_1(h_T, x_T),$$
$$\mu_3(x_{t+1}, x_t)_{df} < \mu_3 > \mu_3(x_2, x_1), \ldots, \mu^{T-1}_3(x_T, x_{T-1}),$$
$$\mu_3(x_{t+2}, x_{t+1}, x_t)_{df},$$
$$_{df} < \mu_4 > \mu_4(x_4, x_2, x_1), \ldots \mu^{T-2}_4(x_T, x_{T-1}, x_{T-2}),$$

а потім системоутворюючий оператор μ що зв'язує ці чинники у єдине ціле.

Тоді отримаємо ієрархічну структуру, яка зв'язує вихідні дані Z_t, h_t та психологічні особливості сприйняття μ_1, μ_2, μ_3, та μ_4:

$$\mu(\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4)_{df}$$
$$_{df} < \mu > \mu_1(Z_t, x_t), \quad \mu_2(h_t, x_t), \mu_3(x_{t+1}, x_t), \mu_4(x_{t+2}, x_{t+1}, x_t),$$

а моделювання зорового сприйняття зведеться до появи властивостей цієї структури, тобто знаходження подумки утворених точок x_t (t=1, 2 …, T).

У наведеній ієрархічній структурі всі її елементи задані не рівнозначно: якщо вихідні дані представлені досить конкретними величинами Z_t та h_t, то чинники М. Вертгеймера μ_1, μ_2, μ_3 та μ_4 передають досить загальні міркування про характер зорового сприйняття μ, тенденцію результатів діяльності зорової системи так далі. Для виходу з положення, що створилось слід зробити деякі додаткові пропозиції припущення про результати перебігу зорового сприйняття при реалізації згаданих чинників при вирішенні даної задачі. Це можна зробити, якщо припустити, що μ_1 та μ_2 стимулюють мінімізацію суми квадратів різниць заданої Z_t та h_t, та подумки утворених x_t точок

$$\mu_1 \approx \sum_{t=1}^{T} (Z_t - x_t)^2 \to \min,$$
$$\mu_2 \approx \sum_{t=1}^{T} (h_t - x_t)^2 \to \min,$$

μ_3 та μ_4 – мінімізація суми квадратів відхилень подумки утворених точок першого та другого порядку

$$\mu_3 = \sum_{t=1}^{T-1} (x_{t+1} - x_t)^2 \to \min,$$
$$\mu_4 = \sum_{t=1}^{T-2} (x_{t+2} - 2x_{t+1} + x_t)^2 \to \min,$$

а μ – мінімізацію їх лінійної залежності

$$\mu = \mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 \to \min,$$

для знаходження подумки утворених точок x_t (t=1, 2, …, T) зробимо мінімізацію μ, заради чого продифференціюємо μ по x_t та прирівняємо похідні нулю. Тоді ми прийдемо до системи лінійних алгебраїчних рівнянь

$$\begin{cases} 3x_t - 3x_2 + x_3 = Z_1 + h_1 \\ -3x_1 + 8x_2 - 5x_3 + x_4 = Z_2 + h_2 \\ \quad\quad \cdots \\ x_{t-2} - 5x_{t-1} + 9x_t - 5x_{t-1} + x_{t+2} = Z_t + h_t \ \ (\textit{при}\ 3 \le t \le T-2), \\ \quad\quad \cdots \\ x_{T-3} - 5x_{T-2} + 8x_{T-1} - 3x_T = Z_{T-1} + h_{T-1} \\ x_{T-2} - 3x_{T-1} + 3x_T = Z_T + h_T, \end{cases} \tag{9}$$

вирішення яких відносно x_t, щодо дає подумки утворені точки $x_1, x_2, ..., x_t, ..., x_T$.

На рис.2 та в таблиці 1 дані результати вирівнювання динамічних рядів обороту двигуна ЗВТ за нормованою шкалою для наочності. Тут лініями «1 ряду» з'єднані вузлові точки вихідного динамічного ряду (результати спостереження), лініями «2 ряду» – результати вирівнювання цього ряду способом найменших квадратів та лініями «3 ряду» – результати вирівнювання того ж ряду щойно розглянутими методами. Назвемо його μ – методом.

Таблиця 1

Результати спостереження та розрахунку

Спостереження параметру	Метод найменшого квадрату	μ -метод
4,0	4,2	4,1
4,9	4,7	4,8
4,5	4,3	4,4
4,0	4,0	4,0
3,5	3,7	3,6
3,6	3,7	3,5
3,2	3,4	3,3
3,5	3,7	3,6
4,2	4,4	4,3
5,4	5,0	5,2
4,9	4,7	4,8
4,8	5,0	4,9
4,7	4,5	4,6
4,1	4,4	4,2
4,9	4,4	4,6
4,2	4,4	4,3
4,1	4,3	4,2
4,0	4,2	4,1
3,9	4,1	4,0
3,8	4,0	3,9

Рис. 2. Результати спостереження та розрахунку

Аналіз результатів показує, що:

1. Співвідношення між $\mu_1 : \mu_2 : \mu_3 : \mu = 0{,}11 : 0{,}73 : 0{,}16 : 1{,}00$, ближче при використанні μ – методу (0,18 : 0,73 : 0,09 : 1,00), ніж при використанні методу найменших квадратів (0,23 : 0,71 : 0,06 : 1,00). Це пояснюється тим, що μ – метод ефективно відображає форму розташування точок: підйому, спаду безперервність кривої та інше).

2. Особливість запропонованого μ – методу дозволяє поліпшити результати при мінімізації відхилення вирівняних точок щодо результатів спостереження в порівнянні з методом найменших квадратів по параболі другого порядку ($\mu_1 = 0{,}0121$ для μ – методу та $\mu_1 = 0{,}0190$ – для методу найменших квадратів), а також при мінімізації відстані між сусідніми точками що вирівнюються ($\mu_2 = 0{,}0504$ та $\mu_2 = 0{,}0584$). Це дозволяє стверджувати про близькість результатів вирівнювання, отриманих за допомогою μ – методу, до результатів отриманих інтелектуально оператором на ЗВТ.

3. За результатами аналізу графіків, базуючись на здоровому глузді та ідеї «вирівнювання» перевагу надаємо μ – методу.

Таким чином, як кількісний, так і якісний способи оцінки результатів вирівнювання з більшою ймовірністю вказують на певну близькість μ – методу до рішень, одержуваних людиною в своїй діяльності.

Варто підкреслити, що в системі рівнянь (9) T на $T+m$, можна здійснити екстраполяцію динамічного ряду [7, 10]. Дійсно, якщо з моменту $T+1$ і до $T+m$ μ_1 та μ_2 у розгляді не беруть участь, то знайдений з урахуванням цього обмеження динамічний ряд є результатом вирівнювання в інтервалі $1 \le t \le T$ та є результатом екстраполяції вирівняного ряду в інтервалі $T+1 \le t \le T+m$. Для оцінки якості екстраполяції введемо індекс розбіжності

$$\delta = \left| \frac{Z_t - x_t}{x_t} \right| 100\%, \ (T+1 \le t \le T+m).$$

За результатами моделювання при варіації m від 1 до 5 індекс розбіжності

$$\delta = 0{,}9 \div 5\%,$$

що підтверджує достовірність наукового результату.

Висновки

1. Евристична модель оперативного визначення технічного стану засобів водного транспорту в умовах відсутності достовірної статистичної інформації, яка вперше розроблена, має відмінну особливість, суть якої у використані при опису процесу зміни стану ланцюжків причино-наслідкових зв'язків та продукційної моделі оператору переходу; це дозволяє значно скоротити обчислювальні витрати та час на визначення стану.

2. Однією з проблем автоматизації процесу контролю технічного стану судна є проблема достовірності статистичних даних для формування моделі прогнозу. Доведено, що знижують достовірність ряд факторів, пов'язаних як з неточністю вимірювань, так і з недостатньою кількістю самих вимірювань. Тому класична задача вирівнювання динамічних рядів є актуальною. Аналіз показав, що в умовах неточності вимірювань та недостатньою кількістю вимірів використовувати традиційні методи при вирішенні поставленого завдання не достатньо ефективно. Тому в дисертаційній роботі пропонується новий підхід, а саме, інтелектуальна модель вирівнювання динамічних рядів.

3. Актуальним є завдання розробки методу автоматизації на основі інтелектуальної моделі вирівнювання динамічних рядів. З метою інтелектуалізації процедури доведена ефективність моделі гєштальттеорії Макса Вертгеймера та необхідність математичної

формалізації її в один раціональний закон. Цей закон є основою запропонованої в дисертації математичної моделі, яка в свою чергу визначає науковий результат – метод автоматизації визначення технічного стану ЗВТ.

4. В інтелектуальної моделі вирівнювання динамічних рядів введені оператори μ_1, μ_2, μ_3 та μ_4, що зв'язують індивідуальні особливості реалізації розглянутих факторів, а потім системоутворюючий оператор μ що зв'язує ці чинники у єдине ціле.

5. У наведеній ієрархічній структурі всі її елементи задані не рівнозначно тому в моделі зроблено припущення про те, що чинники стимулюють мінімізацію суми квадратів різниць відповідних точок та реалізоване перехід до системи лінійних алгебраїчних рівнянь, вирішення яких розв'язує задачу в цілому.

6. За результатами моделювання підтверджена достовірність наукових результатів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Алексишин В.Г., Козырь Л.А., Симоненко С.В. Обеспечение навигационной безопасности плавания: учебное пособие. Одесса : Феникс, 2009. 518 с.
2. Богомья В.І., Давидов В.С., Доронін В.В., Пашков Д.П., Тихонов І.В. Навігаційне забезпечення управління рухом суден. *К.:ДВВП* «*Компас*». 2012. 336 с.
3. Коломієць О. М., Данік О. В. Оцінювання впливу застосування інтелектуальної системи експлуатації судна на вирішення завдань безпеки. *Стандартизація, сертифікація, якість.* 2017. Вип. 2 (105). С. 75–78.
4. Коломієць О. М., Богомя̀ В. І. Методи підвищення ефективності процесу експлуатації суднових комплексів. *Новітні технології.* 2017. Вип. 1(3). С. 42–48.
5. Кудрицька Н. В. Транспортнодорожній комплекс України: сучасний стан, проблеми та шляхи розвитку: монографія. Киев: НТУ, 2010. 338 с.
6. Критерій оптимальності процесу технічного обслуговування суднових комплексів/ Коломієць О. М., Тимощук О.М., Дакі О.А., Трофименко І.В. *Наука і техніка Повітряних сил Збройних сил України.* 2017.№4(29). С.132–136.
7. Коломієць О. М., Данік О. В., Дакі О. А., Горбань А. В. Верифікація технології експертного визначення уступки між вартістю та ефективністю системи навігації та управління рухом. *Новітні технології*. 2018. Вип. 1(5). С. 29–42.
8. Коломієць О. М., Тимощук О. М., Дакі О. А. Обґрунтування застосування сигналів з нормованим спектром для контролю технічного стану радіонавігаційних приладів засобів водного транспорту. *Новітні технології*. 2018. Вип. 2(6). С. 39–45.
9. Разработка методов сжатия сообщений о воздушных объектах и управления дискретностью их выдачи от источников радиолокационной информации/ Коломієць О. М., Воробьёв Е. С., Шевченко А. П., Мазур А. М. та ін. *Новітні технології*. 2018. Вип. 3(7). С. 217–230.
10. В.І. Богомья, А.В. Горбань, М.А. Павленко, О.І. Тимочко, О.М. Тимощук. За заг. ред.О.М.Тимощук. Особливості системного підходу до вирішення наукових завдань експлуатації суднового обладнання. *Київ. ДУІТ.* 2018. 305 с.

Kolomiets O.M.

METODS OF AUTOMATION OF CONTROL OF THE TECHNICAL STATE OF MARINE TRANSPORT

The article analyzes the principles of automation of the control of the technical condition of water transport vehicles, which has been determined: the principle of coherence; the principle of integration; Principle of independence of execution.

It is determined that the most effective strategy is to improve the metods of automated control of the technical condition of water transport vehicles, which, unlike existing ones, is based on Markov

pro-cesses, the Runge-Kutta method of numerical solution of the system of Kolmogorov differential equa-tions and a priori information about the intensity of transitions from state to state.

Using the software implementation of the model significantly improves performance due to the ergonomics of the interface and reduced number of operations.

Modeling the technical condition of water transport with the help of the developed software shows that the development is functional, because the software does not provide satisfaction to all needs of the user. The model is adequate, and this software is quite reliable. The program interface is user-friendly and ergonomic.

Keywords: *metods; automation; control; technical condition; means of marine transport; Software; a priori information*

Коломиец О.Н.

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ АВТОМАТИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СРЕДСТВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

В статье проведено исследование принципов автоматизации контроля технического состояния водного транспорта, определенного следующим образом: принцип согласованности; принцип интеграции; принцип независимости выполнения.

Определено, что эффективной является стратегия совершенствования модели автомати-ческого контроля технического состояния средств водного транспорта, которая может быть использована на базе марковских процессов, методе Рунге-Кутты численного решения системы дифференциальных уравнений Колмогорова и априорной информации про интенсив-ность перехода из одного состояние в другое.

Использование программной реализации моделей значительно улучшает показатели оперативности за счет эргономичности интерфейса и уменьшения количества операций.

Моделирование технического состояния средств водного транспорта с помощью разработанного программного обеспечения свидетельствует о том, что оно является функциональным, так как программное обеспечение удовлетворяет всем потребностям пользователя. Модель является адекватной, а данное программное обеспечение является достаточно надежным. Интерфейс программы удобный и эргономичный.

Ключевые слова: *метод; автоматизация; контроль; техническое состояние; средства водного транспорта; программное обеспечение; априорная информация.*

УДК 62.83 *DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.05*

Абдуллаев Я.Р., Гасанов Э.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ СУДОВОГО ШВАРТОВНОГО УСТРОЙСТВА ПРИ ИЗМЕНЕНИЯХ НАПРЯЖЕНИЯ И ЧАСТОТЫ

В статье поставлена задача исследования асинхронного двигателя при изменениях значений напряжения и частоты тока с учетом режимов работы электропривода судового швартовного устройства. Проведено математическое моделирование управления с помощью преобразователя частоты на полупроводниковых элементах и получены осциллограммы изменений амплитуды подводимых к двигателю напряжения и частоты.

Сформулированная рациональная форма записи уравнений асинхронного двигателя позволяет при наименьшем числе операционных элементов сравнительно просто смодулировать изменения частоты и амплитуды, подводимого к двигателю напряжения.

С помощью программы Matlab Simulink составлена модель, реализующая изменение напряжения и частоты в функции времени.

По приведенной методике можно найти оптимальную пусковую характеристику двигателя при различных видах нагрузки, которая обеспечит надежную работу полупроводниковых элементов статического преобразователя частоты и улучшит технико-экономические показатели асинхронного привода.

При частотном управлении асинхронным приводом швартовного устройства вместо двух- и трёхобмоточных двигателей можно использовать однообмоточные двигатели, в результате чего упростится конструкция и схема управления, а также уменьшатся вес и габариты двигателя.

Ключевые слова: *судна, швартовное устройство, асинхронный двигатель, статор, ротор, скорость вращения, математическая модель, преобразователь частоты.*

Введение. Швартовное устройство осуществляет швартовку судна и обеспечивает безопасную стоянку судна у причала или борта другого судна, а также при стоянке в порту с проведением погрузочно-разгрузочных работ [1, 2]. Следует отметить, что конструкция электродвигателей, применяемых на судах для привода швартовных механизмов, а также система управления ими не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к современным швартовным устройствам. Исследования, проводимые в последнее время, а также специфика работы швартовных механизмов показали, что управление электроприводом швартовного устройства с помощью частотного преобразователя даёт ряд технических и экономических преимуществ.

Основная часть. Как известно, наибольшее распространение имеют три формы записи уравнений асинхронной машины: уравнение неподвижных в пространстве координатных системах $\alpha, \beta, 0$; уравнение осей ротора, вращающихся в пространстве со скоростью $d, q, 0$; уравнение для синхронно вращающихся осей d_s, q_s. Исследование ведется по полным уравнениям асинхронного двигателя.

Наиболее приемлемой является форма записи уравнений в неподвижной в пространстве системе координат. В этом случае с помощью сочленения автономной схемы реализации изменения напряжения и частоты в функции времени со схемой, описывающей уравнения непосредственно асинхронного электропривода, достигается желаемый эффект и простота решений.

Таким образом, за основу моделирования берутся уравнения асинхронного двигателя, записанные в неподвижных в пространстве осях $\alpha, \beta, 0$;

Уравнение напряжений:

$$\begin{gathered} U_{s\propto} = P\Psi_{s\propto} + r_s i_{s\propto}; \\ U_{s\beta} = P\Psi_{s\beta} + r_s i_{s\beta}; \\ 0 = P\Psi_{r\alpha} + \Psi_{r\beta}\omega_r + r_r i_{r\alpha}; \\ 0 = P\Psi_{r\beta} - \Psi_{r\alpha}\omega_r + r_r i_{r\beta}; \end{gathered} \tag{1}$$

Уравнения потокосцеплений:

$$\begin{gathered} \Psi_{s\alpha} = X_s i_{s\alpha} + X_m i_{r\alpha}; \\ \Psi_{s\beta} = X_s i_{s\beta} + X_m i_{r\beta}; \\ \Psi_{r\alpha} = X_r i_{r\alpha} + X_m i_{s\alpha}; \\ \Psi_{r\beta} = X_r i_{r\beta} + X_m i_{r\beta}; \end{gathered} \tag{2}$$

Уравнение электромагнитного момента:

$$M_э = (\Psi_{r\beta} i_{r\alpha} - \Psi_{r\alpha} i_{r\beta}) \tag{3}$$

Уравнение движения электропривода:

$$M_э - M_c = I\frac{d\omega_r}{dt};\ I = 0{,}2\ kqm^2 \tag{4}$$

$$M_э - M_c = IP\omega_r$$

В уравнениях все величины выражены в относительных единицах и приняты следующие обозначения: $U_{s\alpha,}U_{s\beta}$ – проекции вектора напряжения U_s с изменяющимися во времени амплитудой и частотой на соответствующие оси; r_s, r_r– активные сопротивления статора и ротора; X_s, X_r– полные индуктивные сопротивления статора и ротора; X_m– сопротивление взаимоиндукции; $\Psi_{s\propto}$, $\Psi_{s\beta}$, $\Psi_{r\propto}$, $\Psi_{r\beta}$ – проекции потокосцеплений статорных и роторных контуров на соответствующие оси; $i_{s\propto}$, $i_{s\beta}$, $i_{r\propto}$, $i_{r\beta}$ – проекции токов на соответствующие оси; I – момент инерции ротора; m_c – статический момент сопротивления; $P = \frac{d}{dt}$ – символ дифференцирования по синхронному времени; ω_r – скорость ротора.

В уравнениях (1) амплитуда напряжения и частота изменяются во времени, поэтому проекции $U_{s\alpha,}U_{s\beta}$ будут иметь вид:

$$U_{s\alpha=}\ U_s(\tau) co\ s\left[K_f(\tau)\tau + \Psi\right]\ ; \tag{5}$$

$$U_{s\beta}\ \ U_s(\tau) sin[K_p(\tau)\tau + \Psi],$$

где $K_f(\tau) = \frac{f(\tau)}{f_н}$ – относительная частота в функции времени; $U_s(\tau) = \frac{U(\tau)}{U_н}$ – относительное напряжение в функции времени.

Для составления структурной схемы программируемой задачи необходимо записать уравнение (1) относительно потокосцеплений:

$$\begin{gathered} P\Psi_{s\propto} = U_{s\propto} - r_s i_{s\propto}; \\ PU_{s\beta} = U_{s\beta} - r_s i_{s\beta}; \\ P\Psi_{r\propto} = -\Psi_{r\beta}\omega_r - r_r i_{r\alpha}; \\ P\Psi_{r\beta} = \Psi_{r\propto}\omega_r - r_r i_{r\beta}; \end{gathered} \tag{6}$$

Таким образом, из уравнений (6) видно, что потокосцепления машины должны отрабатываться однократным интегрированием.

Соответственно, уравнения (2) решаются относительно токов:

$$\begin{aligned} i_{s\propto} &= a\Psi_{s\propto} - b\Psi_{r\propto}; \\ i_{s\beta} &= a\Psi_{s\beta} - b\Psi_{r\beta}; \\ i_{r\propto} &= c\Psi_{r\propto} - b\Psi_{s\propto}; \\ i_{r\beta} &= c\Psi_{r\beta} - b\Psi_{s\beta}; \end{aligned} \tag{7}$$

где

$$a = \frac{X_r}{X_1X_r - X_m^2};\ \ b = \frac{X_m}{X_1X_r - X_m^2};\ \ c = \frac{X_1}{X_1X_r - X_m^2}$$

Уравнение момента (3) остается без изменения. Уравнения движения (4) представляются в виде

$$P\omega_r = \frac{1}{I}(m_э - m_с). \tag{8}$$

Для моделирования использован асинхронный двигатель со следующими данными:

Тип – 4АС16054УЗ; номинальная мощность $P_н = 17$ кВт; синхронная скорость вращения $n_{син} = 1500\,\frac{об}{мин}$; коэффициент полезного действия $\eta_н = 85$ %.

Параметры схемы замещения в относительных единицах: $r_s^* = 0{,}045$ –активное сопротивление статора; $r_r^{*\prime} = 0{,}064$ – активное сопротивление ротора; $x_{1\sigma}^* = 0{,}082$ – индуктивное сопротивление рассеяния статора; $x_{2\sigma}^* = 0{,}13$ – индуктивное сопротивление рассеяния ротора; $x_m^* = 3{,}17$ – индуктивное сопротивление намагничивания.

Определим базовое сопротивление данного двигателя:

$$P = 3 \cdot U_ф \cdot I_ф.cos\varphi \cdot \eta$$

$$I_ф = \frac{P \cdot 10^3}{3Ucos\varphi} = \frac{17 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0{,}85} = 30{,}3\ A$$

$$Z_n = \frac{U_n}{I_n} = \frac{220}{30{,}3} = 7{,}26\ Ом$$

$$r_s = r_s^* \cdot z_n = 0{,}045 \cdot 7{,}26 = 0{,}327\ Ом$$

$$r_r' = r_r^{*\prime} \cdot z_n = 0{,}064 \cdot 7{,}26 = 0{,}465\ Ом$$
$$x_{1\sigma} = x_{1\sigma}^* \cdot z_n = 0{,}082 \cdot 7{,}26 = 0{,}6\ Ом$$

$$x_{2\sigma} = x_{2\sigma}^* \cdot z_n = 0{,}13 \cdot 7{,}26 = 0{,}94\ Ом$$

$$x_m = x_m^* \cdot z_n = 3{,}17 \cdot 7{,}26 = 26{,}9\ Ом.$$

Полное индуктивное сопротивление статора:

$$x_1 = x_{1\sigma} + x_m = 0{,}6 + 26{,}9 = 27{,}5\ Ом.$$

Полное индуктивное сопротивление ротора:

$$x_r = x_{2\sigma} + x_m = 0{,}94 + 26{,}9 = 27{,}84 \text{ Ом}.$$

Зная индуктивное сопротивление асинхронного двигателя, определяем коэффициенты уравнения (7)

$$a = \frac{X_r}{X_1 X_r - X_m^2} = \frac{27{,}84}{27{,}5 \cdot 27{,}84 - 26{,}9^2} = \frac{27{,}84}{756{,}6 - 723{,}61} = 0{,}66;$$

$$b = \frac{X_m}{X_1 X_r - X_m^2} = \frac{26{,}9}{27{,}5 \cdot 27{,}84 - 26{,}9^2} = \frac{26{,}9}{756{,}6 - 723{,}61} = 0{,}64;$$

$$c = \frac{X_1}{X_1 X_r - X_m^2} = \frac{27{,}5}{27{,}5 \cdot 27{,}84 - 26{,}9^2} = \frac{27{,}5}{756{,}6 - 723{,}61} = 0{,}65.$$

Уравнения (1÷7) с учетом активных сопротивлений обмоток асинхронного двигателя шпиля и коэффициентов a, b, c записываются в следующем виде:

$$\begin{aligned} U_{s\alpha} &= \frac{d\Psi_{s\alpha}}{dt} + 0{,}327 i_{s\alpha}; \\ U_{s\beta} &= \frac{d\Psi_{s\beta}}{dt} + 0{,}327 i_{s\beta}; \\ 0 &= \frac{d\Psi_{r\alpha}}{dt} + \Psi_{r\beta}\omega_r + 0{,}465 i_{r\alpha}; \\ 0 &= \frac{d\Psi_{r\beta}}{dt} - \Psi_{r\alpha}\omega_r + 0{,}465 i_{r\beta}. \end{aligned} \tag{9}$$

При исследовании динамических режимов взаимное влияние трех фаз двигателя учитывается увеличением взаимной индуктивности в 3/2 раза по сравнению с индуктивностью намагничивающего контура $L_\mu = \frac{x_\mu}{\omega_{sн}} = \frac{24{,}9}{157} = 0{,}158$ Гн. Соответственно, полная индуктивность статора $L_s = \frac{x_1 + x_\mu}{\omega_{sн}} = \frac{0{,}57 + 24{,}9}{157} = 0{,}162$ Гн. Приведенная полная индуктивность ротора $L'_r = \frac{x_r + x_\mu}{\omega_{sн}} = \frac{0{,}87 + 24{,}9}{157} = 0{,}164$ Гн.

При исследовании динамических режимов асинхронных двигателей используются двухфазные математические модели, адекватно отражающие процессы, протекающие в реальной машине. Наиболее обшей формой математического описания двухфазных моделей является система дифференциальных и алгебраических уравнений [3,4]:

$$\begin{aligned} U_{s\alpha} &= \frac{d\Psi_{\alpha s}}{dt} + r_s i_{s\alpha} + \Psi_{\beta s}\omega_k; \\ U_{s\beta} &= \frac{d\Psi_{\beta s}}{dt} + r_s i_{s\beta} + \Psi_{\alpha s}\omega_k; \\ u'_{\alpha r} &= \frac{d\Psi_{\alpha r}}{dt} + r'_r i'_{\alpha r} + \Psi_{\beta r}(\omega_k - \omega) \\ u'_{\beta r} &= \frac{d\Psi_{\beta r}}{dt} + r'_r i'_{\beta r} + \Psi_{\alpha r}(\omega_k - \omega) \\ M &= \frac{3}{2} L_\mu A p (\Psi_{\alpha s}\Psi_{\beta r} - \Psi_{\beta s}\Psi_{\alpha r}) \\ M - M_c &= \left(\frac{J}{p}\right)\frac{d\omega}{dt} \\ i_{\alpha s} &= A(\Psi_{\alpha s} L'_r - \Psi_{\alpha r} L_\mu) \\ i_{\beta s} &= A(\Psi_{\beta s} L'_r - \Psi_{\beta r} L_\mu) \\ i'_{\alpha r} &= A(\Psi_{\alpha r} L_s - \Psi_{\alpha s} L_\mu) \end{aligned} \tag{10}$$

$$i'_{\beta r} = A(\Psi_{\beta r} L_s - \Psi_{\beta s} L_\mu),$$

где $A = \frac{1}{(L_s L'_r - L^2_\mu)}$, $\omega_k -$ скорость вращения координатной ортогональной системы, в которой исследуется двухфазная модель.

При использовании неподвижной системы координат $\omega_k = 0$.

$$A = \frac{1}{L_s \cdot L'_r \cdot L^2_\mu} = \frac{1}{0{,}162 \cdot 0{,}164 - 0{,}158^2} = \frac{1}{0{,}0266 - 0{,}0249} = \frac{1}{0{,}0017} = 588$$

$$A \cdot r_s \cdot L'_r = 588 \cdot 0{,}327 \cdot 0{,}164 = 31{,}5$$
$$A \cdot r_s \cdot L_\mu = 588 \cdot 0{,}327 \cdot 0{,}158 = 30{,}4$$
$$A \cdot r'_r \cdot L_s = 588 \cdot 0{,}465 \cdot 0{,}162 = 44{,}3$$
$$A \cdot r'_r \cdot L_\mu = 588 \cdot 0{,}465 \cdot 0{,}158 = 43{,}2$$
$$M = \frac{3}{2} L_\mu A p = \frac{3}{2} \cdot 0{,}158 \cdot 588 \cdot 2 = 278{,}7$$

В настоящем примере асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором рассматривается в неподвижной системе координат, следовательно, выражения для напряжений принимают вид:

$$u_{\alpha s} = U_m cos\omega_s t = \sqrt{2} U_н cos\omega_s t = 220 \cdot cos314{,}15t;$$
$$u_{\beta s} = -U_m sin\omega_s t = -\sqrt{2} U_н sin\omega_s t) = -220 \cdot sin314{,}15t$$
$$u_{\alpha r} = 0;\ u_{\beta r} = 0,$$

где ω_s −угловая частота питающего напряжения.

Пуск двигателя в режиме холостого хода с номинальным моментом инерции осуществляется при $M_с = 0,\ I = I_н$.

С учетом вышеизложенного, система уравнений (10) после приведения их к форме Коши принимает вид:

$$\frac{d\Psi_{\alpha s}}{dt} = \sqrt{2} U_н cos\omega_s t - A r_s (\Psi_{\alpha s} L'_r - \Psi_{\alpha r} L_\mu);$$

$$\frac{d\Psi_{\beta s}}{dt} = -\sqrt{2} U_н sin\omega_s t - A r_s (\Psi_{\beta s} L'_r - \Psi_{\beta r} L_\mu);$$

$$\frac{d\Psi_{\alpha r}}{dt} = -A r'_r (\Psi_{\alpha r} L_s - \Psi_{\alpha s} L_\mu) + \Psi_{\beta r} \omega;$$

$$\frac{d\Psi_{\beta r}}{dt} = -A r'_r (\Psi_{\beta r} L_s - \Psi_{\alpha r} L_\mu) - \Psi_{\alpha r} \omega;$$
$$M = \frac{3}{2} p L_\mu A (\Psi_{\alpha s} \Psi_{\beta r} - \Psi_{\alpha r} \Psi_{\beta s});\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{pM}{I_н}.$$

После подстановки численных значений с учетом $p = 2$ система расчетных уравнений окончательно принимает вид:

$$\frac{d\Psi_{\alpha s}}{dt} = 220 \cdot cos314{,}15t - 31{,}5\Psi_{\alpha s} + 26{,}2\Psi_{\alpha r};$$

$$\frac{d\Psi_{\beta s}}{dt} = -220 \cdot sin314{,}15t - 31{,}5\Psi_{\beta s} + 26{,}2\Psi_{\beta r};$$

$$\frac{d\Psi_{\alpha r}}{dt} = -44{,}3\Psi_{\alpha r} + 43{,}2\Psi_{\alpha s} + \Psi_{\beta r}\omega; \qquad (11)$$
$$\frac{d\Psi_{\beta r}}{dt} = -44{,}3\Psi_{\beta r} + 43{,}2\Psi_{\beta s} - \Psi_{\alpha r}\omega;$$

$$M = 278{,}7\left(\Psi_{\alpha s}\Psi_{\beta r} - \Psi_{\beta s}\Psi_{\alpha r}\right); \quad \frac{d\omega}{dt} = 6{,}0 \cdot M.$$

Решение уравнений (11) для частотного пуска и для различных режимов работы частотного управляемого электропривода швартовного устройства выполнено в программе Matlab/Simulink.

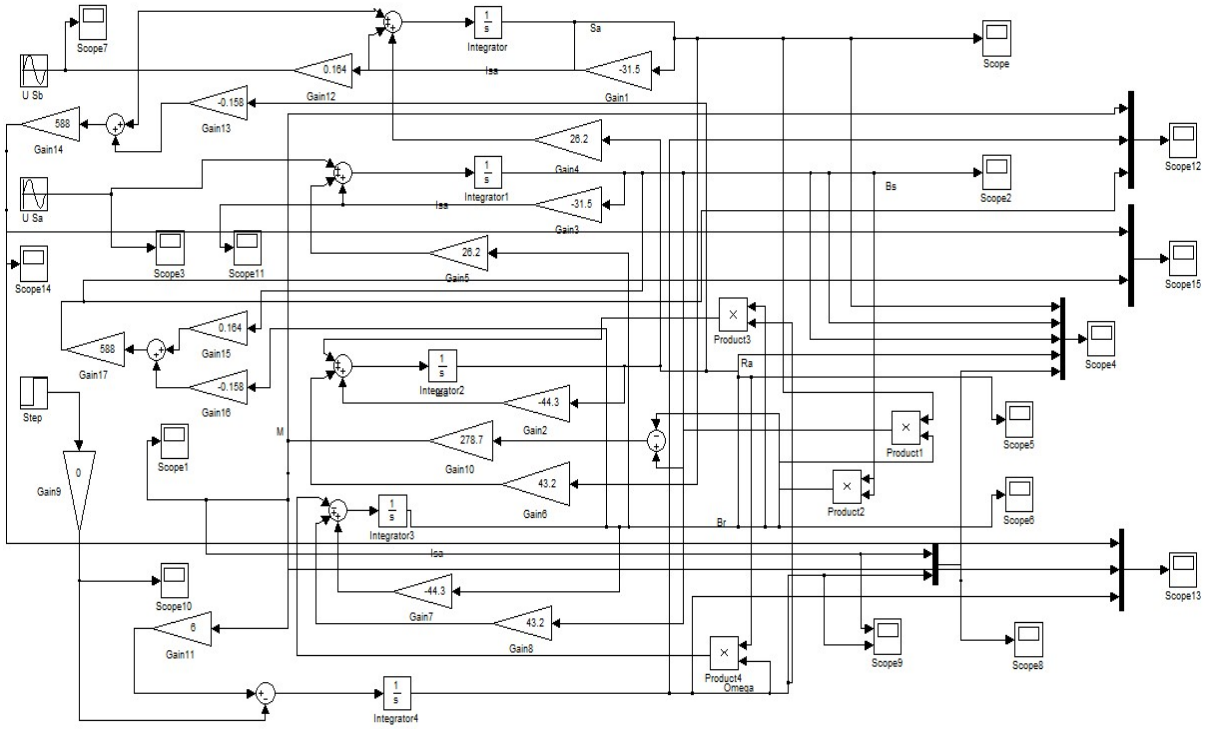


Рис.1. Математическая модель решения уравнений (11) в пакете Matlab/Simulink.

При исследовании процесса пуска модели данного двигателя, учитывая возможность раздельного изменения частоты и амплитуды подводимого к двигателю напряжения, необходимо было найти законы оптимального пуска двигателя, которые могут обеспечивать надежную работу полупроводниковых элементов статического преобразователя частоты и улучшить технико-экономические показатели привода при переходных режимах.

Сущность оптимизации пуска заключается в том, что выбирая различные скорости изменения амплитуды и частоты, подводимого к двигателю напряжения (ρ и γ), определить те их значения, которые обеспечивают минимальные значения пускового тока i_{sn} и времени разгона двигателя $t_{\text{п}}$.

Следует отметить также, что процесс пуска исследуемого привода может быть произведен при различных режимах в зависимости от натяжения (усилия) на швартовном канате, что характеризует нагрузку на валу двигателя. Исследуемый двигатель может пускаться вхолостую, при недогруженном состоянии и, наконец, под номинальной нагрузкой. Кроме того, данный двигатель при близости к швартуемому объекту должен работать на малых оборотах (обычно при $f = 20 \div 30$ Гц), поэтому возможен пуск двигателя при низких частотах.

На рис. 2 показана осциллограмма пуска двигателя при $f = 30$ Гц, при номинальной нагрузке. Как видно из этой осциллограммы, кратность пускового тока, по сравнению с прямым пуском при $f = 50$ Гц, уменьшилась ($i_{\text{пуск}} = 3{,}5 \cdot \text{İ}_{nom}$), но при этом незначительно увеличилось время пуска двигателя $t_{\text{пуск}} = 0{,}7$ сек., ($t_{\text{пуск ном.}} = 0{,}55$ сек).

На рис. 3 показан пуск исследуемого двигателя при номинальной нагрузке, номинальных напряжении и частоте тока. Как видно из этого рисунка, параметры двигателя приблизительно за время до 0,6 секунд достигают своего номинального значения.

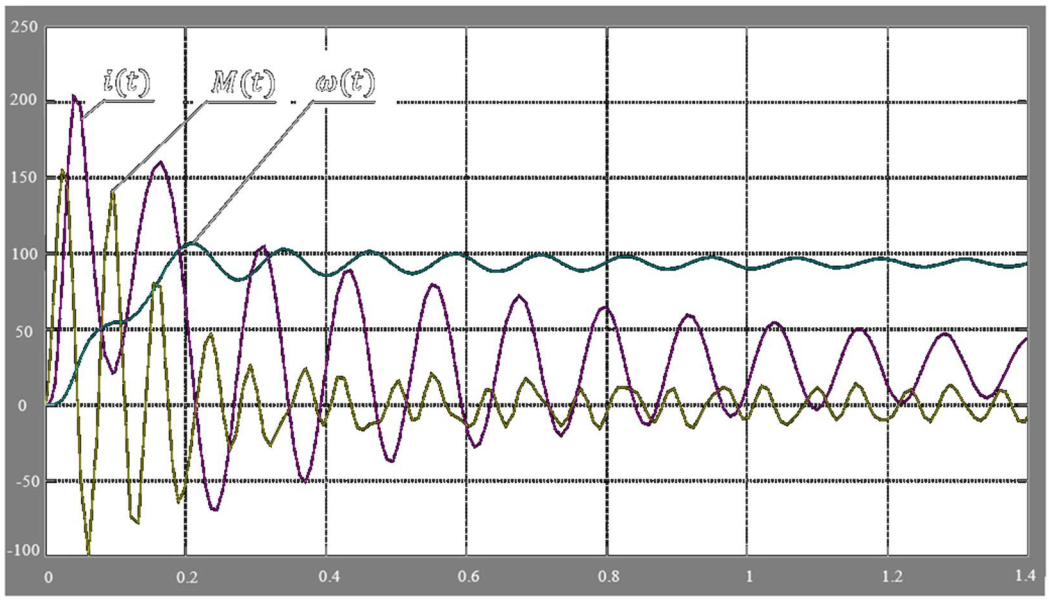


Рис.2. Зависимости $i(t)$, $M(t)$ и $\omega(t)$ во время пуска при условии $M_c = M_{\text{н}}$. $F = 30$ Гц; $U = 132$ В; $\omega = 94{,}2 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$.;

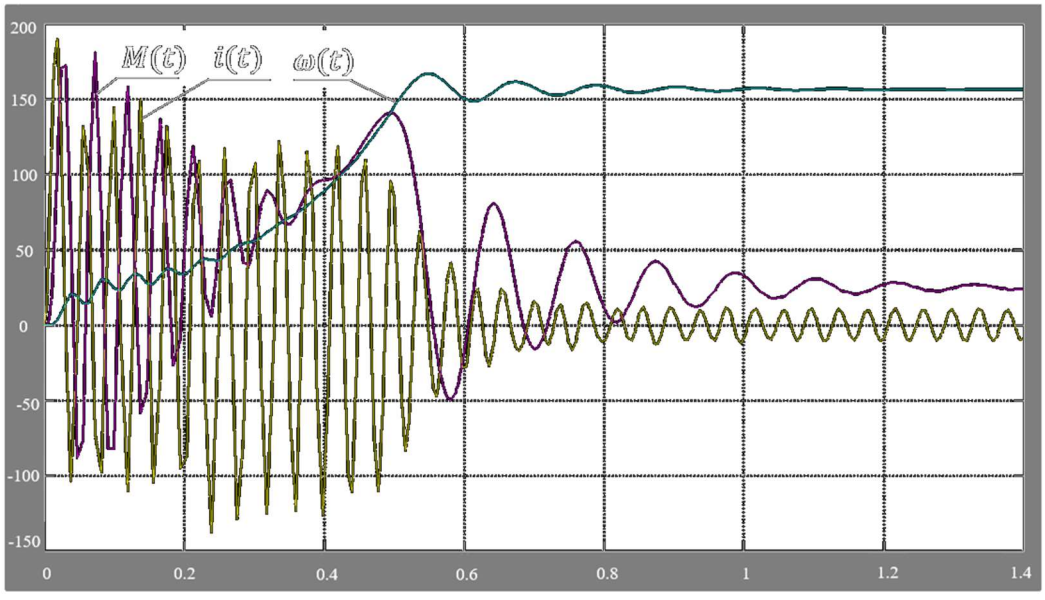


Рис. 3. Зависимости $i(t)$, $M(t)$ и $\omega(t)$ во время пуска при условии $M_c = M_{\text{н}}$. $F = 50$ Гц; $U = 220$ В; $\omega = 157 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}$.;

Как правило, в электроприводе швартовного устройства предусматривается возможность повышенной скорости выбирания ненагруженных швартовных канатов [1, 2]. Поэтому на

рис. 4 представлена осциллограмма пуска двигателя и выбирания ненагруженного швартового каната. Как видно из этого рисунка, напряжение $\left(U_s(\tau)\right)$ увеличивается быстрее, чем частота $(K_f(\tau))$. Тем самым обеспечивается оптимальный пуск двигателя.

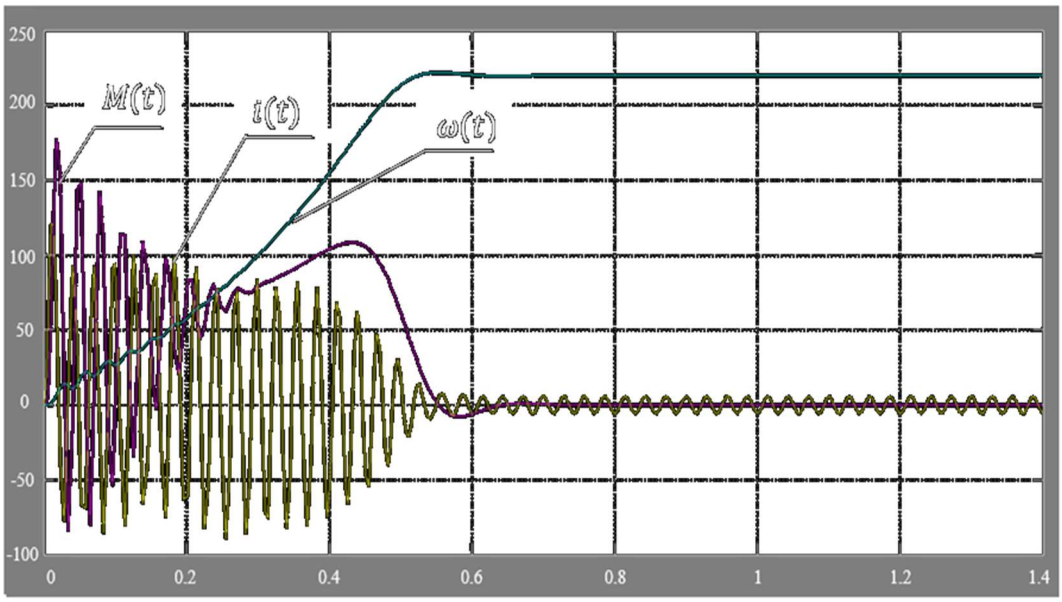


Рис.4. Зависимости $i(t),\ M(t)$ и $\omega(t)$ во время пуск при условии $M_c = 0$.
$F = 70$ Гц; $U = 220$ В; $\omega = 219{,}8\,\frac{\text{рад}}{\text{сек}}$.

После пуска двигателя напряжение остается постоянным, равным номинальному, а частота увеличивается еще в 1,4 раза. Это необходимо для быстрого выбирания слабины швартовного каната.

Выводы. Сформулированная рациональная форма записи уравнений асинхронного двигателя позволяет при наименьшем числе операционных элементов сравнительно просто смодулировать изменения частоты и амплитуды, подводимого к двигателю напряжения.

С помощью программы Matlab Simulink составлена модель, реализующая изменение напряжения и частоты в функции времени.

По приведенной методике можно найти оптимальную пусковую характеристику двигателя при различных видах нагрузки, которая обеспечит надежную работу полупроводниковых элементов статического преобразователя частоты и улучшит технико-экономические показатели асинхронного привода.

При частотном управлении асинхронным приводом швартовного устройства вместо двух- и трёхобмоточных двигателей можно использовать однообмоточные двигатели, в результате чего упростится конструкция и схема управления, а также уменьшатся вес и габариты двигателя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабаев, А.М., Ягодин, В.Я., Автоматизированные судовые электроприводы. Москва: 1986., Транспорт, 477 с.
2. Мехтиев Г.А., Гасанов З.А., Шабанов Т.Г., «Судовые автоматизированные электроприводы», Баку, изд. “Нурлан”, 2005-й год, 358 стр.
3. Мустафаев Р.И. Об универсальной структуре математической модели электрических машин. изв. Высших учебных заведений электромеханика. №4, 1989 г.

4. Башарин А.В., Постников Ю.В. Примеры расчета автоматизированного электропривода на ЭВМ: Учебное пособие для вузов. – 3-е изд. – Л.: Энергоатомиздат. Ленинград. отд-ние, 1990. – 512 с.

Абдуллаєв Я.Р., Гасанов Е.А.

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА СУДНОВОГО ШВАРТОВНОГО ПРИСТРОЮ ПРИ ЗМІНИ НАПРУГИ І ЧАСТОТИ

У статті наведено завдання дослідження асинхронного двигуна при змінах значень напруги і частоти струму з урахуванням режимів роботи електроприводу суднового швартовного пристрою. Проведено математичне моделювання управління за допомогою перетворювача частоти на напівпровідникових елементах і отримані осцилограми змін амплітуди в залежності від напруги і частоти.

Сформульована раціональна форма запису рівнянь асинхронного двигуна, яка дозволяє при меншій кількості операційних елементів порівняно просто здійснити моделювання зміни частоти і амплітуди, що підводиться до двигуна напруги.

За допомогою програми Matlab Simulink складена модель, яка реалізує зміна напруги і частоти в функції часу.

За наведеною методикою можна знайти оптимальну пускову характеристику двигуна при різноманітних видах навантаження, яка забезпечить надійну роботу напівпровідникових елементів статичного перетворювача частоти і поліпшить техніко-економічні показники асинхронного приводу.

При частотному управлінні асинхронним приводом швартовного пристрої замість двох-і трёхобмоточних двигунів можна використовувати однообмоточние двигуни, в результаті чого спроститься конструкція і схема управління, а також зменшаться вага і габарити двигуна.

Ключові слова: судно, швартовний пристрій, асинхронний двигун, статор, ротор, швидкість обертання, математична модель, перетворювач частоти.

Abdullaev Ya.R., Hasanov E.A.

THE STUDY OF THE OPERATION MODES OF THE ASYNCHRONOUS MOTOR OF A SHIPBOARD MOORING DEVICE

The statute of the asynchronous movement of the asynchronous motor at the moment of time has brought the value of the frequency and frequency to the emergency robots with the electric mooring of the mooring attachment. Mathematical modeling of the control was carried out for the help of the frequency response on the video elements and from the oscilloscopes in the depth of the range and frequency.

The rational form of the asynchronous dvigun i rev is written down, which is permitted at a time when the operative elements are simply a matter of a simple mode of frequency and amplitude, just like before moving.

For the help of the Matlab Simulink program, a model is added, which is real time and frequency.

It is possible to know the optimal starting characteristic of the dvigun for the induced types of navantazhennya, for the induced technique, to protect the robot of the static repeating frequency and the technical frequency of the technical development of the technical and practical technology, and the technical development of the technology and practical technology.

With frequency control of asynchronous drive of the mooring attachment of the two-and three-winding engines, you can use the single-winding engines, resulting in a simple design and control scheme, and changing the engine and the engine.

***Key words**: ship, mooring attachment, asynchronous dvigun, stator, rotor, space wrap, mathematical model, re-warder frequency.*

УДК 53.082.5 *DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.06*

Михайлова Т.І, Шевченко А.П., Бойко С.О.

СПОСІБ ПРОГНОЗУВАННЯ ВІДМОВ АГРЕГАТІВ СУДНОВИХ КОМПЛЕКСІВ ЗА ДАНИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Існуючі моделі функціонування та контролю об'єктів експлуатації не повністю враховують особливості процесу технічного обслуговування та ремонту об'єктів судового обладнання морського транспорту.

За результатами аналізу досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми визначено протиріччя між необхідністю забезпечення заданого рівня достовірності та оперативності контролю технічного стану агрегатів суднових комплексів морського транспорту та відсутністю дієвих методів і систем проведення ефективного контролю цих систем при експлуатації.

Тому у статті визначено важлива науково-технічна задача – розроблення методу оцінки ефективності контролю технічного стану агрегатів суднових комплексів морського транспорту. Розв'язання вказаної задачі дозволить при обмеженнях на матеріальні ресурси своєчасно та якісно проводити контроль технічного стану агрегатів суднових комплексів морського транспорту при їх експлуатації за технічним станом

У статті пропонується розроблення способу прогнозування відмов агрегатів суднових комплексів за даними експлуатаційних спостережень, що дає можливість сформувати керування технічним станом агрегатів суднових комплексів. У результаті прогнозування може бути виявлено нестаціонарність характеру функції параметра потоку відмов залежно від наробітку, що може бути ознакою поступового старіння виробу.

Ключові слова: *спосіб, прогнозування, відмови, агрегат, суднові комплекси, контроль, технічний стан, ефективність контролю, засоби водного транспорту.*

Вступ. Основною проблемою морського транспорту України є значний моральний і фізичний знос транспортних засобів і портового обладнання. Середній термін експлуатації суден України перевищує 15 років, і з огляду на їхній технічний стан переважна більшість західних портів забороняє таким суднам вхід на внутрішній рейд [1].

У відповідності до законодавства України потрібно забезпечувати технічний нагляд та судноплавний нагляд за морськими суднами незалежно від форм власності судна і його власника [2].

Основним елементом морського транспорту, який відповідає за безпеку мореплавства, охорону людського життя та навколишнього природного середовища, є радіоелектронні системи, до яких відносять: суднові засоби зв'язку, електро-радіонавігаційні прилади, радіотехнічні та радіоелектронні прилади пошукової техніки та мореплавних інструментів [1–3].

Таким чином, для забезпечення безаварійної експлуатації агрегатів суднових комплексів морського транспорту необхідна відповідна система контролю їх технічного стану, яка задовольняє визначеним показникам ефективності.

Аналіз досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми. Функціонування сучасних агрегатів суднових комплексів, у тому числі морського транспорту, дозволяє врахувати значну кількість факторів, які суттєво впливають на визначення їх технічного стану. Це стало можливим завдяки працям таких відомих учених, як Касаткін А.С., Соломенцев О.В., Ігнаткін В.У. – в області визначення параметрів ефективності експлуатації агрегатів суднових комплексів засобів водного транспорту; Панін В.В., Богом'я В.І., Володарський Є.Т.,

Чинков В.М. – в області розвитку цифрових засобів вимірювальної техніки для технічної діагностики агрегатів суднових комплексів засобів водного транспорту. Однак, слід відзначити недосконаліть існуючих методів оцінки ефективності контролю технічного стану агрегатів суднових комплексів морського транспорту, оскільки вони не враховують особливості їх експлуатації за технічним станом і у жорстких природно-кліматичних умовах [2–5].

Недоліками існуючих моделей вимірювального контролю складних зразків є те, що враховується лише вплив повноти і глибини контролю на достовірність контролю й не враховується якість обслуговування самих засобів контролю, які використовуються при цьому [4–6].

Постановка задачі дослідження. Існуючі моделі функціонування та контролю об'єктів експлуатації не повністю враховують особливості процесу технічного обслуговування та ремонту об'єктів судового обладнання морського транспорту.

Морський транспорт включає складні технічні системи, що складаються зі значної кількості модулів, вузлів, агрегатів, які є джерелами відмов з різними закономірностями зміни їх інтенсивності. У зв'язку з цим для адекватного опису процесу технічної експлуатації судна як складної технічної системи доцільне представлення його як виробу, що складається з множини комплектуючих модулів [2–6].

Ще однією особливістю, яку необхідно враховувати при дослідженні ефективності системи контролю технічного стану агрегатів суднових комплексів морського транспорту є те, що в реальній експлуатації відновлення працездатності складових елементів судна проводиться за фактом виявлення відмови об'єкта контролю, незважаючи на його працездатність в цей момент.

Таким чином, виникає протиріччя між необхідністю забезпечення заданого рівня достовірності та оперативності контролю технічного стану агрегатів суднових комплексів морського транспорту та відсутністю дієвих методів і систем проведення ефективного контролю цих систем при експлуатації.

Актуальним є розв’язання важливої науково-технічної задачі – розробки методу оцінки ефективності контролю технічного стану агрегатів суднових комплексів морського транспорту. Розв’язання вказаної задачі дозволить при обмеженнях на матеріальні ресурси своєчасно та якісно проводити контроль технічного стану агрегатів суднових комплексів морського транспорту при їх експлуатації за технічним станом.

Мета статті. Для підвищення ефективності контролю агрегатів суднових комплексів морського транспорту необхідно оцінити якість (достовірність, точність) оцінки коефіцієнту готовності мобільних контрольно-діагностичних комплексів. При цьому рішення завдання оцінки технічного стану для агрегатів суднових комплексів експериментальними і статистичними методами, у силу часових обмежень, надто складне [2–4].

Тому оцінку коефіцієнту готовності мобільних контрольно-діагностичних комплексів як для існуючих, так і для перспективних зразків, пропонується здійснити за допомогою математичного моделювання процесів вимірювального контролю і мобільних контрольно-діагностичних комплексів, що застосовуються при контролі цієї апаратури.

Отже, *тема статті*, присвячена розробленню способу прогнозування відмов агрегатів суднових комплексів за даними експлуатаційних спостережень, є *актуальною*.

Спосіб прогнозування відмов агрегатів суднових комплексів за даними експлуатаційних спостережень

Для ілюстрації способу на прикладі агрегатів системи автоматичного керування суднових комплексів подамо його у вигляді такої послідовності операцій з додатковим поясненням стосовно методик, способів та прийомів, передбачених цим методом.

1. Збір статистичних даних про відмови та несправності агрегатів системи автоматичного керування (САК) судновими комплексами j-го типу, виявлених протягом і-го періоду експлуатації, підготовка вихідних даних для оцінювання параметра потоку відмов. Вихідними даними є: $n_{ф_{ij}}$ – фактична кількість відмов та несправностей агрегатів j-го типу, виявлених

протягом і-го періоду експлуатації (тривалістю 6 місяців); t_{Σ_i} – сумарний наробіток агрегатів системи автоматичного керування судновими комплексами протягом і-го періоду експлуатації; N_i – штатна кількість суден; a_j – кількість агрегатів системи автоматичного керування судновими комплексами j-го типу на одному судні; K_{c_i} – середній коефіцієнт справності судна протягом і-го періоду експлуатації.

2. Визначення середнього наробітку Δt_i одного агрегату системи автоматичного керування судновими комплексами протягом і-го періоду експлуатації в умовах достовірних спостережень:

$$\Delta t_i = \frac{t_{\Sigma_i}}{N_i \cdot K_{c_i} \cdot a_j} \cdot \tag{1}$$

3. Визначення фактичного значення параметра потоку відмов $\hat{z}_{\phi_{ij}}$ агрегатів системи автоматичного керування судновими комплексами j-го типу за і-й період експлуатації за виразом:

$$\hat{z}_{\phi_i} = \hat{z}_{\phi_i}(t,\Delta t) = \frac{n_{\phi_i}(t,\Delta t)}{t_{\Sigma_i} \cdot a} = \frac{n_{\phi_i}(t,\Delta t)}{N_i(t,\Delta t) \cdot a \cdot \Delta t_i \cdot K_{c_i}}, \tag{2}$$

де $n_{\phi_i}(t,\Delta t)$ – фактична кількість відмов та несправностей за і-й контрольний період експлуатації, од.;

t_{Σ_i} – сумарний наробіток за період, год;

$N_i(t,\Delta t)$ – штатна кількість суден, од.;

a – кількість однотипних виробів на одному судні, од.;

Δt_i – середній наробіток одного виробу за період, год;

K_{c_i} – середній коефіцієнт справності цього типу суден за період.

Використання виразу (1) у цьому разі відповідає непараметричним методам оцінювання, що застосовують за умов відсутності апріорної інформації про вид закону розподілу наробітку на відмову агрегатів САК судновими комплексами [3–5].

4. Перевіряють виконання умови $\Delta t_i = 50$ год за 6 місяців експлуатації.

5. У разі, коли $\Delta t_i \neq 50$ год, визначають наведене значення оцінки параметра потоку відмов $\hat{z}^{пр}_{\phi_{ij}}$ агрегатів САК судновими комплексами j-го типу за і-й період експлуатації для умов $\Delta t_i = 50$ год. Визначення наведеного значення $\hat{z}^{пр}_{\phi_{ij}}$ здійснюють за номограмою, побудованою за результатами імітаційного моделювання.

Статистичну імітаційну модель використано для проведення багатофакторного машинного експерименту з метою кількісного оцінювання впливу на характеристики процесу технічної експлуатації (ПТЕ) таких факторів:

– інтенсивності експлуатації K_I;
– параметра потоку відмов агрегату САК судновими комплексами z, год$^{-1}$;
– календарних термінів проведення періодичного обслуговування $\tau_{ПО}$, год;
– календарних термінів проведення робіт зі зберігання $\tau_{збер.}$, год.

З обраних параметрів x_p, $p=\overline{1,4}$ ($x_1 = K_I$, $x_2 = z$, $x_3 = \tau_{ПО}$, $x_4 = \tau_{збер.}$) утворимо вектор контрольованих входів $\overline{X} = \|x_1, x_2, x_3, x_4\|^T$ для побудованої імітаційної моделі, які називають факторами [4–6].

Вектор $\overline{X}$ являє собою точку в просторі змінних x_j, j=1, 2,….., p (у факторному просторі). Проведемо експеримент з побудованою моделлю, змінюючи на свій розсуд значення (рівні) обраних факторів.

Позначимо: i-номер досліду (i=1, 2, ...N); $\overline{x}_i = \|x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, x_{i4}\|$ – комплекс умов i-го досліду, x_{ij} – рівень j-го фактору в i-му досліді.

Параметри, що розраховують під час моделювання, утворюють вектор характеристик $Y^{<R>}(T)$, компоненти якого $y_r(T)$ ($r=\overline{1,13}$) у свою чергу є скалярними величинами. Складемо план експерименту з побудованою імітаційною моделлю ПТЕ агрегату САК судновими комплексами. План експерименту являє собою набір координат точок в обраному факторному просторі (x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{1p}), (x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{2p}), (x_{n1}, x_{n2}, x_{n3}, x_{np}), у яких буде проведено досліди.

Якщо досліджують p факторів і j-й фактор має q рівнів, то кількість комбінацій рівнів факторів дорівнюватиме $N = q_1 \cdot q_2 \cdot \ldots \cdot q_p$. За великої кількості факторів p та рівнів (значень) квантування кожного з них q_j застосовують насичені та наднасичені плани проведення імітаційних експериментів.

У зв'язку з тим що загальна кількість факторів, що досліджують, $p < 5$, складемо план повного факторного експерименту (ПФЕ). Відомо [3, 5–7], що повний факторний експеримент полягає в реалізації всіх можливих комбінацій p-факторів на q-рівнях кожний.

Центром плану обрано набір координат точок факторного простору, що відповідає реальному ПТЕ

$$\overline{x_0} = \| \; K_I = 0,0016,\ z = 6,82 \cdot 10^{-3} год^{-1},\ \tau_{ПО} = 68 \text{ год},\ \tau_{збер.} = 720 \text{ год} \; \|. \qquad (3)$$

У результаті здійснення наведеного вище плану експериментів з розробленою імітаційною моделлю отримано матрицю спостережень розмірністю $[(r+p)\times 3888]$, де $r=\overline{1,13}$; $p=\overline{1,4}$. Елементами матриці спостережень є: x_{ji} – значення j-го фактора $(j=\overline{1,p})$ в i-му досліді, y_{ri} – значення r-ї характеристики ПТЕ в i-му досліді, де N = 3888 – кількість дослідів, p = 4 – кількість факторів.

Під час проведення аналізу результатів експерименту виявлено наявність залежності між факторами K_I та z. Згідно з прийнятими методами визначення параметра потоку відмов агрегатів за незмінних значень параметра потоку відмов, що відображає закладений під час розроблення та забезпечення при виробництві рівень безвідмовності [2, 6–9].

За результатами експерименту побудувано номограму для визначення параметра потоку відмов z агрегатів САК судновими комплексами (рис. 1).

Необхідність визначення $\hat{z}^{пр}_{ф_{ij}}$ для умов $\Delta t_i = 50$ год за 6 місяців експлуатації обумовлена таким: якщо $\Delta t_i < 50$ год за 6 місяців експлуатації, необхідно враховувати вплив інтенсивності експлуатації на статистичну оцінку параметра потоку відмов, про що свідчать результати імітаційного моделювання; якщо $\Delta t_i > 50$ год за 6 місяців експлуатації, вплив інтенсивності експлуатації на статистичну оцінку параметра потоку відмов не є суттєвим, але здійснення прогнозу параметра потоку відмов за допомогою методів статистичного аналізу часових рядів передбачає аналіз часового ряду, побудованого через однакові проміжки часу (наробітку) Δt_i.

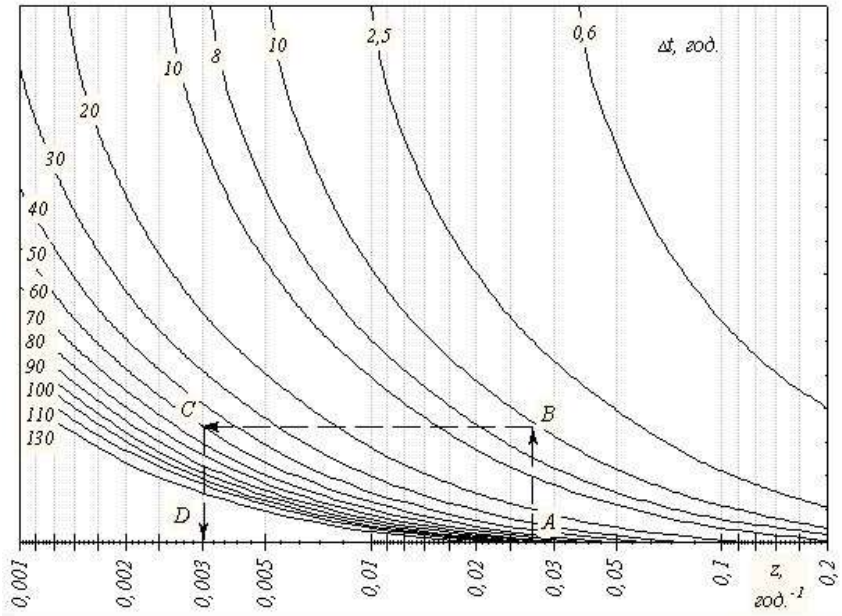


Рис.1. Номограма залежності параметра потоку відмов агрегатів суднових комплексів від наробітку за період експлуатації

6. Здійснюють побудову й попередній аналіз часового ряду значень оцінки параметра потоку відмов $\hat{z}_{\phi_{ij}}$ (або $\hat{z}^{пр}_{\phi_{ij}}$). Необхідними етапами попереднього аналізу є перевірка статистичних гіпотез: гіпотези про наявність тренду, гіпотези про нормальність розподілу значень оцінки параметра потоку відмов $\hat{z}_{\phi_{ij}}$ (або $\hat{z}^{пр}_{\phi_{ij}}$) [10–12].

7. Здійснюють ідентифікацію й оцінку параметрів моделі авторегресії та ковзного середнього часового ряду $\hat{z}^{пр}_{\phi_{ij}}$, перевірку адекватності підібраної моделі. Для ідентифікації параметрів моделі застосовують методи аналізу автокореляційної та часткової автокореляційної функцій часового ряду. Оцінку параметрів моделі здійснюють за допомогою методів зважених найменших квадратів для лінійних моделей та методами максимізації правдоподібності для нелінійних моделей.

8. Здійснюють прогнозування часового ряду $\hat{z}_{\phi_{ij}}$, визначення заданого значення параметра потоку відмов $\hat{z}_{\phi_{ij}}$ агрегатів САК судновими комплексами j-го типу для (i+1)-го періоду експлуатації за результатами прогнозування [13,14].

Висновок. Запропонований підхід статистичного оцінювання й прогнозування параметра потоку відмов агрегатів системи автоматичного керування судновими комплексами за даними експлуатаційних спостережень дає можливість сформувати керування технічним станом агрегатів САК судновими комплексами, що є суттєвим під час вирішення завдання забезпечення заданого рівня надійності складних систем такого типу.

Використання номограми для уточнення статистичних оцінок параметра потоку відмов дало можливість побудувати часовий ряд значень даного показника у класичному вигляді та виконати прогнозування показника з використанням комбінованої моделі авторегресії й проінтегрованого ковзного середнього. У результаті прогнозу виявлено нестаціонарність характеру функції параметра потоку відмов залежно від наробітку, що може бути ознакою поступового старіння виробу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Концепція розвитку транспортно-дорожнього комплексу України на середньостроковий період та до 2020 року. *Міністерство транспорту України*. *Київ*. 2001.210 с.
2. Алексишин В.Г., Козырь Л.А., Симоненко С.В. Обеспечение навигационной безопасности плавания: учебное пособие. *Одесса: Феникс*, 2009. 518 с.
3. Богомья В.І., Давидов В.С., Доронін В.В., Пашков Д.П., Тихонов І.В. Навігаційне забезпечення управління рухом суден. *К.:ДВВП «Компас»*. 2012. 336 с.
4. Кудрицька Н. В. Транспортнодорожній комплекс України: сучасний стан, проблеми та шляхи розвитку: монографія. *Киев: НТУ*, 2010. 338 с.
5. Ансофф. И. Стратегическое управление. Сокр. пер.с англ.; науч. ред.и авт. предисл. Л.И. Евенко. *М.: Экономика*.1989.244 с.
6. Д.В. Гаскаров, Т.А. Голинкевич, А.В. Мозгалевский. Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры. *Советское радио.*1974. 224 с.
7. В.І. Богомья, О.П. Єлєазаров., М. А. Павленко, О. І. Тимочко, О.М.Тимощук за заг. ред О.М. Тимощук. Основи технічної експлуатації автоматизованої системи управління судном: підручник для студентів вищих навчальних закладів. *Київ. ДУІТ.* 2018. 305 с.
8. В.І. Богомья**,** А.В. Горбань, М.А. Павленко, О.І. Тимочко, О.М. Тимощук. За заг. ред.О.М.Т имощук. Особливості системного підходу до вирішення наукових завдань експлуатації суднового обладнання. *Київ. ДУІТ.* 2018. 305 с.
9. Шапран Ю.Є. Пропозиції щодо удосконалення методів оцінки ефективності системи контролю технічного стану радіотехнічних засобів морського транспорту . *Київ. Новітні технології: збірник наукових праць*. – 2017. – Вип. 2 (4). – С. 21-28.
10. Богом'я В.І., Шапран Ю.Є., Кас'яненко М.В., Якобінчук О.В. Узагальнений показник ефективності контролю технічного стану радіотехнічних засобів і методика його оцінювання. *Сучасні інформаційні технології у сфері безпеки та оборони*. – 2017. – № 3 (30). – С. 5-8.
11. S. Herasimov, Yu. Shapran, M. Stakhova. Measures of efficiency of dimensional control under technical state designation of radio-technical facilities. *Системи обробки інформації.* 2018. – Вип. 1 (152). – С. 148-154.
12. А.А. Мусорин, Ю.Э. Шапран., І.В. Трофименко Анализ методов прогнозирования для определения технических параметров судового оборудования. *Proceedings of Azerbaijan State Marine Academy*. 2017. – № 2. – С.115-119.
13. О.О. Мусорин, Ю. Є. Шапран, І.В. Трофименко Особливості аналітичного забезпечення експлуатації суден у сучасних умовах. *Наукові записки українського науково-дослідного інституту зв'язку.* – 2017. – № 1 (45). – С.117-121.
14. С.В. Герасимов, Ю. Є. Шапран, В.В. Кірвас. Розробка та дослідження методу розрахунку достовірності вимірювального контролю параметрів радіотехнічних систем морського транспорту. *Системи озброєння і військова техніка.* – 2017. – № 4 (52). – С.5-10.

Michailova T.I., Shevchenko A.P., Boyko S.O.

METHOD FOR PROGNOSING WAIVER UNIT OPENING OPENINGS UNDER OPERATIONAL OVERVIEW

Existing models of operation and control of objects of operation do not completely take into account features of the process of maintenance and repair of objects of marine equipment of sea transport.

According to the results of the analysis of studies and publications in which the solution of this problem was initiated, there is a contradiction between the need to ensure a certain level of reliability and efficiency of monitoring the technical condition of aggregates of marine complexes of maritime transport and the absence of effective methods and systems for effective control of these systems during operation.

Therefore, an important scientific and technical task is defined in the article - development of a method for assessing the effectiveness of monitoring the technical condition of aggregates of marine complexes in maritime transport. The solution of this problem will allow, in the event of restrictions on the material resources, to timely and qualitatively carry out the control of the technical state of aggregates of marine complexes of maritime transport during their operation according to technical condition

The article proposes the development of a method for forecasting failures of aggregates of ship complexes on the basis of operational observations, which makes it possible to form a management of the technical condition of aggregates of ship complexes. As a result of forecasting, the non-stationary nature of the function of the parameter of the fail flux depending on the work can be detected, which may be a sign of the gradual aging of the product.

Keywords: *method, forecasting, refusal, unit, ship complexes, control, technical condition, efficiency of control, means of water transport.*

Михайлова Т.И., Шевченко А.П., Бойко С.А.

СПОСОБ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ОТКАЗОВ АГРЕГАТОВ СУДОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ПО ДАННЫМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Существующие модели функционирования и контроля объектов эксплуатации не полностью учитывают особенности процесса технического обслуживания и ремонта объектов судового оборудования морского транспорта.

По результатам анализа исследований и публикаций, в которых начато решение данной проблемы определены противоречия между необходимостью обеспечения заданного уровня достоверности и оперативности контроля технического состояния агрегатов судовых комплексов морского транспорта и отсутствием действенных методов и систем проведения эффективного контроля этих систем при эксплуатации.

Поэтому в статье определено важная научно-техническая задача - разработка метода оценки эффективности контроля технического состояния агрегатов судовых комплексов морского транспорта. Решение указанной задачи позволит при ограничениях на материальные ресурсы своевременно и качественно проводить контроль технического состояния агрегатов судовых комплексов морского транспорта при их эксплуатации по техническому состоянию

В статье предлагается разработка способа прогнозирования отказов агрегатов судовых комплексов по данным эксплуатационных наблюдений, дает возможность сформировать управления техническим состоянием агрегатов судовых комплексов. В результате прогнозирования может быть обнаружено нестационарность характера функции параметра потока отказов в зависимости от наработки, что может быть признаком постепенного старения изделия.

Ключевые слова: *способ, прогнозирования, отказа, агрегат, судовые комплексы, контроль, техническое состояние, эффективность контроля, средства водного транспорта.*

УДК 681.5 *DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.07*

Штрибець В.В.

КОНТРОЛЬ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДВИГУНІВ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ВИПАДКОВИХ СИГНАЛІВ

Показано вплив технічного стану двигунів засобів водного транспорту на економічність вантажоперевезень. Обґрунтований метод діагностування технічного стану двигунів на основі спектрального аналізу масла двигуна. Запропоновано метод спектрального аналізу випадкових сигналів з використанням середньоквадратичного критерію та мінімуму впливу бічних пелюсток функції спектрального вікна на основі відповідних завдань оптимізації. Отримано співвідношення для оптимального синтезу характеристик динамічних фільтрів для вимірювання оцінок спектральної щільності потужності випадкових сигналів.

Отже, застосування запропонованих оптимальних фільтрів при спектральному аналізі випадкових сигналів діагностування технічного стану двигунів засобів водного транспорту дозволяє своєчасно виявити можливі несправності чи порушення у режимах роботи (відповідно до заздалегідь відомих, справних). Своєчасне виявлення можливих відмов двигунів засобів водного транспорту дозволить уникнути додаткових витрат під час перевезення вантажів, тобто зменшити додаткові (непланові) витрати.

***Ключові слова**: технічний стан, спектральний аналіз, кошти водного транспорту, оптимальний фільтр, двигун.*

Вступ. Останнім часом збільшилась частина вантажоперевезень водним транспортом [1]. При цьому застосовуються як відносно не великі засоби (судна) для транспортування вантажів річковим транспортом, та і великі засоби для трансатлантичних перевезень. Для економії коштів при перевезені вантажів або при перевезені продуктів харчування актуальним є завдання планування (прокладання) оптимального маршруту для зменшення часу руху [2]. Однак, при цьому слід враховувати й технічний стан засобів водного транспорту, який може значно впливати на вартість перевезення. Так, наприклад, несправність силової установки (двигуна) засобу водного транспорту може призвести до збільшення витрат палива, зменшення потужності, або навіть виходу з ладу під час маршруту. Враховуючи те, що переважна більшість засобів водного транспорту України (включаючи ті, що знаходяться в оренді інших компаній) має значну витрату ресурсу, актуальним науковим завданням є розробка методу контролю технічного стану двигунів засобів водного транспорту для своєчасного усунення можливих несправностей [3]. Це забезпечить оптимальні (планові) витрати на перевезення вантажів за допомогою засобів водного транспорту та дозволить зменшити (а може і, взагалі, уникнути), додаткові (непланові) витрати при цьому.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Одним з поширених методів контролю технічного стану силових установок (двигунів) є аналіз поточної концентрації домішок зносу металу в оливі. Даний тип аналізу дозволяє оцінити ступінь зношеності деталей двигуна, які омиваються оливою. Основними для контролю домішок у оливі є колориметричний, полярографічний, індукційний, спектральний методи [2-6].

Руйнування деталей вузлів тертя часто починається з викришування або стирання поверхневого шару матеріалу деталей, що під впливом динамічних навантажень в поєднанні з силами тертя. Утворені при цьому продукти зносу потрапляють до оливи двигуна. Так як засоби водного транспорту для перевезення вантажів, навіть без навантаження, мають значну

вагу, здійснюють рух зі значним опором навколишнього середовища (вода, підвищена вологість тощо), то силові установки працюють під значним навантаженням. Таким чином, олива двигуна засобів водного транспорту надає інформацію про інтенсивність протікають процесів тертя. Кількість продуктів зношування, що надходять до оливи двигуна, залежить від швидкості зношування, яка, в свою чергу, обумовлена рівнем навантажень і умовами тертя. Отже, поширеним способом технічної діагностики стану двигунів є метод спектрального аналізу оливи, який полягає у визначенні концентрації в оливі продуктів зносу деталей, що труться, порівнюючи ці концентрації з нормами вмісту продуктів зносу металу, та визначенні ступеня зносу деталей, що труться [3]. Однак, на результати аналізів сильно впливає заміна оливи в ході експлуатації або після ремонту. Внесене цими замінами спотворення величини концентрації металу в оливі виявляється настільки значним, що на тлі такої перешкоди практично неможливо виділити корисну інформацію про темпи зносу деталей або про їх аварійний стан. Найбільш часто такий спосіб періодичного огляду фільтра при технічному обслуговуванні малоефективний, оскільки велика частина частинок має незначний розмір (приблизно 3 мкм). Кількість продуктів зносу, що надходять в оливу, залежить від швидкості зношування, яка в свою чергу залежить від ступеня пошкодження елемента. Кожному виду зносу відповідає певний вид і склад продуктів [3]. Отже, пропонується метод оптимізації динамічних фільтрів для спектрального аналізу випадкових сигналів при діагностичному контролі технічного стану двигунів засобів водного транспорту.

Запропонований метод спрямований на досягнення необхідної достовірності контролю технічного стану [7 – 10] двигунів засобів водного транспорту за допомогою спектрального аналізу випадкових сигналів, які виникають при наявності несправностей або порушені алгоритму роботи справних систем.

Основна частина

Методи оптимізації форми функції спектрального вікна фільтрів для аналізу випадкових сигналів.

Точність апаратурного спектрального аналізу випадкових сигналів, заснованих на використанні вузько-смугової фільтрації, у значній мірі визначається відмінністю амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) вузько-смугового фільтра від ідеальної – прямокутної. При ідеальному спектральному вікні забезпечується повне усунення похибки “розмивання”, або “перетіканняв” спектра та похибки, обумовленої амплітудною модуляцією спектру. Однак ідеальне спектральний вікно фізично не піддається реалізації. У зв'язку з цим великий практичний інтерес представляє задача оптимізації, що полягає у визначенні форми АЧХ $\Phi(\omega)$ або однозначно пов'язаної з ним перетворюючої функції $H(\tau)$, які забезпечують максимальну точність (мінімальну похибка) апроксимації ідеального спектрального вікна $\Phi_0(\omega)$ при заданих значеннях смуги пропускання $\Delta\omega$, часу вимірювання (аналізу) T і відносної дисперсії оцінки спектральної щільності потужності (СЩП).

Розглянемо розв’язання цієї задачі для методу безпосередньої фільтрації та кореляційно-фільтрового методу вимірювання оцінок СЩП.

Методи оптимізації форми АЧХ фільтрів для спектрального аналізу випадкових сигналів отримаємо для двох критеріїв [7]:

– мінімуму середньоквадратичної похибки апроксимації ідеальної, прямокутної функції спектрального вікна реальної функцією;

– мінімуму впливу бічних пелюсток функції спектрального вікна на похибка вимірювання оцінки СЩП.

Використання зазначених критеріїв обумовлено двома можливими постановками задачі оптимізації. У першому випадку (перша задача оптимізації) основною вимогою, що пред'являються до оптимальної АЧХ фільтра, є забезпечення мінімуму середньоквадратичної похибки апроксимації ідеальної АЧХ, але при цьому не накладається ніяких обмежень на

поведінку АЧХ як у смузі аналізу, так і поза нею. У другому випадку (друга задача оптимізації) основна увага приділена забезпеченню мінімуму впливу бічних пелюсток функції спектрального вікна на похибка вимірювання оцінки СЩП. Ці дві задачі оптимізації охоплюють найбільш поширені вимоги, що пред'являються до функції спектрального вікна при вирішенні практичних завдань синтезу вузько-смугових фільтрів, які використовуються в апаратурі спектрального аналізу випадкових сигналів [8, 10].

Сформулюємо та вирішимо обидві задачі оптимізації АЧХ вузько-смугових фільтрів для спектрального аналізу.

Задача оптимізації АЧХ вузько-смугового фільтра $\Phi(\omega)$ за середньоквадратичним критерієм формулюється так: знайти оптимальну перетворюючу функцію $H_{опт}(\tau)$ або оптимальну імпульсну перехідну характеристику $h(\tau)$ фільтра, що забезпечують мінімум функціоналу

$$\Gamma = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\Phi(\omega) - \Phi_0(\omega)\right]^2 d\omega, \tag{1}$$

де $\Phi_0(\omega)$ – ідеальна (необхідна) спектральна функція (або АЧХ) фільтра. У нашому випадку ця функція прямокутна та аналітично описується виразом:

$$\Phi_0(\omega) = \begin{cases} const, \text{ при } \omega_0 - \dfrac{\Delta\omega}{2} < \omega < \omega_0 + \dfrac{\Delta\omega}{2}; \\ 0, \quad \text{при інших значеннях } \omega. \end{cases}$$

Функція $\Phi(\omega)$ визначається наступною рівністю

$$\Phi(\omega) = \int_0^T H(\tau)\cos\omega\tau\, d\tau, \quad 0 < \tau < T. \tag{2}$$

Для розв’язання задачі оптимізації скористаємося варіаційним методом, відповідно до якого повинна виконуватися умова

$$\frac{\partial\Gamma}{\partial H(\tau)} = 0.$$

Тоді зі співвідношення (1) обчислимо

$$\frac{\partial\Gamma}{\partial H(\tau)} = 2\int_{-\infty}^{\infty} \left[\Phi(\omega) - \Phi_0(\omega)\right] \times \frac{\partial\Phi(\omega)}{\partial H(\tau)} d\omega. \tag{3}$$

З урахуванням формули (2) знаходимо

$$\frac{\partial\Phi(\omega)}{\partial H(\tau)} = \begin{cases} \cos\omega\tau, & 0 < \tau < T; \\ 0, & \tau > T. \end{cases}$$

Підставляючи це рівність у вираз (3), отримаємо

$$\frac{\partial\Gamma}{\partial H(\tau)} = 2\int_{-\infty}^{\infty} \left[\Phi(\omega) - \Phi_0(\omega)\right]\cos\omega\tau\, d\omega, \quad 0 < \tau < T. \tag{4}$$

Прирівнюючи вираз (4) нулю, маємо:

$$\int_{-\infty}^{\infty}\left[\Phi(\omega)-\Phi_0(\omega)\right]\cos\omega\tau d\omega = 0, < \tau < T. \quad (5)$$

Оскільки, відповідно до перетворенню Фур'є,

$$\int_{-\infty}^{\infty}\Phi(\omega)\cos\omega\tau\, d\omega = \pi H(\tau),$$

то з виразу (5) отримаємо:

$$\pi H(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty}\Phi_0(\omega)\cos\omega\tau\, d\omega.$$

З урахуванням рівності (3), знаходимо:

$$H_{onm}(\tau) = A\int_{\omega_0-\frac{\Delta\omega}{2}}^{\omega_0+\frac{\Delta\omega}{2}}\cos\omega\tau\, d\omega\ , \quad (6)$$

де $A = \dfrac{\Phi_0}{\pi} = const$ – постійна.

Після обчислень з формули (6), є

$$\begin{aligned} H_{onm}(\tau) &= \\ &= A\frac{\sin(\omega_0+\frac{\Delta\omega}{2})\tau - \sin(\omega_0-\frac{\Delta\omega}{2})\tau}{\tau} = \\ &= 2A\cos\omega_0\tau\frac{\sin\frac{\Delta\omega\tau}{2}}{\tau}, \quad 0<\tau<T. \end{aligned} \quad (7)$$

При кореляційно-фільтровому методі вимірювання оцінки СЩП функція $H_{onm}(\tau)$ може бути реалізована, якщо вибрати $\Delta\omega T = 2k\pi$, де k – будь-яке ціле число. Тоді для оптимальної імпульсної характеристики фільтра, з урахуванням рівності (7), маємо

$$\begin{aligned} h_{onm}(\tau) &= \frac{H_{onm}(\tau)}{T-\tau} = \\ &= 2A\cos\omega_0\tau\frac{\sin\frac{\Delta\omega\tau}{2}}{\tau(T-\tau)}. \end{aligned} \quad (8)$$

У той же час для методу вимірювання оцінки СЩП, заснованого на зведенні в квадрат фільтрованої реалізації випадкового сигналу, оптимальна перетворює функція $H_{onm}(\tau)$ не може бути реалізована, так як рівняння

$$H_1(u) = 2\int_0^T h(\tau)h(\tau-u)(T-u)\,d\tau\ ,$$

при $H_1 = H_{опт}$, не має рішення для $h(\tau)$. Якісно це видно хоча б з того, що функція $\Phi_1(\omega) > 0$, а перетворення Фур'є від $H_{опт}(\tau)$ може приймати і негативні значення.

Сформулюємо та розв'яжемо другу задачу оптимізації АЧХ вузько-смугових фільтрів для спектрального аналізу випадкових сигналів – за мінімумом впливу бічних пелюсток спектральної (частотної) характеристики фільтра $\Phi(\omega)$ при заданій дисперсії. Потім проведемо порівняльний аналіз результатів для обох задач оптимізації АЧХ фільтрів.

Переходимо до розв'язання другої задачі оптимізації, сформульованої вище.

Внесок від бічних пелюсток функції спектрального вікна $\Phi()$ визначимо наступним виразом:

$$\begin{aligned}
&\int_{-\infty}^{-\omega_0-\frac{\Delta\omega}{2}} \Phi(\omega)d\omega + \int_{-\omega_0+\frac{\Delta\omega}{2}}^{\omega_0-\frac{\Delta\omega}{2}} \Phi(\omega)d\omega + \int_{\omega_0+\frac{\Delta\omega}{2}}^{\infty} \Phi(\omega)d\omega = \\
&= \int_{-\infty}^{\infty} \Phi(\omega)d\omega - 2\int_{\omega_0-\frac{\Delta\omega}{2}}^{\omega_0+\frac{\Delta\omega}{2}} \Phi(\omega)d\omega = \\
&= T\,h(0) - 2\int_{\omega_0-\frac{\Delta\omega}{2}}^{\omega_0+\frac{\Delta\omega}{2}} \Phi(\omega)d\omega.
\end{aligned} \tag{9}$$

Очевидно, оптимізація вкладу бічних пелюсток функції $\Phi(\omega)$ у похибку вимірювання оцінки СЩП зводиться до забезпечення мінімуму різниці в правій частині виразу (9).

Для розв'язання цієї задачі її більш зручно сформулювати наступним чином: визначити імпульсну характеристику фільтра $h(\tau)$, що забезпечує максимум величиною $\int_{\Delta\omega} \Phi(\omega)d\omega$ за умови, що

$$\int_0^T (T-\tau)h^2(\tau)d\tau \le L = const\,.$$

Таке завдання на умовний екстремум вирішується методом Лагранжа [2]. Введемо функціонал

$$\Gamma' = \int_{\omega_0-\frac{\Delta\omega}{2}}^{\omega_0+\frac{\Delta\omega}{2}} \Phi(\omega)d\omega - \lambda\int_0^T (T-\tau)h^2(\tau)d\tau\,, \tag{10}$$

де λ – множник (або коефіцієнт) Лагранжа.

Обчислимо часткову похідну $\partial\Gamma'/\partial h(\tau)$ і прирівняємо її до нуля

$$\begin{aligned}
&\frac{\partial\Gamma'}{\partial h(\tau)} = \int_{\omega_0-\frac{\Delta\omega}{2}}^{\omega_0+\frac{\Delta\omega}{2}} \frac{\partial\Phi(\omega)}{\partial h(\tau)}d\omega - \\
&-2\lambda(T-\tau)h(\tau) = 0,
\end{aligned} \tag{11}$$

де $\frac{\partial \Phi(\omega)}{\partial h(\tau)}$ з урахуванням співвідношень (3) і (2) визначається рівністю:

$$\frac{\partial \Phi(\omega)}{\partial h(\tau)} = (T-\tau)\cos\omega T, \quad 0<\tau<T\ . \tag{12}$$

Вирішуючи рівняння (11) з урахуванням рівності (12), аналогічно (7), отримуємо вираз для імпульсної характеристики фільтра

$$h'_{onm}(\tau) = A' \int_{\omega_0-\frac{\Delta\omega}{2}}^{\omega_0+\frac{\Delta\omega}{2}} \cos\omega\tau\, d\omega = \\ = 2A'\cos\omega_0\tau\,\frac{\sin\frac{\Delta\omega\tau}{2}}{\tau}, \tag{13}$$

де A′ = const – постійна.

Порівнюючи оптимальні функції $h_{onm}(\tau)$, вираз (8), і $h'_{onm}(\tau)$, вираз (13), відмітимо, що в області $\tau << T$, вони практично збігаються. У той же час функція $h'_{onm}(\tau)$ дещо простіше реалізується технічно, ніж функція $h_{onm}(\tau)$. Тому доцільно з'ясувати, наскільки істотно відрізняються спектральні функції (АЧХ) фільтрів $\Phi(\omega)$ і $\Phi'(\omega)$, отримані за допомогою функцій $h_{onm}(\tau)$, $h'_{onm}(\tau)$, і наскільки відрізняються їх дисперсії.

Проведемо порівняльний аналіз методів оптимізації функцій спектрального вікна вузько-смугових фільтрів.

Використовуючи вирази (13) і (8), введемо нормування функцій $h_{onm}(\tau)$ і $h'_{onm}(\tau)$ (постійні A і A') так, щоб $h(0) = 1$. тоді отримаємо:

$$h_{onm}(\tau) = \frac{2T}{\Delta\omega}\cos\omega_0\tau\,\frac{\sin\frac{\Delta\omega\tau}{2}}{\tau(T-\tau)}\ ;$$

$$h'_{onm}(\tau) = \frac{2}{\Delta\omega}\cos\omega_0\tau\,\frac{\sin\frac{\Delta\omega\tau}{2}}{\tau}\ .$$

При цьому відповідно до рівності (7), що перетворюють функції для кожного з методів оптимізації визначаються рівностями:

$$H_{onm}(\tau) = \frac{2T}{\Delta\omega}\cos\omega_0\tau\,\frac{\sin\frac{\Delta\omega\tau}{2}}{\tau}; \tag{14}$$

$$H'_{onm}(\tau) = \frac{2}{\Delta\omega}(T-\tau)\cos\omega_0\tau\,\frac{\sin\frac{\Delta\omega\tau}{2}}{\tau}\ . \tag{15}$$

Для визначення спектральної функції (АЧХ) Ф(ω) підставимо в формулу (3) вираз (14), отримаємо:

$$\Phi(\omega) = \frac{2T}{\Delta\omega}\int_0^T \cos\omega\tau\cos\omega_0\tau\,\frac{\sin\frac{\Delta\omega\tau}{2}}{\tau}\,d\tau\ .$$

Обчислимо функцію $\Phi(\omega,\omega_0)$. Знаходимо:

$$\Phi(\omega,\omega_0)=\frac{T}{2\Delta\omega}\left[\int_0^T \frac{sin\left(\omega_0-\omega+\frac{\Delta\omega}{2}\right)\tau}{\tau}d\tau+\int_0^T \frac{sin\left(\omega_0+\omega+\frac{\Delta\omega}{2}\right)\tau}{\tau}d\tau\right].$$ Після перетворень запишемо:

$$\begin{aligned}\Phi(\omega)&=\frac{T}{2\Delta\omega}\sum_{i=1}^{4}(-1)^{i-1}\left[si\left(T\Omega_i\right)+\frac{\pi}{2}\right]=\\&=\frac{T}{2\Delta\omega}\sum_{i=1}^{4}(-1)^{i-1}\ siT\Omega_i+\\&+\frac{T}{2\Delta\omega}\frac{\pi}{2}\sum_{i=1}^{4}(-1)^{i-1}=\frac{T}{2\Delta\omega}\sum_{i=1}^{4}si\left(T\Omega_i\right)\end{aligned}. \quad (16)$$

Оцінимо значення середньоквадратичного відхилення реальної функції спектрального вікна $\Phi(\omega)$ від ідеальної (прямокутної) функції $\Phi_0(\omega)$, використовуючи формулу (1).

Для цього скористаємося тим, що функція $\Phi_0(\omega)$ виходить з функції $\Phi(\omega)$, відповідно до виразу (3), при $T\to\infty$. Тоді

$$\Phi(\omega)-\Phi_0(\omega)=\int_T^{\infty} H(\tau)\cos\omega\tau\,d\tau\,. \quad (17)$$

Підставляючи співвідношення (17) у формулу (1), маємо:

$$\Gamma=\int_{-\infty}^{\infty} d\omega\left[\int_T^{\infty} H(\tau)\cos\omega\tau\,d\tau\right]^2\,.$$

Уявімо це рівність у вигляді:

$$\Gamma=\int_{-\infty}^{\infty} d\omega\int_T^{\infty}\int d\tau\,d\tau'\,H(\tau)H'(\tau')\cos\omega\tau\cos\omega\tau'.$$

Приймаючи до уваги, що

$$\begin{aligned}&\int_{-\infty}^{\infty}\cos\omega\tau\cos\omega\tau'\,d\omega=\\&=\frac{1}{2}\int_{-\infty}^{\infty}\left[\cos\omega(\tau-\tau')+\cos\omega(\tau+\tau')\right]d\omega=\\&=\pi\left[\delta(\tau-\tau')+\delta(\tau+\tau')\right],\end{aligned}$$

запишемо:

$$\Gamma=\pi\int_T^{\infty} H^2(\tau)d\tau\,. \quad (18)$$

Підставляючи у вираз (18) оптимальну перетворюючу функцію $H_{опт}(\tau)$ згідно (14), маємо:

$$\Gamma\approx\frac{\pi T^2}{(\Delta\omega)^2}\int_T^{\infty}\frac{d\tau}{\tau^2}=\frac{\pi T}{(\Delta\omega)^2}\left[1+0\left(\frac{1}{T\Delta\omega}\right)\right].$$

У той же час

$$\int_{-\infty}^{\infty} \Phi_0^2 \, d\omega = 2\Phi_0^2 \, \Delta\omega = \frac{\pi^2 T^2}{2\Delta\omega}, \tag{19}$$

де враховано $\Phi_0 = \frac{\pi T}{2\Delta\omega}$.

Відносна середньоквадратична похибка наближення оптимальної спектральної характеристики $\Phi(\omega)$ до ідеальної характеристиці $\Phi_0(\omega)$ визначається виразом:

$$\delta\Gamma = \frac{\Gamma}{\int_{-\infty}^{\infty} \Phi_0^2(\omega) d\omega} . \tag{20}$$

Після підстановки у формулу (20) рівності (19) знаходимо:

$$\delta\Gamma = \frac{2}{\pi T \Delta\omega}\left[1 + 0\left(\frac{1}{T\Delta\omega}\right)\right] . \tag{21}$$

Визначимо спектральну функцію Φ′(ω) для оптимальної перетворюючої функції $H'_{опт}(\tau)$, одержуваної при оптимізації по мінімуму бічних пелюсток і описуваної виразом (15).

З урахуванням виразу (16) запишемо:

$$\Phi'(\omega) = \frac{T}{2\Delta\omega} \sum_{i=1}^{4} (-1)^{i-1} f(T\Omega_i), \tag{22}$$

де

$$f(x) = Si(x) - \frac{1 - \cos x}{x} . \tag{23}$$

Проаналізуємо поведінку функції f(x). Перш за все, відзначимо, що вона має такі властивості:

а) $f(-x) = -f(x)$, тобто функція симетрична щодо нуля;

б) при $x << 1$ $\quad f(x) \approx x - \frac{1}{2}x = \frac{1}{2}x$;

в) при $x >> 1$

$$f(x) = \frac{\pi}{2} - \frac{\cos x}{x} - \frac{\sin x}{x^2} + \frac{\cos x - 1}{x} \approx$$

$$\approx \frac{\pi}{2} - \frac{1}{x} - \frac{\sin x}{x^2};$$

г)

$$f'(x) = \frac{\sin x}{x} - \frac{\sin x}{x} + \frac{1 - \cos x}{x^2} =$$

$$= \frac{1 - \cos x}{x^2} = \frac{2\sin^2 \frac{x}{2}}{x^2}.$$

Точки екстремуму x_l функції $f(x)$ визначимо з умови $\cos x_l = 1$, тобто $x_l = 2\pi l$, $l = 1,2,\ldots$. Ці точки є точками перегину функції $f(x)$, яка монотонно зростає, так як $f'(x) \geq 0$.

Відзначимо важливу обставину: функція *Ф′(ω)* за межами вікна $\Delta\omega$ не має викидів (ні позитивних, ні негативних) і відрізняється від ідеального (прямокутного) спектрального вікна тільки поблизу "країв", в області ~1 / *T*.

Обчислимо тепер похибку наближення оптимальної спектральної характеристики Ф′(ω) до спектральної характеристиці ідеального, прямокутного вікна $\Phi_0(\omega)$ вузько-смугового фільтра. Аналогічно формулі (1) запишемо:

$$\Gamma' = \int_{-\infty}^{\infty} \left[\Phi'(\omega) - \Phi_{\ 0}(\omega) \right]^2 d\omega . \tag{24}$$

Використовуючи співвідношення (3) і рівність Парсеваля вираз (24) представимо у вигляді:

$$\Gamma' = \pi \int_0^T \left[H'(\tau) - H(\tau) \right]^2 d\tau + \pi \int_T^{\infty} H^2(\tau) d\tau ,$$

або

$$\Gamma' = \Gamma + \Delta\Gamma, \tag{25}$$

де $\Delta\Gamma = \pi \int_0^T \left[H'(\tau) - H_{\ }(\tau) \right]^2 d\tau$.

Оскільки $\Delta\Gamma > 0$, то, як випливає із виразу (25), справедлива умова $\Gamma' > \Gamma$, що й слід було очікувати заздалегідь (з постановки задачі оптимізації).

Обчислимо величину $\Delta\Gamma$ з урахуванням рівності (14) і (15)

$$\Delta\Gamma = \frac{4\pi}{(\Delta\omega)^2} \int_0^T \cos^2 \omega_0\tau \sin^2 \frac{\Delta\omega\tau}{2} \, d\tau =$$

$$= \frac{\pi}{(\Delta\omega)^2} \int_0^T (1 + \cos 2\omega_0\tau)(1 - \cos \Delta\omega\tau) d\tau \approx \Gamma .$$

Тоді, відповідно до рівності (25),

$$\Gamma' = 2\Gamma ,$$

а отже,

$$\delta\Gamma' = 2\,\delta\Gamma . \tag{26}$$

Висновки. При оптимізації спектральної характеристики фільтра за мінімумом середньоквадратичної похибки апроксимації ідеального вікна (перша задача оптимізації) застосування фільтра з імпульсною характеристикою $h_{опт}(\tau)$, відповідно до виразу (9), забезпечує мінімальне середньоквадратичне відхилення $\delta\Gamma$, формула (21), форми спектральної характеристики *Ф(ω)*, вираз (16), від ідеальної прямокутної.

При оптимізації спектральної характеристики фільтра за мінімумом бічних пелюсток при заданій дисперсії оцінки СЩП (друга задача оптимізації) застосування фільтра із імпульсною характеристикою $h'_{опт}(\tau)$, вираз (13), забезпечує форму спектральної характеристики *Ф′(ω)*, формула (22), яка не має осциляцій у всьому діапазоні частот, але при цьому відносна середньоквадратична похибка апроксимації $\delta\Gamma'$ ідеального спектрального вікна збільшується вдвічі, рівність (26). Крім того, функція $h'_{опт}(\tau)$ забезпечує більш просту технічну реалізацію фільтра.

Отже, застосування запропонованих оптимальних фільтрів при спектральному аналізі випадкових сигналів діагностування технічного стану двигунів засобів водного транспорту дозволяє своєчасно виявити можливі несправності чи порушення у режимах роботи (відповідно до заздалегідь відомих, справних). Своєчасне виявлення можливих відмов двигунів засобів водного транспорту дозволить уникнути додаткових витрат під час перевезення вантажів, тобто зменшити додаткові (непланові) витрати.

ЛІТЕРАТУРА

1. Каретников В. В., Пащенко И. В., Соколов А. И., Кузнецов И. Г. К вопросу построения автоматизированной системы мониторинга параметров высокоточного навигационного поля / Морская радиоэлектроника. – 2015. – № 2 (52). – С. 24-27.
2. Борисенко М. В., Герасимов С. В., Костенко О. І., Макарчук Д. В. Development of optimum navigation information processing algorithm / Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2018. – № 3(32). – С. 38-44.
3. Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в промышленности и на транспорте // Материалы второй всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Омск: Омский гос. ун-т путей сообщения, 2016. – 368 с.
4. Алешин Б. С., Веременко К. К. Ориентация и навигация подвижных объектов: современные информационные технологии. – М.: Наука, 2006. – 424 с.
5. Герасимов С., Шапран Ю., Стахова М. Measures of efficiency of dimensional control under technical state designation of radio-technical facilities / Системи обробки інформації. – 2018. – Вип. 1 (152). – С. 148-154. – DOI: 10.30748/soi.2018.152.21.
6. Герасимов С. В., Шапран Ю. Є., Кірвас В. В. Розробка та дослідження методу розрахунку достовірності вимірювального контролю параметрів радіотехнічних систем морського транспорту / Системи озброєння і військова техніка. – 2017. – № 4 (52). – С. 5-10.
7. Басов В. Г. Измерительные сигналы и функциональные устройства их обработки. – Минск: БГУИР, 2012. – 119 с.
8. Norman Friedman. The Naval Institute Guide to World Naval Weapon System. – Naval Institute Press, 2006. – 858 p.
9. Admiralty list of radio signals. Global maritime distress and safety system (GMDSS). – Vol 5. NP 285. – 2000. – 338 p.
10. Qriffiths B. E. Optimal control of jump-linear gaussian systems / Int. J. of control. – Vol. 42. N. 4. – 1985. – P. 791-819.

Штрибец В.В.

КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ СРЕДСТВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА МЕТОДОМ СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА СЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ

Показано влияние технического состояния двигателей средств водного транспорта на экономичность грузоперевозок. Обоснованный метод диагностирования технического состояния двигателей на основе спектрального анализа масла двигателя. Предложен метод спектрального анализа случайных сигналов с использованием среднеквадратического критерия и минимума влияния боковых лепестков функции спектрального окна на основе соответствующих задач оптимизации. Получены соотношения для оптимального синтеза характеристик динамических фильтров для измерения оценок спектральной плотности мощности случайных сигналов.

***Ключевые слова**: техническое состояние, спектральный анализ, средства водного транспорта, оптимальный фильтр, двигатель.*

Shtribec V.

CONTROL OF THE TECHNICAL STATE OF VEHICLES OF WATER TRANSPORT BY METHOD OF SPECTRAL ANALYSIS OF RISK SIGNALS

Recently, part of the cargo transportation by water transport has increased. However, this should also take into account the technical state of water transport, which can significantly affect the cost of transportation. This will provide optimal (planned) costs for the carriage of goods by means of water transport and will reduce the additional costs in this case.

The proposed method is aimed at achieving the required reliability of the control of the technical state of engines of water transport with the help of spectral analysis of random signals that arise in the presence of malfunctions or broken algorithms for the operation of good systems.

Methods for optimizing the shape of the amplitude-frequency response of the filters for the spectral analysis of random signals were obtained for two criteria:

- the minimum of the mean-square error of approximation of the ideal, rectangular function of the spectral window by a real function;

- the minimum effect of the side lobes of the function of the spectral window on the error of measurement of the spectral density of power.

The use of these criteria is due to two possible formulations of the optimization problem. In the first case (the first task of optimization) the main requirement for an optimal amplitude-frequency characteristic of a filter is to ensure a minimum of the mean square error. In the second case (the second optimization task), the main attention is paid to ensuring the minimum of the effect of the side lobes of the spectral window function on the error of measurement of the spectral density of power. These two optimization tasks cover the most common requirements for the function of the spectral window when solving practical problems of filter synthesis, which are used in the spectral analysis of random signals.

The application of the proposed optimal filters in the spectral analysis of random signals of the diagnosis of the technical state of the engines of water transport means allows timely detection of possible malfunctions or disturbances in operating modes.

Keywords: *technical condition, spectral analysis, means of water transport, optimal filter, engine.*

УДК 622.692.401 *DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.08*

Алиев А.Г., Гамидов М.Г., Мамедова Ф.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В статье рассматривается характерное стремление к максимальному использованию пропускной способности линий электропередачи современных энергосистем. В данном случае допускается работа с нагрузками, близкими к пределу динамической устойчивости. С целью, предотвращения перехода симметричных и несимметричных утяжелённых режимов в аварийный режим, разработаны алгоритмы, методы, а также диалоговые программы, которые используют компьютерную технику.

Необходимо отметить, что при вычислениях выяснено: 1) значительное изменение скорости вращения генератора оказывает небольшое влияние на устойчивость переходных процессов; 2) нет необходимости учитывать дополнительного тормозного момента, который создаётся периодическими и апериодическими составляющими тока короткого замыкания; 3) регуляторы турбин оказывают незначительное влияние на динамическую устойчивость; 4) при упрощённом моделировании асинхронной машины нет необходимости в уточнении асинхронного двигателя.

Ключевые слова. *пропускной способность, динамический устойчивость, вычислительный алгоритм, диалоговая программа, тормозной момент.*

Введение. В энергетических системах основной причиной, возникающих аварийных ситуаций, является неправильное срабатывание релейной защиты.

В результате изменений, происходящих в структуре энергосистемы, а так же при изменении баланса мощности резко возрастает величина токов короткого замыкания, что требует пересмотра параметров срабатывания устройств релейной защиты, в противном случае происходят неселективные отключения защиты или же отказ работы релейной защиты [1].

Для предотвращения перехода симметричных и несимметричных утяжеленных режимов в аварийный, разрабатываются методы, алгоритмы, диалоговые программы с использованием компьютерной техники.

Основная часть. Анализ аварий в энергосистеме показывает, что в большинстве случаев аварийные ситуации связаны с одной или двумя подстанциями, которые осуществляют слабую связь между системами с ГЭС и ГРЭС. Это связано с возникновением асинхронных режимов и делением систем при передаче малой мощности по слабым связям между ЛЭП напряжением 500 кВ и 330 кВ.

При некачественной работе противоаварийной автоматики энергосистема не выполняет свою функцию, в результате чего нарушается электроснабжение потребителей. Исследования показали, что в зависимости от исходного установившегося режима возможны два варианта:

1. При отключении ЛЭП возникает асинхронный режим, и при несрабатывании противоаварийной автоматики из-за нехватки активной мощности, частота уменьшается на $50 - \Delta f$ в первой системе, тогда как во второй системе частота увеличивается на $50 + \Delta f$. В случае отказа противоаварийной автоматики обе системы перестают функционировать

2. Если при исходном установившемся режиме мощность передается в обратном направлении, то при возникновении асинхронного режима и отказе противоаварийной

автоматики в первой подсистеме частота возрастет на $50 + \Delta f$, а во второй уменьшиться на $50 - \Delta f$, что также приведет к остановке работы обеих систем.

Как показали исследования, в обоих случаях не происходит ресинхронизация между подсистемами. При изменениях режимных параметров в пределах опасной зоны должна действовать автоматика ликвидации асинхронного режима: должны быть отключены генераторы и потребители. Таким образом, для устранения нарушений нормального режима на генераторах и подстанциях обоих систем должны быть установлены устройства противоаварийной автоматики.

Имеются многочисленные исследования влияния различных факторов на точность расчета электромеханических переходных процессов [2]. Однако эти исследования относятся к системам малой мощности, а результаты носят методический характер, поэтому используются программы, учитывающие автоматическое регулирование скорости вращения генератора, его возбуждения и различные характеристики потребителей.

Была поставлена задача определения диапазона допустимого изменения времени отключения короткого замыкания с помощью программного обеспечения с учетом следующих факторов:

а) относительное вращение генератора при близких коротких замыканиях;

б) учет характеристик потребителей;

в) различное регулирование возбуждения генераторов;

г) изменение параметров эквивалентного асинхронного двигателя с учетом динамических характеристик нагрузки;

д) изменение коэффициента затухания;

е) учет фактора объединенной энергосистемы.

Согласно нормативам в качестве расчетного короткого замыкания принимается двухфазное короткое замыкание на землю на шине узловой подстанции напряжением 220 кВ. В момент времени t_1 на шинах подстанции 220 кВ происходит двухфазное к.з. на землю (рис.1, ветвь 38 – 39,). В момент времени t_2 происходит отключение к.з. на поврежденной линии [3].

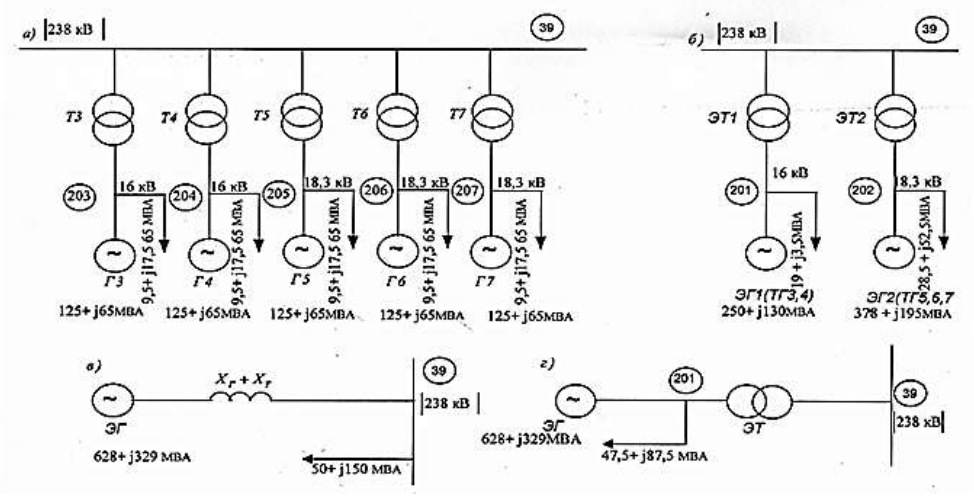


Рис.1 Расчётная схема ГРЭС

Основные ЛЭП напряжением 330кВ, питающие энергосистему, образуют кольцевую сеть с линиями 220 - 330 кВ.

Энергосистему можно условно разделить на две части [4]:

1. ГЭС и ГРЭС с блоком мощности 150 МВт;
2. Несколько ТЭС местного значения и ГЭС.

Избыток мощности (650 МВт) передается по ЛЭП 220кВ (узлы 38 – 39) и в ОЭС -330 кВ (узлы 65-62).

Рассчитываются 2-3 цикла изменения угла между э.д.с. генератора и базисной э.д.с. , и определяется динамическая устойчивость энергосистемы. Для анализа динамической устойчивости составляется эквивалентная расчетная схема энергосистемы без учета подстанций 110 кВ, которая содержит 30 узлов и 40 ветвей, и позволяет осуществлять расчеты параметров резервных защит и устройств противоаварийной автоматики (рис.2).

Расчет узловых напряжений методом интеграции позволяет сократить время расчета. В настоящее время для расчета схем динамической устойчивости используются специальные программы. Они позволяют анализировать сложные объекты (сотни узлов и сотни генераторов) и обеспечивают высокую точность расчетов. Алгоритм расчета представлен на рис.3.

При исследовании динамической устойчивости используют три направления исследований [5,6]:

- Исследование устойчивости одиночного генератора с учетом различных факторов;
- Расчет устойчивости сложных энергосистем в момент короткого замыкания и непосредственно после него.
- Расчет устойчивости сложной энергосистемы с учетом особенности послеаварийного режима.

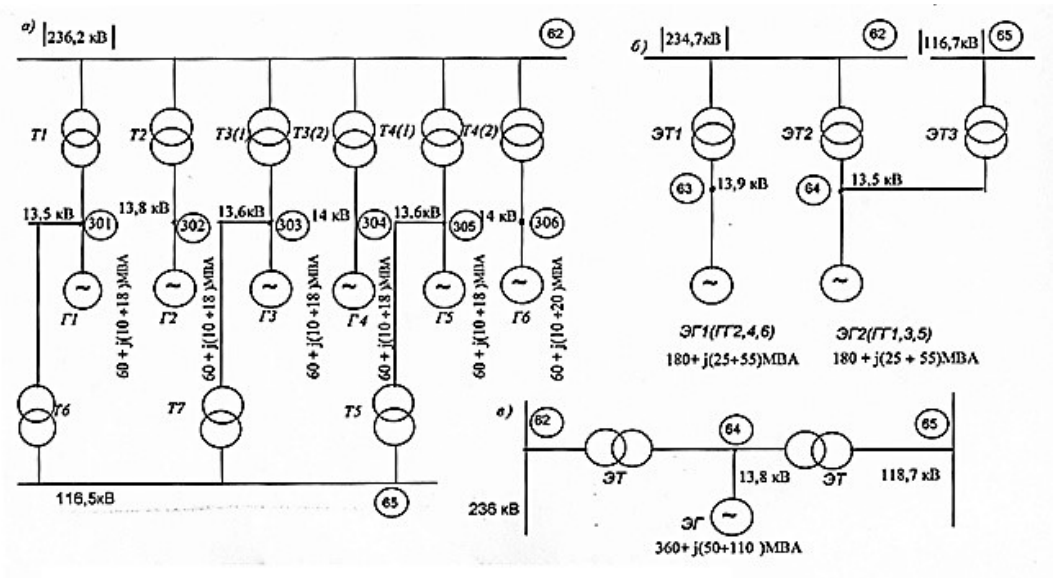


Рис.2. Расчётная схема ГЭС

На основании алгоритма можно допустить, что для каждого минимального интервала времени векторы напряжения в узлах энергосистемы остаются неизменными. Напряжение в начале каждого промежутка рассчитываются с помощью системы алгебраических уравнений, описывающих установившийся режим синхронных и асинхронных машин.

Как указано выше, синхронные машины описываются уравнениями механического движения:

$$\frac{Md^2\delta}{dt^2} + D\frac{d\delta}{dt} = P_{\text{мех}} - P_{\text{эл}} \qquad (1)$$

где M – неизменяемый коэффициент, (сек· МВт).

В уравнении (1) учитывается синхронный момент, который обусловлен сдвигом относительно напряжения прямой последовательности обмоток статора $D\frac{d\delta}{dt}$; где D – моментный коэффициент, характеризующий скорость вращения и относящийся к успокоительной обмотке ротора [1,6].

Если $S = 1 \div 1\%$, то $P_к \equiv S$ где $S \div \frac{d\delta}{dt}$; $P_{ас} = P_{(о.е)} \cdot S_{(о.е)} \cdot P_{ном} = D_{(о.е)} \frac{P_{ном}}{18000} \cdot \frac{\Delta\delta(град)}{\Delta t(сек)}$;

$$P_{эл} = P_{син} + P_{торм}.$$

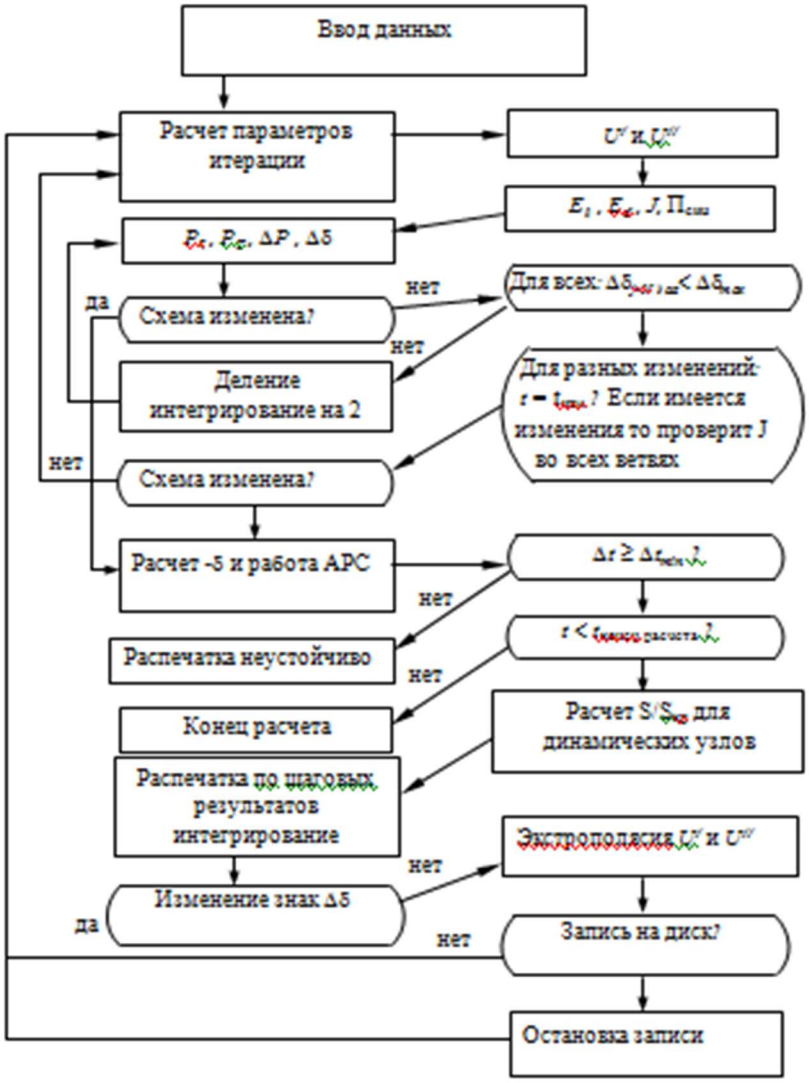


Рис.3. Алгоритм расчета сложных объектов

Синхронная мощность $P_{син}$ определяется по расчету установившегося режима в интервале времени Δt.

Выводы. Значительное изменение скорости вращения генератора оказывает небольшое влияние на устойчивость переходных процессов. Нет необходимости учитывать дополнительный тормозной момент, создаваемый периодическими и непериодическими составляющими тока к.з. Регуляторы турбин оказывают незначительное влияние на динамическую устойчивость. При упрощенном моделировании асинхронной машины нет необходимости в уточнении асинхронного двигателя.

С учетом всего вышеперечисленного принимаются следующие дополнения: не учитывается э.д.с. в статорном контуре синхронной машины.; не учитывается активное сопротивление в цепях ротора и статора синхронной машины; влияние системы возбуждения учитывается в упрощенной форме; не учитывается насыщение магнитных цепей синхронной машины и демпферного контура; не учитывается насыщение магнитных цепей асинхронных машин и электромагнитные переходные процессы в цепи ротора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андерсон П., Фуад А. Управление энергосистемами и устойчивость – М.; Энергия, 1992.– 658 с.
2. Пантелеева Н.В, Романовская Т.Н. Проблемы динамической устойчивости электроэнергетических систем.–М.,2007.–450 с.
3. Бабаев, А.М., Ягодин, В.Я., Автоматизированные судовые электроприводы. Москва: 1986., Транспорт, 477 с.
4. Мехтиев Г.А., Гасанов З.А., Шабанов Т.Г., «Судовые автоматизированные электроприводы», Баку, изд. "Нурлан", 2005-й год, 358 стр.
5. Мустафаев Р.И. Об универсальной структуре математической модели электрических машин. изв. Высших учебных заведений электромеханика. №4, 1989 г.
6. Башарин А.В., Постников Ю.В. Примеры расчета автоматизированного электропривода на ЭВМ: Учебное пособие для вузов. – 3-е изд. – Л.: Энергоатомиздат. Ленинград. отд-ние, 1990. – 512 с.

Aliev A.G., Hamidov M.G., Mammadova F.V.

THE INVESTIGATION OF THE DYNAMIC SUSTAINABILITY OF ENERGY SYSTEMS

In the article is considered the characteristic aspiration to the maximal use of carrying capacity of transmission lines of modern energy systems. In this case, is allowed work with loads close to the limit of dynamic sustainability. In order to prevent the transition of symmetrical and asymmetric weighted regimes to emergency mode, algorithms, methods, and interactive programs that use computer technology have been developed. It should be noted that in the calculations it was found that: 1) significant change in the rotational speed of the generator has little effect on the sustainability of the transient processes; 2)it is not necessary to take into account the additional braking moment that is created by the periodic and non-periodic components of the short-circuit current; 3)turbine regulators have an insignificant effect on the dynamic sustainability; 4) there is no need to refine the asynchronous motor when simplifying the simulation of an asynchronous machine.

Key words. *Carrying capacity, dynamic sustainability, computing algorithm, dialog program, braking moment*

Алієв А.Г., Гамід М.Г., Мамедова Ф.В.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ

У статті розглядається характерне прагнення до максимального використання пропускної здатності ліній електропередачі сучасних енергосистем. В даному випадку допускається робота з навантаженнями, близькими до межі динамічної стійкості. З метою, запобігання переходу симетричних і несиметричних обважнених режимів в аварійний режим, розроблені алгоритми, методи, а також діалогові програми, які використовують комп'ютерну техніку.

Необхідно відзначити, що при обчисленнях з'ясовано: 1) значна зміна швидкості обертання генератора надає невеликий вплив на стійкість перехідних процесів; 2) немає необхідності враховувати додаткового гальмівного моменту, який створюється періодичними і апериодическими складовими струму короткого замикання; 3) регулятори турбін мають незначний вплив на динамічну стійкість; 4) при спрощеному моделюванні асинхронної машини немає необхідності в уточненні асинхронного двигуна.

Ключові слова*: пропускна здатність, динамічний стійкість, обчислювальний алгоритм, діалогова програма, гальмівний момент.*

УДК 629.07.05 *DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.09*

Фархадов В.Г., Байрамова И.П.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОДВОДНЫМИ РОБОТАМИ

В статье рассмотрен вопрос повышения качества функционирования подводных роботов за счёт обеспечения оптимальности по быстродействию в подсистемах позиционного управления соответствующими приводами; для решения этой задачи в качестве задачи параметрической оптимизации использован инструментальный пакет Nonlinear Control Design Blockset (*NCD – Blockset*) *в составе Matlab; показана функциональная структура идентификатора; построены динамические характеристики идентификатора и переходные характеристики системы при определенных параметрах.*

Таким образом, математическая модель, составленная в аспекте параметрической оптимизации с использованием принципа идентификации в рамках инструментального пакета Nonlinear Control Design Blockset в составе Matlab, позволяет повысить качество функционирования подводных роботов за счёт обеспечения оптимальности по быстродействию в подсистемах позиционного управления соответствующими приводами.

Ключевые слова. *Электродвигатель, подводный робот, идентификатор, моделирова-ние, движение.* .

Введение. Кардинальным вопросом при разработке и эксплуатации подводного робота является вопрос о движении: каким должно быть движение, как оно должно адаптироваться при изменении обстановки и какими должны быть основные системы робота, способные обеспечить такое движение.

Важное значение для выполнения этих задач, имеют широкое внедрение промышленных роботов (ПР). ПР находят все более широкое внедрение в судостроение при выполнении работ, которые нецелесообразно автоматизировать традиционными средствами.

Производительность роботов, а значит и их быстродействие, повышается благодаря применению более качественных системы управления приводов.

Для подводных роботов манипулирования изделиями в качестве приводов все большее распространение получают электродвигатели. В тоже время высокое требования к точности позиционирования и быстродействию роботов заставляют искать оригинальное решение в разработке оптимальное системы управления двигателей ПР.

Основная часть. Принцип максимума [1] сводит исходную задачу оптимального управления к решению двухточечной краевой задачи. Вычислительные трудности решения подобных задач хорошо известны.

Аналогичная проблема возникает и при переводе некоторого объекта $\dot{x}(t) = f(x,u,t)$ из $x(0) = x_0(0)$ в $x(T) = 0$ за минимальное время. Для линейного объекта

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu, |u| \le 1,$$

оптимальное по быстродействию управление

$$u = -\text{sign}(B^T p(t)).$$

Вектор сопряженных переменных p(t) удовлетворяет уравнению

$$\dot{p}(t) = -A^T p(t), p(0) = p_0 = ? \tag{1}$$

Задача состоит в определение значения $p_0 = p_0^*$, обеспечивающего перевод системы из заданного начального состояния $x(0) = x_0$ в начало координат $x(T) = x_T = 0$ за минимальное время $T = T_{\min}$.

Если p_0^* найден, то определение $p(t)$ не представляет особого труда - следует решить задачу Коши для системы (1).

Многие вычислительные алгоритмы решения этой задачи основаны на итеративное решение дифференциального уравнения Neishtadta [2,3].

В представленной работе эта задача рассмотрена как задача параметрической оптимизации и для ее решения использован инструментальный пакет Nonlinear Control Design Blockset (NCD – Blockset) в составе Matlab [4].

В качестве оптимизируемой функции выбрана функция:

$$\theta(p_0) = \begin{cases} t, & \textit{если } h(p_0, t) > 0, \\ t_* = \text{const}, & \textit{если } h(p_0, t) \le 0 \end{cases}.$$

Сигнал, соответствующий астраномическому времени t, снимается с выхода интегратора с единичным входом и управляется функцией $h(p_{0,} t)$.

Используя результаты Neishtadta монотонную функцию $h(p_0,t)$ формируем следующим образом:

$$\begin{aligned} & x_0^T p_0^{(0)} \ge 0, \\ & \dot{p}(t) = -A^T p(t), p(0) = p_0^{(0)}, \\ & u = -\text{sign}\left[B^T p(t)\right]; \end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned} & \dot{z}(t) = (e^{-A^T t})^T Bu, z_0 = 0; \\ & h(p_0, t) = p_0^T \left[z(t)\right] + x_0. \end{aligned} \tag{4}$$

Равенство $h\left(p_0^{(k)}, t\right) = 0$ в каждой итерации k =0,1,2,…определяет функцию $\theta\left(p_0^{(k)}\right) = t_*^{(k)}$, значение которой находится в интервале $\left[0, T_{\min}\right]$. Оптимальное решение: $T_{\min} = \max\left\{t_*^{(k)}\right\}$.

В принципе, определение $\max \theta(p_0)$ может производиться любым вычислительным методом оптимизации.

Функция (2) реализована на основе If Bloca [4]. Блоки (3) и (4) реализованы в пакете Simulink. Переходная матрица exp(- $A^T t$) вычисляется на основе решения матричного дифференциального уравнения

$$\dot{\eta} = -A^T \eta, \quad \eta_0 = I, \tag{5}$$

где $\eta = (\eta_{ij})$ - nxn матрица, $\dot{I}$ – единичная матрица.

Блок (5) также реализуется на пакете Simulink.

Правильность решения контролируется нормой $F(t) = \|x(t)\|$. При $t_* = t_{\max}$ норма $F(t_{\max}) = 0 \Rightarrow x(t_{\max}) = x(T_{\min}) = 0$. Кроме того, $z(T_{\min}) = -x_0$ также может явиться контрольным соотношением. Успех решения зависит от выбора конфигурации допустимой области Ω. При этом следует соблюдать следующие правила. Форма Ω выбирается таким образом, чтобы горизонтальная ветвь $t_*^{(k)}$ =const функции (2) от итерации к итерации с увеличением $t_*^{(k)}$ приближалась ко второй части коридора (рис. 3). Если процесс вычислений завершается после вхождения ветви $t_*^{(k)}$ =const в этот коридор, то это не означает, что optimum найден, т.е. grad $\left[t_*\left(p_0^{(k)}\right)\right] = 0$ - это «естественное» прерывание. В такой ситуации следует коридор продвигать вверх таким образом, чтобы в момент завершения вычислений прямая $t_*^{(k)}$ =const оставалась в малой внешней окрестности этого коридора (рис. 3).

На рис.1 показана функциональная структура идентификатора.

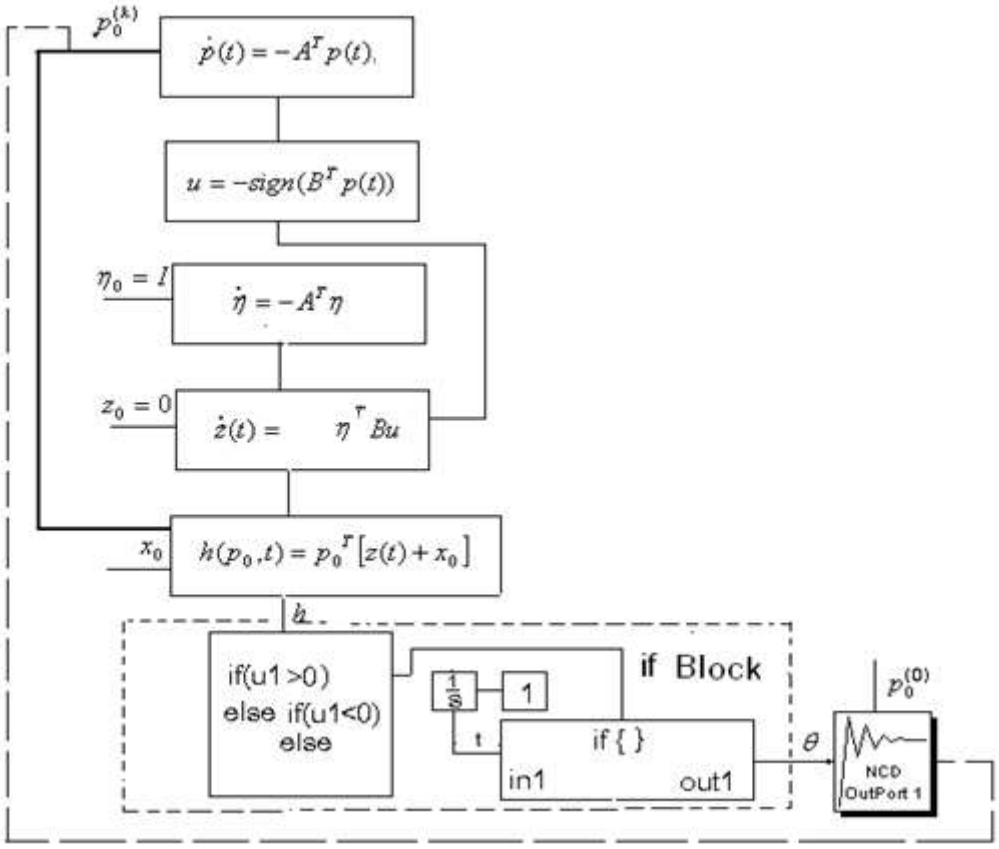


Рис.1. Функциональная структура идентификатора

В качестве примера рассмотрим идентификацию p_0 , в оптимальной по быстродействию задаче управления двойным интегратором: $\dot{x}_1 = x_2, \dot{x}_2 = u, y = x_1$.

Здесь n =2,

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}, -A^T = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ -1 & 0 \end{pmatrix},$$

u=-sign[p_2(t)] .

На рис.2 показаны динамические характеристики идентификатора для $x_0 = (1,1)^T$, $p_0^{(0)} = (1,1)^T$, соответствующие последней итерации.

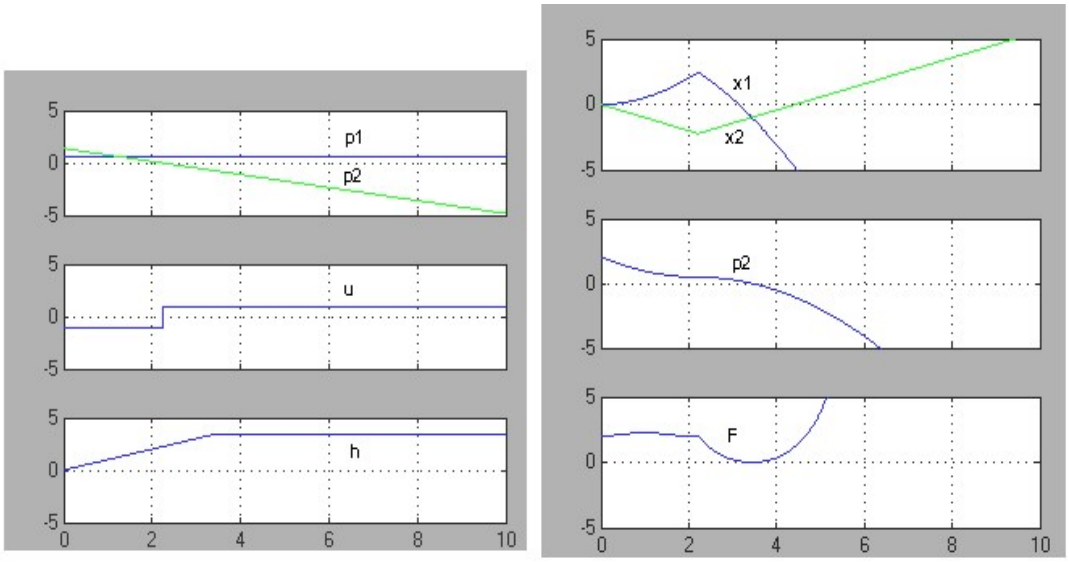


Рис.2. Динамические характеристики идентификатора

Для ряда начальных значений x_0, получены следующие значения p_0:

$$X_0 = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ -1 & -1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \Rightarrow P_0 = \begin{pmatrix} 1.3704, & 0.6159 \\ -1.3704, & -0.6159 \\ 1.0000, & 1.0000 \\ 1.2657, & 0.74146 \end{pmatrix}$$

На рис.3 показана конфигурация допустимой области Ω, реализованной в NCD – Blockset для $x_0 = (1,1)^T$, $p_0^{(0)} = (1,1)^T$.

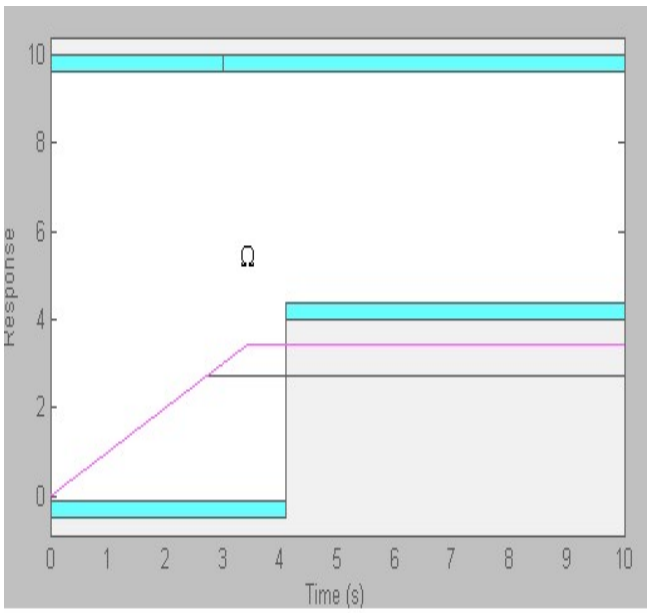


Рис.3. Конфигурация допустимой области Ω.

В задаче стабилизации $y(T_{\min}) = g$ значение $p_0 = (p_{10}, p_{20})^T$ определяется для $x_0 = (g,0)^T$. Кроме того, для установления системы в начале координат необходимо обеспечивать управление стабилизирующим значением $u = 0$. Это достигается в области $F(t) \le \delta$, где $\delta = 0.01$ малая величина.

На рис.4 представлена схема симуляции системы управления двойным интегратором.

На рис.5 показаны переходные характеристики системы при $g = 1(t)$, $x_0 = (1.0)^T$, $p_0 = (1.1)^T$.

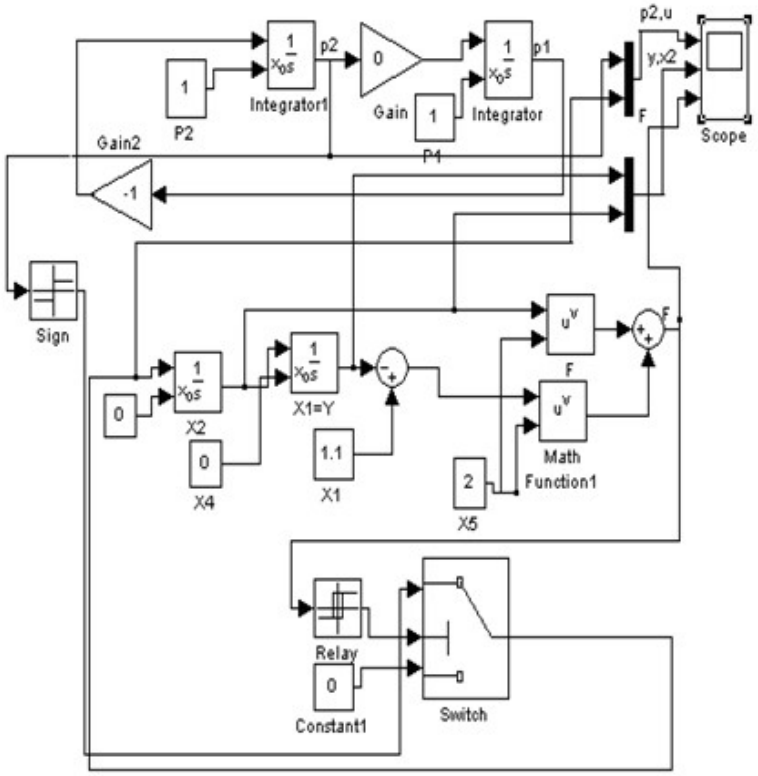


Рис.4. Схема симуляции системы управления двойным интегратором

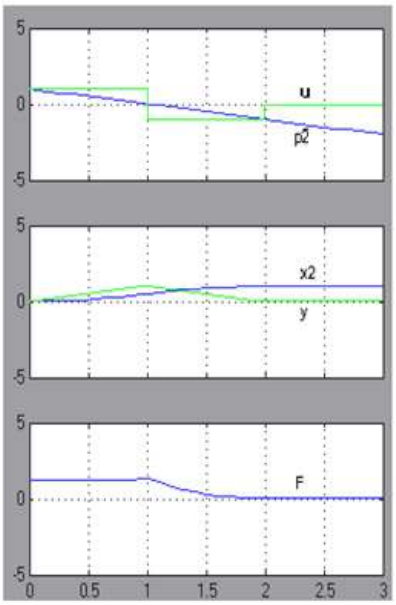


Рис.5. Переходные характеристики системы при $g = 1(t)$, $x_0 = (1.0)^T$, $p_0 = (1.1)^T$.

Вывод. Таким образом, математическая модель, составленная в аспекте параметрической оптимизации с использованием принципа идентификации в рамках инструментального пакета Nonlinear Control Design Blockset (NCD – Blockset) в составе Matlab, позволяет повысить качество функционирования подводных роботов за счёт обеспечения оптимальности по быстродействию в подсистемах позиционного управления соответствующими приводами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. Москва: Наука, 1969.
2. Болтянский В.Г. Математические методы оптимального управления. Москва, Наука, 1969, с.139-156.
3. Гноенский Л.С., Каменский Г.А., Эльсгольц Л.Э. Математические основы теории управляемых систем. Москва: Наука, 1969, с.418-429.
4. Hoffman J. Matlab and Simuling.-Bonn: Addison-Wesley-Longman, 1998.

Farkhadov V.G., Bayramova I.P.

THE SIMULATION OF OPTIMAL FOR QUICK-SPEED SYSTEMS OF CONTROL OF UNDERWATER ROBOTS

The article is analyzed the question of improving the performance of underwater robots by providing the optimality for the speed in the subsystems of the position control of the respective drives; To solve this problem, the tool package Nonlinear Control Design Blockset (NCD -Block set) as a part of Matlab is used as a parametric optimization problem; the functional structure of the identifier is shown; The dynamic characteristics of the identifier and the transient characteristics of the system are constructed for $g = 1(t)$, $x_0 = (1.0)^T$, $p_0 = (1.1)^T$.

Thus, the mathematical model, compiled in the aspect of parametric optimization using the identification principle within the Nonlinear Control Design Blockset toolkit in Matlab, allows to improve the quality of the operation of underwater robots by ensuring optimality of the speed in the subsystems of position control by the corresponding drives.

Key words. *Electric engine, underwater robot, identifier, simulation , movement.*

Фархад В.Г., Байрамова І.П.

МОДЕЛЮВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ЗА ШВИДКОДІЄЮ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ПІДВОДНИХ РОБОТІВ

У статті розглянуто питання підвищення якості функціонування підводних роботів за рахунок забезпечення оптимальності за швидкодією в підсистемах позиційного управління відповідними приводами; для вирішення цього завдання як завдання параметричної оптимізації використаний інструментальний пакет Nonlinear Control Design Blockset (NCD - Blockset) в складі Matlab; показана функціональна структура ідентифікатора; побудовані динамічні характеристики ідентифікатора і перехідні характеристики системи при певних параметрах.

Таким чином, математична модель, складена в аспекті параметричної оптимізації з використанням принципу ідентифікації в рамках інструментального пакету Nonlinear Control Design Blockset в складі Matlab, дозволяє підвищити якість функціонування підводних роботів за рахунок забезпечення оптимальності за швидкодією в підсистемах позиційного управління відповідними приводами.

Ключові слова: електродвигун, підводний робот, ідентифікатор, моделювання, рух.

УДК 621.317 *DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.10*

Эфендиев О.З., Алекперов Ш.Ш., Аллахвердиева А.Т.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЩНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНИ И ПЛОТНОСТИ ЖИДКОСТИ МАГНИТОЛЕВИТАЦИОННЫМ УРОВНЕМЕРОМ

В настоящее время, создание усовершенствованных приборов в области контрально-измерительной технике очень актуально. Процесс проектирования и создание устройств, основанных на принципе магнитной левитации, является одним из важных вопросов. Создание новых улучшенных измерительных приборов чрезвычайно актуально. Таким образом, в судостроение наше исследование представляет собой возможностей измерения этих данных с помощью буйковым уровнемеров. В статье рассматривается измерение уровня и плотности жидкости с помощью буйковым уровнемеров основанного на принципе магнитной левитации нового типа с широким диапазона измерений, основанного на принципе магнитной левитации измерение уровни и плотности. Исходя из этого контекста в статье рассмотрены возможности измерения уровня и плотности жидкости в судовых резервуарах буйковым, магнитолевитационным уровнемером.

***Ключевые слова**. измерительный прибор, системы магнитной левитации, буйковый уровнемер, уровень жидкости, плотность жидкости.*

Введение. Основу нашей научной работы составляет и измерение уровня и плотности жидкости магнитолевитационным буйковым уровнемером в судовых резервуарах. Целью представленной работы является исследование возможности измерения уровня и плотности жидкости магнитолевитационным буйковым уровнемером в различных резервуарах. Принцип магнитной левитации обладает многими положительными особенностями. Один из них заключается в том, что левитикгющий тело, играющее роль чувствительного элемента может размещать его на различных измерительных камерах, которая позволяют исследователю локализовать фактор и исключать все остальные. Это позволяет проводить измерения в различных средах, охватываемых этим телом, таких как жидкости и газы, при различных температурах и давлениях в вакууме, воздушных и морских суднах, жидкостей, перевозимых в танкерах, топливного бака судна и.т.д.

Основная часть. В настоящее время большое значение имеет создание новых приборов в области контрольно-измерительной техники. Актуальность данной темы в том, что устранение недостатков и усовершенствование ранее созданных приборов, а также применение новых методов и последние достижения электроники дают возможность завершить выполняемые процессы быстро и точно. С другой стороны, требуется высокая надежность. Особенно жесткие требования предъявляются к приборам, которые используются в морских условиях, в том числе судовой технике.

В настоящее время большое значение имеет создание новых приборов в области контрольно-измерительной техники. Актуальность данной темы в том, что устранение недостатков и усовершенствование ранее созданных приборов, а также применение новых методов и последние достижения электроники дают возможность завершить выполняемые процессы быстро и точно. С другой стороны, требуется высокая надежность. Особенно жесткие требования предъявляются к приборам, которые используются в морских условиях, в том числе судовой технике.

В работе рассматривается комплексное решение поставленной задачи – моделирование с точки зрения физики, математические расчеты, разработка принципиальной электронной

схемы и программного обеспечения для микроконтроллера, выполняющего непосредственную визуализацию результатов при непрерывном режиме работы прибора.

Принцип работы таких приборов основан на магнитной левитации [1], т.е. уравновешивании двух сил – силы гравитации, действующей на буёк, который помешается частично или полностью в измеряемой жидкости, и силы тяги магнита со стороны электромагнита. Прибор имеет два буйка – первый шар, второй пруток. Размеры первого буйка не играют существенную роль. Для измерения плотности данной жидкости, первый буёк полностью помещается в жидкости. Для измерения заполняемой части данного объема (паровой котёл на судах, цистерна в танкерах и т.п.) жидкостью, часть второго буйка находится в жидкости, а остальная часть находится над поверхностью жидкости. Предположим, для простоты, что второй буёк представляет собой инертный металлический цилиндр. Высота второго буйка равна глубине объема, который заполняется жидкостью.

Предпочтительное свойство такого метода в том, что работающие приборы по этому принципу имеют минимальные движущие части.

Суть вышесказанного метода коротко можно описать следующим образом. Некий магнит жестко связан с первым буйком для измерения плотности жидкости или заполняемой части данного объема жидкостью. Постоянный магнит помещен в зоне постоянной тяги электромагнита. При изменении веса подвешенного тела индуктивный датчик подаёт сигнал на токорегулирующее устройство, которое изменяет величину электрического тока, проходящего через обмотку соленоида.

Рассмотрим более подробно вышеуказанные процессы. В первом этапе с помощью прибора определяется плотность жидкости. Предположим, что первый магнит жестко связан с первым буйком и сердечником обмотки, который регистрирует малое перемещение магнита (рис.1). Пусть некоторая минимальная часть объема заполнена жидкостью. В этом случае буёк имеет малые размеры (например, шар с диаметром несколько сантиметров) и находится (плавает) в жидкости. Предположим, что действующие силы приложены к магниту.

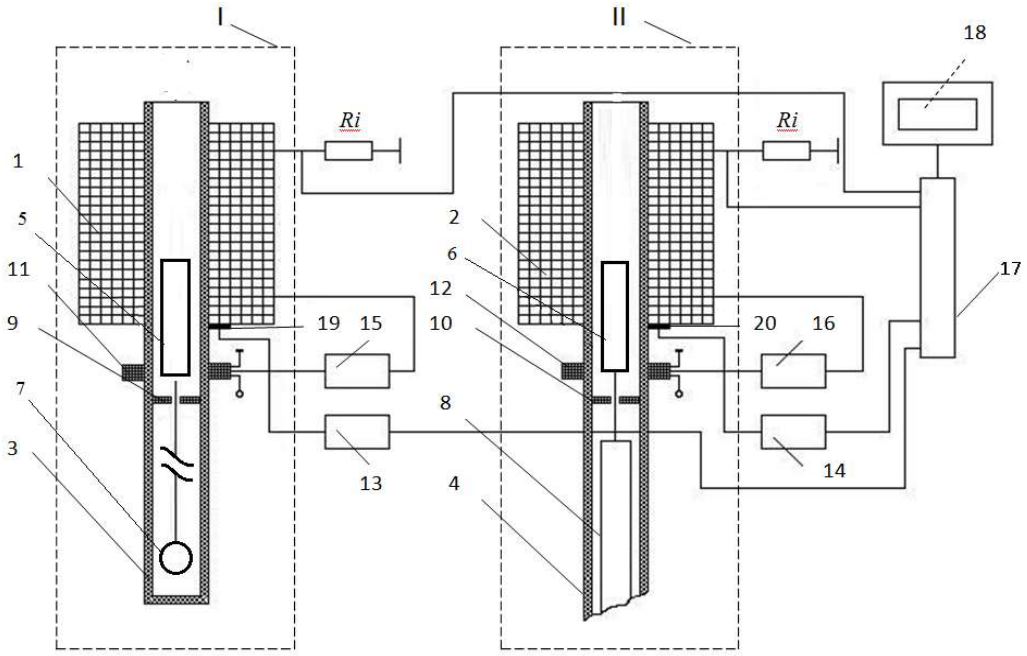


Рис. 1. Схема для устройства измерения уровни и плотности жидкости уровнемером с магнитной левитацией и буйком

Для данного случая

$$F_{\text{Т}} - F_{\text{А}} - F_{\text{Э}} = 0. \quad (1)$$

Здесь, $F_{\text{Т}}$ – сила тяжести и $F_{\text{А}}$ – сила Архимеда, действующие на буёк, $F_{\text{Э}}$ – сила электромагнита, действующая на магнит.

Учитывая, что $F_{\text{Т}} = m_{\text{б}}g = \rho_{\text{б}}gV_{\text{б}}$, $F_{\text{А}} = \rho_{\text{ж}}gV_{\text{б}}$ и $F_{\text{Э}} = K_0 \cdot I_{\text{с}}$ (здесь $m_{\text{б}}$, $\rho_{\text{б}}$, $V_{\text{б}}$ – масса, плотность и объем буйка соответственно, g – ускорение свободного падения, $\rho_{\text{ж}}$ – плотность жидкости, K_0 – некоторый коэффициент, который зависит от параметров первого электромагнита, $I_{\text{с}}$ – сила тока, который протекает через обмотку первого электромагнита) из уравнения (1) получим [1]:

$$\rho_{\text{б}}gV_{\text{б}} - \rho_{\text{ж}}gV_{\text{б}} - K_0 \cdot I_{\text{с}} = 0 \quad (2)$$

отсюда:

$$\rho_{б} - \rho_{ж} = \frac{K_0}{gV_{б}} \cdot I_{c} \quad (3)$$

И так

$$\rho_{б} - \rho_{ж} = \frac{A}{R_a} U_x \quad (4)$$

Здесь,

$$A = \frac{K_0}{gV_{б}} \cdot I_{c} \cdot R_a ,$$

где R_a – некоторое сопротивление, который соединен последовательно обмоткой электромагнита; U_x – падение напряжения на сопротивлении R_a, который соответствует току протекающему через обмотку электромагнита.

При отсутствии жидкости не действует сила Архимеда, и буёк висит в воздухе. В этом случае из выражении (4):

$$\rho_{б} = \frac{A}{R_a} U_m; \qquad \rho_{ж} = 0 . \quad (5)$$

Здесь, U_m – максимальное значение падения напряжения на резисторе R, который соответствует току, протекающему через обмотку электромагнита, в случае отсутствия жидкости.

При наличии жидкости действует сила Архимеда, и буёк плавает в (внутри) жидкости. В этом случае из выражении (4):

$$\rho_{б} - \rho_{ж} = \frac{A}{R_a} U; \qquad \rho_{ж} \neq 0 . \quad (6)$$

Здесь, U – некоторое значение падения напряжения на резисторе R_a, который соответствует току, протекающему через обмотку электромагнита в случае наличия жидкости.

Из выражении (5) и (6) получается

$$\frac{\rho_{б}}{U_m} = \frac{\rho_{б} - \rho_{ж}}{U} \quad . \quad (7)$$

Отсюда

$$\rho_{ж} = \rho_{б} - \frac{\rho_{б}}{U_m} \cdot U \,. \tag{8}$$

Зная значения $\rho_б$, U_m, U – с помощью выражения (8) можно определить $\rho_ж$ – плотность жидкости.

После определения $\rho_ж$ – плотности жидкости, с помощью второго буйка можно определить уровень заполненной части объема жидкостью.

В этом случае, учитывая, что $F_Т = m_б g = \rho_б g V_б$, $F_А = \rho_ж g V'_б$ и $F_Э = K'_0 \cdot I_c$ (здесь $m_б$, $\rho_б$, $V_б$ – масса, плотность и полный объем буйка соответственно, g – ускорение свободного падения, $\rho_ж$ – плотность жидкости, $V'_б$ – объем буйка который находится в жидкости, K'_0 – некоторый коэффициент, который зависит от параметров второго электромагнита, I'_c – сила тока, который протекает через обмотку второго электромагнита) из уравнения (1) получим [1]

$$\rho_{б} g V_{б} - \rho_{ж} g V'_{б} - K'_0 \cdot I'_c = 0 \,. \tag{9}$$

Проводя такие же преобразования, как в первом случае, получим:

$$\rho_{б} V_{б} - \rho_{ж} V'_{б} = \frac{K'_0 \cdot I'_c}{g};$$

$$\rho_{б} V_{б} - \rho_{ж} V'_{б} = \frac{B}{R_b} U'_x \,.$$

Здесь, $B = \frac{K'_0 \cdot I'_c}{g} \cdot R_b$ (R_b – некоторое сопротивление, которое соединено последовательно обмоткой электромагнита), U'_x – падение напряжения на сопротивлении R_b, которое соответствует току, протекающему через обмотку электромагнита

$$\rho_{б} V_{б} = \frac{B}{R_b} U'_m; \qquad V'_{б} = 0 \,.$$

Здесь, U'_m – максимальное значение падения напряжения на резисторе R_b, которое соответствует току, протекающему через обмотку электромагнита, в случае отсутствия жидкости, заполняющей объем

$$\rho_{б} V_{б} - \rho_{ж} V'_{б} = \frac{B}{R_b} U'; \qquad V'_{б} \neq 0 \,.$$

Здесь, U' – некоторое значение падения напряжения на резисторе R_b, которое соответствует току, протекающему через обмотку электромагнита, в случае заполнения жидкостью некоторой части объема

$$\frac{\rho_{б} V_{б}}{U'_m} = \frac{\rho_{б} V_{б} - \rho_{ж} V'_{б}}{U'}$$

$$\frac{U'}{U'_m} = 1 - \frac{\rho_{ж} V'_{б}}{\rho_{б} V_{б}}$$

В этом выражении, считая форму буйка цилиндрической, можно перейти к высоте буйка h, погруженной в жидкость, которая соответствует $V'_б$, и H, полной высоте буйка, которая

соответствует $V_б$. Полная высота H также соответствует высоте объема.

$$\frac{U'}{U'_m} = 1 - \frac{\rho_{ж}}{\rho_б} \cdot \frac{h}{H};$$

$$\theta = \frac{h}{H} = \frac{\rho_б}{\rho_{ж}} \cdot \left(1 - \frac{U'}{U'_m}\right). \qquad (10)$$

Выражение (10) показывает отношение высоты заполненной части к полной высоте заполняемого объема. Надо отметить, что выражение (10) справедливо для тех случаев, в которых горизонтальные сечения заполняемого объема не зависят от высоты заполнения.

Зная $\rho_б$, $\rho_ж$, U'_m, U' – с помощью выражения (10) можно определить $\theta = \frac{h}{H}$ отношение высоты заполненной части к полной высоте заполняемого объема.

В настоящее время развития цифровой электроники позволяет осуществить визуализацию результатов вычисления формулы (8) и (10). В выражениях (8) и (10) имеется зависимость от падения напряжений U_m, U и U'_m, U' соответственно. Как сказано выше, U_m и U'_m есть максимальные значения падения напряжений на резисторах R_a и R_b.

Визуализацию результатов можно осуществить с помощью дисплея и микроконтроллера. Известно, что микроконтроллеры имеют рабочее напряжение – напряжение питание. Для измерения (сравнения) сигнала микроконтроллеры еще имеют опорное напряжение. В частности, напряжение питания берется как опорное напряжение, и сигнальное напряжение сравнивается с этим напряжением. Выбирая R_a и R_b можно получить максимальное значение падения напряжений U_m и U'_m, которое равно опорному напряжению. Обычно, это осуществляется с помощью переменного резистора, т.к. переменный резистор (крайние выводы) параллельно подключается на резистор R_a или R_b. От среднего вывода переменного резистора берется сигнальное напряжение. При максимальном значении тока, протекающего через резистор R_a или R_b переменный резистор подстраивается так, что на среднем выводе переменного резистора получилось значение сигнального напряжения равного опорному напряжению.

Для проверки достоверности результатов вычислений и стимуляции разработанной нами схемы (формулы (8) и (10)) с помощью программы «Proteus 7 Professional» собрана принципиальная электрическая схема, использующая 2 переменных резистора для получения сигнала от 0 до 5 В, который соответствует протекающему току через электромагниты, микроконтроллер ATMEGA8 для преобразования полученных сигналов на измеряемые величины с помощью составленной нами программы и жидкокристаллического дисплея LM016 для отображения полученных результатов.

В принципиальной электрической схеме (рис.1) RV1 и RV2 переменные резисторы служат для получения напряжения от 0 до 5В, которое соответствует протекающему току через электромагниты. Полученные сигналы, которые соответствуют плотности жидкости и заполненной части объема подаются к выводам PC0 и PC1 (0 и 1 выводам порта C) микроконтроллера ATMEGA8. Кнопка, резистор R2 и вывод PC6 используются для перезапуска (команда RESET) микроконтроллера ATMEGA8. Порт B (выводы PB0, PB1, PB2, PB4, PB5, PB6, PB7) используется для жидкокристаллического дисплея LM016 для отображения полученных результатов.

В микроконтроллере ATMEGA8 с помощью составленной программы производятся определенные операции (периодическая регистрация значений напряжения выводах PC0 и PC1, вычисления по формулам (8) и (10) $\rho_ж$ – плотность жидкости и θ – заполненной части объема данной жидкостью, вывод полученных результатов на дисплей). Вся операция происходит циклически и в секунду может выполняться несколько тысяч циклов, зависимо от

выбранной тактовой частоты микроконтроллера ATMEGA8. Тактовая частота и остальные параметры микроконтроллера ATMEGA8 определялась с помощью программного обеспечения «CodeVisionAVR».

Для функционирования принципиальной электрической схемы нами составлена программа для микроконтроллера с помощью программы «CodeVisionAVR».

В составленную программу вводятся: постоянные (плотность материала и высота буйка), переменные (величина сигналов на выводах PC0 и PC1), название дисплея, настройка и назначения выводов и формулы для вычисления. Данные (сигналы, или переменные) поступают с выводами PC0 и PC1 и полученные значения используются для вычислений. В первую очередь вычисляется плотность жидкости. На втором этапе, используя полученные значения плотности жидкости, вычисляется заполненная часть объема данной жидкостью в процентах.

В составленную программу введены формулы (8) и (10) для вычисления $\rho_ж$ – плотность жидкости (таблица, строка 69) и θ – заполненной части (таблица, строка 76) объема данной жидкостью. Из за отсутствие символов $\rho_ж$ и θ , в составленной программе произведены замены $\rho_ж$ на D и θ на H, которые отображаются на дисплее.

Составленная программа с помощью программатора записывается на память микроконтроллера ATMEGA8.

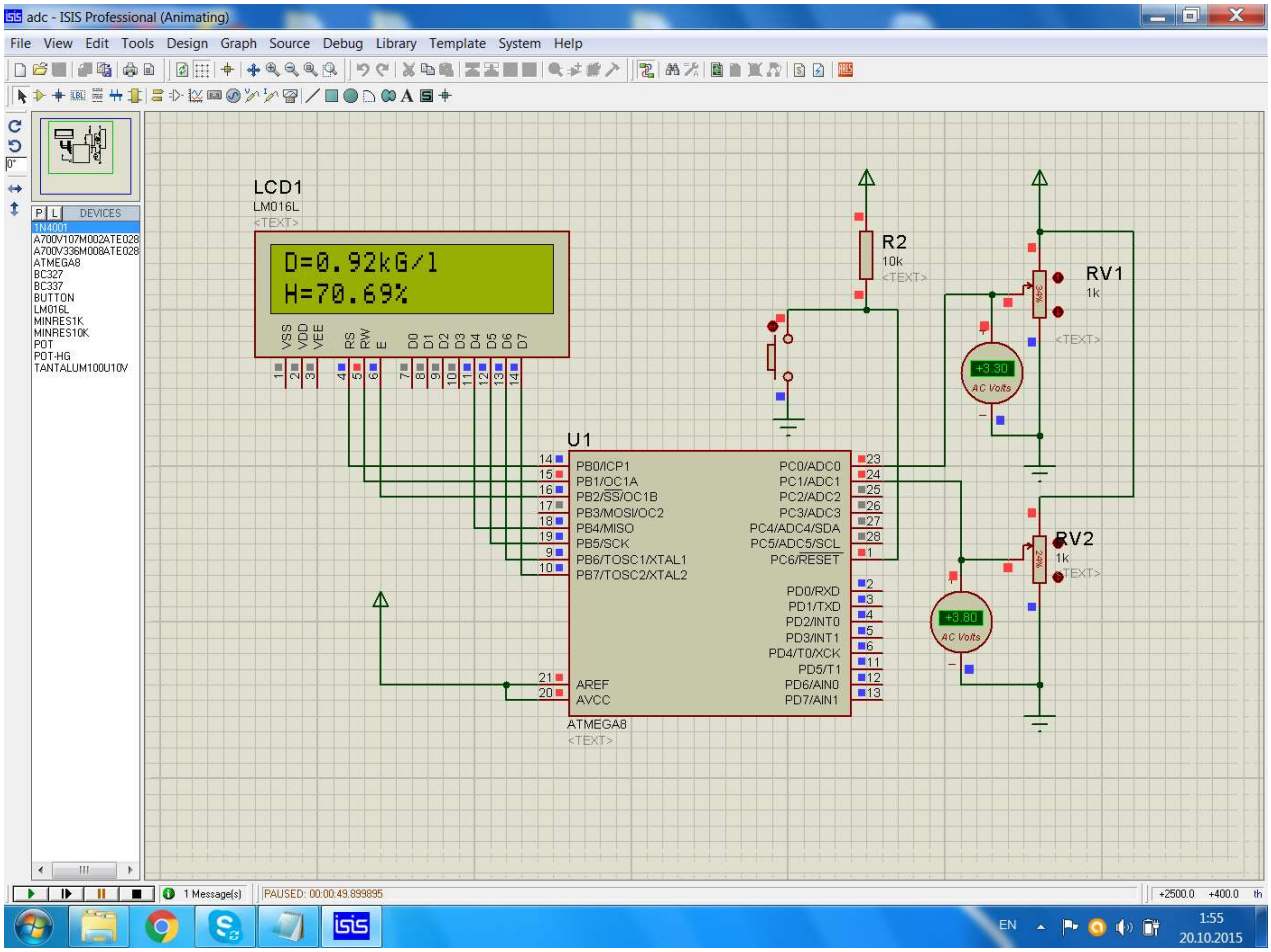


Рис.2. Принципиальная электрическая схема для устройства измерения уровни и плотности жидкости

Вывод. С помощью формул делал необходимый преобразования над аналоговыми сигнальными напряжениями, поступающими во входы микроконтроллера порт PC0 и порт

PC1 с большой точностью в непрерывным режиме определяется плотность и оббьем уровня заполнения процентных ставок. Для проверки точности результатов расчета база собрана принципиальная электрическая схема с использованием формул, программы «Proteus 7 Professional» переменных резисторов, микроконтроллеров и жидкокристаллического дисплея. Для работы принципиальной электрической схемы для микроконтроллеров была разработана программа «Code Vision AVR».

ЛИТЕРАТУРА

1. А.М. Пашаев, О.З. Эфендиев. Теория и практика магнитной левитации в приборостроении. М., Изд. «Машиностроение», 2009, 335 с.
2. Радио – ежегодник, 2013, выпуск 24, Тематический обзор печати и Интернет –ресурсов, Proteus по-русски. 443 с.
3. Евстифеев, А.В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы ATMEL. М.: издательский дом «ДОДЭКА-XXI», 2004.
4. Евстифеев, А.В. Микроконтроллеры AVR семейства Mega: руководство пользователя. М.: издательский дом «ДОДЭКА-XXI», 2007.

Afandiyev O.Z., Alakbarov Sh., Sh., Allahverdieva A.T.

THE INVESTIGATION OF THE POSSIBILITY OF MEASURING FLUID LEVELS AND DENSITY WITH A MAGNITOLEVITATIONAL LEVEL

Creating improved devices in the field of control measuring technigue nowadays are very actual and impotant. The process of designing and designing devices based on magnetic levitation principle is one of the impotent. The creation of new improved measuring devices is extremely urgent. Thus the object of, our research is the study of possibilities of measuring the level and density of the liquid in magnetic levitation by measuring the magnitude of the fluid level. By referring to this context, the article deals with the measurement of the level and density of the liquid with the high-precision and precision magnetic levitation device based on the magnetic levitation principle of a new type of large-scale measuring range based on magnetic levitation principle. As a result of it the context of measuring the level and denisty of liquid in the ship reservoires by magnit levitation and buoy level gauge are consudered in the article.

Key words. *measurement devices, system magnetic levitation, buoy level gauge, fluid level, density of the liquid*

Ефендієв О.З., Алекперов Ш.Ш., Аллахвердіева А.Т.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВОЗМОЩНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ РІВНІ І ЩІЛЬНОСТІ ЖИДКОСТИ МАГНІТОЛЕВІТАЦІОННИМ РІВНЕМІРОМ

В даний час, створення удосконалених приладів в області контрально-вимірювальної техніки дуже актуально. Процес проектування та створення пристроїв, заснованих на принципі магнітної левітації, є одним з важливих питань. Створення нових поліпшених вимірювальних приладів надзвичайно актуально. Таким чином, в суднобудування наше дослідження є можливостей вимірювання цих даних за допомогою буйкових рівнемірів. У статті розглядається вимір рівня і щільності рідини за допомогою буйкових рівнемірів заснованого на принципі магнітної левітації нового типу з широким діапазону вимірювань, заснованого на принципі магнітної левітації вимір рівні і щільності. Виходячи з цього контексту в статті розглянуті можливості вимірювання рівня і щільності рідини в суднових резервуарах буйкових, магнітолевітаціонним рівнеміром.

Ключові слова: *вимірювальний прилад, системи магнітної левітації, буйковий рівнемір, рівень рідини, щільність рідини.*

УДК 62.83.52 *DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.011*

Султанов Э.Ф., Абдуллаев А.Н.

ТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ЧАСТОТНО-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ СУДОВЫХ БУКСИРНЫХ ЛЕБЁДОК

В статье проведен анализ основных преимуществ асинхронного привода частотного управления по сравнению с трёхскоростным асинхронным приводом судовой буксирной лебёдки.

Также в статье утверждается, что буксирная лебёдка управляемая частотным преобразователем имеет следующие преимущества: полное обеспечение предела и плавности регулирования скорости необходимой буксирной лебёдке; возможность автоматического управления устройства; надёжность; легкость эксплуатации.

Ключевые слова: *судно, асинхронный двигатель, буксирная лебедка, преобразователь частоты, управление.*

Введение. Как известно после перехода на переменный ток судовых электростанций, на современных судах палубные механизмы, в том числе буксирные лебедки были оснащены адаптированными к морским условиям 2÷3 скоростными асинхронными двигателями типа МАП. На буксирных судах, проводящих буксировку в открытом море, а также на спасательных и ледокольных судах для автоматизации буксирных лебёдок устанавливают дополнительные элементы. Первым из этих элементов является элемент, который измеряет тяговое усилие троса, который делится по конструкции на два вида:

1. Измерительное устройство с планетарной передачей;
2. Измерительный элемент, расположенный непосредственно на барабане с тросом.

Измерительный прибор, расположенный на барабане из-за особенности конструкции и сложности эксплуатации на судах используется редко. Элемент с планетарной передачей в автоматическом режиме работы в зависимости от тягового усилия не обеспечивает плавного регулирования скорости вращения двигателя. Работа такого датчика состоит только из пуска двигателя в определенном направлении [1, 2].

Основная часть. 2-ой элемент автоматической системы буксирной лебёдки – это устройство, которое передаёт значение измеренного усилия в цепь управления двигателя и способствует его автоматическому пуску. Обычно такие устройства называются датчиками системы автоматического управления.

Центральным элементом системы, измеряющая тяговое усилие является планетарная передача, установленная на редукторе, находящемся между двигателем и барабаном. Для изучения работы этих элементов, рассмотрим кинематическую схему автоматизированной буксирной лебёдки с планетарной передачей (рис. 1).

Основное зубчатое колесо (1) редуктора приводится в движение исполнительным (ИД) трёхскоростным асинхронным двигателем типа МАП. Вращающееся планетарное зубчатое колесо (4), передаёт вращение барабану с помощью прикрепленных к нему сателлитов. При заторможенном двигателе, тяговое усилие, действующее на барабан, поворачивает его на определенный угол. Этот угол поворота передаётся к прикреплённому к оси барабана зубчатому колесу и с помощью сателлитов на лицевой тормозной зубчатый кожух (2). Поворот этого кожуха на определённый угол изменяет натяжение или же сжатие пружины измерительного устройства (6). В статическом состоянии устройства, то есть при равенстве

тягового усилия троса заданному значению, сила тяги пружины создаёт равенство с тяговым усилием барабана. При изменении тягового усилия на барабане (например при увеличении) также изменяется состояние тормозного кожуха. Поворот тормозного кожуха является причиной растяжения пружины (6) измерительного устройства.

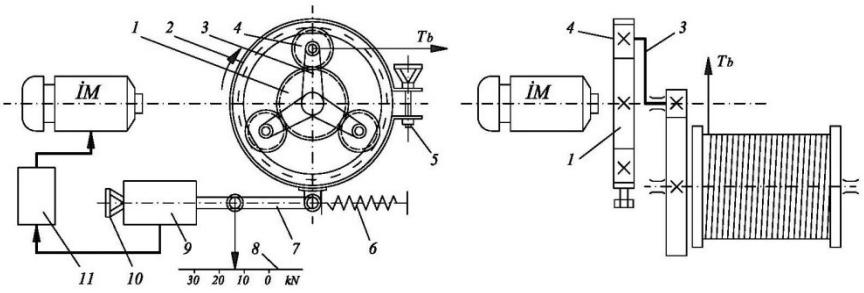


Рис.1. Кинематическая схема автоматизированной буксирной лебёдки с измерительным устройством с планетарной передачей

Растяжение пружины (6) передаётся на показатель (8) и на контактный механический датчик (9) с помощью оси (7). С помощью маховика (10) задаётся постоянное значение тягового усилия. На датчике (9) расположены контакты, управляющие магнитной станцией (11) двигателя. При отклонении значения тягового усилия на барабане от заданного, разность тяговых усилий при этом воздействует на ось (7), которая перемещаясь закрывает определённые контакты датчика (9), этим самым получают питание катушки управления линейного контактора и одного из контакторов направления (травить и выбирать), расположенных в магнитной станции (11). Таким образом от воздействия датчика двигатель запускается в нужном направлении и тяговое усилие в тросе возвращаясь в первоначальное значение открывает закрытые контакты датчика, ток в обмотках закрытых контакторов прекращается, что приводит к остановке двигателя.

В настоящее время используемый в буксирной лебёдке трёхскоростной АД с короткозамкнутым ротором и его система управления имеет ряд недостатков. Среди них (можно показать) ступенчатое регулирование скорости, осуществление управления с помощью контакторов, большие массогабаритные показатели двигателя (так как на статоре расположены три трёхфазные обмотки) и самое главное, неспособность полного обеспечения регулировочной характеристики двигателя буксирной лебёдки. Для устранения этих недостатков разработана нижеприведённая автоматическая система.

В предложенной новой автоматической системе контактный датчик (9) был заменён дифференциальным трансформаторным датчиком, а контакторы магнитной станции заменили полупроводниковым частотным преобразователем (11) со звеном постоянного тока.

На рисунке 2 показана кинематическая схема такой автоматизированной буксирной лебёдки [1].

В кинематической схеме, показанной на рис 2. измерение тягового усилия на барабане как и на рис.1. оосуществляется с помощью устройства с планетарной передачей. Только здесь прямолинейное движение оси (7) механически связанной с пружиной (6) и тормозным кожухом (2) передается не на механический контактный датчик, а на сердечник датчика дифференциального трансформатора. То есть, когда фактическое тяговое усилие в барабане отличается от заданного значения, то под действием разницы этих сил ось (7) приводит в движение сердечник датчика дифференциального трансформатора (9) и на выходной обмотке трансформатора наводится ЭДС. Под действием ЭДС на частотный преобразователь с

широтно-импульсной модуляцией (11) электрический двигатель запускается в нужном направлении

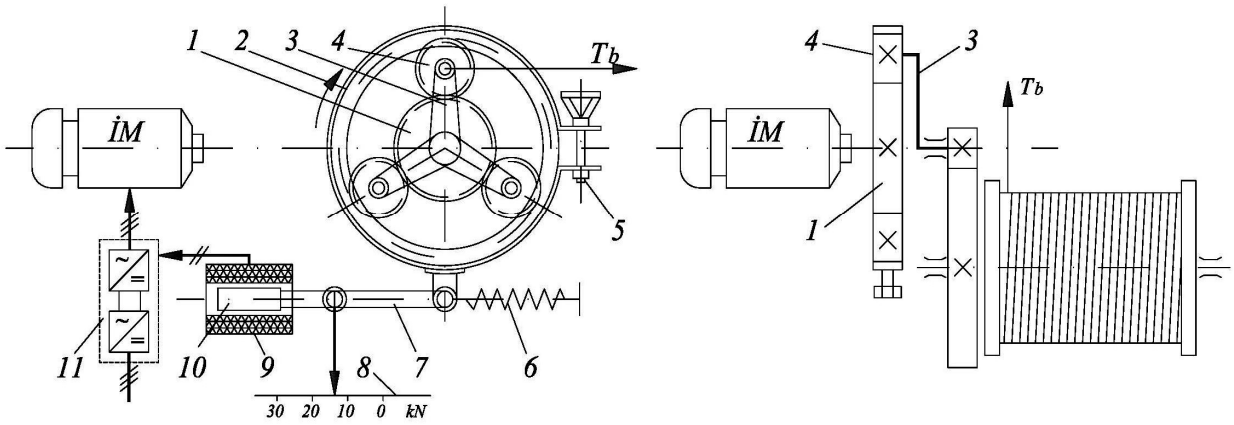


Рис.2. Кинематическая схема буксирной лебёдки,
управляемый с помощью частотного преобразователя

Датчик дифференциального трансформатора – это устройство, преобразующее прямолинейное движение в электрическое напряжение. Он состоит из двух двухсекционных обмоток (рис.3). Магнитная связь между первичной и вторичной обмотками может изменяться в зависимости от движения сердечника.

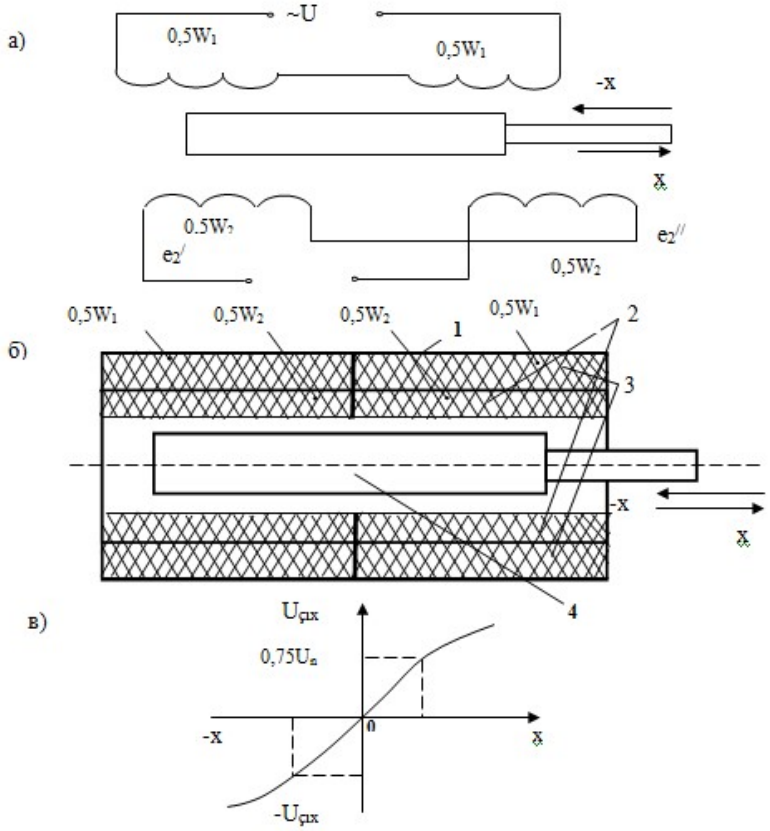


Рис. 3. Дифференциально-трансформаторный датчик:
(а) – схема соединения обмоток, (б) – конструктивная схема,
(в) – статическая характеристика

Если сердечник расположен относительно обмоток симметрично, то возникающие на вторичных обмотках равные друг другу, но противоположные по направлению ЭДС e_1 и e_2, то выходное напряжение на вторичной обмотке $U_{вых} = 0$. Если перемешать сердечник в определенном направлении, то наводящиеся на обмотках ЭДС e_1 и e_2 не будут равны друг другу и на выходе вторичной обмотки напряжение будет равна разнице этих ЭДС.

Направление этого напряжения будет зависеть от направления, а значение от расстояния перемещения сердечника. Проведём сравнение регулировочных характеристик буксирной лебёдки с односкоростным асинхронным двигателем с частотным преобразователем с действующим трёхскоростным асинхронным двигателем буксирной лебёдки. Следует отметить, что в обоих вариантах применяют специально разработанный для палубных механизмов и имеющий большой пусковой момент, асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором типа МАП.

Односкоростной асинхронный двигатель (однообмоточный статор) буксирной лебёдки с частотным управлением [3]. Тип двигателя: МАП 521-4. Мощность: $P_н$=34 kВт. Номинальная скорость вращения: $n_н$=1445 об/мин.

Перегрузочная способность:

$$\frac{M_{\max}}{M_н} = 2{,}5, \qquad (\lambda = 2{,}5);$$

$$M_н = 9.81\frac{P_н \cdot 975}{n_н} = 9{,}81\frac{34 \cdot 975}{1445} = 225 \text{ Нм};$$

$$M_{\max} = 2.5 \cdot 225 = 562 \text{ Нм}.$$

Номинальное скольжение:

$$S_н = \frac{n_0 - n_н}{n_0} = \frac{1500 - 1445}{1500} = 0{,}036.$$

Критическое скольжение:

$$S_{кр} = S_н(\lambda \pm \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0{,}036(2{,}5 \pm \sqrt{2{,}5^2 - 1}) = 0{,}17.$$

Естественная характеристика двигателя M=f(S) с помощью формулы Клосса будет

$$M = \frac{2M_{\max}}{\frac{s}{s_{kp}} + \frac{s_{kp}}{s}}. \qquad (1)$$

А механическая характеристика

$$n = n_0(1 - s) \qquad (2)$$

В формулах (1-2) изменяя значение “S”-я от 0 до 1 определяем соответствующие значения M и n.

1. s=0; M=0; $n=n_0$=1500 об/мин.

2. s=0,02; $M = \dfrac{2M_{\max}}{\dfrac{s}{s_{kp}} + \dfrac{s_{kp}}{s}} = \dfrac{2 \cdot 562}{\dfrac{0{,}02}{0{,}17} + \dfrac{0{,}17}{0{,}02}} = 130$ Нм.

$n = n_0(1-s) = 1500(1-0{,}02) = 1470$ об/мин.

В таблице 1 приведены результаты вычислений.

Таблица 1

S	0	0,02	0,036	0,1	0,17	0,2	0,3	1
M, Нм	0	130	225	491	562	550	487	450
n, об/мин	1500	1470	1445	1350	1245	1200	900	0

Так как статический момент сопротивления буксирной лебёдки в основном считается постоянным в зависимости от водоизмещения буксируемого судна, то для поддержания постоянства перегрузочной способности двигателя в регулировочных характеристиках при изменении частоты должно выполняться условие $\dfrac{U}{f_1} = const$.

Механическая характеристика двигателя, построенная по данным таблицы 1 и регулировочная характеристика, полученная с помощью частотного преобразователя показаны на рис.4.

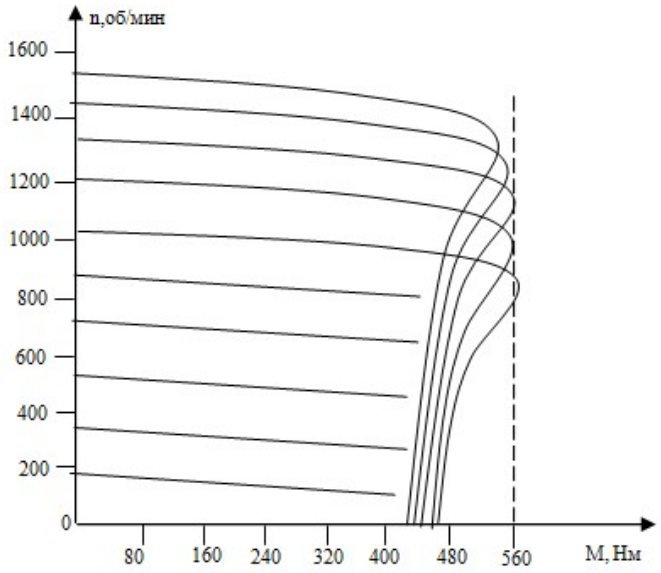


Рис. 4. Регулировочная характеристика, полученная изменением частоты односкоростного асинхронного двигателя типа МАП

Как видно из рис.4, полученные с помощью частотного преобразователя регулировочные характеристики полностью обеспечивают необходимый двигателю предел и плавность регулирования.

Следует отметить, что при таком регулировании двигатель необходимый для буксирной лебёдки полностью сохраняет постоянной перегрузочную способность $\lambda = 2{,}5$ при всех значениях (вниз от номинальной) скорости вращения.

Надёжность односкоростного привода. Из-за отсутствия контактной системы в силовой и управляющей цепях двигателя, надёжность электропривода повышается, а эксплуатация упрощается. Масса односкоростного асинхронного двигателя: Q_2=392 кг

Трёхфазный асинхронный двигатель нынешней буксирной лебёдки. Тип двигателя: МАП 622-4/8/16. Мощность: $P_н$=28, 36, 10 кВт. Номинальные скорости вращения: $n_н$=1445/670/315 об/мин.

Перегрузочная способность $\lambda_1 = \dfrac{M_{\max 1}}{M_{H1}} = 2{,}1$; $\lambda_2 = \dfrac{M_{\max 2}}{M_{H2}} = 2{,}5$; $\lambda_3 = \dfrac{M_{\max 3}}{M_{H3}} = 2{,}4$.

Двигатель запускается в помощью первой обмотки (2p=16) и работает на низкой скорости. Вторая обмотка (2p=8)–это обмотка самая мощная, способная создавать высокий вращающий момент. С помощью этой обмотки двигатель под нагрузкой выбирает или травит трос [3].

Третья обмотка (2p=4) считается высокоскоростной обмоткой, с помощью которой свободный трос наматывается на барабан.

Определим параметры отдельных обмоток:

$$M_{1H} = 9.81\frac{975 \cdot P_{1H}}{n_{1H}} = 9{,}81\frac{975 \cdot 10}{315} = 303{,}6 \quad \text{Нм};$$

$$M_{2H} = 9.81\frac{975 \cdot P_{2H}}{n_{2H}} = 9{,}81\frac{975 \cdot 36}{670} = 514 \quad \text{Нм};$$

$$M_{3H} = 9.81\frac{975 \cdot P_{3H}}{n_{3H}} = 9{,}81\frac{975 \cdot 28}{1445} = 185 \quad \text{Нм}.$$

Номинальное скольжение: $S_{1H} = \dfrac{n_{01} - n_{H1}}{n_{01}} = \dfrac{375 - 315}{375} = 0{,}16$;

$$S_{2H} = \frac{n_{02} - n_{H2}}{n_{02}} = \frac{750 - 670}{750} = 0{,}106.$$

Найдём соответственно критические скольжения для обмоток:

$$S_{3H} = \frac{n_{03} - n_{H3}}{n_{03}} = \frac{1500 - 1445}{1500} = 0{,}036;$$

$$S_{1kp} = S_{1H}(\lambda_1 \pm \sqrt{\lambda_1^{\,2} - 1}) = 0{,}16(2{,}1 \pm \sqrt{2{,}1^2 - 1}) = 0{,}63;$$

$$S_{2kp} = S_{2H}(\lambda_2 \pm \sqrt{\lambda_2^{\,2} - 1}) = 0{,}106(2{,}5 \pm \sqrt{2{,}5^2 - 1}) = 0{,}47;$$

$$S_{3kp} = S_{3H}(\lambda_3 \pm \sqrt{\lambda_3^{\,2} - 1}) = 0{,}036(2{,}4 \pm \sqrt{2{,}4^2 - 1}) = 0{,}165.$$

Максимальные моменты созданные обмотками:

$$M_{1\max} = \lambda_1 \cdot M_{1H} = 2{,}1 \cdot 303{,}6 = 637{,}6 \quad \text{Нм};$$

$$M_{2\max} = \lambda_2 \cdot M_{2H} = 2{,}5 \cdot 514 = 1285 \quad \text{Нм};$$

$$M_{3\max} = \lambda_3 \cdot M_{3H} = 2{,}4 \cdot 185 = 444 \quad \text{Нм.}$$

Для трёскоростного двигателя, как и для сопоставимого односкоростного асинхронного двигателя используя формулу Клосса строим механическую характеристику для отдельных обмоток двигателя:

$$M_1 = \frac{2M_{1\max}}{\frac{s_1}{s_{1kp}} + \frac{s_{1kp}}{s_1}} = \frac{2 \cdot 637{,}6}{\frac{s_1}{0{,}63} + \frac{0{,}63}{s_1}}; \tag{3}$$

$$M_2 = \frac{2M_{2\max}}{\frac{s_2}{s_{2kp}} + \frac{s_{2kp}}{s_2}} = \frac{2 \cdot 1285}{\frac{s_2}{0{,}47} + \frac{0{,}47}{s_2}}; \tag{4}$$

$$M_3 = \frac{2M_{3\max}}{\frac{s_3}{s_{3kp}} + \frac{s_{3kp}}{s_3}} = \frac{2 \cdot 444}{\frac{s_3}{0{,}165} + \frac{0{,}165}{s_3}}; \tag{5}$$

$$n = n_0(1 - s). \tag{6}$$

Результаты расчёта по формулам (3–6) указаны в таблицах 2–4.

Таблица 2

S_1	0	0,16	0,4	0,63	0,7	1
M_1, Нм	0	303,6	575	637	616	541
n_1, об/мин	375	315	225	139	112	0

Таблица 3

S_2	0	0,2	0,4	0,47	0,6	0,7	1
M_2, Нм	0	928	1272	1285	1247	1189	1092
n_2, об/мин	750	600	450	397	300	225	0

Таблица 4

S_3	0	0,036	0,1	0,165	0,4	0,5	1
M_3, Нм	0	185	395	444	314	270	266
n_3, об/мин	1500	1445	1350	1252	900	750	0

На рис.5 показаны механические характеристики, полученные на основе данных таблиц 2–4.

В силовой цепи трехскоростного двигателя имеются трёхфазные контакторы трёх отдельных обмоток, и две трёхфазные контакторы направления. Из них цепь управления электропривода имеет много контактов рассчитанных на малый ток (до 2А). Всё это уменьшает надёжность и затрудняет эксплуатацию устройства. Масса трёхскоростного асинхронного двигателя Q_1=710 кг.

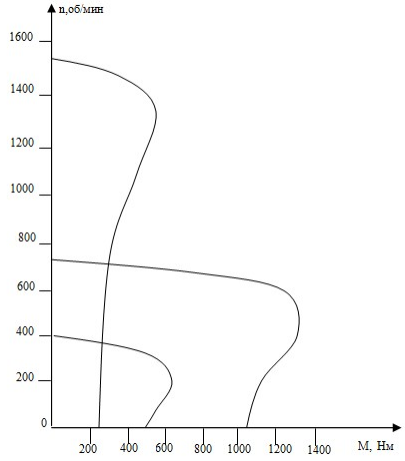


Рис. 5. Механическая регулировочная
характеристика трёхскоростного АД типа МАП

Вывод. Из проведённых сравнений ясно видно, что буксирная лебёдка управляемая частотным преобразователем имеет много преимуществ, основными из которых являются: полное обеспечение предела и плавности регулирования скорости необходимой буксирной лебёдке; возможность автоматического управления устройства; надёжность; легкость эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бабаев А.М., Ягодкин В.А. Автоматизированные судовые электроприводы, М., Транспорт, 1986. - 448 ст.
2. Мехтиев Г.А., Гасанов З.А., Шабанов Т.Г. Автоматизированные судовые электроприводы. Баку, Изд. «Нурлан», 2005 год, стр.358. (на азербайджанском языке).
3. Судовые электроприводы. Справочник. Л. Судостроение, 1983, Т.II-384 ст.

Sultanov E.F., Abdullaev A.N.

THE TECHNICAL AND ECONOMIC ADVANTAGES OF THE FREQUENCY-TRANSFORMATION MANAGEMENT OF SHIPBOARD TOWING WINCH

The article analyzes the main advantages of the asynchronous frequency control drive as compared to the three-speed asynchronous drive of the ship towing winch.

The article also states that a towing winch controlled by a frequency converter has the following advantages: full provision of the limit and smoothness of speed control of the necessary towing winch; the ability to automatically control the device; reliability; ease of operation.

Keywords: *Ship, asynchronous motor, towing winch, inventor, manager.*

Султанов Е.Ф., Абдуллаєв А.Н.

ТЕХНІЧНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ ПЕРЕВАГИ ЧАСТОТНО-ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ СУДНОВИХ БУКСИРНИХ ЛЕБІДОК

У статті проведено аналіз основних переваг асинхронного приводу частотного управління в порівнянні з трёхскоростним асинхронним приводом судновий буксирного лебідки.

Також в статті стверджується, що буксирна лебідка керована частотним перетворювачем має такі переваги: повне забезпечення межі і плавності регулювання швидкості необхідної буксирного лебідці; можливість автоматичного керування пристрою; надійність; легкість експлуатації.

Ключові слова: *судно, асинхронний двигун, буксирна лебідка, перетворювач частоти, управління.*

УДК 621.317(045) *DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.12*

Дакі О.А.

АВТОМАТИЧНІ ПРИЛАДИ КОНТРОЛЮ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТА НАВІГАЦІЇ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

Наведено необхідність контролю технічного стану систем управління та навігації засобів водного транспорту. Обґрунтовано, що розробка принципів побудови і створення на основі вимірювальних сигналів складної (потрібної) форми генераторів дозволить формувати вхідний сигнал з необхідним ступенем точності. Розглянуто принципи побудови та різні варіанти конструкції, які реалізують оптимальний алгоритм обробки вимірювального сигналу. Запропоновано використання комбінованого методу синтезу вимірювального сигналу з метою підвищення оперативності контролю. Наведені варіанти побудови приладів контролю, в яких проводиться обробка вимірювального сигналу на основі спрощених алгоритмів, що дозволяють істотно спростити апаратуру при одночасному збереженні захисту від перешкод.

***Ключові слова**: система управління і навігації, вимірювальний сигнал, генератор, схема, засоби водного транспорту.*

Вступ. Системи управління та навігації засобів водного транспорту призначені для забезпечення контролю за значеннями параметрів, які характеризують їх рух. Додержання оптимального маршруту водного транспорту у складних метеорологічних умовах, у ночі майже неможливий без навігаційних приладів, які здатні визначати інформацію про положення засобу водного транспорту на маршруті, напрямок його руху тощо. При додержанні заздалегідь прокладеного маршруту за даними навігаційних приладів (при їх справності та потрібної точності визначення параметрів) забезпечується не тільки економність вантажоперевезень, але й безпека судноплавства [1-4].

Правильність показань навігаційних приладів залежить від їх технічного стану, який може змінюватися під час експлуатації, особливо в умовах агресивного морського оточення. Тому необхідно проводити контроль технічного стану систем управління та навігації під час експлуатація для забезпечення достовірної інформації про їх справність. Для цього потрібна відповідна апаратура контролю технічного стану систем управління та навігаційних приладів засобів водного транспорту [4].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Реалізація існуючого способу визначення характеристик навігаційних приладів засобів водного транспорту ґрунтується на застосуванні генераторів сигналів синусоїдної форми [4-12]. Однак такі генератори не дозволяють оперативно контролювати технічний стан навігаційних приладів засобів водного транспорту, мають значний час вимірювання параметрів за рахунок послідовного встановлення необхідних частот вимірювального сигналу. Для уникнення такого недоліку пропонується застосування вимірювальних сигналів складної форми [10].

Так, кращими можливостями щодо управління спектром вимірювального сигналу володіють сигнали складної форми. Отже, необхідно обґрунтувати принципи побудови автоматичних приладів для контролю параметрів систем управління та навігації засобів водного транспорту.

Основна частина

Апаратура контролю систем управління та навігації засобів водного транспорту включає генератор вхідних стимулюючих впливів, вимірювальний пристрій, що дозволяє визначати вихідну реакцію об'єкту контролю на вхідний стимулюючий сигнал, пристрій обробки інформації та пристрій реєстрації [3, 4].

Для формування необхідного сигналу $u(t)$ за допомогою дискретних генераторів, побудованих за принципом перетворення код-аналог, задана крива $u(t)$ апроксимується функцією, яка наближується до заданої, і легко моделюється за допомогою цифро-аналогових дільників напруги. Найпростіше таким способом може бути здійснена ступінчаста, експоненціально-ступінчаста, лінійна й лінійно-ступінчаста апроксимація. Якщо задана крива $u(t)$ є безперервною, то заміна її на апроксимуючу криву природно призводить до методичних похибок. Ці похибки можуть бути оцінені й вибором кількості рівнів квантування можна зробити похибку досить малою [5].

Функціональна схема генератора, побудованого на принципі перетворення коду в аналог, показана на рисунку 1. Схема складається з генератора еталонної частоти ГІ, подільника частоти Д з змінним коефіцієнтом ділення, перетворювача коду в аналог (ПКА) та підсилювача постійного струму (ППС).

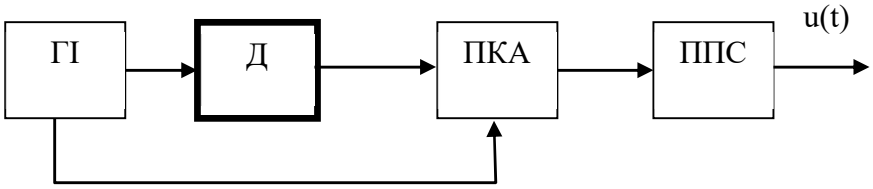


Рис. 1. Схема генератору на принципі перетворення коду в аналог

Дільник частоти зі змінним коефіцієнтом ділення дозволяє отримувати часові мітки з заданим часовим інтервалом між ними. Ці часові мітки використовуються за опорні точки при формуванні напруги перетворювача код-аналог. Дільник частоти можна виконати на тригерах, з'єднаних послідовно або об'єднаних у декади. Їх кількість визначається вимогою отримання необхідної дискретності зміни тривалості часових інтервалів при заданій частоті ГІ. Дільник складається із послідовно з'єднаних декад з тригерів. Для отримання коефіцієнта ділення q до дільника частоти вводиться кількість $10 - q$, де n – кількість декад. Це здійснюється декадними перемикачами. Різні положення перемикача дозволяють здійснити попереднє рішення з заданим постійним коефіцієнтом розподілу, тобто змінювати дискретність відліку часових інтервалів. Ланка зворотного зв'язку забезпечує циклічну роботу дільника та використовується при формуванні періодичних кривих.

Розглянемо функціональні схеми автомата контролю, який засновано на спрощених алгоритмах обробки вихідного сигналу.

Застосування спрощених алгоритмів обробки вихідного сигналу дозволяє суттєво спростити функціональну схему автоматичного приладу контролю. Таке спрощення сплачується, звісно, деякою втратою захисту від перешкод порівняно з оптимальним методом обробки вихідного сигналу. Разом з тим при використанні спрощених методів обробки вихідного сигналу [5,6] (визначення середнього або середньоквадратичного значення вихідного сигналу неузгодження) може бути забезпечена при великій кількості відліків вихідного сигналу достатньо високий захист від перешкод.

Захист від перешкод при використанні спрощених методів обробки вихідного сигналу забезпечується, по-перше, за рахунок фільтрації (хоча й не оптимальної) перешкоди при усередненні та, по-друге, за рахунок вибору вхідного сигналу, який забезпечує найменшу

можливу в цьому методі похибку визначення даного параметра. Оптимальний та спрощений методи обробки вихідного сигналу співвідносяться між собою так само, як кореляційний та накопичувальний метод у теорії оптимального прийому сигналів.

Середнє апостеріорне значення відхилення величини *z* від номінального значення, при вимірюванні середнього значення вихідного сигналу, тобто величина апостеріорної оцінки z^* дорівнює [7–9]

$$z^* = \Delta\bar{y}\frac{\sum\limits_{i,j=1}^{N} Q_{ij}\alpha_i c_j}{\sigma^2 + \sum\limits_{i,j=1}^{N} Q_{ij}c_i c_j}, \tag{1}$$

де $\Delta\bar{y}$ – є середнє значення сигналу неузгодженості на виході об'єкта контролю:

$$\Delta\bar{y} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\Delta y(t_i) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left[y(t_i) - y_н(t_i)\right]. \tag{2}$$

Величини c_j є середніми за часом вимірювання значеннями функцій чутливості:

$$c_j = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} a_j(t_i). \tag{3}$$

Величини Q_{ij} – матричні елементи кореляційної матриці параметрів системи:

$$Q_{ij} = <\Delta q_i\, \Delta q_j>. \tag{4}$$

Величини α_i визначають залежність величини z від параметрів системи контролю q_j:

$$z = \sum_{j=1}^{N}\alpha_i \Delta q_j\,. \tag{5}$$

Зокрема, якщо вимірюється один з параметрів системи, наприклад, $z = q_j$, то $\alpha_i = 1$; при $j \neq 1$.

Величина σ^2 визначається дисперсією перешкоди σ_Δ^2 і дорівнює $\sigma^2 = \frac{1}{n}\sigma_\Delta^2$. Оскільки величини $\alpha_i, c_j, Q_{ij}, \sigma^2$ відомі, то величина множника, який стоїть у (1) перед величиною $\Delta\bar{y}$, може бути обчислена заздалегідь. Позначимо цей множник через *k* і запишемо (1) у вигляді [10,11]:

$$z^* = k\Delta y = k\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left[y(t_i) - y_н(t_i)\right], \tag{6}$$

де

$$k = \frac{\sum\limits_{i,j=1}^{N} Q_{ij}\alpha_i c_j}{\sigma^2 + \sum\limits_{i,j=1}^{N} Q_{ij}c_i c_j}. \tag{7}$$

Таким чином, значення результату вимірювання $\Delta\bar{y}$ з точністю до відомого множника співпадає з величиною z^*, що підлягає під визначення в результаті контролю.

Для лінійних систем вираз для величини *k* може бути спрощено:

$$k = \frac{\lambda \sum_{i,j=1}^{N} Q_{ij}\alpha_i c_j}{\sigma^2 + \lambda^2 \sum_{i,j=1}^{N} Q_{ij}\alpha_i\alpha_j}. \qquad (8)$$

Величина λ не залежить від перешкоди і визначається вхідним сигналом. Величина λ пропорційна амплітуді вхідного сигналу). При $\sigma^2 = \frac{\sigma_\Delta^2}{n} << \lambda^2 \sum_{i,j=1}^{N} Q_{ij}\alpha_i\alpha_j$ (ця нерівність може виконуватися, зокрема, при значних *n*) величина *k* не залежить від величини перешкоди і дорівнює:

$$k \approx \frac{1}{\lambda}. \qquad (9)$$

Реалізація алгоритму (6) може бути виконана двома способами [12]. По-перше, можна в кожній точці вимірювання t_i визначати різницю $\Delta y(t_i) = y(t_i) - y_н(t_i)$, а потім підсумувати отримані різниці. Для реалізації цього способу необхідно отримувати в кожній точці вимірювання t_i значення номінального сигналу об'єкта контролю $y_н(t_i)$, для чого треба мати або модель об'єкта контролю з номінальними значеннями параметрів, або відповідний запам'ятовуючий пристрій. По-друге, можна переписати співвідношення (6) у вигляді:

$$z^* = k' \sum_{i=1}^{n} y(t_i) - z^o, \qquad (10)$$

де $k' \approx \frac{1}{n}k$; $z^o = \frac{k}{n}\sum_{i=1}^{n} y_н(t_i)$.

Так як величина z^o відома, то у відповідності з формулою (10) для визначення величини z^* необхідно фактично вирахувати суму миттєвих значень вихідного сигналу, а значення z^o, яке відповідає номінальному сигналу, завести попередньо у вихідний лічильник реєстрації. Другий спосіб вимагає порівняно з першим більшого об'єму лічильника при однаковій точності визначення величини z^*, оскільки величини $k'\sum_{i=1}^{n} y(t_i)$ і z^o можуть бути одного порядку величини, однак, позбавляють від необхідності мати модель об'єкта контролю або пристрій пам'яті. Оскільки збільшення об'єму лічильника технічно реалізувати вельми просто, то, мабуть, другий спосіб є більш доцільним [13].

На функціональній схемі (рис. 2) показані генератор вхідного сигналу 1, об'єкт контролю 2, перетворювач аналог-код 3, подільник частоти або розмножувальний пристрій 4 та вихідний лічильник реєстрації 5.

Перемикач $П_1$, служить для установки коефіцієнта множення k' у відповідності з формулою (10). Перемикач $П_2$ служить для вводу у вихідний лічильник реєстрації 5 значення величини z^o. Перетворювач аналог-код запускається синхронізуючими імпульсами, які

поступають з генератора вхідних сигналів 1. Конструкція генератора 1 залежить від форми вхідного сигналу й у значній мірі визначається обмеженнями, накладеними на вхідний сигнал.

На рисунку 2 показана функціональна схема приладу контролю, яка реалізує алгоритм (10).

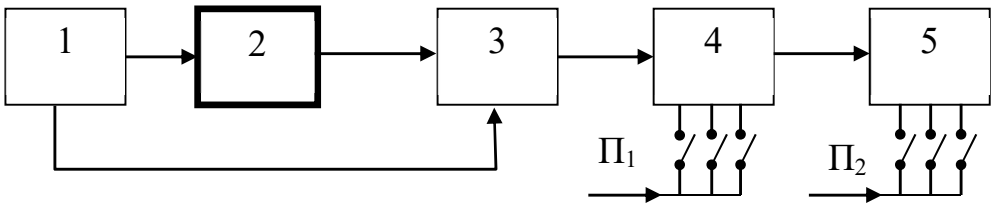


Рис. 2. Схема приладу контролю згідно алгоритму (15)

Використання спрощеного методу обробки вихідного сигналу, який заснований на вимірюванні середньоквадратичного вихідного сигналу неузгодження [10-13]

$$U^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left[\Delta y_н(t)\right]^2 ,$$

дозволяє отримати інформацію про величину сумарного середньоквадратичного відхилення параметрів системи:

$$z = \sum_{k=1}^{N}\left(\beta_k \Delta q_k^2\right),$$

де β_k – коефіцієнти ваги, величини яких повинні встановлюватися з міркувань "значущості" відповідного параметра.

Метод захисту від перешкод при досить великій кількості відліків n може бути дуже ефективним. Разом з тим метод має, якщо можна так сказати, методичну нечутливість (за аналогією із терміном "методична похибка"). Ця нечутливість проявляється у тому, що значення середньоквадратичного сигналу неузгодження дозволяє у зальному випадку визначити нижню z_{min} і верхню z_{max} межі, між якими укладено значення сумарного середньоквадратичного відхилення параметрів z. "Зона нечутливості" $z_{max} - z_{min}$ не може бути зменшена збільшенням кількості відліків і підвищенням захисту від перешкод. Величина "зони нечутливості" визначається структурою об'єкта контролю та вхідним стимулюючим сигналом і для кожного конкретного об'єкта вибором вхідного сигналу її можна максимально звузити.

Питання про доцільність застосування методу в значній мірі залежить від того, наскільки мала "зона нечутливості", та повинен вирішуватися окремо для кожного об'єкта контролю.

Функціональна схема приладу контролю, що реалізує розглянутий метод контролю, представлена на рисунку 3.

На рисунку 3 показані генератор вхідного сигналу 1, об'єкт контролю 2, модель об'єкта контролю з номінальними значеннями параметрів 3. Замість моделі об'єкта контролю може бути використаний запам'ятовуючий пристрій – генератор, який формує номінальні значення вихідного сигналу $y_н(t_i)$. Перетворювач аналог-код 4, робота якого синхронізується генератором вхідних сигналів 1, арифметичний пристрій виконуючий операцію зведення в квадрат і вихідний пристрій реєстрації 6.

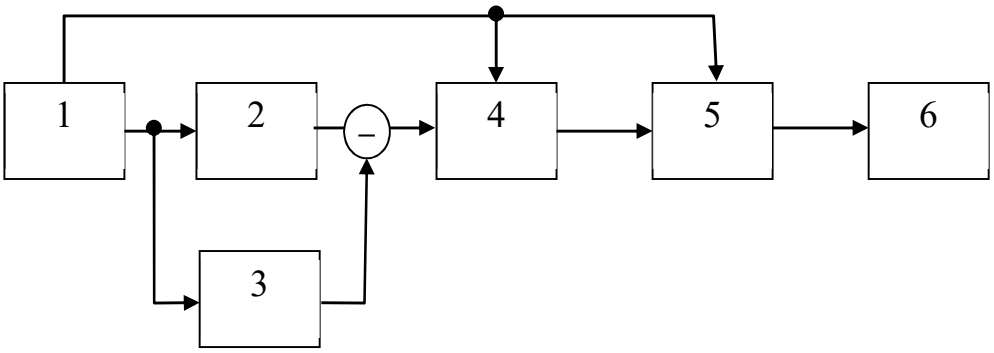


Рис. 3. Схема приладу контролю із захистом від завад

Так, якщо в регістрі розмножувального пристрою зафіксовано якесь, то кількість імпульсів M на виході пристрою множення зв'язана з кількістю імпульсів N, що поступає на вхід лічильника-дільника C, згідно співвідношенням (1):

$$M = 2^{-n} Д N .$$

Якщо число, яке зафіксоване в регістрі, під час надходження імпульсів на лічильник змінюється, то повна кількість імпульсів M на виході розмножувального пристрою можна записати так:

$$M = \sum_i Д_i \Delta N_i 2^{-n} , \tag{11}$$

де ΔN_i – кількість імпульсів, які надійшли на вхід лічильника за час, коли показання лічильника $Д$ не змінюються, тобто за час між двома послідовними імпульсами, які приходять у регістр. Так, якщо кількість імпульсів, що надходять на лічильники за фіксовані інтервали часу пропорційні один одному, наприклад, частота проходження імпульсів N у k разів більше частоти імпульсів $Д$, то зі співвідношення (11) отримаємо [13]:

$$M = 2^{-n}\left(k + 2k + ... + Nk\right) = \frac{k}{2}\left(N+1\right)N = 2^{-n}\frac{k}{2}N^2\left(1+\frac{1}{N}\right), \tag{12}$$

де N – повна кількість імпульсів, що надходить на вхід лічильника C.

З точністю до дискретності можна знехтувати величиною $1/N$ порівняно з одиницею, так що остаточно отримаємо:

$$M \approx \frac{k}{2^{n+1}} N^2 . \tag{13}$$

Таким чином, схема (рис. 3) дозволяє при безперервному надходженні імпульсів на лічильники виробляти з точністю до постійного множника зведення кількості імпульсів у квадрат. Найбільш просто реалізується схема зведення в квадрат при паралельному надходженні імпульсів на обидва лічильника, тобто при $k = 1$. Тоді

$$M = \frac{1}{2^{n+1}} N^2 .$$

Відзначимо, що безперервна робота розмножувального пристрою у відповідності з формулою (12) була використана в одному з варіантів приладу контролю при синусоїдному вхідному сигналі (рис. 4), де величина ΔN_i була пропорційна миттєвому значенню вихідної

напруги $y(t_i)$, а величина $Д_i$ була пропорційна $sin\alpha_i$ або $cos\alpha_i$, так що величина M на виході розмножувального пристрою була пропорційна [11,12]

$$M \cong \begin{pmatrix} sin\alpha_i \\ cos\alpha_i \end{pmatrix} \sum_i y(t_i).$$

Для отримання середньоквадратичного значення вихідного сигналу описаним вище способом, тобто для отримання величини $\sum_i N_i^2$, де N_i – кількість імпульсів, які поступають з виходу перетворювача аналог-код 4, пропорційна миттєвому значенню величини $\Delta y(t_i)$. розмножувальний пристрій 5 має повертатися у вихідний, нульовий стан перед приходом кожної пачки імпульсів N_i.

Скидання розмножувального пристрою на схемі (рис. 4) здійснюється імпульсами, що поступають з генератора вхідного сигналу 1.

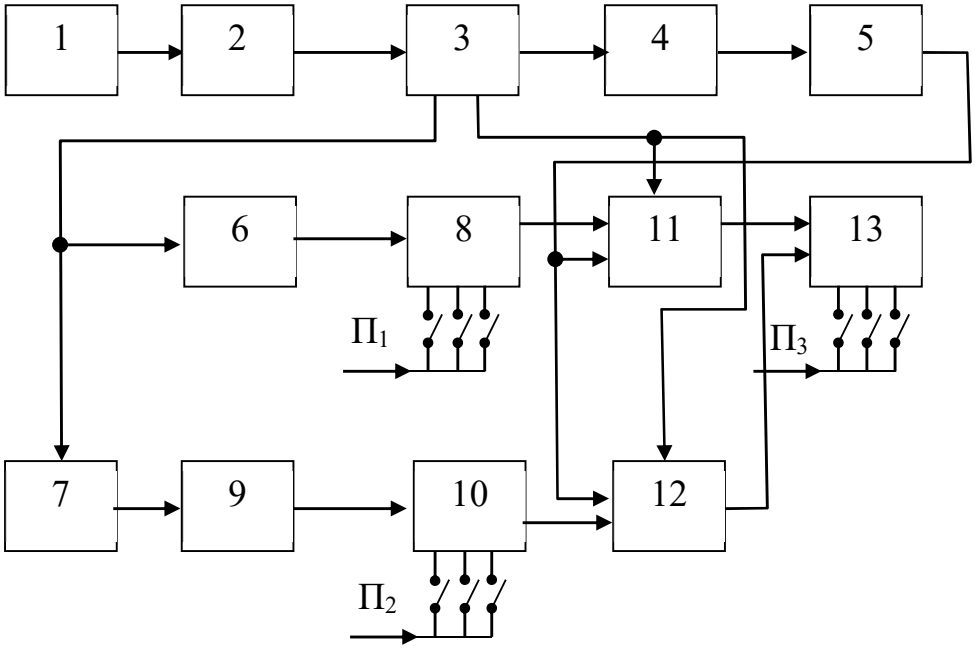


Рис. 4. Схема приладу контролю при синусоїдному сигналі

Метод контролю, заснований на визначенні середньоквадратичного значення вихідного сигналу неузгодженості доцільно використовувати в тих випадках, коли необхідно отримати узагальнену, інтегральну оцінку стану об'єкту контролю, оскільки він дає інформацію ні про кожний окремий параметр системи, а про сумарне середньоквадратичне відхилення параметрів. Цей метод може застосовуватися у комбінації з описаними вище методами, які дозволяють визначати відхилення кожного з параметрів системи окремо. При цьому для визначення відхилень невеликої кількості найбільш значимих параметрів можуть застосовуватися викладені вище оптимальні методи обробки вихідного сигналу, або метод, який використовує визначення середнього значення вихідного сигналу, а для визначення сумарного середньоквадратичного відхилення всіх параметрів можна використовувати метод визначення середньоквадратичного значення вихідного сигналу неузгодження [13].

Висновки. Прилади контролю систем навігації та управління засобів водного транспорту за своїм функціональним призначенням складається з апаратури генератора вхідних вимірювальних впливів і апаратури, яка призначена для аналізу параметрів вихідного сигналу об'єкта контролю. Обґрунтована доцільність і можливість побудови такої апаратури на базі цифрової дискретної техніки. Застосування цифрової дискретної апаратури контролю дозволяє реалізувати оптимальні методи контролю, забезпечує високу швидкодію та точність контролю.

Застосування такої апаратури дозволяє автоматизувати процес контролю. Принципи побудови та створені на основі цих принципів генератори вхідних сигналів дозволяють формувати вхідний сигнал потрібної форми з необхідним ступенем точності. Розглянуті принципи побудови та різні варіанти конструкції, які реалізують оптимальний алгоритм обробки вихідного сигналу об'єкта контролю. Імітаційна модель одного з варіантів такого приладу підтвердили правильність покладених в його основу принципів і показали високу точність і надійність роботи. Розглянуті варіанти побудови приладу контролю, в яких проводиться обробка вихідного сигналу на основі спрощених алгоритмів, що дозволяють суттєво спростити прилади контролю при одночасному збереженні достатньо високого захисту від перешкод.

З метою підвищення оперативності контролю може бути використаний комбінований метод, при якому для визначення відхилень невеликої кількості найбільш суттєвих (значимих) параметрів застосовується оптимальний метод обробки вихідного сигналу, або, який використовує визначення середнього значення вихідного сигналу, а для інтегральної оцінки уходів всіх інших параметрів – метод, заснований на визначенні середньоквадратичного значення вихідного сигналу неузгодження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Герасимов С. В., Макарчук Д. В., Костенко О. І. Модель похибок навігації в аномальному гравітаційному полі землі" / Зб. наук. пр. Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2018. – Вип. 3 (57). – С. 109-114. – DOI: 10.30748/zhups.2018.57.16.
2. Herasimov S., Shapran Yu. and Stakhova M. Measures of efficiency of dimensional control under technical state designation of radio-technical facilities, Information Processing Systems. – (2018). – Issue (152). – Pp. 148-154. – DOI: 10.30748/soi.2018.152.21.
3. Herasimov S., Timochko O., Khmelevskiy S. Synthesis method of the optimum structure of the procedure for the control of the technical status of complex systems and complexes / Scientific Works of Kharkiv National Air Force University. – 2017. – Issue 4 (53). – Pp. 148-152.
4. Дакі О. А., Кривошей Ф. О., Панов С. Л. Розробка автомата контролю лінійних і нелінійних систем управління та навігації засобів водного транспорту / Наукоємні технології. – 2018. – №4(40). – С. 458-464. – DOI: 10.18372/2310-5461.40.13272.
5. Герасимов С. В., Дакі О. А., Яковлев М. Ю. Синтез полігармонійного вимірювального сигналу з будь-якою кількістю точок перемикання / Вимірювальна техніка та метрологія. – 2018. – №79 (2). – С. 73-76. – DOI: 10.23939/istcmtm2018/02/073.
6. Bractslavska A., Herasimov S., Zubrytskyi H., Tymochko A., Timochko A. Theoretical basic concepts for formation of the criteria for measurement signals synthesis optimality for control of complex radio engineering systems technical status / Information Processing Systems. – 2017. – Issue 5 (151). Pp. 151-157.
7. Nocedal J., Wright S.J. Numerical Optimization. – New York: Springer–Verlag, 1999. – 634 p.
8. Гоноровский И. С., Демин М .П. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Радио и связь, 1994. – 481 с.
9. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высшая школа, 2000. – 462 с.

10. Задирака В. К. Теория вычисления преобразования Фурье. – К.: Наукова думка, 1983. – 216 с.
11. Тимощук О. М., Дакі О. А., Коломієць О. М. Обґрунтування застосування сигналів з нормованим спектром для контролю технічного стану радіонавігаційних приладів засобів водного транспорту / Новітні технології. – 2018. – Вип. 2(6). – С. 39-45. – DOI:10.31180/2524-0102/2018.2.06.05.
12. Gander W., Gautschi W. Adaptive Quadrature – Revisited. – 2000. – BIT, Vol. 40. – Pp. 84-101.
13. Марченко А. Л., Марченко Е. А. Основы преобразования информационных сигналов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2010. – 286 с.

Даки Е.А.

АВТОМАТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И НАВИГАЦИИ СРЕДСТВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

Показана необходимость контроля технического состояния систем управления и навигации средств водного транспорта. Обосновано, что разработка принципов построения и создание на основе измерительных сигналов сложной (нужной) формы генераторов позволит формировать входной сигнал с необходимой степенью точности. Рассмотрены принципы построения и различные варианты конструкции, которые реализуют оптимальный алгоритм обработки измерительного сигнала. Предложено использование комбинированного метода синтеза измерительного сигнала с целью повышения оперативности контроля. Приведенные варианты построения приборов контроля, в которых производится обработка измерительного сигнала на основе упрощенных алгоритмов, позволяющих существенно упростить аппаратуру при одновременном сохранении защиты от помех.

***Ключевые слова**: **с**истема управления и навигации, измерительный сигнал, генератор, схема, средства водного транспорта.*

Daki O. A.

AUTOMATIC APPARATUS FOR CONTROL OF PARAMETERS OF MANAGEMENT AND NAVIGATION SYSTEMS OF WATER TRANSPORTATION

The correctness of the indications of navigation devices depends on their technical condition, which can change during operation, especially in conditions of aggressive marine environment. Therefore, the necessary equipment for controlling the technical state of navigation devices for water transport.

The implementation of the existing method for determining the characteristics of navigational devices for water transport vehicles is based on the use of sinusoidal signal generators. However, such generators do not allow the operational control of the technical state of navigational devices for water transport vehicles, which have a significant time to measure the parameters due to the successive installation of the required frequency of the measurement signal. To avoid such a disadvantage, the use of measuring signals of complex form is proposed.

It is shown that the equipment for control of the systems of navigation and water resources management in its functional purpose consists of equipment of the generator of input measuring influences and equipment, which is intended for analysis of parameters of the output signal of the control object. The feasibility and possibility of constructing such equipment on the basis of digital discrete equipment is substantiated. The use of digital discrete control equipment allows the implementation of optimal control methods, provides high performance and precision control. The use of such equipment allows automation of the control process. Principles of construction and created on the basis of these principles, generators of measurement signals can form the input signal of the desired form with the required degree of accuracy.

The variants of construction of the control device in which the output signal processing is performed on the basis of simplified algorithms, which allow to significantly simplify the equipment of the analyzer while maintaining a sufficiently high level of protection against interference is considered.

***Keywords**: control and navigation system, measuring signal, generator, circuit, means of water transport.*

УДК 681.5:656.61.052 *DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.13*

Тимощук О.М., Ганношина І.М., Пархоменко Д.О., Ткачук Д.О.

ПІДХІД ДО ВИРІШЕННЯ ЗАВДАННЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВИЗНАЧЕННЯ МАРШРУТУ СУДНА ПРИ ПЛАНУВАННІ ПЕРЕХОДУ

Запропонована дискретна модель ходу судна, в якій хід судна розглядається як послідовне відвідування елементів простору, властивості котрих враховують його навігаційно-гідрографічну характеристику. Запропоновано можливий підхід до автоматизації процесу визначення маршруту судна при плануванні переходу, що враховує маневрені характеристики судна, потреби в паливі та вплив факторів навігаційно-гідрографічної обстановки; з метою підвищення обґрунтованості та оперативності прийняття рішення при плануванні переходу. Для вирішення завдання автоматизації процесу вибору маршруту судна при плануванні переходу пропонується використовувати математичний апарат теорії графів.

Ключові слова: *маршрут, автоматизація процесу визначення маршруту, планування переходу судна, дискретна модель ходу судна, теорія графів, алгоритм Дейкстри.*

Вступ

Постановка проблеми. Однією з вирішальних умов забезпечення безпеки морського судноплавства є обґрунтоване й своєчасне прийняття рішення про визначення маршруту судна при плануванні переходу і його корекція в реальному масштабі часу. Зростання інтенсивності руху суден, штучних навігаційних небезпек, а також можливостей навігаційних систем суден обумовили необхідність підвищення вимог до обґрунтованості й оперативності планування переходу. Визначення маршруту судна при плануванні переходу є одним із завдань планування переходу і виконується, як правило капітаном судна. Для її вирішення необхідно враховувати множину факторів навігаційно-гідрографічної обстановки: характер узбережжя, рельєф дна і глибини, коливання рівня води при приливи і відливи, швидкості і напрямку вітрів і течій; навігаційні небезпеки і системи їх огородження в вузьких проходах; характерні відмітні глибини і банки в районі переходу; небезпечні, заборонені і обмежені для плавання райони; райони інтенсивного руху суден; правила плавання в протоках і каналах за маршрутом переходу; правила і обов'язкові постанови, що діють в портах входу; короткостроковий і довгостроковий прогнози погоди, льодовий режим і характер течій по всьому району переходу та інші фактори [1–3]. Повне врахування всіх факторів вимагає значних витрат часу та практично неможливе з точністю визначення місця судна, яку вимагають сучасні міжнародні конвенції без застосування автоматизованих систем підтримки прийняття рішення. Крім того, визначення маршруту судна при плануванні переходу знаходиться в тісному взаємозв'язку з іншими завданнями планування переходу, що включають в себе заходи що опосередковано впливають на вибір маршруту судна. Для кожного з планів переходу може бути визначений маршрут, котрий може виявитися неприйнятним з міркувань, наприклад часу переходу. Тому виникає необхідність аналізу та оцінки можливих варіантів планів переходу для підвищення обґрунтованості визначення маршруту судна при плануванні переходу. Таким чином, автоматизація визначення маршруту судна при плануванні переходу для підвищення обґрунтованості та оперативності планування переходу є актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В даний час на ринку існує ряд продуктів, які надають користувачам рішення задачі оптимізації маршруту переходу. Ці продукти розроблені компаніями: StormGeo, Marorka, Napa, Meteo Group. Алгоритми, що застосовуються в цих продуктах, реалізовані з використанням методів динамічного програмування, теорії графів, методів варіаційного числення, методу ізохрон або простого "обходу" поганої погоди. У роботах [4–5] для вирішення цього завдання застосовуються оптимізаційні моделі, засновані на використанні генетичних алгоритмів, таких як Multi-Objective Genetic Algorithm і Multi-Objective Evolutionary Algorithm. Однак перераховані підходи не дозволяють повною мірою врахувати чинники навігаційно-гідрографічної обстановки, автоматизовано визначити маршрут судна при плануванні переходу і коригувати його в реальному масштабі часу.

У роботах [6–14] завдання вибору найкоротшого маршруту агента, вирішується методами дослідження операцій на графах, зокрема на основі відомих алгоритмів Дейкстри, Беллмана-Форда, Флойда, методами штучного інтелекту на основі нейронних мереж, що дозволяють розраховувати мінливі з часом умови і застосуванням генетичних алгоритмів.

Проте, ключові завдання навігації: формалізація навігаційної обстановки, автоматична побудова фізично реалізованого маршруту судна при плануванні переходу і його корекція в реальному масштабі часу вимагають нових підходів до вирішення.

Мета статті – полягає в розробці методу автоматизації процесу визначення маршруту судна при плануванні переходу, що враховує маневрені характеристики судна, потреби в паливі та вплив факторів навігаційно-гідрографічної обстановки; з метою підвищення обґрунтованості та оперативності прийняття рішення при плануванні переходу

Виклад основного матеріалу

Аналіз математичної моделі ходу судна показав – знаходження оптимальної траєкторії навіть на короткій ділянці пов'язане з надмірною обчислювальною складністю, що призводить до необхідності пошуку більш простих моделей для визначення маршруту судна при плануванні переходу. Тому запропонована методика базується на використанні дискретної моделі ходу судна і розроблена з використанням теорії графів.

Для розробки дискретної моделі ходу судна представимо хід судна як послідовне відвідування певних областей простору. Розіб'ємо простір пошуку маршруту на елементи.

При розбивці простору слід врахувати наступне:

– елемент повинен бути досяжний з одного або декількох попередніх елементів, щоб забезпечити безперервність маршруту ходу судна;

– у процесі досягнення деяких наступних елементів судно може змінити курс;

– можливість досягнення наступного елементу простору залежить від курсу судна, з яким воно увійшло у вихідний елемент, з врахуванням маневрених характеристик судна;

– оскільки можливість досягнення наступного елементу простору залежить від поточного курсу судна, необхідно одночасно з дискретизацією простору дискретизувати напрямок ходу. Кількість дискретних напрямків ходу буде тісно пов'язане з розмірами елементу та маневреними характеристиками судна;

– можливості досягнення наступних елементів повинні бути симетричні. Тому довжина елемента повинна бути дорівнює ширині;

– точність розв'язку буде зростати зі зменшенням елементу простору й збільшенням кількості дискретних напрямків ходу.

На рис. 1 запропонований можливий підхід до розбиття простору, що враховує маневрені можливості судна. Пропонується обрати вісім різних курсів судна. З кожного елемента простору можливо буде досягнути три сусідніх фронтальних за курсом елементи з можливим поворотом на 45 градусів. Таким чином, ширина (довжина) елементу, як видно з рішення трикутника ABC, дорівнює:

$$LW = \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right) R_V \quad (1)$$

де R_V – мінімальний радіус розвороту судна на швидкості V.

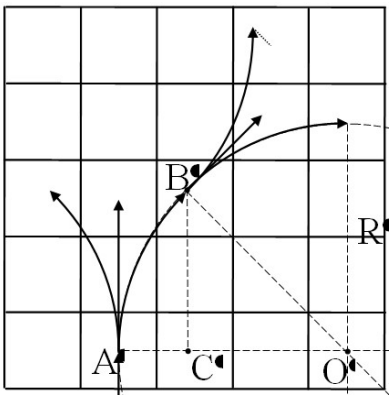


Рис.1. Досягнення сусідніх фронтальних за курсом елементів і наступних за сусідніми елементів з можливою зміною курсу

На рис 1 пунктиром зображена погрішність, яка при маневруванні може збільшуватися. Однак у силу особливостей хода судна в просторі пошуку маршруту нею можна зневажити.

Формально простір пошуку маршруту опишемо за наступними допущеннями: вважаємо, що простір усередині елемента має однакові властивості; вважаємо, властивістю простору мультиплікативний штраф за прокладку маршруту судна через елемент простору.

Простір пошуку маршруту розділяється на зони трьох типів:

1. зони без перешкод, які долаються судном на крейсерській швидкості (мультиплікативний штраф дорівнює 1);

2. зони, що можливо пройти, але для цього швидкість має бути зменшена. Мультиплікативний штраф більше 1, визначається пропорційно збільшенню витрат палива, часу та ін. Встановлюється тим, хто приймає рішення, дозволяє врахувати фактори навігаційно-гідрографічної обстановки. Якщо в межах елементу простору діють декілька факторів їх штрафи підсумовуються;

3. зони, в яких прохід заборонено (мультиплікативний штраф більше інших штрафів на декілька порядків).

Простір пошуку шляху охарактеризуємо одномірним масивом G. Розмір G дорівнює кількості елементів простору.

Опишемо хід судна зваженим орієнтованим графом GR(V,E), де V – множина вершин графа, E – множина ребер графа. Кожний елемент простору може бути відвіданий судном з одним із дискретних курсів. Тому кожному елементу простору буде відповідати кількість вершин графа, що дорівнює кількості дискретних напрямків ходу. Таким чином, кількість вершин графа n дорівнює кількості елементів простору пошуку, помноженому на кількість дискретних напрямків ходу. З кожної вершини виходять орієнтовані ребра, що з'єднують її із суміжними вершинами. Вони відповідають трьом наступним фронтальним за курсом елементам з можливим поворотом на 45° (див. рис. 1).

Вага ребра A(j,k) дорівнює кількості палива $m_п$, необхідного для досягнення сусіднього елемента з обраним курсом, помноженому на штраф з масиву G, відповідний до елементу простору, у який ребро входить:

$$A(j,k) = m_п \cdot G(i). \quad (2)$$

Одним з підходів до вирішення завдання автоматизації процесу визначення маршруту судна при плануванні переходу є зведення його до завдання пошуку самого короткого шляху

між двома вершинами на графі, у якому мінімізується сума ваг ребер, що становлять шлях. Сьогодні відома велика кількість алгоритмів для її розв'язку. Вважаючи на особливості графу GR (зважений орієнтований граф, у якого відсутні дуги з негативною вагою), для знаходження найкоротшого шляху було обрано алгоритм Дейкстри (простота реалізації при допустимому часі знаходження маршруту).

На рис. 2 представлена схема методу автоматизованого визначення варіанту маршруту судна при плануванні переходу.

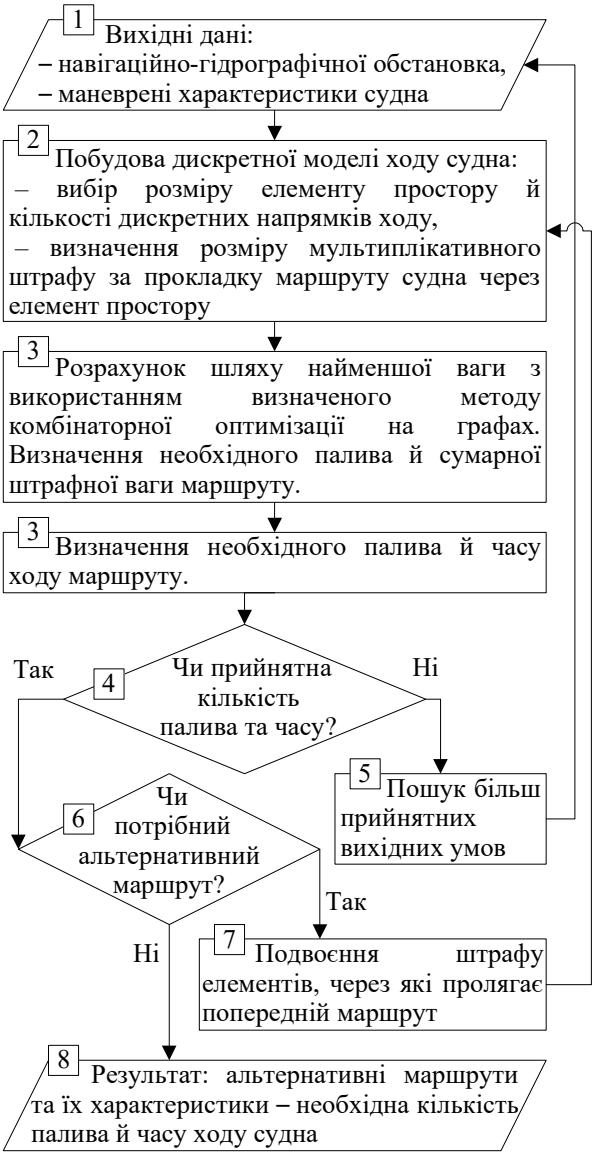


Рисунок 2 – Метод визначення варіанту маршруту при плануванні переходу судна

Вихідні данні: навігаційно-гідрографічна обстановка та маневрені характеристики судна.

Розбиваємо простір пошуку маршруту на елементи та вибираємо кількість дискретних напрямків руху залежно від маневрені характеристики судна.

Ставимо у відповідність кожному елементу характеристику простору у вигляді мультиплікативного штрафу за прохід через елемент простору залежно від навігаційно-гідрографічній обстановки.

Представляємо хід судна як рух по графу від вершини до вершини, вага ребра, що з'єднує суміжні вершини, обчислюється за формулою (2). Знаходимо маршрут судна як найкоротший

шлях з однієї вершини графа в іншу, на основі запропонованого алгоритму комбінаторної оптимізації на графах.

На практиці необхідно розрахувати декілька варіантів маршрутів. Можливим підходом для розрахунків альтернативного маршруту судна при плануванні переходу буде подвоєння штрафів елементів, через які проходить раніше розрахований маршрут та проведення повторного розрахунку.

Висновки

Аналіз процесу визначення маршруту судна при плануванні переходу показав: повне врахування всіх факторів навігаційно-гідрографічної обстановки вимагає значних витрат часу та практично неможливе з точністю визначення місця судна, яку вимагають сучасні міжнародні конвенції без застосування автоматизованих систем підтримки прийняття рішення. Крім того, визначення маршруту судна при плануванні переходу знаходиться в тісному взаємозв'язку з іншими завданнями планування переходу, що включають в себе заходи що опосередковано впливають на вибір маршруту судна. Існуючи підходи не дозволяють повною мірою врахувати чинники навігаційно-гідрографічної обстановки, автоматизовано визначити маршрут судна при плануванні переходу і коригувати його в реальному масштабі часу.

Вперше запропонована дискретна модель ходу судна, в якій хід судна розглядається як послідовне відвідування елементів простору, властивості котрих враховують фактори навігаційно-гідрографічної обстановки.

Вперше запропоновано метод автоматизації процесу визначення варіанту маршруту судна при плануванні переходу, який враховує маневрені характеристики судна, потреби в паливі та вплив факторів навігаційно-гідрографічної обстановки; з метою підвищення обґрунтованості та оперативності прийняття рішення при плануванні переходу.

ЛІТЕРАТУРА

1. Совершенствование теории судовождения на внутренних водных путях: автореф. дис. д-ра. техн. наук: 05.22.19. / Тихонов, В.И. – Н. Новгород, 2011. –39 с.
2. Формализация знаний о маневрировании судна в портовых водах на основе нечетких функций / В.А. Васьков, А.А. Мироненко // Эксплуатация морского транспорта. – 2010. – № 2 (60). – С. 39-43.
3. Модель программного движения судна в стесненных водах / А.А. Мироненко // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2013. – № 2. – С. 65-70.
4. Modeling and Optimization Algorithms in Ship Weather Routing / Walther L., Rizvanolli A., Wendebourg M., Jahn C. // International Journal of e-Navigation and Maritime Economy. – 2016. – Vol. 4. – P. 31–45.
5. Подготовка судоводителей с использованием программного обеспечения с функцией планирования и исполнения перехода / А.О. Климовский, В.А. Рыжов // Компьютерные инструменты в образовании. – 2017. – № 6. – С. 44-53.
6. Simple Local Path Planning Algorithm for Autonomous Mobile Robots / N. Buniyamin, W.A.J.Wan Ngah, N.Sariff, Z.Mohamad // Int. J. of Systems Applications, Eng. & Development. – 2011. – Issue 2. – V.5. – P.151-159.
7. Depth Space Approach to Human-Robot Collision Avoidance / F. Flacco, T. Kroger, A. De Luca, O. Khatib // Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation RiverCentre. – Saint Paul, Minnesota, USA, – 2012. – P.338-345.
8. Рекурсивный метод оптимизации логистических путей средствами MATLAB / А.А. Чертков, А.А. Вардомская, А.А. Дмитриев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2015. – № 6 (34). – С. 196-204.

9. Real-time traveler information for optimal adaptive routing in stochastic time-dependent networks / S. Gao, H. Huang // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2012. – Vol. 21. – Is. 1. – Pp. 196–213. DOI: 10.1016/j.trc.2011.09.007.
10. Path planning for the autonomous underwater vehicle / A. Kirsanov, S. Anavatti, T. Ray // International Conference on Swarm, Evolutionary, and Memetic Computing. – Springer, Cham, 2013. – Pp. 476-486. DOI: 10.1007/978-3-319-03756-1_43.
11. A survey on path planning for persistent autonomy of autonomous underwater vehicles / Z. Zeng, L. Lian, K. Sammut, F. He, Y. Tang, A. Lammas // Ocean Engineering. – 2015. – Vol. 110. – Part A. – Pp. 303-313. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2015.10.007.
12. Автоматизация выбора кратчайших маршрутов судов на основе модифицированного алгоритма Беллмана–Форда / А. А. Чертков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. – 2017. – Т. 9. – № 5. – С. 1113-1122. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-1113-1122.

References

1. Sovershenstvovanie teorii sudovozhdeniya na vnutrennih vodnyih putyah: avtoref. dis. d-ra. tehn. nauk: 05.22.19. / Tihonov, V.I. – N. Novgorod, 2011. – 39 s.
2. Formalizatsiya znaniy o manevrirovanii sudna v portovyih vodah na osnove nechetkih funktsiy / V.A. Vaskov, A.A. Mironenko // Ekspluatatsiya morskogo transporta. – 2010. – № 2 (60). – S. 39-43.
3. Model programmnogo dvizheniya sudna v stesnennyih vodah / A.A. Mironenko // Mehatronika, avtomatizatsiya, upravlenie. – 2013. – № 2. – S. 65-70.
4. Modeling and Optimization Algorithms in Ship Weather Routing / Walther L., Rizvanolli A., Wendebourg M., Jahn C. // International Journal of e-Navigation and Maritime Economy. – 2016. – Vol. 4. – P. 31–45.
5. Podgotovka sudovoditeley s ispolzovaniem programmnogo obespecheniya s funktsiey planirovaniya i ispolneniya perehoda / A.O. Klimovskiy, V.A. Ryizhov // Kompyuternyie instrumentyi v obrazovanii. – 2017. – № 6. – S. 44-53.
6. Simple Local Path Planning Algorithm for Autonomous Mobile Robots / N. Buniyamin, W.A.J.Wan Ngah, N.Sariff, Z.Mohamad // Int. J. of Systems Applications, Eng. & Development. – 2011. – Issue 2. – V.5. – P.151-159.
7. Depth Space Approach to Human-Robot Collision Avoidance / F. Flacco, T. Kroger, A. De Luca, O. Khatib // Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation RiverCentre. – Saint Paul, Minnesota, USA, – 2012. – P.338-345.
8. Rekursivnyiy metod optimizatsii logisticheskih putey sredstvami MATLAB / A.A. Chertkov, A.A. Vardomskaya, A.A. Dmitriev // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova. – 2015. – № 6 (34). – S. 196-204.
9. Real-time traveler information for optimal adaptive routing in stochastic time-dependent networks / S. Gao, H. Huang // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. – 2012. – Vol. 21. – Is. 1. – Pp. 196–213. DOI: 10.1016/j.trc.2011.09.007.
10. Path planning for the autonomous underwater vehicle / A. Kirsanov, S. Anavatti, T. Ray // International Conference on Swarm, Evolutionary, and Memetic Computing. – Springer, Cham, 2013. – Pp. 476-486. DOI: 10.1007/978-3-319-03756-1_43.
11. A survey on path planning for persistent autonomy of autonomous underwater vehicles / Z. Zeng, L. Lian, K. Sammut, F. He, Y. Tang, A. Lammas // Ocean Engineering. – 2015. – Vol. 110. – Part A. – Pp. 303-313. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2015.10.007.
12. Automation selection shortcuts routes of ships on the basis of modified BellmanFord Algorithm / A.A. Chertkov // Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova 9.5 (2017): 1113–1122. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-1113-1122.

Тимощук О.М., Ганношина И.Н., Пархоменко Д.А., Ткачук Д.А.

ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАРШРУТА СУДНА ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ПЕРЕХОДА

Предложена дискретная модель хода судна, в которой ход судна рассматривается как последовательное посещение элементов пространства, свойства которых учитывают его навигационно-гидрографическую характеристику. Предложен возможный подход к автоматизации процесса определения маршрута судна при планировании перехода, учитывающий маневренные характеристики судна, потребности в топливе и влияние факторов навигационно-гидрографической обстановки; с целью повышения обоснованности и оперативности принятия решения при планировании перехода. Для решения задачи автоматизации процесса выбора маршрута судна при планировании перехода предлагается использовать математический аппарат теории графов.

Ключевые слова: *маршрут, автоматизация процесса определения маршрута, планирование перехода судна, дискретная модель хода судна, теория графов, алгоритм Дейкстры.*

Тимощук O.M., Gannoshina I.N, Parkhomenko D.A., Tkachuk D.A.

APPROACH TO SOLVING THE PROBLEM OF AUTOMATING THE PROCESS OF DETERMINING THE SHIP'S ROUTE WHEN PLANNING A TRANSITION

An analysis of the ship's mathematical model showed that finding the optimal trajectory even in a short section is associated with excessive computational complexity. This leads to the need to search for simpler models to determine the ship's route when planning a transition. Therefore, the proposed method is based on the use of a discrete model of the vessel's course, which was developed using graph theory. The proposed discrete model of the vessel's course, in which the vessel's course is considered as a sequential visit to space elements, the properties of which take into account its navigation and hydrographic characteristics. A possible approach to dividing the space into elements, taking into account the maneuverable capabilities of the vessel, is proposed. An approach is proposed to automate the process of determining the ship's route when planning a transition, taking into account the maneuverability of the vessel, fuel requirements and the influence of factors of the navigation and hydrographic situation; in order to increase the reasonableness and speed of decision making when planning a transition.

Imagine the course of the ship as moving along the graph from the top to the top, the weight of the edge connecting adjacent vertices is calculated as the product of the penalty for passing through the space element, which is its property, for the fuel spent on the part of the route, from one space element to another . Find the route of the ship as the shortest path from one vertex of the graph to another, based on the proposed algorithm of combinatorial optimization on the graphs. Taking into account the features of the graph, namely: a weighted oriented graph, which has no arcs with negative weight, for finding the shortest path, Dijkstra's algorithm was chosen, which ensures simplicity of realization with a valid time for finding the route. In practice, it may be necessary to calculate several options for routes. A possible approach to the calculation of the alternative route of the trial will be to double the fines of the elements through which the previously calculated route passes.

Keywords: *route, route planning automation, ship layout planning, discrete vessel navigation model, graph theory, Dijkstra algorithm.*

УДК 623.765:681.513 *DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.14*

Дмитрієв О.М., Мельник О.В., Макаров О.М., Єлєазаров О.М.

МЕТОД ФОРМАЛІЗАЦІЇ ЗНАНЬ ПРО ПРОЦЕС РОЗПІЗНАВАННЯ СИТУАЦІЙ ОБСТАНОВКИ В АВТОМАТИЗОВАНІЙ СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ РУХОМ СУДЕН

В статті запропоновано шляхи розв'язання завдання щодо визначення ситуацій обстановки, які виникають у зоні відповідальності органу управління рухом суден. Передбачається, що в складних умовах обстановки дані, що надходять від різнотипних джерел для підготовки рішення характеризуються високою динамічністю змін, невизначеністю, розмитістю та неоднозначністю. Пропонується підхід до оцінювання обстановки з точки зору необхідності першочергового та своєчасного виявлення потенційно-конфліктних ситуацій, що спирається на багатоетапну процедуру формалізації знань з використанням обчислень предикатів першого порядку та має на меті перехід до реалізації процедури прийняття рішення на основі структури цільових установок, що описують різні ситуації обстановки. Метод передбачає визначення переліку інформаційних ознак, що є вихідними для побудови правил розпізнавання ситуацій обстановки. Передбачено, що вирішальні правила в своїй основі передбачають розгляд ситуацій можливого взаємного положення морських суден відносно один одного в просторовій та часовій площинах. Пропонується використовувати множину правил – морфізмів, які мають дозволити отримувати чисельну оцінку міри подібності ситуації, що настала до апріорно заданої ситуації шляхом порівняння значень одних і тих же поточних і апріорно заданих ознак, що описують конкретну ситуацію обстановки. В результаті обчислення значення функції подібності поточної та апріорно заданої ситуації обстановки виявляється можливість отримати результат розпізнавання у виді максимуму функції подібності між ними. В підсумку запропоновано структуру та послідовність етапів методу формалізації знань про процес розпізнавання ситуацій обстановки, який враховує динаміку змін інформаційних ознак ситуацій обстановки, та дозволяє своєчасно виявити потенційно-конфліктні ситуації в зоні відповідальності особи, що приймає рішення. Подальшим напрямом досліджень передбачається розробка процедур отримання оцінки істинності висловлювань, які містять модальності, що дозволить коригувати результати роботи алгоритму логічного висновку і отримувати оцінки впевненості в настанні певної конкретної ситуації обстановки при наявності обмеженого набору інформаційних ознак.

Ключові слова: *особа, що приймає рішення, формалізація знань, вирішальні правила розпізнавання, морфізми, модальності.*

Аналіз сучасного стану проблеми. Система інформаційного забезпечення (СІЗ) процесів прийняття рішень операторами в автоматизованих системах управління рухом суден (АСУ РС) має забезпечувати ефективне рішення низки функціональних завдань, що характеризуються динамічністю зміни умов обстановки, мають нечіткі просторові та часові характеристики, характеризуються недостатньою визначеністю станів системи та об'єктів управління, а також неповнотою і розмитістю чинників, що впливають на підготовку управлінських рішень.

Одним з основних завдань, які необхідно вирішувати в зазначених умовах особами, що приймають рішення (ОПР) є завчасне виявлення та прогнозування в динаміці розвитку можливих конфліктів. Найчастіше це стосується потенційно конфліктних ситуацій для

морських суден (МС), при яких без змін режиму здійснення судноводіння відбудеться небезпечне наближення до заборонених зон та (або) небезпечне зближення морських суден, а саме при проходженні МС через спільну точку простору, при русі МС по загальній ділянці акваторії, при русі МС по ділянкам акваторії, що мають заборонені зони та (або) по траєкторіям що перетинаються, забезпечення дотримання мінімально допустимого зближення між МС в акваторії морського порту, а саме забезпечення безпеки в просторово-часовому вимірі між МС які заходять для причалювання та тими, що виходять з акваторії порту у відкрите море, щоб не допустити зіткнення між ними.

Постановка проблеми. На даний час доведено кореляційну залежність показників ефективності оцінки ситуацій, що складаються в зоні відповідальності органу управління рухом суден від якості подання інформаційної моделі. При цьому в складі СІЗ діяльності ОПР слід враховувати не тільки складові, що впливають на формування ІМ обстановки, а маю бути обов'язково враховані знання та досвід людини-оператора на яку покладаються основні завдання по підготовці та ухваленню рішень в АСУ РС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Результати аналізу сучасних досліджень в галузі навігації та автоматизації управління рухом свідчать, що питанням удосконалення СІЗ діяльності людини оператора присвячено достатньо велику увагу [1-12]. Однак до теперішнього часу остаточно невирішеними є проблеми формалізації знань про процеси розпізнавання ситуацій обстановки (СО). Це, в першу чергу, стосується проблеми адекватної оцінки ОПР загальної обстановки, що складається в зоні відповідальності органу управління РС, а також її складових - метеорологічної, завадової обстановки, стану об'єктів інфраструктури, тощо. Окрім того, остаточно не вирішено проблему щодо механізму своєчасного виявлення ситуацій обстановки, які в динаміці розвитку можуть призвести до морських катастроф, за умови неефективного реагування на них ОПР.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Тому в роботі необхідно розробити метод формалізації знань про процес розпізнавання ситуацій обстановки, який враховує динаміку змін інформаційних ознак СО та дозволяє своєчасно виявити потенційно-конфліктні ситуації (ПКС) в зоні відповідальності органу управління АСУ РС.

Викладення основного матеріалу

Процес розпізнавання ситуації обстановки, що складаються в зоні відповідальності органу управління АСУ РС, формально зводиться до оцінки ступеня близькості ситуації, яка спостерігається по сукупності ознак в інформаційній моделі обстановки, до однієї з множини ситуацій обстановки. Можливий перелік СО визначається на етапі планування, підготовки та розробки системи розпізнавання ситуацій в АСУ РС.

З множини можливих ситуацій обстановки, що можуть виникати в зоні відповідальності органу управління АСУ РС, найбільшу вагу в процесі підготовки прийняття рішень мають ті, що можуть в динаміці розвитку призвести до виникнення конфлікту.

Для розпізнавання СО "потенційно конфліктна ситуація", необхідна наявність інформації про значення наступних інформаційних ознак (ІО):

- рух морського судна за прямолінійною траєкторією;
- маневрування морського судна за траєкторією по дузі окружності;
- відхилення МС від встановленого маршруту руху;
- зближення морських суден;
- перетин зайнятого попутного / зустрічного напряму руху;
- рух МС в особливих умовах;
- виникнення особливих випадків на борту МС;
- незаплановане використання МС акваторії в зоні відповідальності органу управління;
- МС знаходиться в зоні передачі управління іншому органу управління рухом суден і таке інше.

Тоді, використовуючи метод багатоетапної формалізації знань, який базується на положенні, що формалізований опис цілепокладаючих завдань прийняття рішень, складений

з використанням обчислень предикатів першого порядку, відображається в формалізований опис цілепокладаючих завдань прийняття рішень, складених за допомогою структури цільових установок (СЦУ), з точністю до ізоморфізму [14], слід провести процедуру формалізації знань про початкові умови для розпізнавання СО.

Виходячи зі змісту розроблених правил і посилань, які наведено в [15], з'являється можливість побудови вирішального правила саме для визначення факту настання СО "один (S1) відносно до другого (S2)" з використанням обчислень предикатів першого порядку, що наведено при розробці комбінованої моделі подання знань в [16-18].

З урахуванням зазначеного, формальне правило для вказаної ситуації обстановки буде мати наступний вид:

$$\begin{aligned} &\text{ПКС}(PS_1, PS_2) \equiv \text{ОДНАКАЗ}(PS_1, PS_2) \cup (\text{РУХВИЗН}(PS_1) \cap \text{ВХАКВ}(PS_2)) \cup \\ &\cup (\text{РУХВИЗН}(PS_1) \cap \text{ВИХАКВ}(PS_2)) \cup (\text{ВХАКВ}(PS_1) \cap \text{ВИХАКВ}(PS_2)) \cup \\ &\cup \text{ВХАКВ}(PS_1, PS_2) \cup \text{ВХАКВ}(PS_1, PS_2) \end{aligned} \quad . \qquad (1)$$

де ПКС(PS_1,PS_2) – ПКС при спільному русі морських суден PS_1 та PS_2 в одній часовій площині; ОДНАКАЗ – один напрям по азимуту для морських суден PS_1 та PS_2; РУХВИЗН – рух морських суден PS_1 та PS_2 в визначеній ділянці акваторії відповідно; ВХАКВ- вхід до акваторії порту суден PS_1 та PS_2 відповідно; ВИХАКВ – вихід з акваторії порту суден PS_1 та PS_2 відповідно.

З огляду на те, що процес розпізнавання має здійснюватися з урахуванням динаміки зміни обстановки, то і знання щодо значень кожного з факторів є відомими лише з деякою мірою впевненості, що визначається наприклад згідно [18, 19], вирішальне правило (1) прийме наступний вигляд:

$$\begin{aligned} &M\,\text{ПКС}(PS_1, PS_2) \equiv \text{ОДНАКАЗ}(PS_1, PS_2) \cup (\text{РУХВИЗН}(PS_1) \cap \text{ВХАКВ}(PS_2)) \cup \\ &\cup (\text{РУХВИЗН}(PS_1) \cap \text{ВИХАКВ}(PS_2)) \cup (\text{ВХАКВ}(PS_1) \cap \text{ВИХАКВ}(PS_2)) \cup \\ &\cup \text{ВХАКВ}(PS_1, PS_2) \cup \text{ВХАКВ}(PS_1, PS_2) \end{aligned} \quad . \qquad (2)$$

У виразі (2) відображена можливість настання вказаної події, яку для предметної області, що розглядається, формально слід задати шляхом введення модального оператора можливості – M.

Знання про взаємозв'язок між фактами в даній предметній області і формалізоване подання цілі вирішення завдання розпізнавання дозволяють перейти до наступного етапу методу багатоетапної формалізації знань, та подати процес вирішення завдання розпізнавання СО у вигляді СЦУ (рис. 1).

На рис. 1 вихідні вершини 1 – 13 в загальному виді позначають початкові умови та фактори, що характеризують ситуацію, яка складається на поточний момент часу, так наприклад вершина 1 позначає час оцінювання ситуації, вершини 2 – 4 позначають поточні значення координат та параметрів руху МС №1, вузли 5-13 відповідають поточним значенням вхідних умов, факторів та інформаційних ознак, що носять кількісний та якісний характер; вузли 2.1 – 2.3 характеризують процес обробки даних для визначення проміжних класів (категорій) СО; вузол 3.1 – наведено для пояснення можливості сумісної обробки первинних значень початкових умов та факторів з визначеними проміжними класами (категоріями) СО, вершина 4.1. – відповідає отриманню рішення про подію щодо настання визначеної ситуації обстановки.

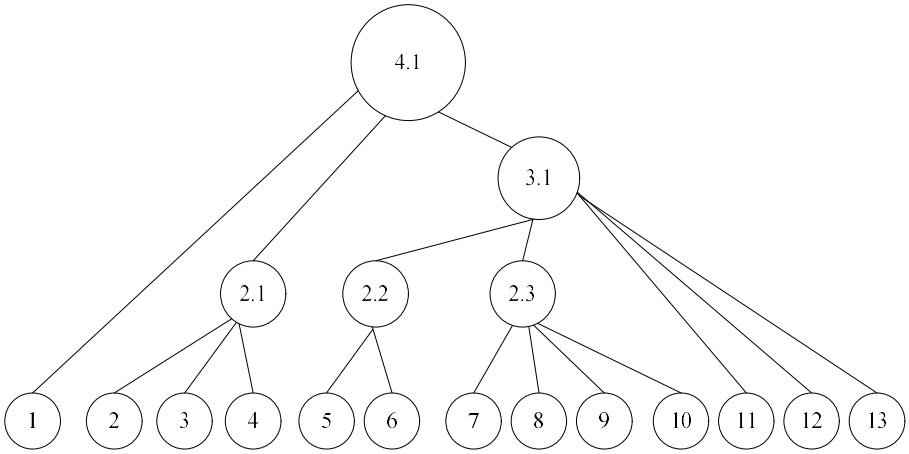


Рис. 1. Варіант структури подання знань про процедуру розпізнавання ситуації обстановки

Використовуючи запропонований підхід до формалізації процесу розпізнавання СО, можливо отримати опис і всіх інших класів СО.

Формалізований опис знань про СО, який наведено, дозволяє перейти до реалізації процедури прийняття рішення на основі СЦУ, що описують різні СО.

При реалізації процедури прийняття рішення з використанням СЦУ необхідно врахувати наступні фактори:

- значення істинності вихідних даних можуть приймати як значення 0 або 1, так і належати нечіткому інтервалу [0; 1], що відображає властивості різних інформаційних ознак, які характеризують СО;

- необхідне отримання оцінки модального висловлювання про можливість настання даної події, що найбільше відповідає умовам відображення динамічних властивостей конкретної СО, так і дозволяє представляти різні оцінки (логічні, лінгвістичні, нечіткі) щодо процесів, які відбуваються в предметній області.

Для реалізації процедури прийняття рішення про тип СО в зоні відповідальності органу управління АСУРС в якості апарату узагальнення результатів інтерпретації висловлювань з урахуванням отриманої СЦУ може бути використано наступне правило розпізнавання, що реалізоване за допомогою відповідної функціональної мережі:

$$FM = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\bar{D}_j\bar{F}_j) - \prod_{i=1}^{n}(\bar{D}_j\bar{F}_j)}{1+\sum_{i=1}^{n}(\bar{D}_j\bar{F}_j) - 2\prod_{i=1}^{n}(\bar{D}_j\bar{F}_j)}, \quad (3)$$

де $\overline{D_j}$ відповідає вектору кількісних інформаційних ознак до яких, наприклад, можуть належати значення поточних та екстрапольованих площинних координат та параметрів руху морських суден, значення азимуту, тощо а вектор $\overline{F_j}$ характеризує якісні ознаки, наприклад порушник правил мореплавства, неприпустиме відхилення від установленої траєкторії руху, тощо.

Результати проведених експериментальних досліджень на розробленій імітаційній моделі, що відтворює процеси розпізнавання СО в системі управління морським рухом, свідчать, що в залежності від кількості чинників, які враховуються при розпізнаванні, та залежно від ступеня їх невизначеності, коефіцієнт правильного розпізнавання СО має значення в межах 0,15 до 0,89, що свідчить про необхідність віднесення обраного правила до класу критеріїв оптимізму. А винесення рішень в практичних застосуваннях за допомогою

таких критеріїв не завжди задовольняє користувачів. Тому пропонується використання наступного підходу.

Для прийняття рішення про тип СО необхідно використовувати механізм, за допомогою якого будуть виявлятися схожі між собою образи поточної і апріорно заданої СО [13].

Отримання вирішальних правил для визначення міри схожості і є основним завданням розпізнавання. Формально дану процедуру може бути подано наступним чином.

Нехай визначено множину СО як A. Ситуація A_1 описується ознаками $A_1 = \{x_1^1, x_2^1, ..., x_n^1\}$,…., ситуація A_m ознаками $A_m = \{x_1^m, x_2^m, ..., x_k^m\}$, де $(A_1, A_2, ..., A_m) \in A$. При цьому множина СО $< A_1, A_2, ..., A_m >$ не перетинається $A_t \cap A_p = \varnothing$, а множини інформаційних ознак, що описують СО $\{x_1^1, x_2^1, ..., x_n^1\}$, ..., $\{x_1^m, x_2^m, ..., x_k^m\} \in X$, можуть перетинатися, оскільки одні й ті ж ознаки можуть характеризувати різні СО. Наприклад, ознака "МС рухаються по одному азимуту" належить як до штатної ситуація, так і до потенційно конфліктної ситуації.

Отже, можна задати множину правил – морфізмів $L = \{l_1, l_2, ..., l_m\}$ які мають дозволити отримувати чисельну оцінку міри подібності ситуації, що настала до апріорно заданої ситуації $S_i \in S$, шляхом порівняння значень одних і тих же поточних і апріорно заданих ознак, що описують конкретну СО.

З урахуванням зазначеного правила опису ознак ситуацій будуть мати наступний вид:

$$l_1 : (\{x_1^1, x_2^1, ..., x_n^1\} \cap \{x_1, x_2, ..., x_r\}) \to A_1; \quad (4)$$

$$l_m : (\{x_1^m, x_2^m, ..., x_k^m\} \cap \{x_1, x_2, ..., x_r\}) \to A_m. \quad (5)$$

При цьому самі морфізми $\{l_1, l_2, ..., l_m\}$ матимуть вигляд правил обробки даних і правил, що описують СО в моделі знань, та задаються у вигляді СЦУ, з можливістю отримання інтерпретації модальних знань, які описують дану СО. Таким чином, до міри подібності між СО можна пред'явити наступні вимоги:

1. Міра подібності між апріорно заданою і поточною СО повинна бути завжди позитивною величиною, тобто $l_i \geq 0, i = \overline{1,m}$.

2. Має дотримуватися властивість симетрії, тобто:

$$l_m : (\{x_1^m, ..., x_k^m\} \cap \{x_1, ..., x_r\}) \to A_m \equiv l_m : (\{x_1, ..., x_r\} \cap \{x_1^m, ..., x_k^m\}) \to A_m; \quad m = \overline{1,M}. \quad (6)$$

В результаті обчислення значення функції подібності поточної A_t та апріорно заданої A_p СО, буде отримано результат розпізнавання у виді максимуму функції подібності між ними, тобто:

$$F(A_t, A_p) = \max_m l_m. \quad (7)$$

Отримані співвідношення дозволяють формалізувати знання про процес оцінки ситуацій обстановки, що складаються в зоні відповідальності органу управління рухом суден. В результаті може бути отримано СЦУ, що дозволяє вирішити завдання визначення конкретної СО, що відповідає поточному моменту часу.

Метод ситуаційного аналізу обстановки, що засновано на спільному використанні методів розпізнавання можливих ситуацій, які виникають в предметній області, спирається на основні положення методів кластерного аналізу, що використовуються спільно зі знаннями для процесу розпізнавання. Структуру запропонованого методу наведено на рис. 2.

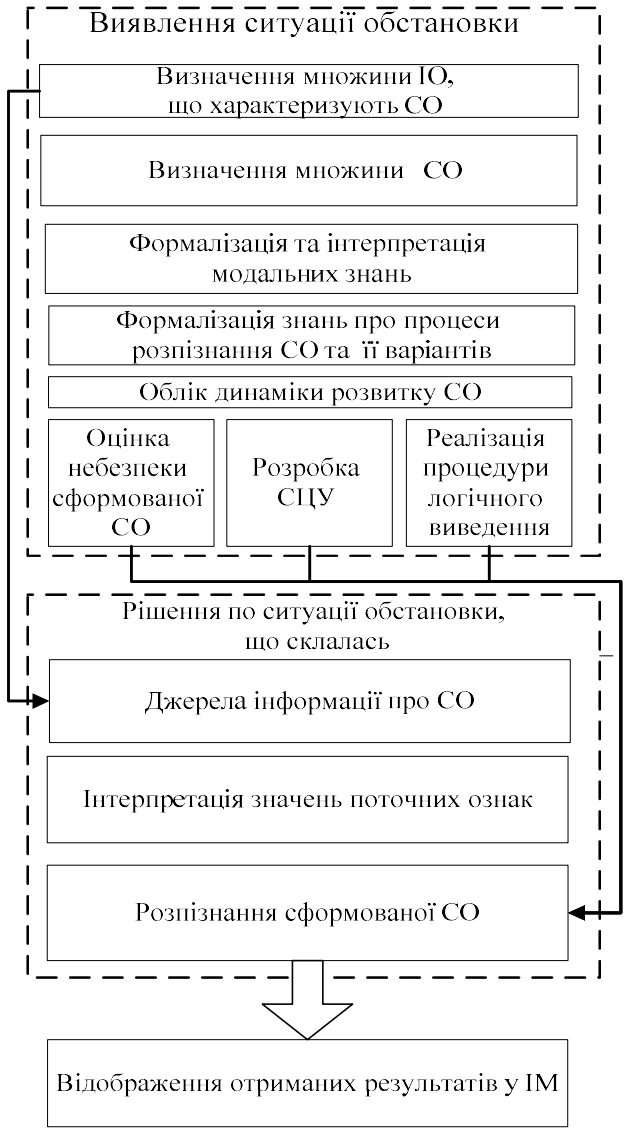


Рис.2 Структура методу формалізації знань по ситуаційному аналізу обстановки для інформаційної підтримки прийняття рішень в АСУ РС

Таким чином, запропоновані послідовність та зв'язок етапів та процедур дозволяють в підсумку отримати формалізований опис знань про процес розпізнавання ситуацій обстановки особою, що приймає рішення в автоматизованій системі управління рухом суден.

ВИСНОВКИ

Розроблений метод формалізації знань про процес розпізнавання ситуацій обстановки особою, що приймає рішення в автоматизованій системі управління рухом суден передбачає послідовність етапів та процедур, що починаються з визначення переліку інформаційних ознак, що є вихідними для побудови правил розпізнавання ситуацій обстановки.

В методі враховано, що процес розпізнавання має здійснюватися з урахуванням динаміки зміни обстановки. Також передбачено, що вирішальні правила в своїй основі базуються на розгляді ситуацій можливого взаємного положення морських суден відносно заборонених зон та один до одного в просторовій та часовій площинах.

Пропонується використовувати множину правил – морфізмів, які мають дозволити отримувати чисельну оцінку міри подібності ситуації, що настала до апріорно заданої ситуації шляхом порівняння значень одних і тих же поточних і апріорно заданих ознак, що описують

конкретну ситуацію обстановки.

В результаті обчислення значення функції подібності поточної та апріорно заданої ситуації обстановки виявляється можливість отримати результат розпізнавання у виді максимуму функції подібності між ними.

Подальшим напрямом досліджень є розробка процедур отримання оцінки істинності висловлювань, які містять модальності, що дозволить коригувати результати роботи алгоритму логічного висновку і отримувати оцінки впевненості в настанні ситуації обстановки при наявності обмеженого набору інформаційних ознак.

ЛІТЕРАТУРА

1. Полонський Ю.І. «Формалізований опис процесу відбору інформаційних ознак для формування моделі повітряної обстановки» / Ю.І. І.О. Борозенець, С.Г. Шило, М.І. Литвиненко // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил – 2016. – № 2. – С. 115-117.
2. Павленко М. А. «Розподіл часу оцінки повітряної обстановки особою, що приймає рішення, в диспетчерській службі єдиної системи управління повітряним рухом» / М. А. Павленко, С. Г. Шило, І. О. Борозенець, Ю. І. Полонський // Системи обробки інформації. – 2016. – № 8. – С. 37–39.
3. Шмелева, Т.Ф. «Формализация деятельности человека-оператора авиационной эргатической системы во внештатных ситуациях» / Т.Ф. Шмелева, Ю.В. Сикирда // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2010. – №. 5. – С. 296–300.4. "Nadiynist` tehniky. Terminy ta vyznachenya" [Technics reliability. Terms and Definitions]: DSTU 2860. [Effective date 1996-01-01]. Kyiv: Derzhstandard Ukrainy, 1995. 92 p. [Governmental standard of Ukraine].
4. Litvinenko M. «Method of representation of the surface structure of messages on the restricted natural language of the operators of automated air traffic control system» / M. Litvinenko, I. Borozenec, S. Shilo, V. Mazarov / Системиобробкиінформації. – 2018. – № 2(153). – С. 75-80.
5. Dmitriiev O. I «Imitation model of support for decision-making based on assismtent of the situation by operators of the automated air traffic control system» // O. Dmitriiev, I. Borozenec, S. Shilo, T. Kalimulin. Сучасні інформаційні системи. Науковий журнал. – Харків: НТУ ХПІ, 2018. – Том 2. – №3 – С.30 –35.
6. Дмитрієв О.М. «Модель функціональної діяльності оператора автоматизованої системи управління повітряним рухом» // Павленко М.А., Дмитрієв О.М. Шило С.Г. Системи управління, навігації та зв'язку. Випуск 4 (50). – Полтава.: ПНТУ, 2018. – С. 17-21.
7. DmytriievO. «Estimation of primary aerodynamic characteristics of ship-based unmanned aircraft vehicle // DmytriievO., ZhyvytskyiM., ElizarovO.P., SyominO.A., SushkoV.G. Новітні технології. Збірник наукових праць Приватного вищого навчального закладу «Університет новітніх технологій». – К.: ПВНЗ «Університет новітніх технологій», 2018. – Випуск 2(6). – С. 166 – 180.
8. Hopkin V. D. «Human factors in air traffic control".– CRC Press, 2017. – 366 p.
9. Isaac A. R., Ruitenberg B. «Air traffic control: human performance factors». – Routledge. – 1999. 365 p.
10. Aarons RN. «Controllers make mistakes too. Business & Commercial Aviation.» 2002; 90: 76–77.
11. Кожохіна О. В. «Інформаційно-функціональна модель надійності оператора аеронавігаційних систем» / Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – К.: НАУ. 2015. – 203 с.
12. Харченко В. П. «Система управління ризиками авіаційної діяльності / В. П. Харченко, О.М. Алєксєєв / Под ред. Харченко В.П.: – К. : НАУ, 2018. – 312 с.

13. Макаров И. М. и др. «Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления»//Отделение информ. технологий и вычислит. систем РАН.–М.: Наука. – 2006.
14. Павленко М.А «Разработка процедуры многоэтапной формализации знаний для экспертных систем реального времени» / М.А. Павленко // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 9 (37). – С. 124-133.
15. Иванов С.И. «Представление знаний и данных о воздушныхобъектах-нарушителях правил использованиявоздушногопространства» // С.И. Иванов, Л.Б. Цюрак, А.В. Давиденко // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2014. – Вип. 5 (121). – С. 46 - 51.
16. Бычков Е.Д. «Распознавание состояния сложной цифровой системы при нечетких условиях»// Системы управления и информационные технологии. – 2005.–Том 2(19).– С. 80–84.
17. Борисов В.В. «Нечеткие модели и сети»/ В.В. Борисов, В.В. Круглов, А.С. Федулов. – М.: Горячаялиния –Телеком, 2007.–284 с.
18. Костин А.А. «Модели и методы проектирования систем управления телекоммуникационными сетями»// –дис. … д-ра техн. наук: 05.12.13/ Костин Александр Алексеевич–Санкт-Петербург, 2003. –355 с.
19. William Siler. «Fuzzy expert systems and fuzzy reasoning»// William Siler, James J. Buckley. –Hoboken, New-Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2005. –405 p.

Dmitriev O.M., Melnyk O.V., Makarov O.M., Yeliazarov O.M.

METHOD OF FORMALIZATION OF KNOWLEDGE ABOUT THE PROCESS OF RECOGNITION OF SITUATION SITUATIONS INAUTOMATED CONTROL SYSTEMBY SHIP TRAFFIC

The article suggests ways to solve the problem of determining the situations that arise in the area of responsibility of the traffic control authority. It is assumed that in difficult situations the data coming from different types of sources for preparing a solution is characterized by high dynamism of changes, uncertainty, vagueness and ambiguity. It offers an approach to assessing the situation from the point of view of the need for priority and timely identification of potential conflict situations, relies on a multi-stage procedure of knowledge formalization using first-order predicate calculations and aims to proceed to the implementation of a decision procedure based on the structure of targets that describe different situations. The method involves the definition of a list of information signs, are the source for building rules for the recognition of situations of the situation. It is envisaged that the decision rules basically provide for consideration of situations of the possible mutual position of sea vessels relative to each other in the spatial and temporal planes. It is proposed to use a set of rules - morphism, which should allow to obtain a numerical estimate of the degree of similarity of a situation occurring in an a priori given situation by comparing the values of the same current and a priori given signs describing a specific situation of the situation. As a result of calculating the value of the similarity function of the current and a priori given situation of the situation, it becomes possible to obtain the result of recognition as a maximum of the similarity function between them. As a result, the proposed structure and sequence of stages of the method of formalization of knowledge about the process of identifying situations of the situation, taking into account the dynamics of changes in the information signs of the situation of situations, and allows you to identify potential conflict situations in the area of responsibility of the decision maker. A further direction of research is to develop procedures for obtaining an assessment of the truth of statements containing modalities, which will allow correcting the results of the logical inference algorithm and obtaining estimates of confidence in the occurrence of a particular specific situation in the presence of a limited set of information signs.

***Keywords**: decision maker, formalization of knowledge, deciding rules of recognition, morphism, modalities.*

Дмитриев А.Н., Мельник О.В., Макаров А.М., Елизаров А.Н.

МЕТОД ФОРМАЛИЗАЦИИ ЗНАНИЙ О ПРОЦЕССЕ РАСПОЗНАВАНИЯ СИТУАЦИЙ ОБСТАНОВКЕ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ СУДОВ

В статье предложены пути решения задачи по определению ситуаций обстановки, которые возникают в зоне ответственности органа управления движением судов. Предполагается, что в сложных условиях обстановки данные, поступающие от разнотипных источников для подготовки решения характеризуются высокой динамичностью изменений, неопределенностью, размытостью и неоднозначностью. Предлагается подход к оценке обстановки с точки зрения необходимости первоочередного и своевременного выявления потенциально конфликтных ситуаций, опирается на многоэтапную процедуру формализации знаний с использованием вычислений предикатов первого порядка и имеет целью переход к реализации процедуры принятия решения на основе структуры целевых установок, описывающих различные ситуации обстановки. Метод предполагает определение перечня информационных признаков, являются исходными для построения правил распознавания ситуаций обстановки. Предусмотрено, что решающие правила в своей основе предусматривают рассмотрение ситуаций возможного взаимного положения морских судов относительно друг друга в пространственной и временной плоскостях. Предлагается использовать множество правил - морфизм, которые должны разрешить получать численную оценку степени сходства ситуации, наступившей в априорно заданной ситуации путем сравнения значений одних и тех же текущих и априорно заданных признаков, описывающих конкретную ситуацию обстановки. В результате вычисления значения функции сходства текущей и априорно заданной ситуации обстановки оказывается возможность получить результат распознавания в виде максимума функции сходства между ними. В итоге предложена структура и последовательность этапов метода формализации знаний о процессе распознавания ситуаций обстановки, учитывающий динамику изменений информационных признаков ситуаций обстановки, и позволяет своевременно выявить потенциально конфликтные ситуации в зоне ответственности лица, принимающего решение. Дальнейшим направлением исследований предполагается разработка процедур получения оценки истинности высказываний, содержащих модальности, что позволит корректировать результаты работы алгоритма логического вывода и получать оценки уверенности в наступлении определенной конкретной ситуации обстановки при наличии ограниченного набора информационных признаков.

***Ключевые слова**: лицо, принимающее решение, формализация знаний, решающие правила распознавания, морфизм, модальности.*

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ: СТАНДАРТИЗАЦІЯ, СЕРТИФІКАЦІЯ, ПРОЦЕСИ ТА ОБЛАДНАННЯ

УДК 005.664 *DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.15*

Медведева Н.А., Левицкий М.А., Сухенко В.Ю.

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВИРОБНИЦТВА ПЛАВЛЕНИХ СИРІВ

Питання з економічної ефективності виробництва продуктів харчування в усі часи залишається актуальним. В даній статті наведено аналіз технологічного процесу, що використовує джерела енергії на конкретному підприємстві, що знаходиться на території України.

Наведено характеристику етапів технологічного процесу виробництва плавленого сиру. Даний аналіз дозволив виділити основних споживачів енергоресурсів на кожному етапі виробничого процесу. В результаті, проведеного енергетичного обстеження підприємства і аналізу його результатів, виявлені особливості споживання енергетичних ресурсів.

Запропоновано ряд організаційних і технічних рішень для зниження споживання енергоресурсів і підвищення енергетичної ефективності виробничого підприємства. Проведено аналіз технічних можливостей підприємства для реалізації запропонованих заходів з енергоефективності. Охарактеризовані заходи до ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів при виробництві плавлених сирів.

Ключові слова: *енергоефективність, енергетичні ресурси, паливно-енергетичні ресурси, плавлений сир.*

Постановка проблеми. Неспроможність вітчизняної продукції конкурувати із зарубіжними продуктами пояснюється тим, що в собівартості продукції значну частину складають витрати енергетичних ресурсів. Харчова промисловість займає одне із провідних місць у структурі промислового виробництва України. Отже, ресурсоощадність й енергоефективність в економічному розвитку України має надзвичайно важливе значення, що і обумовлює актуальність дослідження [1]. Саме ця проблема стосується й виробництва плавлених сирів. Плавлений сир виробляють з високоякісних твердих сирів, молока і масла з додаванням прянощів і приправ. У пошуку різноманітних смаків, сировари створюють нові рецепти плавлених сирів з додаванням сметани, вершків і сиру. Існують і більш пікантні інгредієнти, наприклад, гриби, горіхи, лосось, шинка.

Плавлений сир – білково-жировий продукт, що містить від 10,5% до 22,0% білкових речовин, в тому числі пептидів і амінокислот. Такий рівень вмісту білкових речовин в продукті цілком достатній для розвитку мікроорганізмів та забезпечення конструктивного метаболізму більшості груп бактерій, здатних вплинути на якість і безпеку плавлених сирів. Крім того, сир плавлений - незамінне джерело кальцію, недолік споживання якого спостерігається у значної частини населення. Лише 100-150 г сиру задовольняють добову потребу людини в цій речовині. Важливо, що кальцій в сирі знаходиться в оптимальному співвідношенні з фосфором і магнієм, що підвищує його засвоюваність. Плавлені сири є хорошим джерелом вітамінів А, D, B_2, Е, фолієвої кислоти. Поєднання цих вітамінів і мінеральних речовин з повноцінними білками і жирами сприяють кращому засвоєнню всіх поживних речовин, що містяться в сирах. Але виробництво м'яких сирів в порівнянні з напівтвердими (твердими) сирами аналогічної жирності за витратою нормалізованої суміші є ресурсозберігаючими. Зростання цін на енергоресурси, скорочення запасів вуглеводнів спонукають нас до знаходження та

впровадження можливостей для зниження споживання й підвищення енергоефективності виробництв..

Аналіз попередніх досліджень. Дослідження процесу економічної оцінки організаційно-технічних заходів щодо підвищення промислової енергетичної ефективності розкриті у роботах [2, 3] таких вчених Р. Коуза (R. H. Coase), Н. Пахомовой, К. Рихтера, А. Эндреса, И. Ховавко, В. Клочкова, С. Ратнера тощо. Питаннями державної політики з енергозбереження та енергоефективності у своїх працях розглядали В. Геєць, В. Григоровський, Г. Дзяна, В. Джеджула, С. Єрмілов, А. Праховник, Т. Сердюк, А. Шидловський, О. Прокопенка [4] та інші.

Проте, подальших досліджень потребують питання щодо впровадження комплексу дій спрямованих на оптимізацію використання енергоресурсів, яка передбачає найкращу комбінацію ресурсів, які використовуються на окремо взятому підприємстві (з врахуванням їх обсягу, питомих витрат, вартості, інноваційності та ін.).

Метою статті є проведення структурного аналізу паливно-енергетичних ресурсів підприємства з виробництва плавленого сиру для виявлення існуючих проблем та впровадження запропонованих заходів з ефективного використання енергетичних ресурсів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для визначення заходів з енергозбереженням на виробництві плавлених сирів необхідно спочатку надати характеристику технології, обладнанні, що використовується, та оцінити можливості даного підприємства.

Виробництво м'яких сирів у порівнянні з напівтвердими (твердими) сирами аналогічної жирності за витратою нормалізованої суміші є ресурсозбереженням. Но також як і в разі з кулінарним маслом, для споживача важливо мати вибір сирної продукції. Норми витрати сирого молока на вироблення сирів за даними молокопереробних підприємств наведено у табл.1.

Таблиця 1

Норми витрати сирого молока на вироблення сирів

Група однорідної продукції	Витрати молока, кг/т,		Кількість підприємств, які надали дані
	мінімальний	максимальний	
Напівтверді сири	8700	13052	3
М'які сири	7454	11800	5
Сири з чеддерізацією	–	13000	1

Примітка: норми витрати молока залежать від виду вироблюваного сиру, жирності молока, що застосовується устаткування. Відсутність деяких даних не дозволяє проаналізувати залежність зміни норм витрати за цими показниками для окремих заводів.

Технологічний процес виготовлення плавлених сирів складається з наступних операцій: підбір сировини для плавлення, обробка, подрібнення, складання суміші, внесення солей-плавники, дозрівання сирної маси, плавлення, фасування плавлених сирів, охолодження і зберігання плавлених сирів. Схематично ресурсні потоки необхідні для виробництва плавленого сиру наведено на рис.1.

Підбір сировини полягає у відборі партій сиру, масла та інших молочних продуктів в камерах зберігання. При відборі здійснюється органолептичний аналіз і контроль фізико-хімічних показників сировини. Підбір партій сиру проводиться перш за все з урахуванням їх зрілості.

Підготовка сировини (обробка і подрібнення). З сирів видаляється плівка, парафін або латексне покриття за допомогою гарячої води або струменю пари, потім витримують у гарячій воді для розм'якшення скоринки, яку згодом зрізають. Якщо у якості сировини використовують бринзу, її попередньо вимочують. Очищені сири розрізають на сирорізки, подрібнюють на дзиги або розтирають на вальцювальних машинах до тонкого помелу.

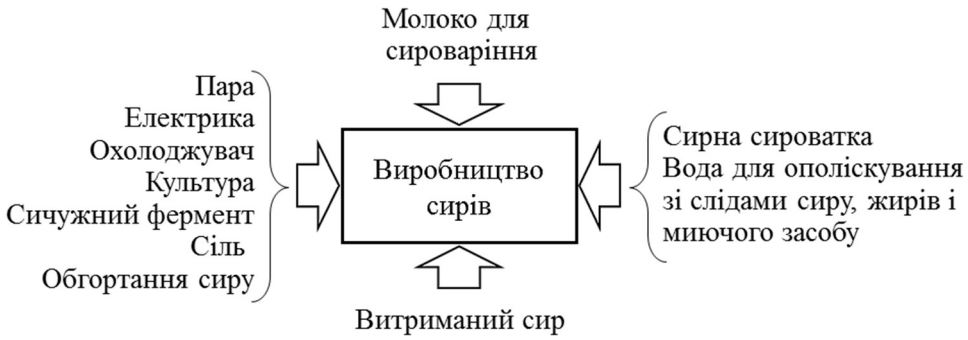


Рис. 1. Вхідні і вихідні потоки сировини і матеріалів при виробництві сиру

Вершкове масло розморожують, очищають від Штаффа, розрізають на шматки 1-2 кг. Сливки, сметану фільтрують. Сухі молочні продукти просівають.

Дозрівання сирної маси. Мета дозрівання (витримка сирної маси і солі-плавителя перед плавленням – забезпечити рівномірне плавлення, покращити консистенцію готового продукту та знизити розхід солі-плавителя. Для дозрівання використовують металічні баки. Тривалість витримки 1...3 години в залежності від зрілості вихідної маси

Важливою технологічною операцією і основною особливістю технологічного процесу, є плавлення - процес термічного впливу на сировину, що супроводжується переходом його з твердого стану у рідке. Плавлення здійснюють у спеціальних закритих котлах або інших апаратах з паровою сорочкою і мішалкою. Сирну масу нагрівають поступово подачею гострого пара у міжстінний простір котла, а також введенням пари безпосередньо у сирну масу. Температуру плавлення сирної маси, тривалість нагрівання і витримки нагрітої сирної маси встановлюють з урахуванням застосовуваного вихідної сировини, ступеня його зрілості, виду емульгує солі і виду вироблюваного продукту. При цьому беруть до уваги також вид продукції, що випускається і обладнання. Температура плавлення сиру коливається у межах 75... 80°С (рідше 85... 95°С).

Тривалість плавлення (при контактному нагріванні через стінку котла) при температурі 75... 80°С становить 15-20 хвилин; при 85... 95°С – 10-12 хвилин. При плавленні інжекцією пари у сирну масу тривалість плавлення зменшується до 10-15 хвилин.

Закінчення процесу плавлення визначають за станом маси, яка стає однорідною і досить плинної, не має нерозплавлених частинок сиру.

Процес плавлення сирної суміші є відповідальною операцією, що визначає певною мірою якість готового продукту і його стійкість при зберіганні. Плавлення підготовленої сирної суміші виробляють в спеціальних закритих котлах або інших апаратах з паровою сорочкою і мішалкою. Нагрівання сирної маси ведуть поступово пуском пари в міжстінний простір котла при тиску від 1,5 до 2 ат. або введенням пара безпосередньо в сирну масу. Основна мета технологічної операції плавлення - це: знищення всіх потенційно небезпечних мікроорганізмів псування і освіті стабільного продукту з необхідними органолептичними властивостями.

Чим нижче температура плавлення, тим більше ризик того, що на фасування надійде продукт з температурою нижче температури пастеризації, що вкрай небажано, з міркувань мікробіологічної безпеки.

Для поліпшення емульгування жиру і отримання більш ніжної структури плавлення сирної масу піддають гомогенізації. Процес емульгування полягає в наступному: на плавники відкривається кран зливного отвору і гаряча сирна маса по трубопроводах за допомогою роторного насосу подається на емульсор. Після емульсора, якщо сирна маса недостатньо емульгована, вона може бути повернута у плавитель, або спрямована на фасування.

Дана технологічна операція обов'язкова при виробництві пастоподібних сирів. При виробництві скибкових сирів вона недоцільна, оскільки призводить надалі до значного ущільнення структури і отримання грубої гумової консистенції. Гомогенізацію проводять при

температурі 75... 80°С і тиску 9,8 ... 14,7 МПа.

Розплавлену сирну масу у гарячому стані подають на фасувально-пакувальні автомати, де сир фасується у алюмінієву фольгу, туби з полімерних матеріалів, стаканчики і коробочки з полімерних матеріалів, полімерні плівки і ін.

Після фасування плавлені сири відразу піддають охолодженню різними способами: на стелажах у спеціальних холодильних приміщеннях, у охолоджувачах тунельного або стрічкового типу. Тривалість охолодження залежить від виду вироблюваного продукту і коливається від 30-ти хвилин до 12-16 годин. Температура, при якій сир можна упаковувати у ящики, повинна бути не вище 15°С.

Для визначення напрямків з енергозбереження та енергоефективності необхідно визначити споживачів паливно-енергетичних ресурсів та причини витрат первинної та вторинної енергії на підприємстві [5]. Велика частина технологічних процесів на підприємствах відбуваються з використанням енергоносіїв різного виду і призначення. Нижче наведено данні заводу з виробництва плавлених сирів в Україні, в якому автори статті в составе групи з енергоаудиту проводили енергетичне обстеження.

За даними енергоаудиту було визначені основні споживачі електричної та теплової енергії. Найбільшим споживачем електричної енергії є компресорна системи охолодження, яка у загальному обсязі складає 56%. На рис. 2 представлені частки споживачів електричної енергії від загального обсягу.

Встановлено, що заводом влітку споживається більше електроенергії, так як збільшується навантаження на систему охолодження, а пік споживання тепла припадає на зиму. На рисунку 3 зазначено частки споживачів теплової енергії від загального обсягу.

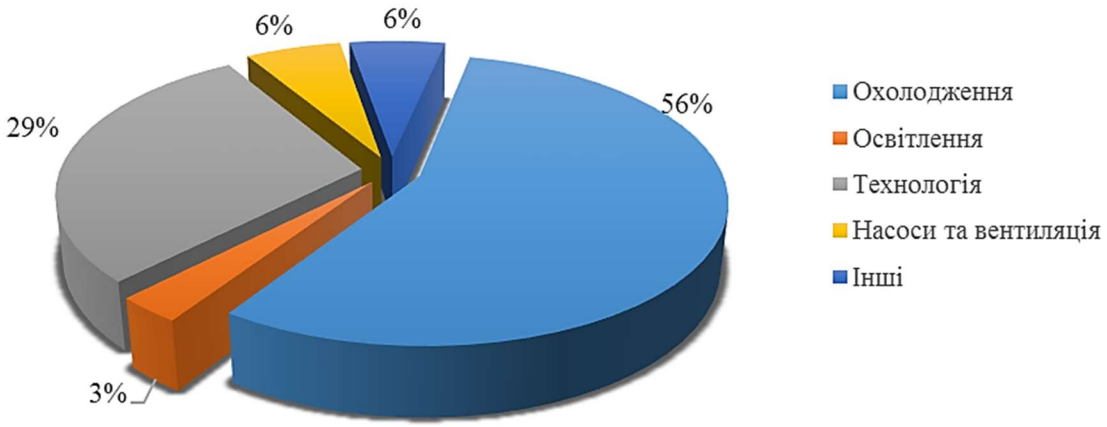


Рис. 2. Частка споживання електроенергії у загальному обсязі енергоспоживання від загального обсягу, %

Під час проведення енергетичного обстеження зазначено той факт, що виробництво плавленого сиру має досить суттєву розбіжність за місяцями. Тому доцільно було врахувати при подальших дослідженнях питомі витрати енергетичних ресурсів. Дані зі споживання та вартості енергоресурсів наведені у табл. 2.

Під час проведення енергетичного обстеження прийшли до висновку, що на даному підприємстві було запроваджено лише деякі основи енергетичного менеджменту, а саме має місце збір деяких базових даних. Для застосування ефективного інструменту, такого як енергоменеджмент, з контроля енергоспоживання та його зниження необхідно запровадити всі його елементи та вимоги.

До організаційних рекомендацій також відноситься впровадження таких механізмів як:

✓ встановлення лічильників на головних агрегатах споживання;

✓ складання енергетичних звітів для моніторингу, наприклад на місячній основі;

✓ визначення та облік енерговитрат на окремих цехах (виробничих потужностях) підприємства;

- ✓ визначення контрольних індикаторів для оцінки специфічної енергоефективності;
- ✓ повинні мати місце регулярні засідання по енергоспоживанню;
- ✓ координація техобслуговування, установка автоматизованих систем контролю;
- ✓ автоматизація збору даних.

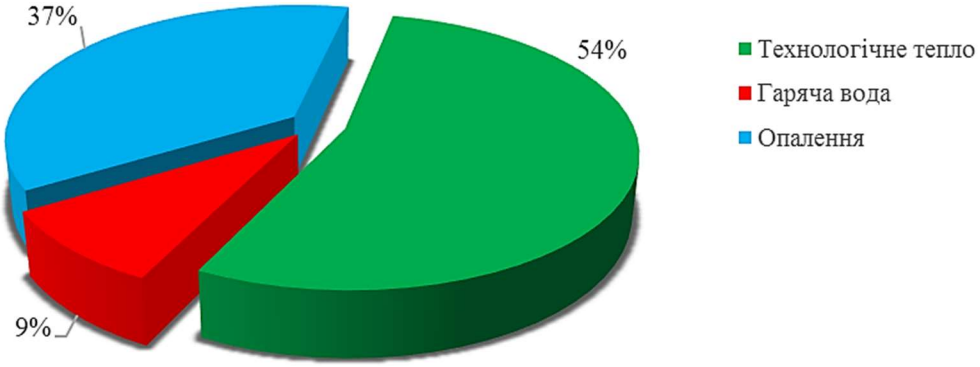


Рис. 3. Поточний обсяг споживання тепла виробничими процесами від загального обсягу, %

Таблиця 2

Питоме споживання енергії

Місяці	Об'єм виробництва, тонн	Електро-енергія, кВт·год/тонну	Теплова енергія, кВт·год/тонну	Всього, кВт·год/тонну	Загальні витрати на виробництво, тонн
1	571,433	0,33	2,31	2,64	786,99
2	705,885	0,25	1,98	2,23	633,37
3	813,538	0,24	1,56	1,80	496,30
4	1.052,771	0,21	1,08	1,29	398,98
5	754,654	0,31	1,41	1,72	572,52
6	826,602	0,33	0,76	1,10	535,28
7	756,117	0,37	1,17	1,54	630,80
8	886,674	0,29	1,09	1,38	512,79
9	886,647	0,31	1,03	1,34	528,17
10	956,931	0,23	1,16	1,39	443,24
11	848,428	0,26	1,31	1,58	499,21
12	1.157,936	0,20	0,90	1,11	376,18
Σ	**10.217,615**	**0,27**	**1,26**	**1,53**	**506,30**

Для більш значущого досягнення енергоефективності заводу з виробництва плавленого сиру необхідно детально охарактеризувати обладнання та системи, які використовує підприємство. Виявлено, що пар для виробництва і опалення поставляється чотирма ідентичними котлами (Е 1/8), які працюють одночасно - вони управляються тільки вручну, шляхом збільшення або зменшення подачі повітря в топку.

Ці котли раніше були газовими котлами, які спочатку були переведені на використання мазуту, а пізніше – на спалювання дерева та вугілля. Згідно з інформацією, отриманою на заводі, близько 80% виробництва тепла покривається спалюванням деревини, і близько 20% – спалюванням вугілля (при високому споживанні, наприклад, взимку). У зв'язку з конструкцією, ручним керуванням і віком котлів, їх ефективність дуже низька (середня ефективність – 52%). Результатом цього стає неефективний режим роботи котлів, особливо влітку, під час низького навантаження. Занадто низька подача тепла в топку призводить до неповного спалювання, що означає, несоженние частки йдуть з димовими газами. Занадто висока подача тепла в топку також знімає ефективність роботи котла. За для підвищення

енергоефективності роботи котлів запропоновано наступні заходи: вимикати 1-2 котли в літню пору, або в період низького споживання, щоб забезпечити повне навантаження для інших котлів; встановити контролер подачі повітря в топку, включаючи частотний привід вентилятора з частотним перетворювачем, щоб оптимізувати подачу повітря в топку (тим самим знизити електроспоживання вентиляторами – як дрібна економія, не врахована в розрахунках); встановлення датчиків для вимірювання тиску пари, вмісту кисню у вихідних газах і т.д., щоб оптимізувати режим контролю роботи котлів.

Загалом аналіз технічної можливості підприємства для реалізації заходів з енергоефективності дозволив визначити наступні енергозберігаючі заходи, які описані у табл. 2. Оцінка потенціалу економії енергоресурсів визначено теоретичними заощадженнями за допомогою підвищення специфічної ефективності запропонованих заходів, які наведено у табл. 3.

Таблиця 3

Оцінка потенціалу економії енергоресурсів

№	Енергозберігаючі заходи	Економія	
		Електроенергія, кВт·ч/год	Паливо, кВт·ч/год
1	Заміна котлів на нові 2 котла на деревній трісці	0	4.499.000
2	Утилізація скидного тепла з димових газів	0	900.000
3	Ізоляція гарячих поверхонь	0	1.700.000
4	Оптимізація роботи котла	0	1.928.000
5	Нанофільтрація для цеху з виробництва масла	504.700	0
6	Оптимізація освітлення	69.598	0
7	Утилізація скидного тепла з охолодження	8.403	1.642.000
8	Заміна компресорів охолодження	474.300	1.101.000
9	Впровадження системи енергетичного менеджменту	277.736	1.285.383

Для повноцінної оцінки та визначення заходів с проведення енергозбереження проведено відповідні розрахунки та наведено у табл. 4 приведена інвестиційна вартість кожного проекту і термін його окупності.

Таблиця 4

Оцінка потенціалу економії енергоресурсів та їх термін окупності

№	Заходи	Інвестиції		Термін окупності, років
		UAH	USD	
1	Заміна котлів на нові 2 котла	2.500.000	200.000	3,4
2	Утилізація скидного тепла з димових газів	125.000	10.000	1,2
3	Ізоляція гарячих поверхонь	18.750	1.500	1,0
4	Оптимізація роботи котла	250.000	20.000	1,1
5	Нанофільтрація для цеху по произв. масла	5.625.000	450.000	1,6
6	Оптимізація освітлення	107.725	8.618	1,1
7	Утилізація скидного тепла з охолодження	450.000	36.000	2,3
8	Заміна компресорів охолодження	3.856.250	308.500	4,8
9	Впровадження сист. енерг. менеджменту	937.500	75.000	1,8

Висновки. Дослідження енергоефективності заводу з виготовлення плавленого сиру встановив ряд причин надмірного енергоспоживання. Аналіз технологічного процесу виготовлення плавленого сиру та інфраструктура підприємства дозволили визначити найефективніші заходи щодо енергозбереження та більш раціонального використання всіх енергетичних ресурсів. Використання вищеописаних методів і способів, особливо цілеспрямована робота з енергозбереження, яка значно знижує видаткову частину бюджету підприємства стосується оплати спожитих енергетичних ресурсів. Універсальним заходом з оптимізації енергоспоживання є заміна застарілого обладнання більш новим і економним, але

не всі підприємства мають можливість його здійснити, тому поліпшення показників, режимів роботи, автоматизація являється найбільш доцільними.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мєдвєдєва Н.А. Шляхи підвищення енергоефективності підприємств харчової промисловості / Мєдвєдєва Н.А., Волинець А.В., Черевашко Д.І. //"Науковий вісник НУБіП України. Серія: Біоресурси і природокористування. – 2018. – Вип. 10. – № 1-2. – С. 124-128.
2. Coase R. The problem of social costs // The Journal of Low and Economics. – 1960.
3. Energy, and environment indicators – Data 1992–2002 // Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. – 2005. – 183 p.
4. Устойчивое развитие предприятия, региона, общества: инновационные подходы к обеспечению : монография / под общ. ред. д-ра экон. наук, профессора О. В. Прокопенко. – Польша : «Drukarnia i Studio Graficzne Omnidium». – 2014. – 474 с
5. Мєдвєдєва Н.А. Енергоефективність молокопереробних підприємств / Мєдвєдєва Н.А., Сухенко В.Ю., Розбицька Т.В., Євтушенко Т.В. // Продовольча індустрія АПК. – 2018. – № 2. – С. 3-7.

Медведева Н.А., Левицкий М.А., Сухенко В.Ю.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПЛАВЛЕННЫХ СЫРОВ

Вопросы по экономической эффективности производства продуктов питания во все часы остается актуальным. В данной статье приведен анализ технологического процесса, используемых источников энергии на конкретном предприятии, находящимся на территории Украины. Приведена характеристика этапов технологического процесса производства плавленого сыра. Данный анализ позволил выделить основных потребителей энергоресурсов на каждом этапе производственного процесса. В результате, проведенного энергетического обследования предприятия и анализа его результатов, выявлены особенности потребления энергетических ресурсов. Предложен ряд организационных и технических решений для снижения потребления энергоресурсов та повышения энергетической эффективности производственного предприятия. Проведен анализ технических возможностей предприятия для реализации предложенных мер по энергоэффективности. Охарактеризованы меры к эффективному использованию топливно-энергетических ресурсов при производстве плавленых сыров.

Ключевые слова: *энергоэффективность, энергетические ресурсы, топливно-энергетические ресурсы, плавленый сыр.*

Miedviedieva N. , Levytsky M., Sukhenko V.

ENERGY EFFICIENCY PRODUCTION OF MELTED CHEESE

Questions about the economic efficiency of food production at all hours is still relevant. In this article, the analysis of the technological process, the used energy sources at a particular enterprise located in Ukraine is given. Characteristics of the stages of the technological process of production of processed cheese is given. This analysis allowed us to identify the main consumers of energy at each stage of the production process. As a result of the energy audit of the company and analysis of its results, the features of energy resources consumption were identified. A number of organizational and technical solutions to reduce energy consumption and increase the energy efficiency of a manufacturing enterprise have been proposed. An analysis of the technical capabilities of the enterprise for the implementation of the proposed energy efficiency measures has been carried out. Measures to the efficient use of fuel and energy resources in the production of processed cheeses are characterized.

Key words: *energy efficiency, energy resources, fuel and energy resources, melted cheese.*

УДК 006.032 *DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.16*

Розбицька Т.В., Сухенко В.Ю.

ІНТЕГРОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ НА МОЛОКОПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

У статті аналізуються загальні принципи і положення найбільш широко використовуваємих систем менеджменту якості на основі міжнародних стандартів, рекомендованих сільськогосподарськими підприємствами. Визначено необхідність і переваги впровадження інтегрованої системи управління як інструменту виробництва високоякісної сільськогосподарської продукції. Встановлено основні тенденції та суперечності розвитку інтегрованих систем менеджменту якості. Аналізуються підходи до створення інтегрованих систем менеджменту якості.

У статті також досліджується проблема необхідності створення інтегрованої системи менеджменту якості на молокопереробному підприємстві. Аналізуються проблеми правильного вибору модулів на харчовому підприємстві, недоліки і переваги впровадження інтегрованих систем менеджменту якості. Результатом цього дослідження є інтеграція модулів на основі стандартів ДСТУ ISO 22000 + ДСТУ ISO 50001.

Ключові слова: *інтегрована система, SWOT-аналіз, система управління безпечністю харчових продуктів, HACCP, енергоменеджмент, бенчмаркінг.*

Постановка проблеми в загальному вигляді. В умовах зростаючої конкуренції та глобалізації торгівлі виробники переробної та харчової галузей йдуть шляхом створення інтегрованих систем управління (ІСУ), що дає їм низку переваг, а саме починаючи від удосконалення процесів управління до зростання довіри з боку суспільства, від зменшення шкідливого впливу на довкілля до підвищення конкурентоспроможності продукції за рахунок скорочення фінансових витрат.

Відбір модулів ІСУ залишається за підприємством: це можуть бути ІСУ на базі серії стандартів ISO 9001 + HACCP; ISO 22000 + ISO 50001; ISO 22000 + CEM (ISO 14000); ISO 9001 + OHSAS 18000 та інші.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження, проведені ISO та низкою національних органів стандартизації, свідчать про те, що десятки тисяч організацій в усьому світі зацікавлені в інтегруванні систем управління. Анкетування, що було проведене ISO, показало, що понад 70 % опитаних організацій бажають мати інтегровану систему управління. Приблизно 80 % організацій, що впровадили систему екологічного управління, мають також систему управління якістю. У розвинених країнах світу впровадження інтегрованих систем управління набуло масового характеру.

Метою дослідження є обґрунтування необхідності створення інтегрованої системи управління на молочному підприємстві.

Виклад основного матеріалу. На європейському ринку якісною вважається така продукція, виробництво якої здійснювалося у відповідності до певних стандартів. Практика передових європейських підприємств підтверджує значні переваги створення і впровадження відповідних систем менеджменту, загальні вимоги до таких систем визначені, як стандарти цілком відповідають національним стандартам.

Впровадження систем менеджменту на основі міжнародних стандартів може здійснюватися наступними способами.

1. Створення паралельних систем менеджменту.

2. Послідовне та поетапне додавання до чинної системи управління якістю інших систем управління якістю.

3. Розроблення інтегрованої системи управління.

Ми вважаємо, що найбільш доцільним і ефективним способом управління аграрним підприємством в умовах зростаючої конкуренції є формування інтегрованої системи менеджменту (ІСМ). Під інтегрованою системою розуміють багаторівневу ієрархічну систему, яка охоплює в межах єдиного цілого вирішення завдань управління якістю продукції на всьому технологічному циклі розробки, виготовлення та випробування виробів. Інтегрована система управління якістю має бути природною, органічною частиною системи управління вищого рівня, провідною її підсистемою, навколо якої будуються інші підсистеми, оскільки вимоги до якості є основними, найважливішими для успіху в бізнесі.

Інтегрована система менеджменту — частина загальної системи менеджменту організації, найбільш ефективний спосіб управління організацією, який відповідає вимогам двох або більше міжнародних стандартів на системи менеджменту, вона буде функціонувати як єдине ціле, сприяючи виробництву якісної продукції. Інтегрована система менеджменту має наступні переваги.

Таблиця 1

Переваги інтегрованої системи

Переваги	Сутність
Організаційні	Системний підхід до управління; Взаємоузгодженість процесів та дій; Мінімізація функціональної роз'єднаності; Створення єдиної системи навчання та підвищення компетентності персоналу.
Економічні	Раціональне та оптимальне використання ресурсів; Зменшення обсягу документів на впровадження системи; Зменшення витрат на розробку, функціонування та сертифікацію систем менеджменту.
Репутаційні	Підвищення довіри до підприємства зі сторони споживачів, клієнтів, інвесторів, кредитних та страхових компаній; Переваги участі у міжнародних тендерах.

Рівень впровадження та сертифікації систем управління та інтегрованої системи на вітчизняних аграрних підприємствах є дуже низьким. Основною причиною небажання впроваджувати системи управління якістю на аграрних підприємствах є те, що цей процес є складним та дороговартісним. Великі експорторієнтовані підприємства, які беруть участь у міжнародних тендерах, поступово починають розуміти необхідність сертифікатів на системи управління якістю. Керівники малих та середніх агропідприємств поки що не відчувають гострої потреби в наявності таких сертифікатів. Однак загострення конкуренції на внутрішньому ринку змусить їх впроваджувати та сертифікувати системи управління якістю на основі міжнародних стандартів.

Етапу розроблення має передувати ретельний аналіз з боку керівництва сильних, слабких сторін організації, можливостей та загроз – SWOT-аналіз, результатом якого має стати висновок щодо здатності організації виконати таку складну задачу.

Матриця SWOT-аналізу молокопереробного підприємства наведена в табл. 2.

Зіставлення сильних і слабких сторін з ринковими можливостями і загрозами дозволяє відповісти на питання щодо подальшого розвитку молокопереробного підприємства, які й відіб'ють суть аналізу1) Як скористатися можливостями, що відкриваються, використовуючи сильні сторони?

2) За рахунок яких сильних сторін можна нейтралізувати існуючі загрози?

3) Які слабкі сторони можуть перешкодити скористатися можливостями?

4) Яких загроз, збільшених слабкими сторонами, потрібно найбільше побоюватися?

SWOT-аналіз є універсальним аналітичним інструментом, який може застосовуватися як для вибору стратегії розвитку, так і для ринкового аналізу та вивчення конкурентоспроможності. Він уможливлює використання сильних сторін для отримання віддачі від можливостей і зменшує вплив загроз, а також усуває слабкі сторони за умови сприяння з боку виявлення можливостей та зменшення впливу загроз.

Таблиця 2

Матриця SWOT-аналізу молокопереробного підприємства

Зовнішнє середовище	
Можливості	**Загрози**
активний процес модернізації технологій; захоплення нових сегментів ринку, збільшення частки експорту; підвищення платоспроможності населення	підвищення ціни на сировину; зменшення обсягів виробництва молока; зниження якості сировинної бази; відсутність шляхів зовнішнього фінансування
Внутрішнє середовище	
Сильні сторони	**Слабкі сторони**
лідерські позиції на ринку; модернізація виробничого обладнання; фінансова стабільність; кваліфікований персонал	висока енергомісткість виробництва; невисока якість постачальницької сировини; незначна заборгованість; неможливість 100 %-го інвестування проектів
глобальне оновлення технологій; вихід на іноземний ринок; інвестування в нові види продукції	введення енегозберігаючого обладнання; введення технологічних процесів покращення якості сировини
зниження витрат за рахунок модернізованого обладнання; введення технологічних процесів покращення якості сировини	отримання фінансових ресурсів; розробка програм зменшення енергомісткості продукції та підвищення якості сировини; розгляд варіанту диверсифікації

На етапі розроблення ІСУ необхідно, в першу чергу, визначити склад галузей управління ІСУ та перелік відповідних стандартів з вимогами до окремих сфер управління, перелік, послідовність та взаємодію процесів, які підпадають під сферу застосування ІСУ, а також визначити конкретні вимоги згаданих стандартів, які використовуються в ІСУ. Моніторинг, вимірювання та аналіз ключових процесів ІСУ здійснюється за методологією ISO 9000.

Стандарт ДСТУ ISO 22000:2007 поєднує принципи системи Аналізу Небезпечних Чинників та Критичних Точок Керування (HACCP) і кроки її застосування, розроблені Комісією Codex Alimentarius (рис.1). Аналіз небезпечних чинників має ключове значення для результативної системи управління безпечністю харчових продуктів, оскільки його проведення допомагає в упорядкуванні знань, необхідних для встановлення результативної комбінації заходів керування.

Зазвичай у виробництві молока тривалого зберігання на молокопереробних підприємствах ККТ є:

1) Приймання молока (небезпечним фактором є ріст мікроорганізмів, причиною – недотримання санітарних умов, температури транспортування).

2) Фільтрування (небезпечним фактором є наявність сторонніх предметів, причиною – незадовільна якість сировини, несумлінне відношення постачальників).

3) Охолодження (небезпечним фактором є ріст мікроорганізмів, причиною – недотримання температурних режимів).

4) Стерилізація (небезпечним фактором є ріст мікроорганізмів, причиною – недотримання параметрів: температури, тиску, часу, витримки).

5) Фасування (небезпечним фактором є ріст мікроорганізмів, причиною – негерметичність шва).

Рис. 1. Ключові елементи міжнародного стандарту ДСТУ ISO 22000:2007

Управління на цих ККТ відбувається за рахунок контролювання температури (приймання молока, охолодження молока, стерилізація), цілісності фільтра (фільтрування) та герметичності шва (фасування) контролером, оператором та апаратником.

Енергетичний менеджмент – це діяльність, спрямована на забезпечення раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів, яка базується на отриманні енерготехнологічної інформації шляхом обліку, проведення типових енерготехнологічних вимірювань та перевірок, аналізі ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів та впровадження енергозберігаючих заходів.

Енергетичний менеджмент є обов'язковим елементом в структурі підприємства яке поставило собі за мету скорочення споживання енергетичних ресурсів, шляхом їх ефективного використання. Енергетичний менеджмент є ефективним інструментом для підвищення конкурентоздатності підприємства, шляхом скорочення видатків на придбання енергетичних ресурсів.

Впровадження системи енергетичного менеджменту на підприємстві є широко поширеною світовою практикою. Так у 2011 році Міжнародна організація зі стандартизації ввела в дію стандарт ISO 50001 Енергетичний менеджмент.

Модель системи енергоменеджменту (рис. 2), яка запропонована в стандарті ISO 50001, заснована на використанні методології Шухарта-Демінга, відомої як «Plan – Do – Check – Act» (цикл PDCA) – цикл безперервного поліпшення, який передбачає включення енергоменеджменту в повсякденну організаційну практику управління підприємством.

Стандарт призначений для забезпечення організацій, які вирішили зробити енергетичну ефективність частиною своєї системи управління.

Стандарт призначений для виконання наступних дій:

- Надання допомоги підприємствам у організації більш ефективного використання існуючих енергоємних активів;
- Створення прозорості у використанні енергоресурсів;
- Сприяння впровадженню передових методів управління енергоресурсами та посилення ефективних навички управління енергоспоживанням;
- Надання допомоги в оцінці об'єктів з точки зору енергетичної ефективності та визначення пріоритетності впровадження нових енергозберігаючих технологій;
- Забезпечення засад для підвищення енергоефективності по всьому ланцюгу виробництва;

- Можливість інтеграції з іншими організаційними системами управління, такими як екологічний менеджмент та охорона праці.

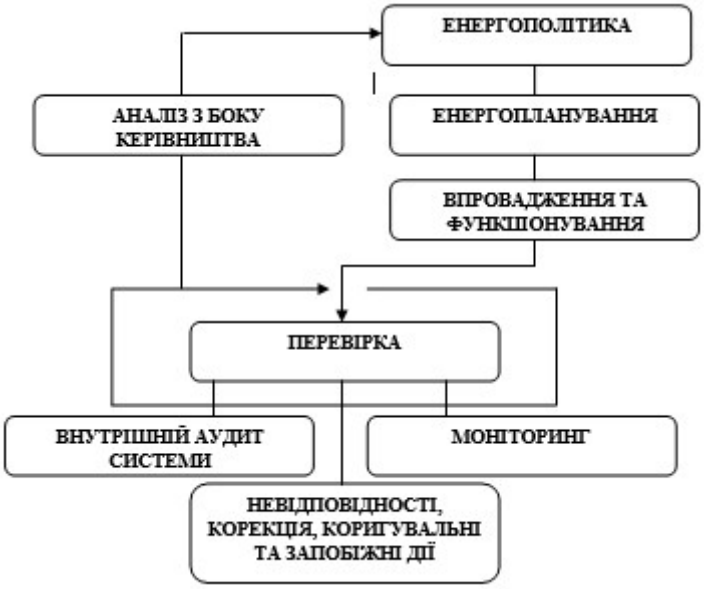


Рис.2. Модель системи енергоменеджменту в ISO 50001

ISO 50001 надає основи, які дозволяють організаціям:

- розробити політику в сфері енергозбереження;
- встановити цілі і завдання для досягнення мети політики в сфері енергозбереження;
- використати дані для кращого розуміння енергоспоживання та прийняття рішень з цих питань;
- вимірювати результати підвищення рівня енергоефективності;
- проводити аналіз ефективності впровадження політики в сфері енергозбереження;
- постійно поліпшувати роботу системи енергетичного менеджменту на підприємстві.

Виконання вимог стандарту ISO 50001 має цілий ряд прямих та непрямих вигод організаційного, фінансового та репутаційного характеру (рис. 3).

Система енергоменеджменту на підприємстві може впроваджуватися як самостійно, так і в поєднанні з іншими системами менеджменту в області якості, навколишнього середовища, охорони праці та виробничої безпеки, фінансів, управління ризиками, на підприємствах будь-якого типу і розміру.

Сертифікація на відповідність вимогам стандарту ISO 50001 є значним кроком уперед на шляху до енергоефективного виробництва.

Одним з таких ефективних інструментів, що надає можливість підприємству постійно нарощувати продуктивність, покращувати якість своєї роботи, бути енергоефективними, є бенчмаркінг.

Бенчмаркінг – це процес пошуку шляхів для досягнення підвищення ефективності виробництва продукції шляхом систематичного аналізу процесів та методів роботи на різних підприємствах.

Бенчмаркінг передбачає безперервний аналіз та оцінку існуючих способів виробництва на підприємстві шляхом порівняння з найкращими внутрішніми та зовнішніми зразками з наступним впровадженням найбільш ефективних підходів.

Навіщо потрібний бенчмаркінг:

- щоб прагнути до досконалості.
- щоб навчатися в інших – вивчати кращі практики
- щоб визначити прийнятну різницю між своєю діяльністю ті діяльністю інших

- щоб уникнути самозаспокоєння.
- щоб підвищити ефективність.

Рис. 3. Ефект організаційного, фінансового та репутаційного характеру при виконанні вимог стандарту ISO 50001

Бенчмаркінг у сфері енергоефективності дозволяє з'ясувати наскільки підприємство ефективно використовує енергетичні ресурси порівняно із конкурентами та найкращими подібними підприємствами у галузі. За його допомогою можна визначити місця перевитрат енергоресурсів. Наприклад на якому з етапів втрачаються енергоресурси: при генерації, транспортування чи при споживанні під час вироблення продукції.

Елементи системи менеджменту якості, а також вже розроблена раніше документація (робочі процедури, технологічні регламенти, стандарти підприємства) можуть стати основою і фундаментом для робіт по впровадженню системи енергоменеджменту. Саме тому такі різні системи менеджменту можуть бути легко інтегровані одна в одну (рис. 4).

Висновки. Результатом розроблення ІСУ є відповідний комплекс нормативних документів, склад та структура яких подібні до документації на систему управління якістю.

Впровадження саме ІСУ сприятиме зменшенню загального обсягу документації, фінансових витрат, концентрації зусиль персоналу на впровадженні, скороченню часу, полегшенню аналізу з боку вищого керівництва та підвищенню впевненості замовника у виконанні його вимог.

Ефективному впровадженню ІСУ сприяє ґрунтовна підготовка внутрішніх аудиторів організації за напрямами застосування системи управління. Саме від аудиторів залежить визначення відповідності розробленої ІСУ встановленим вимогам. Для нормативного і методичного забезпечення проведення внутрішніх аудитів ІСУ доцільно використовувати стандарт ДСТУ 19011:2012.

Створення та забезпечення ефективного функціонування ІСУ дає організації цілу низку внутрішніх переваг, таких, як:

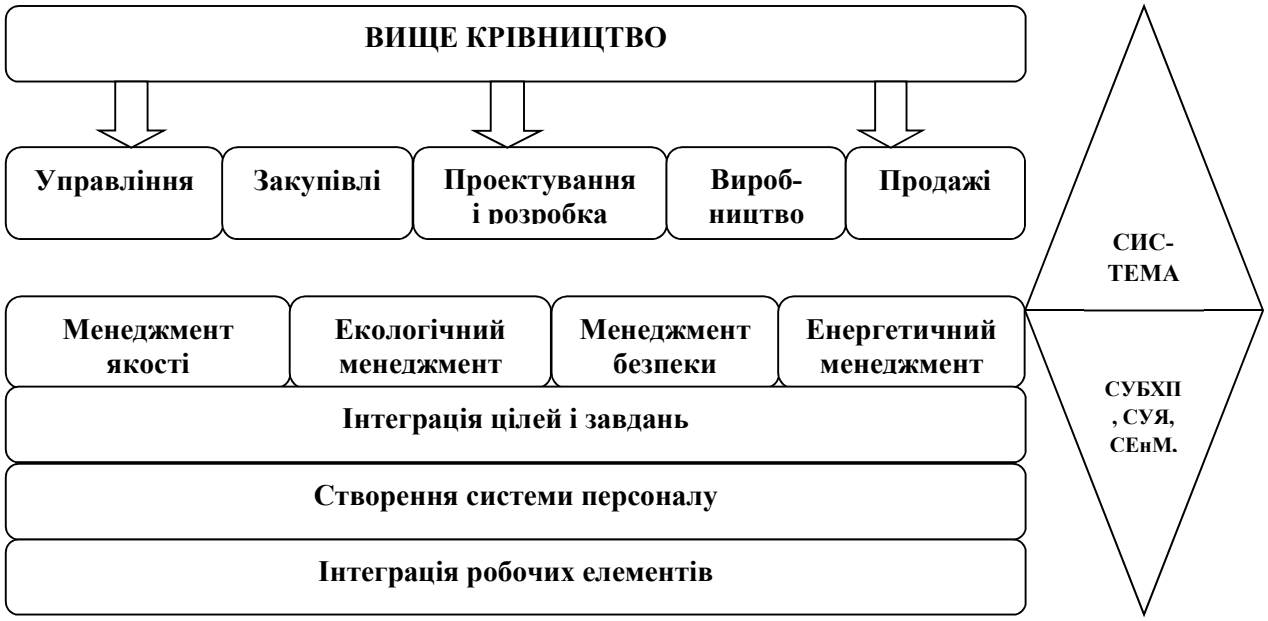


Рис. 4. Інтеграція СЕнМ і системи менеджменту якості

1) Удосконалення процесів управління за напрямами ІСУ.
2) Збільшення лояльності та вмотивованості персоналу.
3) Підвищення компетентності персоналу, поліпшення умов праці та безпеки.
4) Мінімізація втрат від інцидентів, аварій, нещасних випадків.
5) Зменшення споживання матеріалів, електроенергії.
6) Наявність ефективного інструменту управління у вищого керівництва.

а також цілу низку зовнішніх переваг:

1) Підвищення конкурентоспроможності організації.
2) Відповідність вимогам національного законодавства, міжнародних і регіональних нормативних документів.
3) Покращення іміджу та зростання довіри з боку замовників, партнерів, держави, суспільства.
4) Зменшення шкідливих викидів та відходів.
5) Покращення можливостей участі та перемоги у національних, регіональних і міжнародних тендерах на постачання продукції, виконання робіт, надання послуг.

Ми пропонуємо здійснити розробку інтегрованої системи управління якістю на основі стандартів серій ISO 9000, ISO 14000, OHSAS 18000, ISO 22000, ISO 28000, SA 8000 та ISO 50001. На наш погляд, саме такі складові дадуть можливість охопити всі сфери діяльності аграрного підприємства та сприятимуть виробництву якісної продукції. На органи державної влади покладається функція розробки спрощеного варіанта інтегрованої системи управління якістю, яка забезпечить єдину політику організації, оптимальне використання ресурсів, загальну систему підготовки та розвитку персоналу, підвищення ефективності загального менеджменту та покращення діяльності підприємства в цілому.

ЛІТЕРАТУРА

1. Проект «Підвищення енергоефективності та стимулювання використання відновлюваної енергії в агро-харчових та інших малих та середніх підприємствах (МСП) України». [Електронний ресурс]: – Режим доступу до проекту: http://www.reee.org.ua/
2. N. Miedviedieva. Research of energy resources in Ukraine / Miedviedieva N., Levytsky M., Sukhenko V. // "Університет новітніх технологій". – К.: ПВНЗ, 2018. – № 1(4).
3. В.Ю. Сухенко, Н.А. Мєдвєдєва, Т.В. Розбицька, Т.В. Євтушенко.«Енергоефективність молокопереробних підприємств», журнал «Продовольча індустрія АПК», №2, 2018.

4. А. С. Тельнов, С. Л. Решміділова. Тенденції та суперечності розбудови інтегрованих систем управління якістю // А. С. Тельнов, С. Л. Решміділова // Вісник Хмельницького національного університету 2014, № 5, Т. 2
5. Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання ДСТУ ISO 50001:2014 (ISO 50001:2011 IDT). – [Чинний від 2015-01-01]. – К.: УкрНДНЦ, 2016. (Національний стандарт України).
6. Системи енергетичного менеджменту. Настанова щодо впровадження, супровід та поліпшення системи енергетичного менеджменту ДСТУ ISO 50004:2016 (ISO 50004:2014 IDT). — [Чинний від 2016-09-01]. – К.: УкрНДНЦ, 2016. (Національний стандарт України).
7. Система управління безпечністю харчових продуктів. Вимоги до будь-яких організацій харчового ланцюга ДСТУ ISO 22000:2007 (ISO 22000:2005, IDT). — [Чинний від 2007-04-02]. – К.: ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ УКРАЇНИ, 2007.

Розбицкая Т.В., Сухенко В.Ю.

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ НА МОЛОКОПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В статье анализируются общие принципы и положения наиболее широко используемых систем менеджмента качества на основе международных стандартов, рекомендованных сельскохозяйственными предприятиями. Определены необходимость и преимущества внедрения интегрированной системы управления как инструмента производства высококачественной сельскохозяйственной продукции. Установлены основные тенденции и противоречия развития интегрированных систем менеджмента качества. Анализируются подходы к созданию интегрированных систем менеджмента качества.

В статье также исследуется проблема необходимости создания интегрированной системы менеджмента качества на молокоперерабатывающем предприятии. Анализируются проблемы правильного выбора модулей на пищевом предприятии, недостатки и преимущества внедрения интегрированных систем менеджмента качества. Результатом этого исследования является интеграция модулей на основе стандартов ДСТУ ISO 22000 + ДСТУ ISO 50001.

Ключевые слова: *интегрированная система, SWOT-анализ, система управления безопасностью пищевых продуктов, HACCP, энергоменеджмент, бечмаркинг.*

Rozbytska T., Sukhenko V.

INTEGRATED QUALITY MANAGEMENT SYSTEMS ON MILLS REFINING ENTERPRISES

The article analyzes the general principles and provisions of the most widely used quality management systems on the basis of international standards recommended by agricultural enterprises. The necessity and advantages of implementing an integrated management system as a tool for the production of high quality agricultural products are determined. The basic tendencies and contradictions of development of integrated quality management systems are established. The approaches to the creation of integrated quality management systems are analyzed.

The article also investigates the problem of the necessity of creating an integrated quality management system at the dairy processing enterprise. The problems of the correct choice of modules in the food enterprise, the disadvantages and advantages of introducing integrated quality management systems are analyzed. The result of this study is the integration of modules based on the standards of DSTU ISO 22000 + DSTU ISO 50001.

Key words: *integrated system, SWOT-analysis, food safety management system, HACCP, energy management, benchmarking.*

УДК 663.47 *DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.17*

Черевашко Д.І., Сухенко В.Ю.

ПРОБЛЕМИ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСУ ДИСТИЛЯЦІЇ ПРИ ВИКОРИСТАННІ КОНТАКТНИХ ПРИСТРОЇВ

Інтенсифікація процесів дистиляції, створення високоефективних економічних циклічно працюючих апаратів та нових принципів взаємодії фаз дозволяють істотно зменшити витрати енергоносіїв, собівартість продукції та підвищити її якість. Серед напоїв з яких необхідно вилучати етиловий спирт являється пиво. Аналіз джерел літератури показав, що в більшості випадків на процес дистиляції етилового спирту використовується в півтора два рази більше енергії, ніж необхідно для розділення двофазної системи вода-спирт, що, в свою чергу, свідчить про недосконаліть масообмінного обладнання чи етапів проведення процесу.

В багатьох випадках масообмінне обладнання розраховують на основі розрахункових залежностей, які не мають достатнього теоретичного обґрунтування, що призводить до розбіжностей між прогнозованими параметрами процесу і реальними, і в кінцевому результаті, до енергетичних перевитрат та погіршення якості безалкогольного пива.

Тому подальше теоретичне та експериментальне дослідження керованих циклічних процесів являється доцільними. Удосконалення масообмінного процесу вилучення етилового спирту із пива ставить проблему теоретичного та експериментального дослідження керованих циклічних процесів масообміну між рідиною і паровою фазами. Вирішення даної проблеми ускладняється неможливістю вимірювання поверхні контакту фаз та рушійної сили на поверхні контакту.

У статті було досліджено продуктивність масообмінних апаратів для системи пара-рідина та виявлення їх недоліків. Описані та приведені шляхи для підвищення продуктивності масообмінних апаратів у системі пара-рідина. Також, авторами акцентовано увагу на важливість дистиляції та інтенсифікації процесів дистиляції.

Ключові слова: *масообмін, контактні пристрої, масопередача, інтенсифікація, клапанні тарілки.*

Аналіз проблеми: Не дивлячись на розповсюджену думку про шкідливість пива, пивний хміль приносить багато користі людському організму. Будь який напій який містить у своєму складі спирт володіє шкідливими для організму властивостями. Негативно позначається на стані і функціонуванні всіх внутрішніх органів і систем, вживання спиртних напоїв веде до запалення слизової оболонки шлунка. цирозу печінки, ураження підшлункової залози, важких захворювань серця і судин. Але багато хто недооцінює саме підступні властивості алкоголю - формувати патологічну залежність.

Зі всіх видів пінного напою кращим джерелом корисного компонента є саме безалкогольне пиво. Вчені повідомили про те, що хміль який міститься в пиві поставляє в організм ксантогумол та ізо-альфа-гіркі кислоти - речовини, відомі протизапальними властивостями. «Компоненти хмелю в рази скорочують ризик виникнення раку печінки», - відзначили фахівці. Японські вчені з Університету Окаяма також демонструвало антираковий ефект безалкогольного пива. Під час експериментів мишей, які отримували канцерогени, поїли безалкогольним пивом замість води, і це призвело до вельми надихаючим результатами - у тварин, які пили пиво, пошкодження ДНК в печінці, легенях і нирках виявилися на 85% менше в порівнянні з гризунами з групи без пива.

Постановка проблеми: Важливу стадію багатьох технологічних процесів, які застосовуються у хімічній, фармацевтичній, харчовій, сільськогосподарській та інших галузях промисловості України є дистиляція, інтенсифікація процесів дистиляції, створення

високоефективних економічних циклічно працюючих апаратів та нових принципів взаємодії фаз дозволяють істотно зменшити витрати енергоносіїв, собівартість продукції та її якість. Серед матеріалів з яких необхідно вилучати етиловий спирт являється пиво.

Виклад основного матеріалу. Одним із шляхів підвищення продуктивності масообмінних апаратів для систем пара-рідина являється використання однонаправленого руху фаз в зоні контакту. При використанні однонаправленого руху погіршується процес масообміну, який визиває зменшення часу контакту фаз та рушійної сили при однонаправленому русі фаз з великими швидкостями. Тому великий практичний та науковий інтерес представляють роботи по вивченню різноманітних методів інтенсифікації масообміну у контактних пристроях.

Н.М.Жаворонков у своїй роботі [1] відмічає, що пластинчаста тарілка володіє наступними недоліками: нерівномірна інтенсивність масообміну по довжині робочої частини тарілки значить нерівномірність розділення тиску по довжині тарілки та збільшення ударної дії газо-рідинного потоку зі стінкою апарату в області переливного пристрою, що призводить до утворення значного брисковиносу. Для ліквідування вказаних недоліків автори запропонували встановити сітку в міжтарілочному просторі (паралельні ряди повздовж потоку рідини, вертикальні ряди, сітка встановлювалася під кутом до напрямку руху рідинного потоку. В результаті досліджень встановлено, що коефіцієнт масовіддачі в рідкій фазі не залежить від кута нахилу пластин, величини міжтарільчатої висоти та способу розташування сітки. Способи розташування сітки впливають лише на допустимі межі стійкої роботи пластинчастих тарілок.

А.С. Железняк [2] досліджував вплив будови масообмінного пристрою на ефективність його роботи і запропонував керування наступними положеннями:

- збільшення ефективності тарілчастих колон при коалесценції та диспергуванні
- краплин рідини на тарілці при їх зіштовхуванням з елементами контактного пристрою;
- зменшення характеристичного часу процесу за рахунок вирівнювання поля
- концентрації в об'ємі краплини дисперсної фази збільшує ефективність процесу значно швидше, чим зменшення діаметру краплин дисперсної фази;
- збільшення ефективності колони за рахунок періодичного перемішування
- об'єму краплин рідини тим значиме, чим менше вихідне значення критерія Фур'є при умові збільшення діаметра краплин та збільшення відносної швидкості руху фаз.

А.М. Розен [3] встановив вплив поперечного секціонування на ефективність клапанних і сітчастих тарілок [3].В залежності від типу перегородок та їх кількості, поперечне секціонування збільшує ефективність контактного пристрою на 5-30 %.

А.Б. Тютюнников розробив сітчасто-жалюзійні контактні пристрої [4,5].В даних контактних пристроях реалізують переваги сітчастої та прямоточної тарілок. На даних тарілках при значних рідинних навантажуваннях (60-90 $м^3 \cdot м^2 \cdot год$) не утворюється градієнт рівня рідини, як на сітчастих тарілках. Ефективність сітчасто-жалюзійної тарілки не відрізняється від ефективності сітчастої, але діапазон стійкої роботи значно збільшується.

Клапанні тарілки мають найкращі якості ковпачкових та прямобічних тарілок. За останній час створено ряд модернізованих клапанних тарілок: ситчато-клапанна [6] та різноманітні клапанні тарілки з компенсацією прямотоку [7,8]. Комбіновані клапанні тарілки при незначних навантаженнями по газу забезпечують противотік , потім при підвищенні навантаження по газу – перехресний потік газу і рідини, а при великих навантаженнях – прямотік фаз .

В роботах [9,10] розглянуто прямоточні контактні пристрої з частковою компенсацією прямотоку. В контактних пристроях з частковою компенсацією прямотоку частина газового потоку вводиться перпендикулярно потоку рідини, створюючи гальмування рідинного потоку та інтенсивну взаємодію між потоками фаз за рахунок кінетичної енергії в зоні контакту фаз.

Ю.К.Мальканов [11] запропонував параметр компенсації прямоточного руху фаз

$$K = \frac{S_1 + S_3}{\sum S_1 + S_2 + S_3} \quad (1)$$

де S1, S3 - площі січень отворів виходу газової фази поперек потоку рідини, м^2;
S2 - площа січень отворів для виходу газу по направленню потоку рідини, м^2.

Б.М. Азізов та інші розробили контактні пристрої ударної дії [12-13]. Удар газо-рідинного потоку забезпечує багатократне оновлення поверхні міжфразного контакту, відбувається зливання та подрібнення краплин рідини, що викликає різке збільшення (в 2,5 рази) ефективності процесу масовіддачі на контактній ступені апарату. Це відбувається шляхом удару газо-рідинного струменя, що рухається з великою швидкістю, в нерухому стінку співудар зустрічних рідинних газо-рідинних струменів. Використання ударів струменів практично не підвищує гідравлічний опір контактних ступенів і дозволяє довести їх ефективність до ефективної теоретичної ступені контакту.

Перспективним напрямком інтенсифікації масообмінних процесів в системі газ-рідина являється використання нестаціонарних режимів роботи апарата. До нестаціонарних режимів роботи апаратів відносяться: пульсація однієї або двох контактуючих фаз [14,15,16] підвищення зовнішньої енергії до однієї із контактуючих фаз [17], коливання масообмінних пристроїв [18].

Перспективним методом підвищення ефективності та пропускної здатності масообмінної колони являється циклічна, регульована та послідовна подача контактуючих фаз через певні відрізки часу. Проміжок часу подачі газової (парової фази називається паровим періодом ($\tau_п$), а проміжок часу подачі рідинної фази називається рідинним періодом ($\tau_р$). Сумарний час послідовної подачі фаз рухається і для кожного процесу визначається і називається часом повного циклу ($\tau_ц$)

$$\tau_ц = \tau_р + \tau_п \qquad (2)$$

Послідовна подача контактуючих фаз визиває зменшення інтенсивності перемішування рідинної фази по ступенях контактування і значно підвищує навантаження по витратах фаз та різницю концентрацій фаз на ступені контактування .Ефективність ступеня контактування наближається до ефективності теоретичної тарілки.

На початку парового періоду відбувається ударна дія рухомого парового потоку в статичний шар рідинної фази. При цьому значно збільшується турбулентність взаємодіючих фаз зростає поверхня контактування фаз та ступінь їх оновлення.

Дане явище дозволяє зменшити час знаходження рідинної фази в колоні за рахунок збільшення газорідинного навантаження та підвищення ефективності ступеня контактування.

Циклічний метод подачі фаз дозволяє розробити будову контактних пристроїв без переливних пристроїв, що збільшує робочу поверхню масообмінної тарілки на (25-30)% [19].

На рис. 1 зображена запропонована схема вакуумної дистиляційної колони, яка працює в циклічному режимі.

Подача підігрітого до температури 50˚С готового пива, з якого вилучений діоксид вуглецю та леткі смакові компоненти, відбувається в проміжну ємність 2. Підігрівання підготовленого пива відбувається в дефлегматорі 3. Несконденсовані спиртові пари та конденсат спиртових парів направляються в конденсатор 4 де відбувається їх повна конденсація. Сконденсовані спиртові пари збираються в накопичувальній ємності 5, яка підключена до джерела вакууму насосу 7. Флегма f через відсічний клапан періодично, в рідинний період, подається на верхню тарілку колони 1. Дистилят Д безперервно відбирається з накопичувальної ємності 5. Із проміжної ємності 2 через відсічний рідинний клапан 6 пиво поступає на тарілку живлення в момент початку рідинного циклу. Пиво, з якого вилучений етиловий спирт накопичується в кубі колони і періодично через відсічний рідинний клапан 6 поступає в накопичувальну ємність безалкогольного пива. Обігрівальна пара Р, періодично в паровий період, через відсічний клапан 8 поступає у змійовик 9, віддаючи тепло вона конденсується і відводиться із колони у вигляді конденсату. Управління роботою виконавчих механізмів клапанів 6,8 відбувається за допомогою мікропроцесорного пристрою.

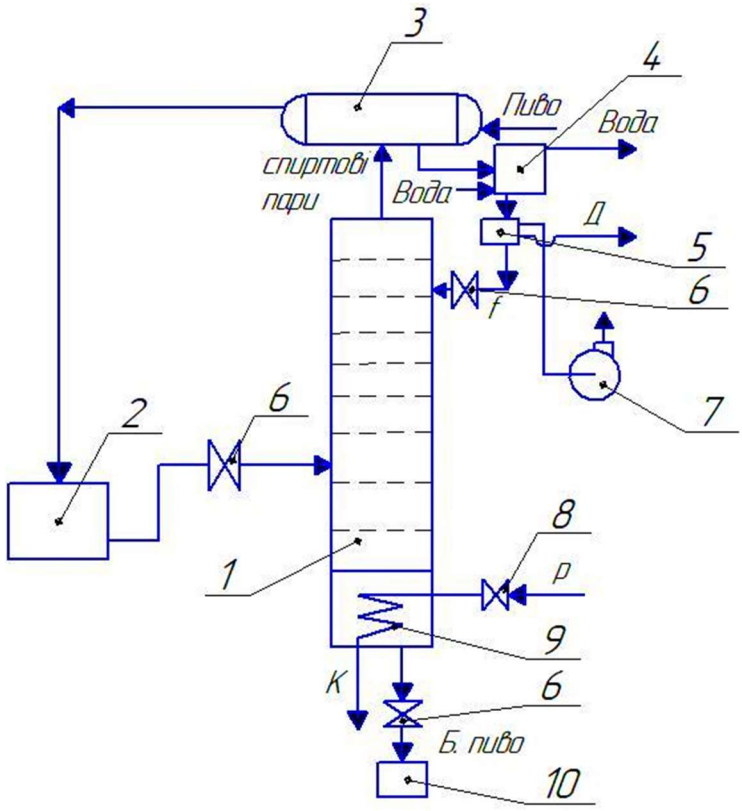


Рис. 1. Схема вакуумної дистиляційної колони, яка працює в циклічному режимі:
Д-дистилят; f- флегма; Р- пара; К-конденсат

То ж основною метою початкового аналітичного дослідження було вивчення циклічної дистиляції пива з використанням явищ, що відбуваються під час парового та рідинного періодів та розробка принципової схеми контактного пристрою, що працює в циклічному режимі. Керуючись проблемою інтенсифікації процесів дистиляції та створення економічно ефективних циклічно працюючих апаратів основаних на нових принципах взаємодії фаз дозволять істотно зменшити витрати енергоносіїв, собівартість продукції та підвищити її якість.

Висновки.

1. З метою інтенсифікації процесів масообміну в системі газ-рідина необхідно розробити нові контактні пристрої, які працюють в нестаціонарних умовах по принципу циклічної подачі рідинної і газової фаз.

2. Попередньо встановлено, що контактні пристрої, які оснащені приймально-зливними елементами володіють різною інтенсивністю масообміну по довжині робочої частини тарілки. Біля приймально зливних елементів утворюються зони повного перемішування та дифузійна зона в середній частині тарілки.

3. Для збільшення діапазону стійкої роботи барабанних контактних пристроїв необхідно підвищувати рідинне навантаження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Жаворнков Н.М. Исследование массопередачи на комбинированной тарелке (пластинчатая тарелка и сетчатая насадка)/ Н.В. Жаворнков, В.А. Малюков, Ю.И. Дытнерситкий и др.// Теорт. осн. Химической технологии 1975, т.11. №4.503-508.
2. Железняк А.С. О влиянии конструкции массобименного аппарата на его эффективность. // Журнал прикладной химии. 1976, т.49, №7. с.1571-1581.
3. Розен А.М. Унос жидкости с клапанных и сетчатых тарелок // Теорет. основы химической технологии. 1978, т.12, №1.с.50-53.

4. Тютюнников А.Б. Сравнение сетчатых и прямоточных тарелок вакуумных колонных аппаратов. / А.Б. Тютюнников, В.Л. Бурин, В.А. Голосов и др. // Химическое и нефтяное машиностроение. 1974, №2. с. 18-20 .
5. Изобретение СССР № 546356. МКИ ВО1Д 3/22. Контактная массообменная тарелка. // Тютюнников А.Б., Ярмак В.А., Тарыник Е.К. и др. – Опубл. 15.02.76. Бюл. №6.
6. Зыков Д.Д. К вопросу выбора свободного сечения комбинированных сетчато-клапанных тарелок // Д.Д. Зыков, В.Л. Бурин, А.Б. Тютюнников, В.Н. Голосов// Теор. основы химической технологии. 1976.т.10 № 4.с. 469-476.
7. Изобретение СССР №466892. МКИ ВО1Д 3/20. Клапанная тарелка. // Ващук В.И., Мальцев А.Н. и др. – Опуб. 13.07.75, Бюл. №14.
8. Чехов О.С. Клапанная тарелка с направленным вводом газа в жидкость / О.С. Чехов, Х.В. Мурадхожиев, В.А. Ващук и др. // Химическое и нефтянное машиностроение. 1975, № 8, с. 13-14.
9. Костюков Т.А, Исследование влияния доли поперечного секционирования на структуру жидкостного потока на струйной тарелке. // Известие ВУЗов. Нефть и газ. 1978, №11, с. 69-71.
10. Шегай В.Р. Влияние схемы взаимодействия фаз в контактной зоне на эффективность клапанной тарелки. В.Р. Шегай, С.А. Круганов, Ю.К. Молоканов // Химия и технология топлив и масел. 1979, №8, с.14-16.
11. Молоканов Ю.К. Исследование новых конструкций контактных утройств ректификационных колон / Ю.К. Молоканов, А.И. Скобко, С.А. Круглов, // Химия и технология топлив и масел. 1980, №7. с.26-30.
12. Ченечин И.В. Исследование закономерностей гидродинамики и массобмена во встречных газо- жидкосных потоках / И.В. Ченечин, Б.М. Азизов // Труды Казамского ХТИ им. С.М. Кирова , 1974, вып. 53, с. 8-11.
13. Поникарев И.И. Исследование межфазовой поверхности и массоотдачи в жидкостной фазе в прямоточном контактном элементе с соударении потоков //
14. Задорский В.М. Влияние пульсации клапанов и эффективность контакта фаз в массообменных аппаратах / В.М Задорский, Н.Г. Шалахман// Теор. основы химической технологии. 1980, т .14, №2, с.184-192.
15. Карпачева С.М. Влияние пульсации на работу насадочных колон. / С.М. Карпачева, С.Ф. Медведев, Е.И. Захаров // Химическое машиностроение. 1963.№2, с. 14-17.
16. Колкутова Л.Н. Эффективность контактных устройств с пульсирующими потоками / Л.Н. Колтукава, Л.С. Позин, М.Э. Аэров. // Теор. основы химической технологии. 1978. №3, с. 323-328.
17. Федоткин И.М. Интенсификация технологических процессов. К. Высшая школа. 1973. -343 с.
18. Игнатенко А.Л. перенос дисперсной фазы в массообменных аппаратах с вибрационными устройствами. / А.Л. Игнатенко, П.П. Лобода // Пищевая промышленность. 1981, вып.27, с. 85-88.
19. Гельперин Н.И. Некоторые особенности массопереноса в колпачковой ректификационной колоне при работе её в циклическом режиме. / Н.И. Гельперин, Т.Г. Потаков, М.С. Ленский // Труды МХТИ им. М.В. Ломоносова, 1975, т.5, вып. 2, с. 191-194.

Черевашко Д.И., Сухенко В.Ю.

ПРОБЛЕМЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ДИСТИЛЯЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ *КОНТАКТНЫХ УСТРОЙСТВ*

Интенсификация процессов дистилляции, создание высокоэффективных экономических циклически работающих аппаратов и новых принципов взаимодействия фаз позволяют существенно уменьшить расходы энергоносителей, себестоимость продукции и ее качество. Среди материалов из которых необходимо изымать этиловый спирт является пиво. Анализ источников литературы показал, что в большинстве случаев на процесс дистилляции

этилового спирта используется в полтора два раза больше энергии, чем необходимо для разделения двухфазной вода-спирт, свидетельствует о несовершенстве массообмена оборудования.

Во многих случаях массообмена оборудование рассчитывают на основе расчетных зависимостей, которые не имеют достаточного теоретического обоснования, что приводит к разногласиям между прогнозируемыми параметрами процесса и реальными, и в конечном итоге к энергетическим перерасходам и ухудшение качества безалкогольного пива.

Поэтому дальнейшее теоретическое и экспериментальное исследование управляемых циклических процессов являются целесообразными. Совершенствование массообмена процесса извлечения этилового спирта из пива ставит проблему теоретического и экспериментального исследования управляемых циклических процессов массообмена между жидкостью и паровой фазами. Решение данной проблемы осложняется невозможностью измерения поверхностью контакта фаз и движущую силу на поверхности контакта.

В статье были исследованы производительность массообменных аппаратов для системы пара-жидкость и выявления их недостатков. Описанные и приведены пути для повышения производительности массообменных аппаратов для системы пара-жидкость..Также в статье было акцентировано внимание на важность дистилляции и интенсификации процессов дистилляции.

Ключевые слова: *массообмен, контактные устройства, массопередачи, интенсификация, клапанные тарелки.*

Cherevashko D.I., Sukhenko V.Y

PROBLEMS OF INTENSIFICATION OF DISTILLATION PROCESSING USING CONTACT DEVICES

The intensification of the distillation processes, the creation of highly efficient economic cyclically operating devices and new principles of interaction of the phases can significantly reduce the cost of energy, the cost of production and its quality. Among the materials from which it is necessary to remove ethyl alcohol is beer. Analysis of the literature sources showed that in most cases, the distillation process of ethyl alcohol uses one and a half to two times more energy than is necessary to separate the two-phase water-alcohol, indicating imperfection of the mass transfer of equipment.

In many cases of mass transfer, equipment is calculated on the basis of calculated dependencies that do not have sufficient theoretical justification, which leads to disagreements between the predicted process parameters and real, and ultimately to energy overspending and deterioration in the quality of non-alcoholic beer.

Therefore, further theoretical and experimental study of controlled cyclic processes are appropriate. Improving the mass transfer of the process of extracting ethyl alcohol from beer poses the problem of a theoretical and experimental study of the controlled cyclic mass transfer processes between the liquid and the vapor phases. The solution to this problem is complicated by the impossibility of measuring the contact surface of the phases and the driving force on the contact surface.

The article investigated the performance of mass transfer apparatus for the vapor-liquid system and identify their shortcomings. Described and presented ways to improve the performance of mass transfer apparatus for the vapor-liquid system .. Also in the article, attention was focused on the importance of distillation and intensification of distillation processes.

Key words: *mass transfer, contact devices, mass transfer, intensification, valve plates.*

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 681.518 (045) *DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.18*

Сущенко О.А., Безкоровайний Ю.М., Новицька Н.Д., Голіцин В.О.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ НЕОРТОГОНАЛЬНИХ КОНФІГУРАЦІЙ ТРИОСНИХ МЕМС-ДАТЧИКІВ

Проведено експериментальне дослідження точності неортогональних конфігурацій МЕМС-датчиків на основі триосних вимірювальних блоків. Актуальність дослідження зумовлено можливістю використання таких конфігурацій в навігації рухомих об'єктів. Представлено неортогональні конфігурації на основі інерціальних триосних пристроїв MPU-6050 та конструктивних елементів у вигляді трикутної та чотирикутної пірамід. Визначено експериментальну оцінку точності вищезгаданих конфігурацій з використанням триступеневого динамічного стенду просторових переміщень.

Надано графічні залежності абсолютних похибок вимірювань та наведено розрахункові значення відносної похибки вимірювання кутової швидкості. Отримані результати спрямовані на забезпечення високоточних та надійних навігаційних вимірювань, що важливо для рухомих об'єктів, наприклад, безпілотних літальних апаратів, які наразі широко застосовуються в Україні.

Ключові слова**: МЕМС-датчик, неортогональна конфігурація, експериментальне випробування, динамічний стенд, вимірювальна похибка.**

Вступ. На сьогоднішній час у галузях навігації та управління рухомими об'єктами широко використовуються датчики, засновані на мікроелектромеханічних системах (МЕМС-датчики). Слід зазначити, що ці застосування характеризуються високими вимогами до точності та надійності вимірювань. За умови використання сучасних МЕМС-датчиків, забезпечення цих вимог потребує додаткових заходів.

Підвищення надійності та точності вимірювань може бути досягнуто за рахунок надмірності. Відомо, що існують можливості резервування як датчиків кінематичних параметрів (кутових швидкостей, прискорень) рухомого об'єкта, так і вимірювальних базисів. У першому випадку використовується триосна ортогональна система координат та вимірювальні осі датчиків орієнтуються уздовж осей цієї системи. При такому підході відмова двох датчиків може призвести до відмови навігаційної системи у цілому. Резервування вимірювальних базисів засновано на орієнтації вимірювальних осей датчиків уздовж осей деякої геометричної фігури.

Застосування неортогональних надмірних конфігурацій для підвищення надійності та точності вимірювань має певну історію [1]. Детальний опис таких конфігурацій містять праці [2, 3]. Використання неортогональних надмірних конфігурацій інерціальних вимірювачів навігаційної інформації, заснованих на МЕМС-датчиках, має деякі переваги. По-перше, такі конфігурації забезпечують зменшення зміщення нуля. Слід зазначити, що наявність зміщення нуля є однією з важливих проблем експлуатації сучасних МЕМС-датчиків. Використання неортогональних надмірних конфігурацій підвищує точність вимірювань навігаційної інформації. По-друге, значно підвищується надійність вимірювань завдяки надмірності. По-третє, у такий конфігурації забезпечується можливість розміщення більшої кількості датчиків у межах конструктивного блоку з тими самими розмірами. Ця перевага є корисною навіть за

умови мініатюризації сучасних інерціальних датчиків. Додатковою перевагою є можливість підвищення відмовостійкості навігаційних систем.

Актуальність роботи у даному напрямку зумовлено необхідністю забезпечення високої точності та надійності навігаційних вимірювань в системах управління рухомими об'єктами.

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. У зв'язку з розвитком безпілотної авіації останнім часом використанню надмірних, у тому числі неортогональних конфігурацій інерціальних датчиків, приділяється значна увага. Так, в сучасних наукових періодичних виданнях відзначається, що застосування надмірних відмовостійких інерціальних вимірювальних блоків призводить до значного покращення точності та надійності навігаційних вимірювань [4].

Відповідно, такі конфігурації можуть застосовуватись для створення інерціальних навігаційних систем, як це представлено у праці [5]. У безпілотній авіації доцільно використовувати інерціальні вимірювальні блоки на основі неортогональних конфігурацій і це обґрунтовано у праці [6]. Неортогональні надмірні конфігурації одноосних інерціальних датчиків представлено у статті [7]. Теоретичну оцінку точності та відповідний порівняльний аналіз різних неортогональних конфігурацій, надано у праці [8]. У вищезгаданих працях неортогональні конфігурації засновуються на одноосних датчиках [4 – 6], або на однаково орієнтованих інерціальних вимірювальних блоках [7, 8]. Неортогональні конфігурації на основі триосних інерціальних вимірювальних блоків із повним використанням вимірювальної надмірності потребують подальшого дослідження. Проблема підвищення навігаційної точності є особливо важливою для управління безпілотними рухомими об'єктами, наприклад безпілотними літальними апаратами, як це обґрунтовано у статті [9].

Можливості застосування надмірних конфігурацій у відмовостійких навігаційних системах досліджено у праці [10]. Використовуючи надмірність інерціальних вимірювачів (акселерометрів) можна навіть забезпечити визначення просторової орієнтації рухомого об'єкта без застосування гіроскопічних датчиків, як це показано в статті [11]. Слід зазначити, що іноді надмірна вимірювальна інформація виникає завдяки принципу роботи навігаційного вимірювача. Така ситуація має місце в коріолісовому вібраційному гіроскопі [12]. Праці [9, 11, 12] підтверджують факт актуальності застосування надмірності навігаційних вимірювань в системах управління рухом безпілотних рухомих об'єктів. Неортогональну надмірну конфігурацію поодиноких тривісних МЕМС-датчиків на основі трикутної піраміди подано у праці [13]. Підходи до формування таких конфігурацій на основі трикутної та чотирьохкутної пірамід та інерціальних вимірювальних блоків надано у праці [14].

Метою дослідження є експериментальна оцінка точності неортогональної надмірної конфігурації на основі триосних інерціальних вимірювальних блоків з використанням трикутної та чотирикутної пірамід як конструктивних елементів.

Для досягнення цієї мети було вирішено такі задачі:

– представлено результати дослідження неортогональної конфігурації МЕМС-датчиків на основі триосних інерціальних вимірювальних блоків з використанням трикутної та чотирикутної пірамід як елементів конструкцій;

– охарактеризовано особливості експериментального дослідження точності вимірювання кутового руху об'єкта за допомогою неортогональних надмірних інерціальних вимірювачів з точки зору випробувального обладнання та методичного забезпечення;

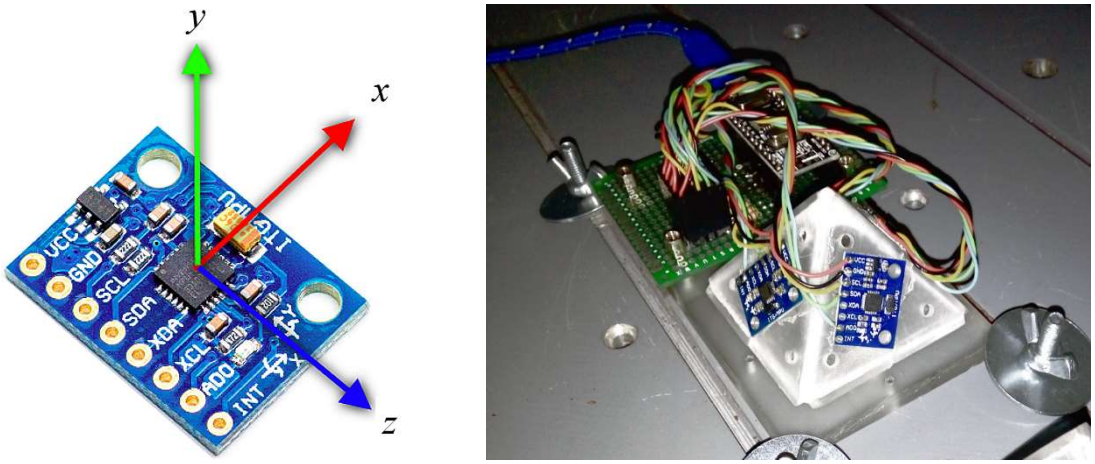
– здійснено експериментальну оцінку неортогональних конфігурацій МЕМС-датчиків.

Особливості конфігурації МЕМС-датчиків на основі інерціальних вимірювальних блоків. У сучасних практичних застосуваннях широко поширені інерціальні вимірювальні блоки, які включають три МЕМС-гіроскопи та/або три акселерометри. Досліджувані неортогональні інерціальні вимірювачі засновані на датчиках з орієнтацією вимірювальних осей перпендикулярно до граней багатогранників [2, 3]. У цьому випадку можна обрати таку геометричну фігуру як тетраедр (трикутну піраміду) та октаедр. З точки зору конструктивної реалізації та габаритних обмежень зручно використовувати чотирикутну піраміду.

Як датчики первинної інформації в неортогональній надмірній конфігурації можуть використовуватись пристрої стеження за рухом MPU-6050. Пристрій MPU-6050 складається з

триосного гіроскопу та триосного акселерометру, температурного датчика, а також цифрового процесора руху. Ці елементи розміщені у малогабаритному корпусі [15]. Пристрій MPU-6050 містить три 16-бітових аналогово-цифрових перетворювача, що забезпечують дискретизацію вихідних сигналів гіроскопів, та трійку відповідних перетворювачів для дискретизації вихідних сигналів акселерометрів. Для прецизійного відстеження повільних та швидких рухів можливе використання програмованого діапазону вимірювань кутової швидкості ±250 °/с, ±500 °/с, ±1000 °/с, і ±2000 °/с, а також програмованого діапазону вимірювань прискорень ±2 g, ±4 g, ±8 g, ±16 g [15].

Пристрій MPU-6050 і неортогональна надмірна конфігурація МЕМС-датчиків, розміщених на гранях чотирикутної піраміди, показані на рис. 1. Під час досліджень було розглянуто дві конструкції неортогональних інерціальних вимірювачів, в основу яких покладено трикутну та чотирикутну піраміди. Рис. 1, а показує пристрій MPU-6050, а рис. 1, б – чотирикутну піраміду з інерціальними вимірювальними блоками MPU-6050, розміщеними на гранях піраміди, та мікроконтролер ATMEGA168, який забезпечує визначення та обробку навігаційної інформації. Відповідно до рис. 1, б вимірювач встановлено на випробувальному стенді.



а *б*

Рис. 1. Зовнішній вигляд неортогональної конфігурації МЕМС-датчиків:
а – прилад MPU-6050; *б* – інерціальний вимірювальний блок з використанням чотирикутної піраміди як конструктивного елементу.

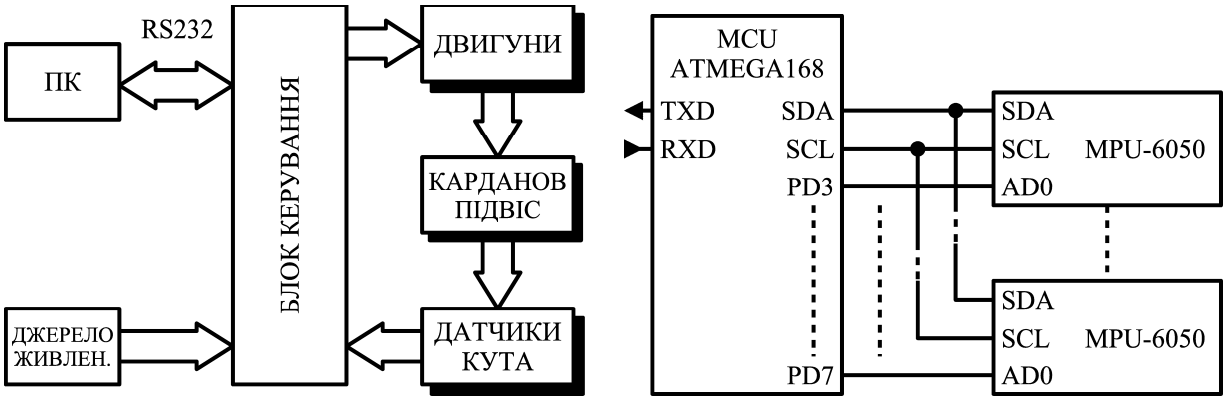
Представлена конфігурація МЕМС-датчиків може бути використана в системах, що забезпечують навігацію безпілотних рухомих об’єктів, наприклад безпілотних літальних апаратів.

Особливості експериментального випробування точності інерціальних вимірювачів. Експериментальне дослідження точності інерціального вимірювача виконується в умовах просторових кутових рухів за допомогою триступеневого випробувального стенду, зовнішній вид якого показано на рис. 2.

Інерціальний вимірювач, що випробується, встановлюється на платформі випробувального стенда у положенні, що відповідає розташуванню інерціального вимірювача під час експлуатації на рухомому об’єкті. Моделювання динаміки випробуваного вимірювача здійснюється засобами програмного забезпечення, яке імітує кутовий рух відносно осей системи координат, зв’язаної зі стендом. Осі системи координат стенда співпадають з осями навігаційної системи координат.

Динамічний триступеневий випробувальний стенд складається з блока живлення, комп’ютера, блока управління, трьох крокових двигунів, трьох датчиків кута і платформи, встановленої у карданову підвісі. Структурну схему динамічного випробувального стенду показано на рис. 3, *а*. Реєстрація показів пристроїв відстеження руху MPU-6050 відбувається за допомогою мікроконтролера ATMEGA168. Схему з’єднання пристрою відстеження руху з мікроконтролером представлено на рис. 3, *б*.

Рис. 2. Триступеневий динамічний стенд



а *б*

Рис. 3. Засоби експериментального випробування (персональний комп'ютер):
а – структурна схема динамічного стенда; *б* – схема з'єднання інерціального вимірювального блока і мікроконтролера.

Реєстрація та обробка навігаційної інформації здійснюється за допомогою програмного забезпечення. Воно забезпечує синхронне зчитування інформації про кутову швидкість, яка надходить від окремих МЕМС-датчиків. Програмне забезпечення складається з консольної утілити, що встановлюється на комп'ютері, та програмного забезпечення мікроконтролера ATMEGA168. Обмін інформацією здійснюється за допомогою послідовного інтерфейсу UART.

Неортогональний навігаційний вимірювач розміщується на платформі триступеневого випробувального стенду, яка встановлюється у кардановому підвісі. Це забезпечує можливість моделювання довільних кутових рухів відносно трьох осей, що відповідають осям навігаційної системи координат. Моделювання рухів відносно кожної з осей навігаційної системи координат відбувається за допомогою тестових сигналів, які являють собою гармонічні сигнали із різним періодом. Ці сигнали можна представити у вигляді

$$x(t) = 5\sin(\pi/6 \cdot t); \quad y(t) = 5\sin(\pi/12 \cdot t); \quad z(t) = 5\sin(\pi/4 \cdot t). \tag{1}$$

Відомо, що МЕМС-датчики характеризуються похибками внаслідок зміщення нуля, зумовленого впливом температури та початковим зміщенням. Компенсація вищезгаданих факторів може здійснюватись у такий спосіб. По-перше, вимірювач має функціонувати у холостому режимі протягом 15…20 хв. Цей процес виконується з метою температурної стабілізації МЕМС-датчиків і компенсації зміщення нульового сигналу. Платформа у цьому режимі залишається нерухомою. По-друге, остаточне зміщення оцінюється протягом 1 хв, що дозволяє оцінити систематичну похибку Δ_t . Після цих процедур задається кутовий рух випробувального стенду у програмний спосіб. Кутові рухи (1) діють протягом 5 хв після температурної стабілізації. Цей процес співпадає з початком реєстрації вимірювальної інформації. Виконання експерименту супроводжується синхронною реєстрацією як інформації про кутове положення випробувального стенду, так і інформації, що вимірюється МЕМС-датчиками з частотою 100 Гц.

Експериментальна оцінка точності неортогональних надмірних конфігурацій на основі МЕМС-датчиків

Порівняльний аналіз точності неортогональних вимірювачів на основі інерціальних вимірювальних блоків представлено у табл. 1.

Таблиця 1

Результати аналізу неортогональних конфігурацій інерціальних вимірювальних блоків

Тип конфігурації	Слід кореляційної матриці похибок
Ортогональна конфігурація	1,00
Конфігурація з використанням трикутної піраміди	0,75
Конфігурація з використанням чотирикутної піраміди	0,60

Результати, представлені в табл. 1, підтверджують переваги з точності надмірної неортогональної конфігурації з використанням чотирьохкутної піраміди.

Реєстрована інформація містить дані про вектор просторової орієнтації платформи

$$\varphi = [\psi \;\; \vartheta \;\; \gamma]^{\mathrm{T}}, \tag{2}$$

де кути ψ, ϑ, γ відповідають обертанням платформи у горизонтальній, вертикальній та бічній площинах відповідно. Вектор вимірюваної кутової швидкості платформи в проекціях на осі навігаційної системи координат визначається у такий спосіб

$$\Omega = [\omega_x^1 \;\; \omega_y^2 \;\; \omega_z^3 \ldots \omega_x^{n-2} \;\; \omega_y^{n-1} \;\; \omega_z^n]^{\mathrm{T}}, \tag{3}$$

де n – кількість МЕМС-датчиків. Вектор вимірюваної кутової швидкості випробувального стенду в проекціях навігаційної системи координат на основі виразів (2) і (3) визначатиметься так

$$\boldsymbol{\omega}_{\varphi}^{\mathrm{T}} = [\omega_{\psi} \;\; \omega_{\vartheta} \;\; \omega_{\gamma}] = \Omega^{\mathrm{T}}\mathbf{H}, \tag{4}$$

де $\mathbf{H}$ – матриця перетворення вимірювальної інформації в навігаційну.

Далі виконується осереднення виміряної кутової швидкості (4)

$$\omega_{\varphi\mathrm{av}} = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\omega_{\varphi}; \quad \varphi = \psi, \vartheta, \gamma\,. \tag{5}$$

де m – кількість вимірювань.

Оцінку точності інерціального вимірювача можна визначити порівнянням виміряної кутової швидкості (5) і заданої кутової швидкості випробувального стенда (2). Необхідно також врахувати систематичну температурну похибку

$$\varepsilon_\varphi = \omega_{\varphi av} - \dot{\varphi} - \Delta_{t\varphi}; \quad \varphi = \psi, \vartheta, \gamma, \tag{6}$$

де ε_φ – вимірювальна похибка інерціального вимірювача, $\dot{\varphi}$ – похідна заданого кутового положення випробувального стенда.

Найбільш поширеним представленням похибки вимірювання є середньоквадратичне відхилення (СКВ). З урахуванням виразу (6), співвідношення для визначення дисперсії є таким

$$\sigma_\varphi = \sqrt{\frac{1}{m-1}\sum_{i=1}^{m}(\varepsilon_{\varphi_i} - \varepsilon_\varphi)^2}; \quad \varphi = \psi, \vartheta, \gamma; \quad i = 1, \ldots, m.$$

Під час експерименту оцінювана кутова швидкість задавалась лише в одному напрямку. Спочатку було виконано оцінку точності одиночного пристрою відстеження руху MPU-6050. Результати цього експериментального дослідження представлені на рис. 4, де наведено проекції виміряної кутової швидкості на осі навігаційної системи координат.

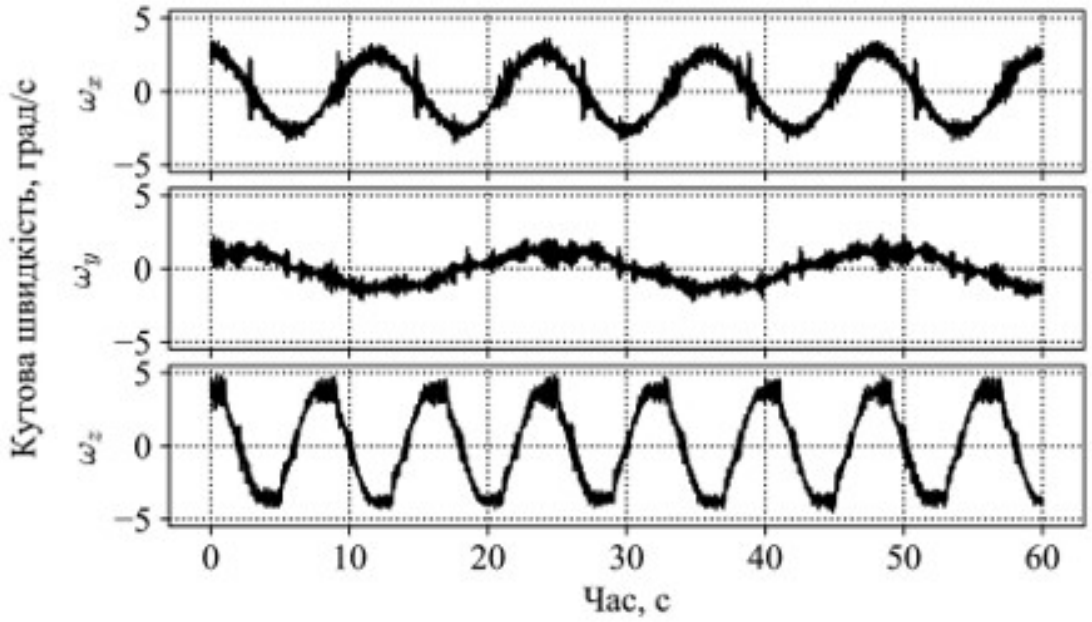


Рис. 4. Графічні залежності кутових швидкостей, виміряних за допомогою пристрою MPU-6050

Результати аналізу точності неортогональних надмірних інерціальних вимірювачів на основі таких конструктивних блоків як трикутна та чотирикутна піраміди, представлено на рис. 5. Ці дані є осередненням показань кутових швидкостей, виміряних відповідно до раніше викладеної методики. З порівняння отриманих результатів виходить, що використання вимірювачів на основі чотирикутної піраміди є більш ефективним з точки зору підвищення точності.

Гістограми розподілу абсолютних похибок вимірювання кутових швидкостей відносно осей навігаційної системи координат надано на рис. 6. З аналізу цих гістограм видно, що випадкові похибки визначення параметрів руху розподілені за нормальним законом.

Оцінку точності σ_{rel} (табл. 2) було визначено як відношення нормалізованого значення середньоквадратичної похибки неортогонального інерціального вимірювача σ_i до середньоквадратичної похибки окремого МЕМС-датчика σ_i^0.

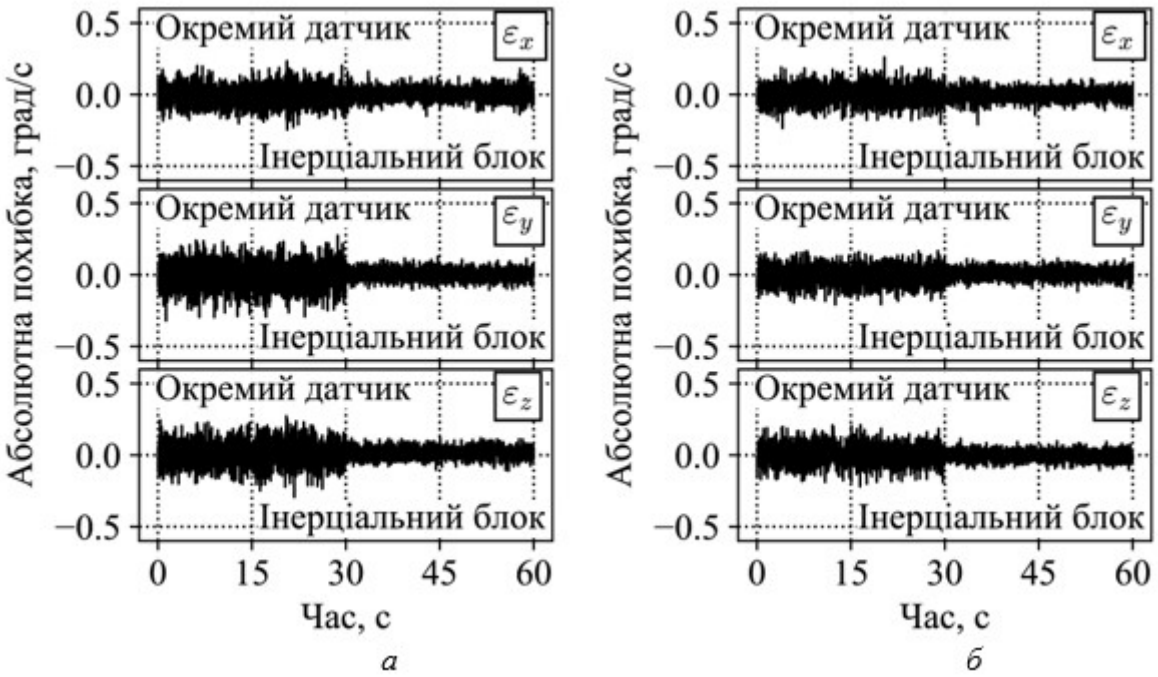


Рис. 5. Абсолютна похибка визначення кутової швидкості об'єкта за допомогою неортогонального надмірного інерціального вимірювача:
а – на основі трикутної піраміди; *б* – на основі чотирикутної піраміди

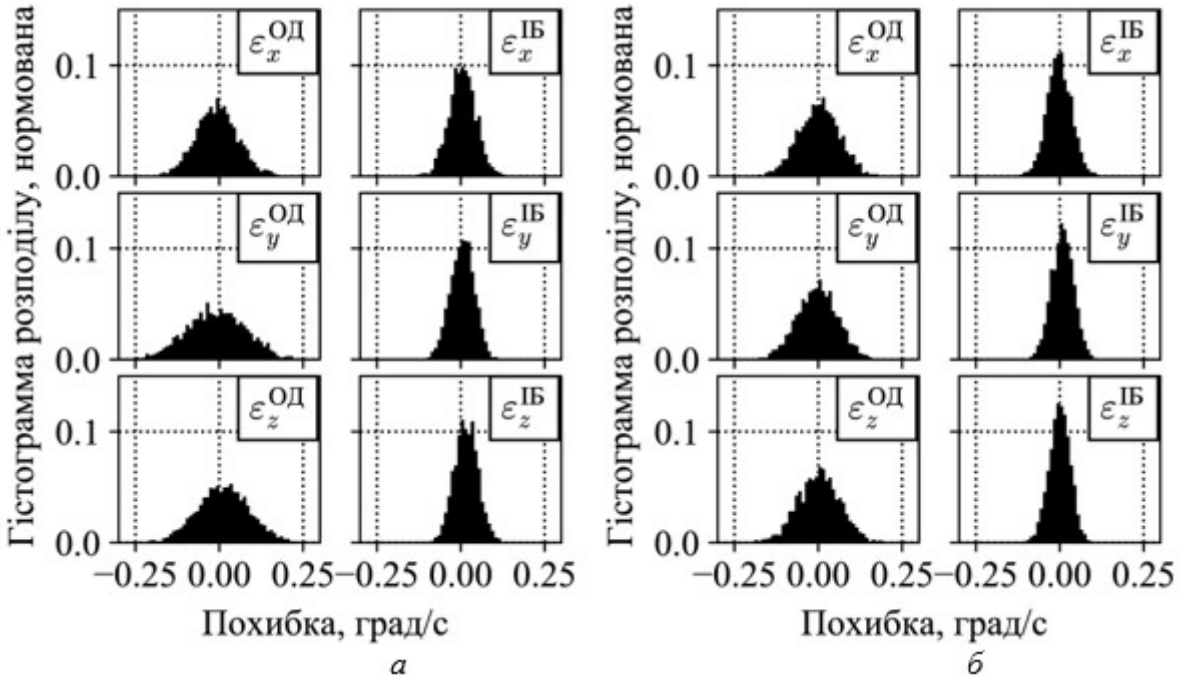


Рис. 6. Гістограми розподілу похибок для неортогональних надмірних вимірювачів (ОД – окремий датчик, ІБ – інерціальний блок): *а* – на основі трикутної піраміди; *б* – на основі чотирикутної піраміди

Табл. 2 містить інформацію про нормалізовані значення СКВ похибок вимірювання проекцій кутової швидкості рухомої основи (стенду) в навігаційній системі координат за допомогою різних типів неортогональної надмірних інерціальних вимірювачів. Нормалізація виконується відносно СКВ ортогонального триосного інерціального датчика. З табл. 2 виходить, що неортогональний надмірний вимірювач на основі такого конструктивного блока

як чотирикутна піраміда, забезпечує вищу точність у порівнянні з вимірювачем на основі трикутної піраміди для всіх осей навігаційної системи координат**.**

Таблиця 2

Результати експериментальної оцінки похибок вимірювання

Тип конструктивного блока	$\sigma_{rel} = \sigma_i / \sigma_i^0$		
	x	*y*	*z*
Трикутна піраміда	0,6651	0,5094	0,4845
Чотирикутна піраміда	0,5481	0,4163	0,4460

Ефективність моделювання кутового руху може бути підвищена за рахунок імітації випадкових похибок, що зумовлюються зовнішніми збуреннями. У загальному випадку динамічний випробувальний стенд надає широкі можливості для моделювання детермінованого та стохастичного кутового руху. Управління динамічним стендом автоматизовано. Зміна параметрів модельованого руху відбувається за допомогою вікон інтерфейсу, що з'являються на дисплеї комп'ютера. Слід зазначити, що арифметично-логічний пристрій контролера мікроконтролера ATMEGA168 не підтримує операцій з плаваючою комою. Більш того, точність та швидкодія оброблення цих операцій у сумісному режимі є дуже низькою. Тому основні обчислення доцільно виконувати засобами комп'ютера.

Висновки. Запропоновано процедуру експериментального дослідження точності неортогональних надмірних інерціальних вимірювачів проекцій кутової швидкості рухомого об'єкта. Особливостями процедури є імітація кутового руху об'єкту в інерціальному просторі за допомогою тривимірного динамічного стенду та визначення оцінок випадкових похибок вимірювань на основі експериментальних даних.

Розроблено і досліджено експериментальні зразки неортогональних конфігурацій на основі триосного інерціального пристрою MPU-6050 та конструктивних елементів у вигляді трикутної та чотирикутної пірамід.

Порівняльне оцінювання показало переваги використання конструкції на основі чотирьохкутної піраміди, оскільки у цьому випадку нормалізовані значення СКВ похибки вимірювання за усіма вимірювальними осями є меншими за відповідні показники для конструкції на основі трикутної піраміди (0,55; 0,42; 0.43 і 0,67; 0,51; 0,49 відповідно).

ЛІТЕРАТУРА

1. Pejsa A. J. Optimum Skewed Redundant Inertial Navigators // AIAA Journal. – 1974. – vol. 12. – issue 7. – P. 899–902.
2. Епифанов А. Д. Надежность систем управления. – М.: Машиностроение, 1975. – 144 с.
3. Епифанов А. Д. Избыточные системы управления летательными аппаратами. – М.: Машиностроение, 1978. – 178 с.
4. Dai X., Zhao L., Shi Z. Fault Tolerant Control in Redundant Inertial Navigation System // Mathematical Problems in Engineering. – 2013. – vol. – P. 1–11.
5. Redundant MEMS-Based Inertial Navigation Using Nonlinear Observers / Rogne R. H., Bryne T. H., Fossen T. I., Johansen T. A. // Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control. – 2018. – vol. 140. – Issue 7. – P. 0–7. Paper No: DS-17-1023.
6. Song J. W., Park C. G. Optimal Configuration of Redundant Inertial Sensors Considering Lever Arm Effect // IEEE Sensors Journal. – 2016. – vol. 16. – issue 9. – P. 3171–3180.
7. Jafari M. Optimal redundant sensor configuration for accuracy increasing in space inertial navigation system // Aerospace Science and Technology. – 2015. Vol. 47. P. 467–472.
8. Jafari M., Roshanian J. Optimal Redundant Sensor Configuration for Accuracy and Reliability Increasing in Space Inertial Navigation Systems // Journal of Navigation. – 2012. – vol. 66. – issue 02. –P. 199–208.
9. Sushchenko O. A., Golitsyn V. O. Data processing system for altitude navigation sensor // Proceedings of the 4th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC). – 2016. – October 18 – 20, Ukraine, Kyiv. – P. 84 – 87.

10. Larin V. B., Tunik A. A. Fault-tolerant strap-down inertial navigation systems with external corrections // Applied and Computational Mathematics. – 2015. – vol. 14. – issue 1. – P. 23–37.
11. Larin V. B., Tunik A. A. On Inertial-Navigation System without Angular-Rate Sensors // International Applied Mechanics. – 2013. – vol. 49. – issue 4. – P. 488–499.
12. Chikovani V., Sushchenko O., Tsiruk H. Redundant information processing techniques comparison for differential vibratory gyroscope // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – vol. 4. – issue 7 (82). – P. 45–52.
13. Паршин А. П., Немшилов Ю. А. Разработка измерительного блока системы ориентации БПЛА с неортогональным расположением чувствительных элементов // Современная техника и технология. 2016. № 3. URL: http://technology.snauka.ru/2016/03/9697
14. Sushchenko O. A., Bezkorovainyi Y. N., Novytska N. D. Nonorthogonal redundant configurations of inertial sensors // Proceedings of the 4th International Conference Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments (APUAVD). – 2017. October 17, 19, Ukraine, Kyiv. – P. 73 – 78.
15. MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification. URL: https://store.invensense.com/datasheets/invensense/MPU-6050 DataSheet .pdf
16. Lurie A. I. Analytical mechanics. Springer, 2002. 864 p. doi: 10.1007/978-3-540-45677-3

Сущенко О.А., Безкоровайный Ю.Н., Новицкая Н.Д., Голицын С.А.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НЕОРТОГОНАЛЬНЫХ КОНФИГУРАЦИЙ ТРЕХОСНЫХ МЭМС-ДАТЧИКОВ

Проведено экспериментальное исследование точности неортогональных конфигураций МЭМС-датчиков на основе трехосных измерительных блоков. Актуальность исследования обусловлена возможностью использования таких конфигураций в навигации беспилотных подвижных объектов. Представлены неортогональные конфигурации на основе инерциальных трехосных устройств MPU-6050 и конструктивных элементов в виде треугольной и четырехугольной пирамид. Определена экспериментальная оценка точности вышеупомянутых конфигураций с использованием трехстепенного стенда пространственных перемещений. Представлены графические зависимости абсолютных погрешностей измерений, и приведены расчетные значения относительной погрешности измерения угловой скорости. Полученные результаты направлены на обеспечение высокоточных и надежных измерений, что важно для беспилотных летательных аппаратов, которые в настоящее время широко используются в Украине.

Ключевые слова: *МЭМС-датчик, неортогональная конфигурация, экспериментальное исследование, динамический стенд, измерительная погрешность.*

Sushchenko O.A., Bezkorovaynii Yu.M., Novytska N.D., Golytsin V.O.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF NONORTHOGONAL CONFIGURATIONS OF MEMS-SENSORS

The experimental research of accuracy of nonorthogonal configurations based on the triaxial measuring units is carried out. The topicality of the research is caused by the possibility to use such configurations in navigation of the unmanned aerial vehicles. Nonorthogonal configurations on the basis of inertial triaxial units MPU-6050 an constriction elements in the form of the triangular and tetragonal pyramids are represented. The experimental assessment of the accuracy of the above-stated configurations using three-degree-of-freedom bench of space displacements is obtained. Graphical dependences of absolute measuring errors are represented. Calculating values of the relative error of angular rate measurement are given. The obtained results are directed to providing of high-precision and reliable measurements that it is important for unmanned aerial vehicles, which nowadays are widely used in Ukraine.

Key words: *MEMS-sensor, nonorthogonal configuration, experimental research, dynamic bench, measuring error.*

УДК 681.35 *DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.19*

Глухов С.І.

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ІНТЕРВАЛУ ПРОГНОЗУВАННЯ ПРИ ВИКОРИСТАННІ МЕТОДІВ ФІЗИЧНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ ДЛЯ ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ

Використання методів функціонального діагностування для об'єктів радіоелектронної техніки, що експлуатуються, ускладнюють можливість проведення прогнозування їх технічного стану з високою вірогідністю. Це викликано "природними" труднощами діагностування, обумовленими тим, що на виході цифрового пристрою буде сформована реакція, яка відповідає його справному технічному стану при наявності як справних радіоелектронних компонентів, так і тих, що мають критичні характеристики або такі, що наближуються до них. З цієї причини передбачити час виходу зі строю складових блоків радіоелектронної техніки з використанням відомих методів дуже складно.

Форсовані випробування на надійність радіоелектронних компонентів дозволили отримати наближені залежності діагностичного параметра від часу, використання яких в поєднанні з методами фізичного діагностування надасть потужний інструмент для визначення реального технічного стану, а також для здійснення прогнозування та визначення остаточного ресурсу, запровадження чого запропоновано для побудови нової автоматизованої системи технічного діагностування радіоелектронної техніки. При цьому важливим питанням є обгрунтування вибору інтервалу прогнозування, який залежить від значень діагностичного параметра, отриманих під час попередніх перевірок.

***Ключові слова**: радіоелектронна техніка, цифрові пристрої, радіоелектронні компоненти, технічний стан, методи фізичного діагностування, прогнозування.*

Постановка проблеми. У попередніх наукових роботах [1-3] були представлені методи фізичного діагностування, які на відміну від функціональних, дозволяють визначати реальний технічний стан цифрових пристроїв (ЦП) блоків об'єктів радіоелектронної техніки (РЕТ). Сукупність зазначених методів діагностування з результатами форсованих випробувань на надійність радіоелектронних компонентів (РЕК), а також створеної методики обробки діагностичної інформації являє собою нову методологію, яку доцільно використовувати для побудови нової автоматизованої системи технічного діагностування (АСТД) радіоелектронної техніки. Її впровадження дозволить при забезпеченні високого рівня безпеки зменшити кратність резервування блоків РЕТ, що призведе до заощадження значних фінансових витрат держави. Наслідком впровадження цієї системи є зменшення кількості поступових та раптових відмов ЦП блоків РЕТ, що призводить до зменшення середнього часу відновлення та збільшення значення комплексного показника надійності – коефіцієнта готовності.

Наявність залежностей діагностичного параметра (ДП) від часу наробітку, отриманих в ході проведення форсованих випробувань РЕК на надійність [4], дозволить з достатньо високою вірогідністю проводити прогнозування остаточного ресурсу ЦП, здійснення якого потребує обгрунтування вибору інтервалу прогнозування, що є **метою даної статті**.

Крім того, у статті представлений алгоритм локалізації дефектного не відновлювального елементу зі складу ЦП блоку об'єкта РЕТ. Глибина пошуку даного рівня обумовлена не тільки вимогами технічної діагностики щодо локалізації дефектних РЕК, а і практичним інтересом в порівнянні критичних значень ДП таких елементів з розрахованими в ході проведення

форсованих випробувань, що позитивно вплине на точність результатів діагностування та прогнозування у майбутньому.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз публікацій таких вчених як Ксенз С.П., Креденцер Б.П., Жердєв М.К., Шкуліпа П.А., Вишнівський В.В., Кузавков В.В., Сакович Л.М. показав, що основна увага приділяється вирішенню питань, пов'язаних з підвищенням надійності об'єктів РЕТ. Шляхи розв'язання цих питань полягають у розробці нових методів та засобів діагностування та удосконаленні тих, що існують [5-8].

Для першого рівня системи технічного обслуговування і ремонту (СТОіР) РЕТ [10] (рис. 1) – об'єкта РЕТ (радіолокаційна станція, комплексний засіб автоматизації, засоби зв'язку, засоби спеціального зв'язку, програмно-керовані засоби захисту інформації) було запропоновано створення вбудованої системи контролю на основі енергетичних методів діагностування.

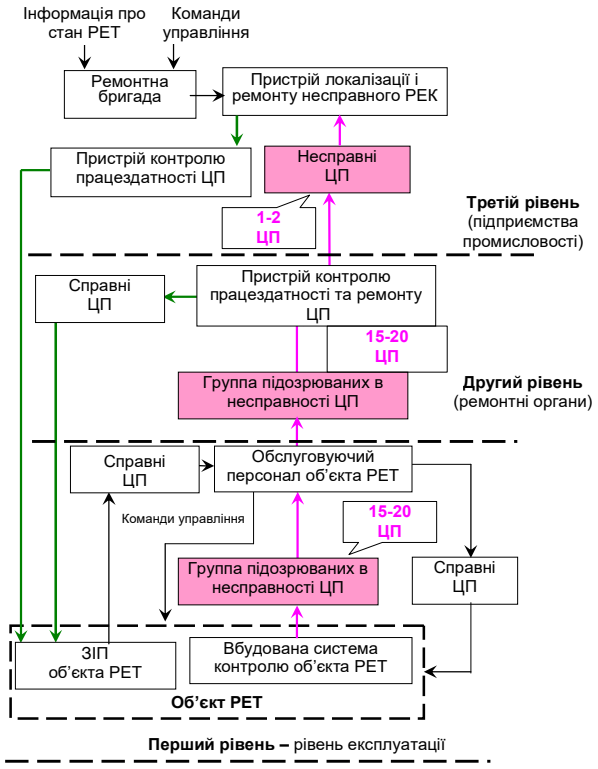


Рис. 1. Структура існуючої системи технічного обслуговування і ремонту радіоелектронної техніки

Для другого рівня СТОіР (ремонтних органів) було запропоновано впровадження універсальних ремонтних модулів для здійснення діагностування ЦП блоків РЕТ, технічний стан яких на першому рівні за допомогою вбудованої системи контролю був визначений як несправний.

На третьому рівні СТОіР (підприємства промисловості) здійснювався ремонт та вихідний контроль з використанням методів функціонального діагностування, які дозволяють визначати технічний стан ЦП під час перевірки. Через непередбачуваний час після його проведення ЦП може вийти зі строю, що в багатьох випадках і відбувається.

Наступна причина, яка ускладнює проведення прогнозування технічного стану РЕК, полягає у відсутності апостеріорної інформації про технічний стан ЦП. Крім того, основна увага приділялась діагностуванню на рівні стійки (шафи), блоку або ЦП [5-8], проте несправність в більшості випадків відбувається на рівні не відновлювального елементу – РЕК.

З аналізу останніх досліджень та публікацій можна зробити висновок, що в скрутних економічних умовах України для забезпечення високих показників надійності сучасної РЕТ, вимоги до яких постійно зростають, потрібно застосування нових підходів, які дозволять визначати реальний технічний стан ЦП, проводити обслуговування за станом та проводити прогнозування і визначення остаточного ресурсу з високою вірогідністю.

Усунення зазначених недоліків можливо за умови побудови нової АСТД, в основу роботи якої будуть покладені методи фізичного діагностування та результати форсованих випробувань РЕК, з яких складаються ЦП блоків РЕТ. Її впровадження дозволить здійснювати наступні функції: діагностування ЦП, локалізацію несправних РЕК, прогнозування технічного стану та визначення остаточного ресурсу ЦП. Останнє потребує представлення залежності інтервалу прогнозування від значення ДП, отриманого з використанням методів фізичного діагностування.

Виклад основного матеріалу

У роботі [4] була представлена наближена залежність ДП – струму від часу, отримана як результат проведення форсованих випробувань РЕК на надійність. Вона відображає "життєвий" цикл РЕК і є прогнозуючою функцією. Використання значень ДП як еталонних дозволить з заданою вірогідністю визначати реальний технічний стан РЕК на основі порівняння цих значень з тими, що отримані у результаті діагностування під час експлуатації зразків РЕТ. Крім того, наявність цих значень надає можливість проводити прогнозування технічного стану та визначення остаточного ресурсу ЦП блоків РЕТ.

Метод, що використовується, згідно з класифікацією методів оцінки та прогнозування ресурсу обладнання складних систем відноситься до параметричних, які входять до складу фізико-статистичних методів оцінки та прогнозування.

З часом ДП зростає за експоненціальним законом, причиною чого є деградаційні процеси (ендогенні фактори), які відбуваються у кристалі напівпровідника [4]. У випадках, коли ДП може приймати значення, які відповідають області під лінією мінімальних значень, технічний стан теж вважається справним.

Екзогенними факторами є вплив полів, які випромінюються джерелами, що оточують досліджуваний РЕК. До них відносяться інші РЕК зі складу даного ЦП, РЕК зі складу інших ЦП, інші випромінювання джерел, які не відносяться до об'єкта РЕТ.

Варто відмітити те, що значення ДП можуть бути поза межами "коридору", який обмежений лініями, що відображають його мінімальні та максимальні значення. При цьому технічний стан РЕК вважається справним, якщо значення ДП не більше критичного значення. Якщо значення ДП досягло зазначеного рівня, приймається рішення щодо заміни ЦП.

У роботі [10] було запропоновано розділити дану залежність на три ділянки, перша з яких відповідає часу наробітку від початку експлуатації приблизно до 10^4 -10^5 годин, якому відповідає її пряма ділянка, яку можна описати рівнянням прямої. Другу ділянку можна описати поліномом ступеня в залежності від кривизни. Третя ділянка, як і перша, має вигляд прямої.

Інтервал прогнозування має залежати від різниці значень ДП, отриманих під час попередніх перевірок і буде детермінованим у випадку, якщо вони знаходяться в межах довірчого інтервалу (рис.2), що з деякими припущеннями означає незалежність похідної від часу для першої та третьої ділянки. Похідна для другої ділянки буде на порядок нижче, ніж поліном, який описує її.

Для обґрунтування вибору інтервалу прогнозування розглянемо рис. 2. З графіку видно, що

$$\frac{t_{n+3} - t_{n+2}}{It_{n+3} - It_{n+2}} = ctg(\angle MCN + \angle DCM),$$

де різниця $t_{n+3} - t_{n+2}$ є інтервалом прогнозування (у загальному вигляді позначається Δt_n).

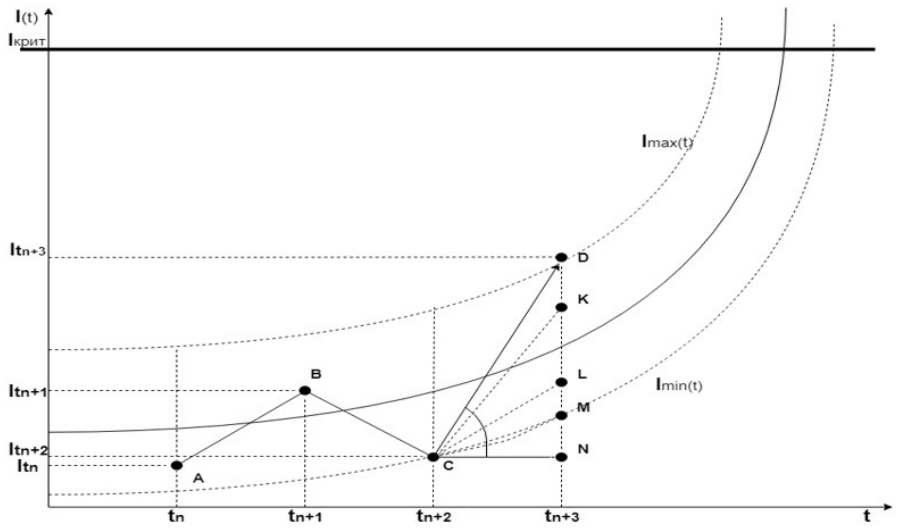


Рис. 2. Графік значень діагностичного параметру,
отриманих у ході проведення діагностування

Вираз для розрахунку інтервалу прогнозування, коли значення ДП знаходяться в межах довірчого інтервалу має вигляд

$$\Delta t_n = \left| \ (It_{n+3} - It_{n+2}) * ctg(\angle MCN + \angle DCM) \ \right|,$$

де точка А (It_n) – значення ДП, виміряне у час t_n (значення ДП знаходиться нижче лінії математичного сподівання, але вище лінії мінімальних значень),

точка В (It_{n+1}) – значення ДП, виміряне у час t_{n+1} (значення ДП знаходиться вище лінії математичного сподівання, але нижче лінії максимальних значень),

точка С (t_{n+2}) – значення ДП, виміряне у час t_{n+2} (значення ДП належить лінії мінімальних значень),

точка D (t_{n+3}) – значення ДП, виміряне у час t_{n+3} (значення ДП належить лінії максимальних значень),

трикутник *MCN* доповнює трикутник *DCM* до прямокутного, при цьому т. М належить лінії мінімальних значень,

точки К і L представлені як можливі значення ДП у час (t_{n+3}), що показує як при різних значеннях ДП змінюється $\angle DCM$ від максимального до мінімального значення ДП.

При виході значення ДП за межі довірчого інтервалу відношення різниці значень, отриманих під час останньої та передостанньої перевірок будуть різними.

Це означає, що інтервал прогнозування треба зменшити, якщо під час останньої перевірки (n -ї) значення ДП вийшло за межі довірчого інтервалу.

У випадку, коли значення ДП після виходу з “коридору” знову “повертається” до нього, інтервал прогнозування збільшується і може дорівнювати початковому. Для зазначених випадків алгоритм роботи АСТД, який буде представлений у наступній науковій роботі, має передбачати проведення повторних перевірок технічного стану.

Для вирішення функції локалізації на рис. 3 представлений алгоритм локалізації дефектного не відновлювального елементу зі складу ЦП для послідовного з’єднання, в основі якого є дихотомічний принцип пошуку [9].

Важливо відмітити те, що збір АСТД апостеріорної інформації про дефектні елементи ЦП дасть можливість проведення аналізу їх типу та часу виходу зі строю, що в подальшому дозволить вжити заходи щодо збільшення наробітку на відмову таких РЕК.

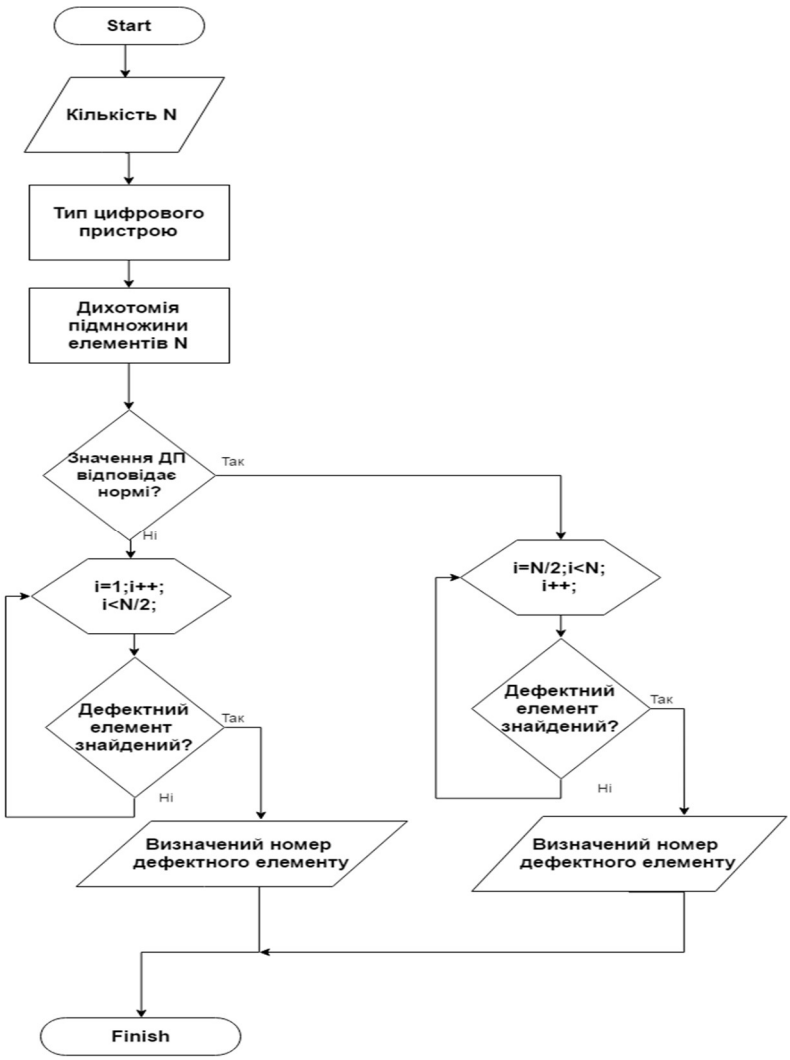


Рис. 3. Алгоритм локалізації дефектного не відновлювального елементу зі складу цифрового пристрою

Структура нової АСТД була представлена у попередніх роботах автора. Важливо відмітити те, що вона буде включати центри обробки діагностичної інформації, що є принципово новим. Крім здійснення фізичного діагностування та локалізації дефектних елементів, нова АСТД, на відміну від існуючої (рис.1), дозволить проводити прогнозування технічного стану РЕК цифрових пристроїв, що дозволить уникнути непередбачуваних відмов ЦП блоків РЕТ. Реалізація в сучасних воєнно-політичних умовах держави нової АСТД дозволить не тільки заощадити значні кошти, а і покращити основні показники надійності зразків РЕТ [10], а саме: збільшити середній час наробітку на відмову та зменшити середній час відновлення, що призведе до збільшення коефіцієнту готовності як основної характеристики надійності РЕТ на 10-15%.

Висновки. 1. Проведений аналіз останніх досліджень та публікацій показав необхідність розробки нового підходу до проведення діагностування та прогнозування технічного стану цифрових пристроїв як складових блоків об’єктів радіоелектронної техніки. Він базується на застосуванні методів фізичного діагностування та використанні результатів

форсованих випробувань на надійність радіоелектронних компонентів як складових цифрових пристроїв.

2. Запропонований вираз для розрахунку часу наступної перевірки технічного стану для випадку, коли значення діагностичного параметру знаходиться в межах мінімальних та максимальних значень.

3. Представлений алгоритм локалізації дефектного не відновлювального елементу зі складу цифрового пристрою, а також показана важливість збору апостеріорної інформації про час виходу зі строю радіоелектронних компонентів та їх тип, що в подальшому дозволить вжити заходи щодо збільшення їх наробітку на відмову.

4. Показано, що застосування фізичного діагностування та залежності діагностичного параметра від часу доцільно використовувати для побудови нової автоматизованої системи технічного діагностування радіоелектронної техніки, яка дозволить покращити її основні показники надійності та збільшити достовірність діагностування.

5. Напрямок подальших досліджень полягає у підвищенні точності моделювання інтервалу упередження.

ЛІТЕРАТУРА

1. Глухов С.І. Аналіз існуючих методів діагностування типових елементів заміни радіоелектронних засобів озброєння та обгрунтування необхідності використання інформаційних технологій при їх застосуванні. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К., 2016. – № 51. – С. 12 – 19.
2. Методика розробки діагностичного забезпечення РЕТ на основі енергостатичного методу діагностування з використанням інформаційних технологій / Лєнков С.В., Жердєв М.К., Толок І.В., Глухов С.І., Жиров Г.Б. // Системи озброєння і військова техніка. – Харків: Вид.-во ХНУПС імені Івана Кожедуба, 2017. – Вип. №4(52). – С.46 – 51.
3. Діагностування радіоелектронної техніки на основі енергодинамічного методу: методика та інформаційне забезпечення / Жердєв М.К., Селюков О.В., Глухов С.І., Гахович С.В., Нікіфоров М.М. // Системи озброєння і військова техніка.– Харків: Вид.-во ХНУПС імені Івана Кожедуба, 2018. – Вип. № 2(54). – С.23 – 30.
4. В. В. Вишнівський, В.В. Василенко, В.В. Кузавков. Аналіз методів форсованих випробувань для отримання залежності зміни діагностичного параметра від часу напрацювання напівпровідникових РЕК // Системи управління, навігації та зв'язку. – П.: ПНТУ. – 2015. – Вип. 1(33). – С. 18-21.
5. Діагностування аналогових і цифрових пристроїв радіоелектронної техніки. Монографія / Вишнівський В.В., Жердєв М.К., Лєнков С.В., Проценко В.А. - під ред. Жердєва М.К., Лєнкова С.В. – К.; ТОВ «Компанія ЛІК», 2009. – 224 с.
6. Жиров Г.Б. Узагальнена діагностична модель цифрової ВІС для енергостатичного методу діагностування // Вісник КНУ імені Тараса Шевченка. – К.: Київ. ун-т, 2005. – Сер. Військово-спеціальні науки, Вип. 11. – С. 54–60.
7. Гахович С.В. Метод діагностування цифрових ТЕЗ // Зб. наук. пр. ВІТІ НТУУ "КПІ". Вип. № 4. – К.: ВІТІ НТУУ "КПІ", 2004. – С. 24-30.
8. Жердєв М.К., Вишнівський В.В., Жиров Г.Б. Контроль технічного стану цифрових пристроїв енергостатичним методом // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ "КПІ". – К.: ВІТІ НТУУ "КПІ", 2005. – №1. – С. 51–57.
9. Основы надежности и технического обслуживания радиоэлектронных средств РТВ ПВО / А.Н. Буточнов, Б.П. Креденцер и др. – К.: КВИРТУ ПВО, 1982. – Ч.1. – 230 с.
10. Глухов С.І. Прогнозування технічного стану радіоелектронної техніки на основі результатів форсованих випробувань з використанням методів фізичного діагностування.

/ С.І. Глухов // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. –2018. – № 62. – С. 28 – 34.

Глухов С.И.

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ИНТЕРВАЛА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДОВ ФИЗИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДЛЯ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ

Использование методов функционального диагностирования для объектов радиоэлектронной техники, которые эксплуатируются, усложняет возможность проведения прогнозирования их технического состояния с высокой достоверностью. Это вызвано "природными" трудностями диагностирования, обусловленными тем, что на выходе цифрового устройства будет сформирована реакция, которая соответствует его исправному техническому состоянию при наличии как исправных радиоэлектронных компонентов, так и тех, которые имеют критические характеристики или такие, какие приближаются к ним. По этой причине предусмотреть время выхода из строя составных блоков радиоэлектронной техники с использованием известных методов очень сложно. Форсированные испытания на надежность радиоэлектронных компонентов позволили получить приближенные зависимости диагностического параметра от времени, использование которых в совокупности с методами физического диагностирования даст мощный инструмент для определения реального технического состояния, а также для проведения прогнозирования и определения остаточного ресурса.

При этом открытым вопросом остается обоснование выбора интервала прогнозирования, который зависит от значений диагностического параметра, полученных во время предыдущих проверок.

***Ключевые слова**: радиоэлектронная техника, цифровые устройства, радиоэлектронные компоненты, техническое состояние, методы физического диагностирования, прогнозирование.*

Glukhov S.I.

RATIONALE FOR SELECTING PREDICTION INTERVAL WHEN USING PHYSICAL DIAGNOSIS METHODS FOR ELECTRONICS DIGITAL DEVICES

The usage of functional diagnosis methods widely applied in relation to radio-electronics in use facilities makes it difficult to forecast their technical state with a high probability. This is caused by the "natural" difficulties of diagnosis due to the fact that a reaction would be formed at the digital device output to correspond to its operational condition in the presence of both fit radio-electronic components and those with critical characteristics or those close to them. For that reason, it is very difficult to predict the failure time of radio-electronics blocks' components using known methods. The reliability extreme tests of radio-electronic components allowed getting diagnostic parameter approximate functions of time, the use of which in combination with physical diagnosis methods provides a powerful tool used to define technical state of radio-electronic components as well as to forecast it, and to define their remaining life time. Introduction of this combination has been suggested to build a new Automated System for Radio-Electronics Technical Diagnosis. For this purpose, it is important to provide rationale for selecting prediction interval depending on the diagnostic parameter values obtained during the previous tests.

***Key words:** radio-electronic equipment, digital devices, radio-electronic components, technical state, physical diagnosis methods, forecasting.*

УДК 53.082.5 *DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.20*

Федотов В.Г., Міхеев О.І.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМІЧНО ІНДУКОВАНОГО ВІДХИЛЕННЯ ЛАЗЕРНОГО ПРОМЕНЮ В КРИСТАЛАХ ДИФОСФІДІВ ЦИНКУ ТА КАДМІЮ І КОМУТАТОРИ НА ЇХ ОСНОВІ

В роботі приведені теоретичні та експериментальні результати дослідження термічно індукованого відхилення лазерного променю в кристалах дифосфідів цинку та кадмію, які мають значну залежність показника заломлення від температури, що дозволило створити одно-і двовимірні комутатори сигналу оптичного діапазону.

Таким чином, при створенні в зразках температурного градієнта з'являється відповідний градієнт показника заломлення у напрямку нормальному падаючому променю. Це можливо використовувати для створення пристосувань, що можуть керувати орієнтацією променя лазера.

Переваги комутаторів, виготовлених на основі цих кристалів: можливість отримання відхилення лазерних променів при незначному нагріві зразків, простота конструкції.

Ключові слова: *показник заломлення, активне середовище, теплопровідність,градієнт температури, комутатор.*

Постановка проблеми

Останнім часом приділяється велика увага вивченню різноманітних фізичних ефектів, перспективних для керування лазерним випромінюванням. В одних випадках керування положенням лазерного промінню має бути безперервним (плавним), в інших – дискретним, що реалізується у вигляді переключення у двох і більше напрямках. Для створення дефлекторів використовуються значні залежності показника заломлення *n* від напруженості електричного поля, інтенсивності звукових хвиль і т.і. [1].

Аналіз останніх досліджень

В [2,3,4] описано виготовлений на основі кристалів GaAs дефлектор з термічно індукованим градієнтом *n*. Перспективними (з точки зору виготовлення подібних дефлекторів) можуть бути і інші кристали, що мають відносно різку температурну залежність величини *n* і низьку теплопровідність λ. У таких кристалах можливе виникнення сильних просторових градієнтів $\frac{\partial n}{\partial x}$ і відповідно ефективне відхилення світлового променя Θ. Кут відхилення проміння в середовищі, що має градієнт показника заломлення у напрямку, нормальному до напрямку падіння променю дорівнює $\theta = в\frac{\partial n}{\partial T}\cdot\frac{\partial T}{\partial x}$, де *в* – товщина зразка, $\frac{\partial T}{\partial x}$ – градієнт температури від нормалі до напрямку падіння променю.

Формулювання цілі статті

Ціллю даної статті є проведення теоретичних і експериментальних досліджень термічно індукованого відхилення лазерного променю на кристалах CdP_2 і ZnP_2 , які дозволять на основі структури метал-активний елемент – метал виготовити одно-і двомірні дискретні комутатори сигналу.

Основна частина

Експериментальними дослідженнями дисперсії коефіцієнтів заломлення і теплопровідності λ в кристалах ZnP_2 і CdP_2 при температурах вище кімнатної встановлено, що

величина $\partial n / \partial T$ практично не залежить від температури, а λ зменшується майже вдвічі в інтервалі температур 300-500 К (таблиця 1). Щоб теоретично розрахувати кут відхилення променю треба знати градієнт температури в зразку $\partial T / \partial x$, який можна визначити з одномірного рівняння теплопровідності

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} - \frac{1}{\tau}\frac{\partial T}{\partial t} = -\frac{A}{\lambda}, \qquad (1)$$

де τ – коефіцієнт дифузії, λ – теплопровідність, А – швидкість виділення тепла в зразку в одиниці об'єму за одиницю часу [5,6].

Для рішення рівняння (1) початкові і граничні умови у першому наближенні можна прийняти наступними:

1) $T = T_0$ при $x = \pm l/2$ *і* $t > 0$,

де l – відстань між металевими контактами на торцях зразка.

2) $A = A_0 = \frac{P}{V} = const$ при $t > 0$,

де P – миттєва електрична потужність, що виділяється у зразку; V – повний об'єм зразку.

3) $T = T_0$ при $t = 0$.

4) $B = B_0 = 32$ при $x = 0$, постійна інтегрування.

При цих умовах рішення рівняння (1) отримаємо у вигляді

$$\frac{\partial T}{\partial x} = -\frac{A_0}{8\lambda}\left\{\frac{8x}{a} + \frac{B_0}{\pi^2}\sum_{\kappa=1}^{\infty}\frac{(-1)^{\kappa}}{(2\kappa-1)^2}\sin\frac{(2\kappa-1)\pi x}{a}\times\exp\left[-(2\kappa-1)^2\pi^2\frac{\tau\cdot t}{a^2}\right]\right\}. \qquad (2)$$

Всі данні для визначення градієнта температури у зразку за формулою (2) наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняльні характеристики параметрів термооптичних дефлекторів на основі кристалів ZnP_2 і CdP_2

Активне середовище	Температурний градієнт показника $\frac{\partial n}{\partial T}\cdot 10^{-4}, K^{-1}$	Теплопровідність λ при 300 К Вт/(см·К)	Розсіювана потужність P, Вт	Коефіцієнт дифузії τ, см^2/с	Область прозорості, мкм
ZnP_2	2	0,15	0,125	0,074	0,56-15
CdP_2	6	0,14	12,5	0,086	0,62-15

Теоретичні криві і експериментальні дані, що характеризують траєкторію відхилення променя від одного контакту до іншого в см., наведені на малюнку, де видно, що при однаковій товщині зразків траєкторія відхилення променя в CdP_2 крутіше, ніж в ZnP_2.

Експериментальні та розрахункові залежності кута відхилення променя від тривалості імпульсу були отримані для дифосфіду кадмію, в якому кут Θ різко зростав при збільшенні

тривалості імпульсу t_i і досягав $2 \cdot 10^{-2}$ рад при t_i = 60 мс (у ZnP_2 відповідно $6 \cdot 10^{-5}$ рад). Тепло відводилося через симетричні мідні контакти, які припаю-

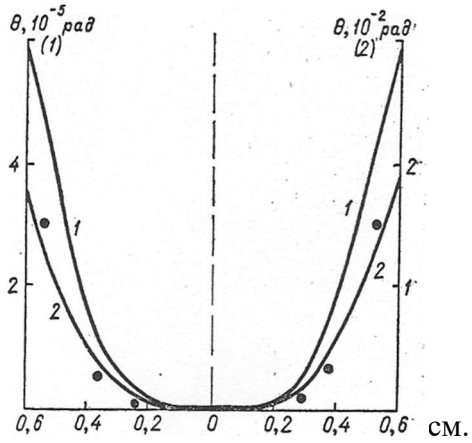


Рис. 1. Траєкторія відхилення променя He-Ne лазера в зразках ZnP_2 (1) і CdP_2 (2)

валися за допомогою олова на кінцях призми. Для зміни профілів відхилення променя використовувалися імпульси з амплітудою 500В і тривалістю 0,01 с. Через зразок проходило випромінювання He-Ne-лазера з довжиною хвилі 0,63 мкм.

Вперше в даній роботі наводяться дані по використанню температурного, а отже, просторового градієнта n в кристалах ZnP_2 і CdP_2 для керування лазерним променем. Комутатор з термічно індукованим градієнтом n виготовлявся на основі структури метал-активний елемент- метал. Досліджувалися кристали р-типу товщиною 2 мм і питомим опором $\rho \cong 10^3$ Ом · см ÷ 10^6 Ом · см.

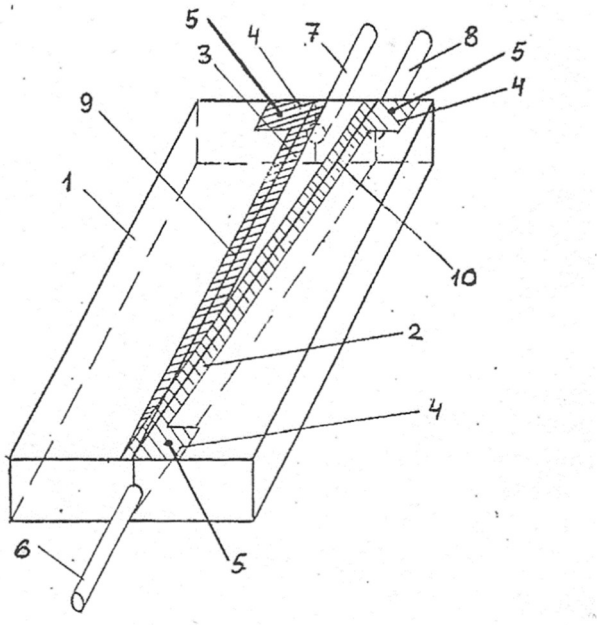


Рис. 2. Комутатор сигналу оптичного діапазону:
1) Кристал CdP_2 або ZnP_2; 2,3) – нагрівачі; 4) контактна площадка;
5) ввід; 6,7,8) – оптичні світловоди; 9,10) – площини симетрії нагрівачів 2 і 3 відповідно

Конструктивно комутатор (рис. 2) може бути виконаний у вигляді прямокутного паралелепіпеда 1, виготовленого з монокристала дифосфіду кадмію (цинку) і вирізаного

уздовж оптичної осі. На верхню бічну поверхню кристала нанесені нагрівачі 2 і 3. Нагрівачі мають контактні площадки 4 для припаювання проводів 5, до торцевих сторонах кристала приєднані вхідний 6 і два вихідних 7 і 8 оптичних волокна. Кут перетину площин 9 і 10 становить $1\text{-}2^0$. Діаметр оптичних волокон дорівнює 50 мкм.

Комутатор працює наступним чином. При подачі напруги на нагрівач 2 поблизу нього утворюється область з градієнтом показника заломлення, в результаті чого світловий промінь відхиляється в бік збільшення показника заломлення і потрапляє у вихідний світловод 7. Для перемикання каналів напруга подається на нагрівач 3.

Так само влаштований двовимірний дискретний комутатор, схема якого зображена на рис. 3.

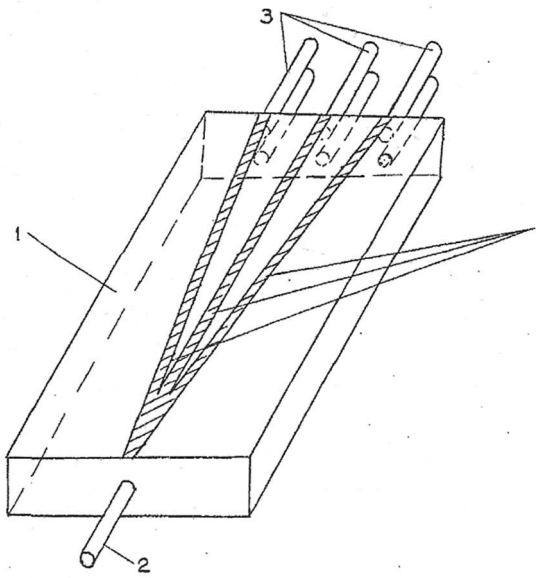


Рис. 3. Двовимірний дискретний комутатор оптичного діапазону:
1) – кристал CdP_2 або ZnP_2, 2, 3) – оптичні світловоди; 4) – нагрівачі.

До торцевих поверхонь кристала 1 приклеєні вхідний 2 і вихідні 3 оптичні волокна. На верхній і нижній поверхнях кристала нанесені нагрівачі 4, причому кожному світловоду відповідає свій нагрівач. Промінь світла, що надходить в кристал через вихідний світловод 2, потрапляє в той вихідний світловод 3, на нагрівач якого подано напругу. Подаючи по черзі напруга на різні нагрівачі, отримаємо переміщення оптичного променя в просторі в двох площинах. Кут відхилення променя від первісного напрямку становив 6^0 при тривалості імпульсу 0,5 мс. Це відповідає питомому значенню кута відхилення 0,6 град/мм.

Висновки

Таким чином, при створенні в ZnP_2 і CdP_2 температурного градієнта (подачею на зразки імпульсної напруги) з'являється відповідний градієнт показника заломлення у напрямку нормальному падаючому променю. Це можливо використовувати для створення пристосувань, що можуть керувати орієнтацією променя лазера. Переваги комутаторів, виготовлених на основі цих кристалів: можливість отримання відхилення лазерних променів при незначному нагріві зразків, простота конструкції.

ЛІТЕРАТУРА

1. Дж. И. Панков Отклонение света с помощью изменения показателя преломления // статья в сборнике Фотоника под редакцией М. Балкански, П. Лалемана перевод с английского и французского – М.: Мир. 1978. 97 – 132 с.

2. Криксунов Л.З. Справочник по основам инфракрасной техники. – М.: Советское радио, 1978. – 400 с.
3. Зуев В.А.. Федотов В.Г., Бычков А.Г. и др. Исследование оптических и оптоэлектронных характеристик дифосфидов цинка и кадмия // Журнал оптоэлектроника и полупроводниковая техника 1989. Вып.18, 23 – 27 с.
4. Маренкин С.Ф., Трухан В.М., Федотов В.Г., Шелковая Т.В. Соединения фосфора, мышьяка с цинком и кадмием как новые материалы электронной техники // Научно-технический журнал Наука и технология в промышленности (радиоэлектроника) – Москва: - № 1, 2011. – 24 – 30 с.
5. Теория тепломассы обмена: учебник / под ред. А.И. Леонтьева – М.: из-во МГТУ им. Баумана, 1997. – 483 с.
6. Леонтович М.А. Введение в термодинамику. Статистическая физика: учебное пособие СПб. М., Лань 2008. – 419 с.

Федотов В.Г., Михеев А.И.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКИ ИНДУЦИРОВАННОГО ОТКЛОНЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ЛУЧА В КРИСТАЛЛЕ ДИФОСФИДОВ ЦИНКА И КАДМИЯ И КОММУТАТОРЫ НА ИХ ОСНОВЕ

В работе приведены теоретические и экспериментальные результаты исследования термически индуцированного отклонения лазерного луча в кристаллах дифосфидив цинка и кадмия, которые имеют значительную зависимость показателя преломления от температуры, что позволило создать одно- и двумерные коммутаторы сигнала оптического диапазона.

Таким образом, при создании в образцах температурного градиента появляется соответствующий градиент показателя преломления в направлении нормальном падающему лучу. Это можно использовать для создания приспособлений, которые могут управлять ориентацией луча лазера.

Преимущества коммутаторов, изготовленных на основе этих кристаллов: возможность получения отклонения лазерных лучей при незначительном нагреве образцов, простота конструкции.

Ключевые слова: *показатель преломления, активная среда, теплопроводность, градиент температуры, коммутатор.*

Fedotov V.G., Miheev A.I.

THE INVESTIGATION OF THE THERMOINDUCING DEFLECTION OF LASER RAY IN CRYSTALS ZINC AND CADMIUM DIPHOSPHIDE AND ITS COMMUTATORS

The theoretical and experimental results of the study of thermally induced deviation of the laser beam in zinc and cadmium diphosphide crystals, which have a significant dependence of the refractive index on temperature, have been presented, which allowed the creation of one-and two-dimensional switches of the signal of the optical range.

Thus, when creating a temperature gradient in samples, a corresponding gradient of the refractive index appears in the direction of the normal incident beam. This can be used to create gadgets that can control laser beam orientation.

Advantages of switches made on the basis of these crystals: the possibility of obtaining a deviation of laser beams at insignificant heating of samples, simplicity of design.

Key words: *index of refraction; active environment; heat conduction; temperature gradient; commutator.*

УДК 624.132.345 *DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.21*

Чередник В.М.

ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ЩОДО ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ЕРЛІФТНОЇ УСТАНОВКИ ЗІ ШНЕКОВИМ ІНТЕНСИФІКАТОРОМ

В даній роботі виконано актуальне наукове завдання практичного характеру, спрямоване на збільшення продуктивності ерліфтної установки для виконання днопоглиблювальних робіт на водоймах глибиною 10…20 метрів.

У статті представлено план модельних експериментів по дослідженню продуктивності ерліфтної установки з шнековим інтенсифікатором. Розроблено програму випробувань, що складається з двох етапів щодо дослідження впливу таких факторів: продуктивність компресора, частота обертів шнеку. Детально описано методику підготовки лабораторного стенду для дослідження та обробки отриманих результатів. Для інтерпретації результатів на повномасштабну модель накладається ряд обмежень, пов'язаних з масштабними коефіцієнтами експерименту.

Ключові слова: *планування експерименту, ерліфтна установка, шнековий інтенсифікатор.*

Вступ. Особливістю прибережних вод і акваторій річкових та морських портів України є їх невеликі глибини, а також наявність мулистого і піщаного ґрунту, що наноситься великими річковими магістралями (Дністром, Дніпром, Дунаєм, Південним Бугом). Це ускладнює забезпечення судноплавства. Комплекс заходів з підтримки глибин, які необхідні для безпечного мореплавання, включає в себе видобуток, підйом і транспортування ґрунту до місця звалища та здійснюється суднами днопоглиблювального флоту. Отже, використання ерліфтних комплексів є перспективним.

Між економічними показниками та кількістю транспортованого ґрунту існує пряма залежність, яка визначає ступінь ефективності роботи ерліфту. Одним із основних напрямів розвитку ерліфтних установок є створення нових конструкцій машин, вибору раціональних схемних рішень і компонувань з застосуванням енергозберігаючих технологій. Ерліфтні установки знайшли широке застосування в багатьох галузях промисловості: поглибленні судноплавних каналів, видобутку з дна морів і водойм будівельних матеріалів та корисних копалин, шахтному водовідливі, металургії, та ін. Таке поширення ерліфтних установок зумовлене рядом суттєвих переваг: значним терміном служби, високою надійністю, простотою конструктивного виконання та іншими позитивними якостями, що виявляються в конкретних технологічних умовах їх застосування.

Об'єкт дослідження – моделювання процесу підйому твердих матеріалів з дна водоймищ ерліфтною установкою.

Предмет дослідження – робочі параметри шнекового інтенсифікатора ерліфтної установки та їх вплив на продуктивність процесу підйому твердих матеріалів.

Мета досліджень. Ерліфт має значний недолік – зі зменшенням глибини розробки при виконанні днопоглиблювальних робіт в акваторіях значно падає енергетична ефективність використання його. Тому в дослідженнях з метою збільшення продуктивності ерліфтної установки на невеликих глибинах запропоновано використовувати шнековий інтенсифікатор.

Це шнек, який розміщено в підйомній трубі ерліфту, за допомогою якого можна уникнути проковзування бульбашок повітря відносно частинок твердого матеріалу, тобто збільшити повноту передачі енергії від повітря до твердого компоненту гідросуміші.

Постановка проблеми. До завдань експериментальних досліджень входить підтвердження адекватності математичної моделі робочого процесу ерліфта при таких умовах роботи:

- за традиційною схемою;
- з шнековим інтенсифікатором.

Викладення основного матеріалу. Основним критерієм подібності ерліфтів згідно [1-3] є відносне (динамічне) занурення змішувача α ($\alpha_д$) та відношення довжини підйомної труби до її діаметру ($H+h$)/D. При випробуваннях ерліфту, які відносяться до натурних, критерій подібності ($H+h$)/D дозволяє встановити геометричні розміри газорідинних підйомників, на які правомірно поширити отримані результати досліджень. При цьому не рекомендується брати для моделей діаметри підйомних труб D < 30 мм для виключення істотного впливу сил поверхневого натягу [1, 2]. Через зміни тиску в змішувачі при зміні витрати стисненого повітря виконання сталості критерію подібності $\alpha_д$ є важким, тому застосовується критерій α.

Експериментальні дослідження проводитимуться при відносному геометричному зануренні змішувача α = 0,33, що дозволяє забезпечити сталу роботу висхідного водоповітряного потоку в підйомної трубі ерліфта [4]. Конструкція ерліфтної установки дозволяє здійснювати додавання до неї шнекового інтенсифікатора.

Експериментальну установку було створено в лабораторнії кафедри автомобільного транспорту та соціальної безпеки Відкритого міжнародного університету розвитку людини «Україна».

Вона складається з основного баку 1 об'ємом 250 л (рис. 1), в який встановлено підйомну трубу 3 діаметром Ø116×8мм (D=100 мм) та довжиною 1,5 м. Труба зафіксована таким чином, щоб змішувач 2, який прикріплено на ній знизу, мав занурення 1,0 м. Повітровідокремлювач 9 прикріплено до підйомної труби 3 зверху, відповідно, 0,5 м над рівнем води.

Зливний патрубок 7 Ø116×8 мм з'єднує повітровідокремлювач 9 та контрольну ємність 6 об'ємом 50 л, яка має насічки з відповідним вказаним об'ємом, через витратомір 8 марки Ергомера-125.АА. Контрольна ємність 6 має зливний патрубок у основну ємність 1.

За допомогою компресора С416М ($p_н$ = 10 бар, $Q_н$ =1 м³/хв) 17 повітря через повітропровід 21 діаметром Ø60×4 мм (d = 52 мм) подається у змішувач 2, тиск в якому виміряється датчиком тиску 22 *SML*-20.0 Тиск повітря регулюється релем 16 *SDE*5-*D*10-*O*, а перевіряється датчиком *SDE*-10-10*V*/20*mA*. Потік регулюється за допомогою запірної арматури 19 *DN*50, а контроль – витратоміром 20 *SFAB*-1000*U*-*M*12. Привід у запірній арматурі 19 пневматичний 18 фірми *FESTO* марка *DAPS*-0060-090-*R*-*F*0305-*S.S*.

У підйомну трубу 3 встановлено шнек 4 ($d_{зов}$=32 мм; $d_{вн}$=20 мм; t=32 мм), який обертається завдяки електродвигуну 10 *SIEMENS* 1*LE*15010*CB*321*AA*4-*Z* (P = 0,37 кВт; n = 1380 об/хв). Регулювання частоти обертів виконується за допомогою частотного перетворювача 11 *SIEMENS PM* 240-2, а контроль – енкодером 12 1*XP*8012-10/1024 тієї ж фірми.

Усі сигнали від датчиків (8, 12, 13, 20, 22) надходять до блоку керування та реєстрації показників 14. Блок керування складається з АЦП *D*:*HW-Easyport-USB-D*16*A* та блоку входів *Anschluusinheit-AF TN*162247 *Serie M*8. Його живлення забезпечує блок живлення *Netzt*.4,5*A TN* 162 416 *Serie R*3. Всі налаштування та регулювання виконуються через комп'ютер 15.

Експериментальні дослідження мають виконуватися таким чином. На дно основного баку 1 насипається просіяний пісок 15 кг та набирається вода з труби центрального водопостачання до раніше зробленої відмітки, яка відповідає зануренню ерліфту 1 м.

Першим етапом є дослідження роботи ерліфту за традиційною схемою, тобто робота без шнекового інтенсифікатора. Для цього виймаємо з підйомної труби 3 шнек 4.

Вмикається комп'ютер 15 та перевіряється працездатність усіх датчиків. На них має висвітитися «0». Перекривається клапан, що розташований після компресора (на схемі не вказано). Запускається компресор 17 та очікується в ресивері встановлення оптимального тиску 10 бар.

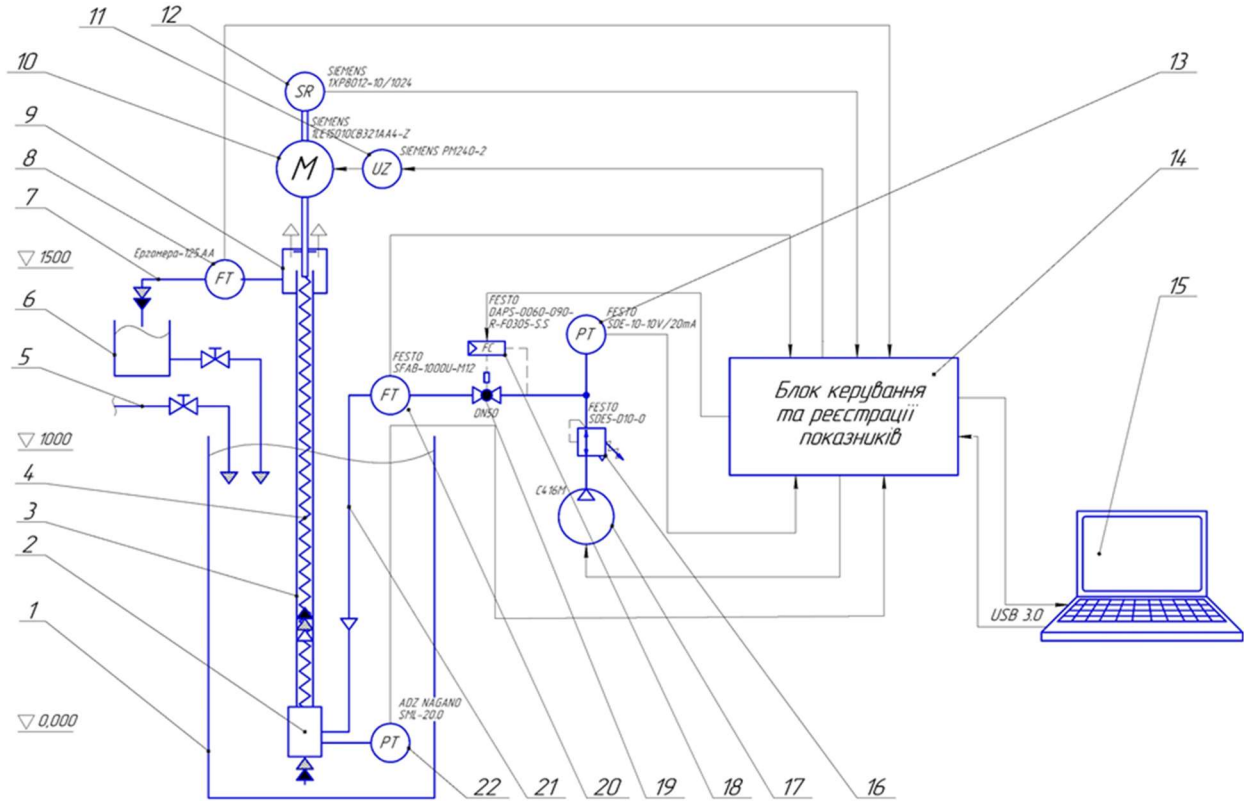


Рис. 1. Експериментальна установка для дослідження робочих процесів традиційно працюючого ерліфту та ерліфту з шнековим інтенсифікатором:
1 – основний бак; 2 – змішувач; 3 – підйомна труба; 4 – шнек; 5 – живлячий патрубок; 6 – контрольна ємність; 7 –зливний патрубок; 8 – витратомір гідросуміші; 9 – повітровідокремлювач; 10 – електродвигун; 11 – частотний перетворювач; 12 – декодер; 13 – датчик тиску повітря; 14 – блок керування та реєстрації показників; 15 – комп'ютер; 16 – реле тиску; 17 – компресор; 18 – привід запірної арматури; 19 – запірна арматура; 20 – витратомір повітря; 21 – повітропровід; 22 – датчик тиску в змішувачі

Встановлюється реле тиску повітря 16 на значення 1,5 бар та відкривається клапан подачі повітря. Значення 1,5 бар розраховане відповідно методики [5]. Запірною арматурою 19 настроюється подача компресора на значення 0,2 м^3/хв, це виконується шляхом перекривання повітряної труби поворотом клапана за допомогою пневматичного приводу 18. Після досягнення сталого режиму роботи ерліфту зливається гідросуміш з контрольної ємності 6 в основний бак 1, а потім закривається зливний кран та набирається ємність знову. Це потрібно для контролю концентрації піску в суміші. Контролюються та записуються показання усіх показників шляхом натискання кнопки «Запис» у спеціальній програмі (рис. 2).

Продуктивність ерліфтної установки визначається ультразвуковим витратоміром Ергомера-125.АА. Монтаж і експлуатація ультразвукового витратоміра (УЗВ) виконуються у відповідності до вимог [6].

Розглянемо принцип роботи лічильника. В УЗВ витрата рідини обчислюється як добуток швидкості потоку рідини (вимірюваної витратоміром) і площі перетину трубопроводу

$$q = V \cdot S \cdot K\,(v{:}\ s),$$

де V - швидкість потоку рідини в трубопроводі;

S - перетин трубопроводу;

$K\,(v{:}\ s)$ - змінний коефіцієнт приведення виміряної швидкості потоку по ультразвуковому променю до середньої по перетину, визначається при калібрування приладу на проливній установці.

Рис. 2. Вікно спеціальної програми призначене для запису та перегляду збережених показань датчиків

Принцип вимірювання швидкості рідини полягає в тому, що швидкість поширення ультразвуку в рухомому середовищі відповідно обраної нерухомої точки вимірювання є геометричною сумою швидкості ультразвуку в нерухомому середовищі та проекції середньої швидкості руху середовища (V) на напрямок ультразвукового променю. Вимірявши час проходження ультразвуку по ($T_{по}$) і проти ($T_{пр}$) потоку, лічильник обчислює швидкість потоку рідини (V) та витрати (q).

Потім встановлюється подача повітря 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7 м^3/хв та знову проводиться запис значень основних показників.

На другому та подальших етапах експериментальних досліджень роботи ерліфтної установки до неї додається шнековий інтенсифікатор.

Частота обертання шнеку регулюється за допомогою частотного перетворювача *SIEMENS PM* 240-2, що керується з комп'ютера ліцензійним програмним забезпеченням від компанії *SIEMENS* (рис. 3). Встановлюється спочатку 50 потім 100, 150, 200 об/хв.

Випробування дрібномасштабних моделей ерліфтів та інших конструкцій часто використовуються для оцінки їх технічних характеристик через неможливість проведення випробувань в натуральну величину. Слід зазначити, що при використанні цих моделей існує ряд труднощів пов'язаних з масштабними коефіцієнтами при інтерпретації результатів для натурних умов і має бути врахований ряд важливих факторів, таких як розмір частинок, щільність ґрунту, технологія видобутку, жорсткість матеріалів та ін.

Експериментально встановлено, що розмір часток не впливає на несучу здатність при переході від дрібномасштабної моделі в тому випадку, коли $D_{50} / D < 0{,}1$ (де D_{50} - діаметр частинок, менше якого в навішуванні ґрунту міститься 50% і більше частинок за масою, D – діаметр підйомної труби) [7]. У планованому експерименті це відношення складає 0,008. Іншою рекомендацією щодо дрібномасштабних досліджень є використання більш розпушеного порівнянно з реальними умовами піску, тому насипання піщаного ґрунту в бак здійснюватиметься без ущільнення.

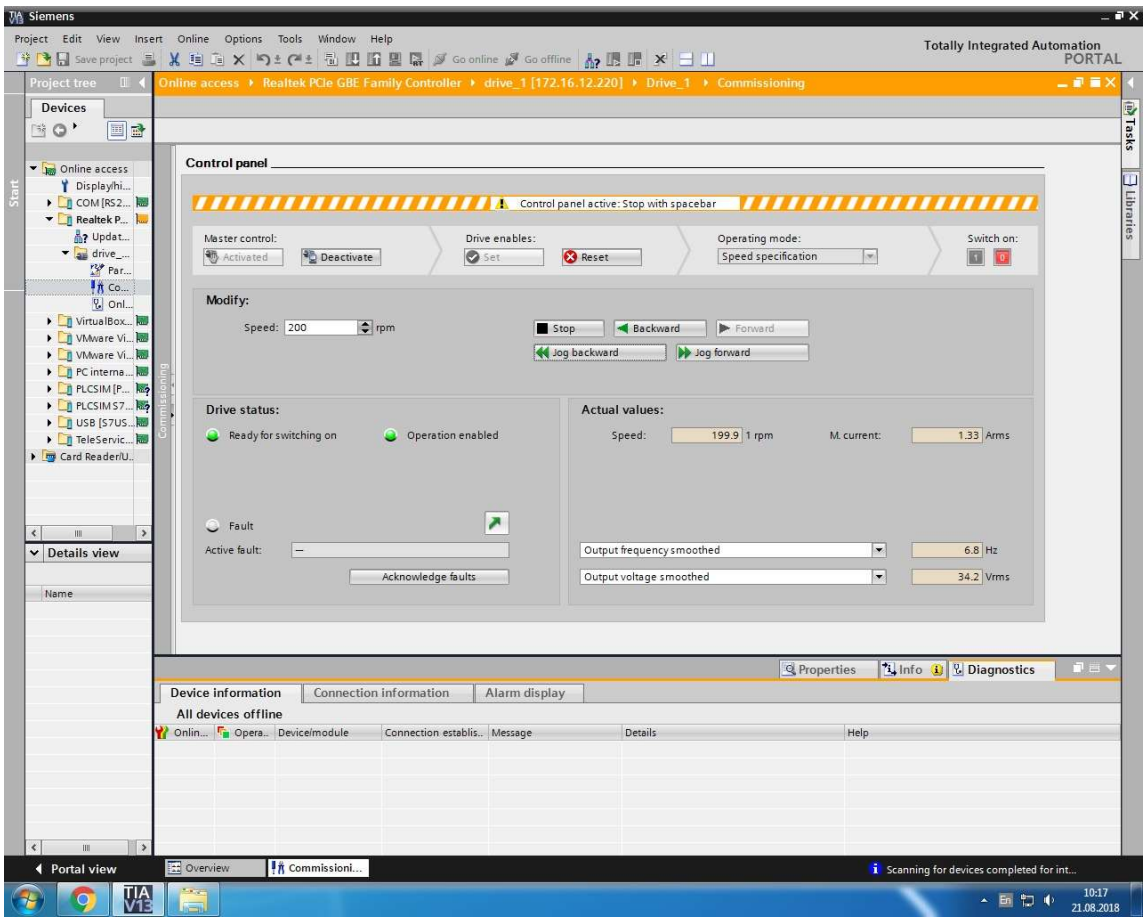


Рис. 3. Вікно ліцензійного програмного забезпечення від компанії *SIEMENS* для керування частотою обертання шнеку

Висновки. Плановані дослідження спрямовані на оцінку ефективності роботи конструкції ерліфтної установки з шнековим інтенсифікатором. Отримані результати стануть вихідними даними для підбору оптимальних параметрів повномасштабного експерименту та отримання емпіричних залежностей впливу різних чинників на параметри даної системи. Тому дані, отримані з проведених експериментів, слід з обережністю використовувати при переході до натурних умов, враховуючи всі масштабні коефіцієнти. Крім того, для узагальнення результатів необхідно враховувати й інші фактори, крім тих, які розглядаються в даній роботі. Для отримання точніших значень параметрів, необхідних для проектування, слід дослідити також вплив типу матеріалу, жорсткості конструкції, умов навантаження тощо.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Малеев В.Б.* Основы подобия и моделирования эрлифтов / В.Б. Малеев, Д.А. Лисицын, Г.Л. Локтионов // Наука-практика: Научно-метод. сб. Выпуск 4. - Донецк: ДонГТУ. – 1999. - С. 173-192.

2. *Малыгин С.С.* Подобие эрлифтов / С.С. Малыгин // В сб.: Разработка месторождений полезных ископаемых. Выпуск 88. - Киев: Техніка. – 1991. - С. 51-58.
3. *Малеев В.Б.* Сходственные режимы эрлифтных установок / В.Б. Малеев // В сб.: Гірнича електромеханіка та автоматика. – Дніпропетровськ: НГАУ. – 1999. - №2(61). – С. 168-173.
4. *Кононенко А.П.* Структуры двухфазных потоков в подъемных трубах эрлифтов / А.П. Кононенко // Вісник Сумського державного університету. Серія - Технічні науки. – Суми: СДУ. - 2005. - №12(84). - С. 38-48.
5. *Кириченко Е.А.* Научное обоснование параметров трубных систем для гидроподъема полезных ископаемых: Дис. ... докт. техн. наук: 05.05.06. – Днепропетровск: НГАУ, 2001. – 337 с.
6. Счетчики жидкости ультразвуковые накладные «Эргомера-120-Н2». Инструкция по монтажу ЭУС120.00.Н2 ИМ. 2003 г. [Электронный ресурс] – Режим доступа: www.ergomera.dp.ua. – Дата доступа: апрель 2018. – Название с экрана.
7. *Nasr A.M.* Behavior of strip footing on fiber-reinforced cemented sand adjacent to sheet pile wall / A.M. Nasr // Geotextiles and geomembranes. – 2014. – № 42. – С. 599-610.

Cherednyk V.M.

PLANNING OF THE EXPERIMENT FOR THE INVESTIGATION OF PRODUCTIVITY OF THE EHRLITTEN PLANT WITH SCREW INTENSIFIER

In this paper, an actual scientific task of practical nature, aimed at increasing the productivity of the air-lift installation for dredging works on reservoirs with a depth of 10 ... 20 meters, was performed.

The article presents a plan of model experiments on the study of the performance of an air-lift installation with auger intensifier. A test program has been developed, consisting of two steps in the study of the influence of such factors: the compressor's performance, the speed of the screw. A detailed description of the methodology for preparing a laboratory stand for the study and processing of the results. To interpret the results for a full-scale model, a number of constraints related to the scale factors of the experiment are imposed.

Key words: *experiment planning, airlift plant, screw intensifier.*

Чередник В.Н.

ПЛАНИРОВАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ЭРЛИФТНОЙ УСТАНОВКИ СО ШНЕКОВЫХ ИНТЕНСИФИКАТОРОМ

В данной работе выполнена актуальная научная задача практического характера, направленная на увеличение производительности эрлифтной установки для выполнения дноуглубительных работ на водоемах глубиной 10 ... 20 метров.

В статье представлен план модельных экспериментов по исследованию производительности эрлифтной установки со шнековым интенсификатором. Разработана программа испытаний, состоящий из двух этапов по исследованию влияния следующих факторов: производительность компрессора, частота вращения шнека. Подробно описана методика подготовки лабораторного стенда для исследования и обработки полученных результатов. Для интерпретации результатов на полномасштабную модель накладываются ряд ограничений, связанных с масштабными коэффициентами эксперимента.

Ключевые слова: *планирование эксперимента, эрлифтная установка, шнековый интенсификатор.*

УДК 621.31 *DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.22*

Исмаилова С.М., Джалилов Т. А.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ УРОВНЯ ИСПОЛНЕНИЯ ПРАВИЛ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Среди основных свойств надежности объектов электроэнергетических систем, включающих безотказность, ремонтопригодность, сохраняемость и долговечность, количественная оценка показателей которых апробирована практикой и во многом регламентирована, большую значимость приобретают вопросы безопасности жизнедеятельности персонала электроэнергетических систем. Рекомендуемый метод позволяет получить интегральные количественные оценки безопасности жизнедеятельности оперативного персонала, выполняющего испытания, восстановление износа и управление объектами электроэнергетических систем в процессе эксплуатации. Результаты количественной оценки интегрального показателя безопасности жизнедеятельности позволяют сопоставить безопасность жизнедеятельности на различных предприятиях электроэнергетических систем, выявить «слабые звенья», являющиеся основной причиной несоответствия реальной безопасности жизнедеятельности предъявляемым требованиям, управлять безопасностью жизнедеятельности путем ликвидации «слабых звеньев».

Ключевые слова. *Безопасность жизнедеятельности, Правила, автоматизированная система, интегральный показатель безопасности жизнедеятельности.*

Введение. Количественная оценка безопасности жизнедеятельности (БЖ) при техническом обслуживании и ремонте объектов (оборудование, устройства, установки, линии электропередачи) электроэнергетических систем (ЭЭС) является одним из основных направлений снижения риска травматизма и гибели обслуживающего объекты ЭЭС персонала.

В [1] был предложен метод и алгоритм количественной оценки безопасности жизнедеятельности. Отмечается, что среди основных свойств надежности объектов ЭЭС, включающих безотказность, ремонтопригодность, сохраняемость и долговечность, количественная оценка показателей которых апробирована практикой и во многом регламентирована, безопасность жизнедеятельности занимает особое место. Столь высокая значимость обусловлена оценкой надежности не объектов ЭЭС, а конкретно безопасности персонала ЭЭС. В результате расчетов рекомендуемым методом могут быть получены интегральные количественные оценки безопасности жизнедеятельности оперативного персонала, персонала, выполняющего испытания, восстановление износа и управление объектами ЭЭС в процессе эксплуатации.

Напомним, что в основе оценки безопасности жизнедеятельности персонала находится аксиома: *"опасность жизнедеятельности наступает при нарушении Правил* безопасности жизнедеятельности*. Реальная* безопасность жизнедеятельности *тем выше, чем выше уровень исполнения положений Правил* безопасности жизнедеятельности*"*. Отмечается нецелесообразность расчета показателей безопасности жизнедеятельности по статистике о травматизме и гибели персонала и несоответствие существующих показателей особенностям функционирования ЭЭС.

Учитывая реальную заинтересованность Руководства предприятия в повышении

безопасности жизнедеятельности, автоматизированная система расчета безопасности жизнедеятельности может служить эффективным инструментом управления безопасностью жизнедеятельности. При этом не исключается использование этой системы при аудиторских проверках состояния безопасности жизнедеятельности как со стороны энергосистемы, так и контролирующих безопасность жизнедеятельности организаций.

Все это отмечено лишь с одной целью: выходные документы должны обеспечить информационную и методическую поддержку Руководству предприятия и в конечном итоге способствовать повышению безопасности жизнедеятельности. В этой связи разработка соответствующих рекомендаций по повышению уровня безопасности жизнедеятельности имеет важное практическое значение.

Основная часть. Исполнение Правил безопасности жизнедеятельности. В приоритетах понятий знание и понимание часто возникает ошибочное мнение. С точки зрения уровня познания более высокой категорией является знание, которое включает не только понимание сути документа, но и умение объяснить необходимость его исполнения. Под «пониманием» обычно имеется ввиду лишь осознание сути документа. Поэтому не может быть безопасности жизнедеятельности без знания Правил безопасности жизнедеятельности. Проверка знаний и повышении квалификации персонала по безопасности жизнедеятельности осуществляется в соответствии с [1].

В Учебных Центрах ЭЭС обычно применяется тестовая система контроля знаний по безопасности жизнедеятельности. Несмотря на многолетний опыт применения автоматизированных систем контроля знаний персонала, периодическая сдача экзамена по безопасности жизнедеятельности комиссии проводится и по сей день. Повысить уровень знаний по безопасности жизнедеятельности можно лишь путем перехода к независимым способам контроля.

Знание Правил безопасности жизнедеятельности является непременным условием осознанного учета опасностей при выполнении работ, связанных с эксплуатацией, испытаниями и ремонтом объектов ЭЭС. В таблице 1 приведены сведения о составляющих Правил безопасности жизнедеятельности, о разновидности деятельности персонала и о обобщенных наименованиях объектов. Последние полностью соответствуют классификации, приведенной в [2].

На рис.1. показана структурная схема оценки интегрального показателя БЖ при испытании силового трансформатора.

Таблица 1

Составляющие информации о БЖ

Составляющие Правил безопасности жизнедеятельности	Разновидности деятельности персонала	Обобщенные наименования объектов ЭЭС
Правила Охраны труда (ОТ) Правила Техники Безопасности (ТБ) Правила Пожарной Безопасности (ППБ)	Эксплуатация Испытания Ремонт	Судно Территория, производственные здания и сооружения Гидротехнические сооружения, водное хозяйство, гидротурбинные установки Электрическое оборудование электростанций и сетей

В [1] введено понятие «уровня исполнения» положений Правил безопасности жизнедеятельности, оцениваемого в пятибальной системе – от невыполнения Правил до показательного их исполнения. Каждому положению разделов Правил безопасности жизнедеятельности в результате опроса присваивается в соответствии с уровнем его исполнения оценка от 1 до 5. Таким образом, если Правила безопасности жизнедеятельности

содержат m_g Правил, из которых выделены $m_{c,i}$ положений с $i = 1, m_g$, то результаты экспертизы будут содержать $m_\Sigma = \sum_{i=1}^{3} m_{c,i}$ совокупностей оценок. Сразу же следует оговориться, что нахождение среднего арифметического этих оценок с точки зрения теории измерений неверно, так как ранги порядковой шкалы измерения не допускают подобных математических операций [3].

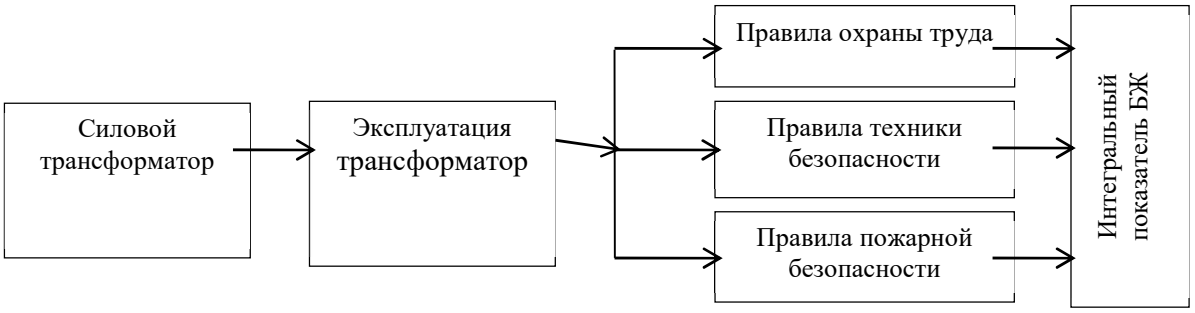


Рис. 1. Структурная схема оценки интегрального показателя безопасности жизнедеятельности

Результаты расчета представлены на рис.2 в виде компьютерного фрагмента протокола оценки безопасности жизнедеятельности при испытаниях силового трансформатора.

Протокол включает три раздела и заключение и Приложение. В первом разделе (таблица П1) приведены количественные оценки безопасности жизнедеятельности, во втором – качественные характеристики безопасности жизнедеятельности. В третьем разделе приведены рекомендации для повышения безопасности жизнедеятельности. В заключении дается оценка безопасности жизнедеятельности при испытании силовых трансформаторов. В Приложении приводятся Положения, знания которых не удовлетворяют предъявляемым требованиям.

Учет случайного характера интегральных оценок. К преимуществам отмеченного выше метода расчета относятся простота, наглядность, доступность ручного счета. Но есть и особенности. Результаты экспертизы, по сути, имеют временный и случайный характер. С течением времени выявленные недостатки будут устранены, а повторная экспертиза с иным экспертом может дать иной результат. Он, конечно, не будет принципиально отличаться от первого. Однако с уверенностью можно утверждать, что последовательность обобщенных показателей $\{D_i^*\}_3$ не останется неизменной. И это неудивительно, т.к. исполнители различны.

Кроме того. Как известно [1], интегральный показатель уровня исполнения Правил BJ_Σ вычисляется как среднее геометрическое интегральных показателей уровней исполнения каждого из трех Правил BJ_i. Однако, эта формула объективна, если BJ_Σ и BJ_i с $i = 1,3$ различаются случайно.

Ниже приводится последовательность вычислений, позволяющих учесть случайный характер результатов экспертизы.

1. По результатам экспертизы строится обобщенная гистограмма распределения оценок уровней исполнения всех положений. Частота проявления каждой оценки вычисляется по формуле:

$$f_\Sigma^*(k) = [\sum_{i=1}^{3} r_{i,k}] / \sum_{i=1}^{3} m_{c,i}\ , \qquad (1)$$

где $r_{i,k}$ – число проявлений κ –го уровня исполнения положений Правил безопасности жизнедеятельности.

ПРОТОКОЛ

уровня исполнения Правил безопасности жизнедеятельности

Таблица П1. Результаты диагностики исполнения разделов Правил безопасности жизнедеятельности.

Номер и наименование Правил	Число положений Правил	Интегральная оценка	Номера положений, оцененных на:		
			удовлетворительно	плохо	недопустимо
1. ПОТ	$m_1 =$	$BJ_1^* =$			
2. ПТБ	$m_2 =$	$BJ_2^* =$			
3. ППБ	$m_3 =$	$BJ_3^* =$			
Интегральная оценка исполнения Правил БЖ		$BJ_\Sigma^* =$			

Таблица П2. Шкала качественной характеристики показателей безопасности жизнедеятельности.

Количественная характеристика	Интервал изменения
Недопустимая	0 - 0,2
Плохая	0,2 - 0,4
Удовлетворительная	0,4– 0,6
Хорошая	0,6 – 0,8
Показательная	0,8 – 1,0

1. **Рекомендации**.

1.1. Интегральная оценка уровня исполнения Правил безопасности жизнедеятельности $\mathrm{BJ}_\Sigma^* =$ ____ и в соответствии с таблицей 2 оценивается как _____

1.2. Интегральная оценка уровня исполнения положений _____ относятся к группе «неудовлетворительных» и требуют принятия решительных мер для устранения несоответствия знания Правил безопасности жизнедеятельности предъявляемым требованиям.

1.3. В приложении приведены положения Правил, недостаточный уровень исполнения которых требует переподготовки персонала.

1.4. Как следует из таблицы 1П, недопустимый уровень исполнения положений составляет ____% от общего числа оценок.

2. **Заключение**:

2.1. Уровень безопасности жизнедеятельности оценивается как _____

2.2. Требуется обсудить результаты и повторить экспертизу через две недели.

Дата_____ Эксперт _____

Рис.2. Компьютерный фрагмент протокола оценки БЖ
при испытаниях силового трансформатора

2. Рассчитываются дискретные значения с.ф.р. $F_\Xi^*(k)$ по формуле:

$$F_\Sigma^*(1) = f_\Sigma^*(1);$$

$$\mathrm{F}_{\Sigma}^{*}(\mathrm{k}) = \sum_{\kappa=2}^{4} \mathrm{f}_{\Sigma}^{*}(\mathrm{k}); \qquad F_{\Sigma}^{*}(5) = 1. \tag{2}$$

3. Аналогично вычисляется частота оценок уровня исполнения каждого Правила $f_{v,i}^{*}(k)$ и дискретные значения с.ф.р. $F_{v,i}^{*}(k)$ по формулам:

$$f_{v,i}^{*}(k) = r_{i,k} / m_{c,i} \;; \quad F_{v,i}^{*}(k) = \sum_{k=1}^{5} f_{v,i}^{*}(k) \;, \; k = \overline{1,5} \;, \; i = \overline{1,3} \;, \tag{3}$$

4. Вычисляется абсолютная величина расхождения с.ф.р. $\Delta_{i,k}^{*}$ по формуле:

$$\Delta_{i,k}^{*} = \left| F_{\Sigma}^{*}(k) - F_{v,i}^{*}(k) \right|, \; i = 1,3 \;, \; k = 1,5 \,. \tag{4}$$

5. Для каждой группы из κ=5 случайных значений $\left\{\Delta_{i,k}\right\}_{n;5}$ вычисляются:

5.1. Наибольшее значение по формуле:

$$B_{э}^{*}\left(\Delta_{i}^{*}\right) = \Delta_{i,\max}^{*} = \max\left\{\Delta_{i,1}^{*}; \Delta_{i,2}^{*}; \Delta_{i,3}^{*}; \Delta_{i,4}^{*}; \Delta_{i,5}^{*}\right\} . \tag{5}$$

5.2. Среднее арифметическое значение по формуле:

$$M_{э}^{*}(\Delta_{i}^{*}) = 0{,}2\sum_{k=1}^{5} \Delta_{i,k} \;. \tag{6}$$

5.3. Величина размаха рассеяния по формуле:

$$L_{э}^{*}(\Delta_{i}^{*}) = \Delta_{i,\max}^{*} - \Delta_{i,\min}^{*} , \tag{7}$$

где $\Delta_{i,\min}^{*} = \min\left\{\Delta_{i,1}^{*}; \Delta_{i,2}^{*}; \Delta_{i,3}^{*}; \Delta_{i,4}^{*}; \Delta_{i,5}^{*}\right\}$

К каждому из трех показателей (статистик) добавлен индекс «э», что выделяет их экспериментальные значения.

6. По данным [4] вычисляются критические значения аналогичных показателей, которые обозначим как: $B_{\alpha}^{*}\left(B_{э}^{*}\right)$, $M_{\alpha}^{*}\left(\Delta_{i}^{*}\right)$, $L_{\alpha}^{*}\left(\Delta_{i}^{*}\right)$.

7. Характер расхождения $F_{\Xi}^{*}(k)$ и $F_{i}^{*}(k)$ оценим по критерию:

$$(B_{\alpha}^{*}\left(\Delta_{i}^{*}\right) < B_{k}^{*}\left(\Delta_{i}^{*}\right)) \wedge (M_{э}^{*}\left(\Delta_{i}^{*}\right) < M_{\alpha}^{*}\left(\Delta_{i}^{*}\right)) \wedge (L_{\alpha}^{*}\left(\Delta_{i}^{*}\right) < L_{\alpha}^{*}\left(\Delta_{i}^{*}\right)) \Rightarrow (\mathrm{H} \Rightarrow \mathrm{H}_1) \neg (\mathrm{H} \Rightarrow \mathrm{H}_2).$$

где H_1 и H_2 − соответственно предположение о случайном и неслучайном расхождении интегральных показателей. Учет случайного характера оценок $\mathrm{D}_{\mathrm{i}}^{*}$ принципиален при определении Правил, исполнение которых неслучайно хуже, чем усредненный уровень исполнения всех Правил безопасности жизнедеятельности.

Вывод

1. Количественная оценка показателей безопасности жизнедеятельности обеспечивает информационную и методическую поддержку Руководства предприятия при повышении безопасности жизнедеятельности персонала.

2. Разработан метод и алгоритм учета случайного характера оценок интегральных показателей безопасности жизнедеятельности. Применение метода позволяет выделить показатели, которые неслучайно хуже усредненных оценок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фархадзаде Э.М., Мурадалиев А.З., Исмаилова С.М. Количественная оценка интегрального показателя безопасности жизнедеятельности персонала ЭЭС. М:, Безопасность жизнедеятельности. №4, 2017. С. 9-14
2. Баринов А.В., Седых Н.И., Седнев В.А. и др. Безопасность жизнедеятельности. Учебное пособие. М.; Академия ГПС МЧС России, 2014, 350 с.
3. Дмитриев В.В. Определение интегрального показателя состояния природного объекта как сложной системы. //Общество, среда, развитие (Terra Humana) №4/2009.С.146-165

Ismayilova S.M, Jalilov T. A.

THE AUTOMATED SYSTEM OF ESTIMATION OF THE INTEGRAL INDICATOR OF THE LEVEL OF EXECUTION OF THE LIFE SAFETY REGULATIONS

Among the main properties of reliability of EPS facilities, including reliability, maintainability, maintainability and durability, the quantitative evaluation of which have been tested by practice and is largely regulated, the issues of safety of the personnel of the EPS are becoming more important. The recommended method allows to obtain integral quantitative estimates of the safety of vital activity of operational personnel performing tests, restoration of wear and control of EPS facilities during operation. The results of a quantitative assessment of the integral index of life safety allow us to compare the safety of vital activity in various enterprises of EPS, identify "weak links" that are the main cause of the discrepancy between real life safety requirements, the safety management by eliminating "weak links".

Key words: *Safety of vital activity, rules, automated system, integral indicator of life safety.*

Ісмаїлова С.М., Джалилов Т. А.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ОЦІНКИ ІНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗНИКА РІВНЯ ВИКОНАННЯ ПРАВИЛ БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ

Серед основних властивостей надійності об'єктів ЕЕС, що включають безвідмовність, ремонтопридатність, збереженість і довговічність, кількісна оцінка показників яких апробована практикою і багато в чому регламентована, велике значення набувають питання безпеки життєдіяльності персоналу ЕЕС. Рекомендований метод дозволяє отримати інтегральні кількісні оцінки безпеки життєдіяльності оперативного персоналу, що виконує випробування, відновлення зносу і управління об'єктами ЕЕС в процесі експлуатації. Результати кількісної оцінки інтегрального показника безпеки життєдіяльності дозволяють зіставити безпеку життєдіяльності на різних підприємствах ЕЕС, виявити «слабкі ланки», що є основною причиною невідповідності реальної безпеки життєдіяльності пропонованим вимогам, управляти безпекою життєдіяльності шляхом ліквідації «слабких ланок».

Ключові слова*: Безпека життєдіяльності, Правила, автоматизована система, інтегральний показник безпеки життєдіяльності.*

УДК 62.83.52 *DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.23*

Султанов Э.Ф., Мамедов Э.М.

ОСНОВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ЯКОРНОГО УСТРОЙСТВА С ПОМОЩЬЮ ЧАСТОТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

В статье рассмотрены вопросы связанные с применением современного полупроводникового преобразователя частоты для регулирования скорости асинхронного двигателя судового якорного устройства и выявлены основные преимущества такого электропривода.

Анализ результатов исследования показал, что при регулировании скорости вращения электродвигателя якорного устройства с помощью частотного преобразователя, обеспечивается широкий диапазон и плавность регулирования.

В сравнении с применяемой на судах контакторной системой управления, эксплуатационные показатели современных частотных преобразователей на основе бесконтактных полупроводников, а также их надежность намного выше.

Сокращение числа трёхфазных статорных обмоток, приводит к снижению массогабаритных показателей и стоимости нового изготовленного электродвигателя примерно в два раза.

Ключевые слова: *судно, якорное устройство, асинхронный двигатель, частота вращения, регулирование, преобразователь частоты.*

Введение: Якорно-швартовные устройства считаются одними из наиболее важных судовых потребителей электроэнергии. Эти устройства обеспечивают безопасную швартовку, надежную стоянку суднау причалов и других плавучих и береговых сооружений, а также якорную стоянку на рейде. Однако электрические приводы, приводящие в движение эти устройства, технически устарели и не могут отвечать современным требованиям. Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором для привода этих устройств, спроектированные ещё в 1976-м году отдельными сериями были применены в электроприводах палубных механизмов [2]. Известно, что в ранее используемых асинхронных электродвигателях преимущественным, с точки зрения надежности установки, было регулирование скорости вращения путем изменения числа пар полюсов асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором. Указанный тип электродвигателей используется на судах в настоящее время и имеет статорную обмотку, состоящую из 3-хфазных электрически не связанных друг с другом обмоток с разным числом пар полюсов. Электродвигатели малой мощности (приблизительно до 10кВт) выпускаются с двумя, а средней и большой мощности с тремя обмотками.

Следует отметить, что массогабаритные показатели указанных электродвигателей относительно выше, чем у обычных двигателей с одной статорной обмоткой и кроме того, они не могут обеспечить требуемый диапазон регулирования скорости якорно-швартовных устройств [3, 4].

Основная часть: Учитывая вышеуказанное, в статье предложено управление электродвигателем якорного устройства с помощью современных частотных преобразователей, с использованием широко применяемого в последнее время (последние 10 лет) частотного преобразователя со звеном постоянного тока и инвертором напряжения с широтно-импульсной модуляцией. Применение данного частотного преобразователя обеспечивает плавное регулирование скорости электродвигателя в диапазоне (20÷30):1 и

снижает, возникающие при регулировании, электрические потери. Это достигается тем, что в процессе регулирования скольжение двигателя не изменяется. Механические характеристики, соответствующие регулированию с помощью указанного частотного преобразователя скорости вращения асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором при постоянстве момента сопротивления, показаны на рис.1.

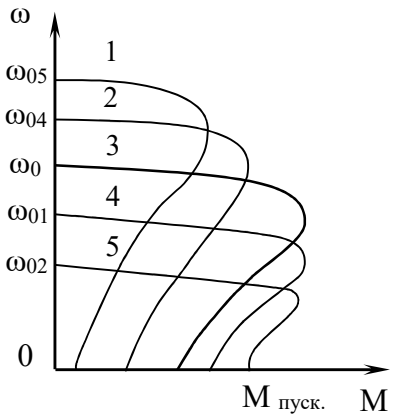


Рис.1. Механические характеристики асинхронного двигателя при регулировании скорости вращения с помощью частотного преобразователя с широтно-импульсной модуляцией

Характеристика 3 на рис.1 является естественной характеристикой двигателя, то есть характеристика, соответствующая номинальным значениям напряжения и частоты ($U_{ном}$=*380 В,* $f_{ном}$=*50 Гц*). Характеристики 4 и 5 являются характеристиками, полученными соответственно при пониженных значениях напряжения и частоты. Характеристики 2 и 1 это характеристики, полученные соответственно при номинальном значении напряжения и значении частоты, выше номинального.

Следует отметить, что опускание якоря производится с помощью электрогидравлического тормозного устройства и электродвигатель в этом процессе не участвует. Процесс съемки с якоря и выбирание якорной цепи осуществляется с помощью электрического привода, управляемого с поста, располагаемого вблизи якорного устройства. Во время выбирания якорной цепи и поднятия якоря, режим работы электродвигателя якорного устройства изменяется в широком диапазоне. В некоторый момент времени электродвигатель даже может остановиться под нагрузкой (режим короткого замыкания). Именно по этой причине для электропривода якорного устройства изготавливаются специальные электродвигатели. Рассмотрим параметры и механические характеристики одного из таких электродвигателей, наиболее широко применяемого на судах, плавающих под флагом Азербайджанской Республики:

Тип двигателя - МАП 622-4/8/16. Здесь 4, 8, 16 – соответственно число пар полюсов статорных обмоток высшей, средней и малой скоростей. Мощности эти обмоток соответственно $P_{ном}$=28/36/10 кВт. Номинальные скорости вращения соответственно $n_{ном}$=1445/670/315 об/мин.

Перегрузочная способность обмоток, начиная с обмотки низшей скорости (1-ая обмотка):

$$\lambda_1 = \frac{\text{М}_{\text{макс1}}}{\text{М}_{\text{ном}}} = 2{,}1;\ \lambda_2 = \frac{\text{М}_{\text{макс2}}}{\text{М}_{\text{ном2}}} = 2{,}4;\ \lambda_3 = \frac{\text{М}_{\text{макс3}}}{\text{М}_{\text{ном3}}} = 2{,}4.$$

Определим параметры обмоток в отдельности. Номинальный момент для обмотки низшей (2P=16) скорости

$$\mathrm{M}_{1н} = 9{,}81\frac{975\cdot \mathrm{P}_{1н}}{n_{1н}} = 9{,}81\frac{975\cdot 10}{315} = 303{,}64\ \text{Н}\cdot\text{м}.$$

Номинальный момент для обмотки средней (2Р=8) скорости

$$\mathrm{M}_{2н} = 9{,}81\frac{975\cdot \mathrm{P}_{2н}}{n_{2н}} = 9{,}81\frac{975\cdot 36}{670} = 514\ \text{Н}\cdot\text{м}.$$

Номинальный момент для обмотки высшей (2Р=4) скорости

$$\mathrm{M}_{3н} = 9{,}81\frac{975\cdot \mathrm{P}_{3н}}{n_{3н}} = 9{,}81\frac{975\cdot 28}{1445} = 185{,}3\ \text{Н}\cdot\text{м}.$$

Скольжение электродвигателя, соответствующее режиму работы каждой обмотки

$$S_{1н} = \frac{n_{01}-n_{н1}}{n_{01}} = \frac{375-315}{375} = 0{,}16;$$
$$S_{2н} = \frac{n_{02}-n_{н2}}{n_{02}} = \frac{750-6}{750} = 0{,}106;$$
$$S_{3н} = \frac{n_{03}-n_{н3}}{n_{03}} = \frac{1500-1445}{1500} = 0{,}037.$$

Соответственно определяем значения критического скольжения для обмоток:

$$S_{1кр} = S_{1н}(\lambda_1 \pm \sqrt{\lambda_1^2-1} = 0{,}16\cdot\left(2{,}1 \pm \sqrt{2{,}1^2-1}\right) = 0{,}16\cdot(2{,}1+1{,}85) = 0{,}63;$$
$$S_{2кр} = S_{2н}(\lambda_2 \pm \sqrt{\lambda_2^2-1} = 0{,}16\cdot\left(2{,}4 \pm \sqrt{2{,}4^2-1}\right) = 0{,}106\cdot(2{,}4+2{,}18) = 0{,}48;$$
$$S_{3кр} = S_{3н}(\lambda_3 \pm \sqrt{\lambda_3^2-1} = 0{,}037\cdot\left(2{,}4 \pm \sqrt{2{,}4^2-1}\right) = 0{,}037\cdot(2{,}4+2{,}18) = 0{,}169.$$

Максимальные (критические) моменты, создаваемые обмотками

$$\mathrm{M}_{1кр} = \lambda_1\cdot\mathrm{M}_{1н} = 2{,}1\cdot 303{,}64 = 637{,}6\ \text{Н}\cdot\text{м};$$
$$\mathrm{M}_{2кр} = \lambda_2\cdot\mathrm{M}_{2н} = 2{,}4\cdot 514 = 1233{,}6\ \text{Н}\cdot\text{м};$$
$$\mathrm{M}_{3кр} = \lambda_3\cdot\mathrm{M}_{3н} = 2{,}4\cdot 185{,}3 = 444{,}7\ \text{Н}\cdot\text{м}.$$

Строим механические характеристики электродвигателя для каждой обмотки, пользуясь формулой Клосса

$$\mathrm{M}_1 = \frac{2\cdot\mathrm{M}_{1кр}}{\frac{S_1}{S_{1кр}}+\frac{S_{1кр}}{S_1}} = \frac{2\cdot 637{,}6}{\frac{S_1}{0{,}63}+\frac{0{,}63}{S_1}};\ \mathrm{M}_2 = \frac{2\cdot\mathrm{M}_{2кр}}{\frac{S_2}{S_{2кр}}+\frac{S_{2кр}}{S_2}} = \frac{2\cdot 1233{,}6}{\frac{S_2}{0{,}48}+\frac{0{,}48}{S_2}};\ \mathrm{M}_3 = \frac{2\cdot\mathrm{M}_{3кр}}{\frac{S_3}{S_{3кр}}+\frac{S_{3кр}}{S_3}} = \frac{2\cdot 1233{,}6}{\frac{S_3}{0{,}169}+\frac{0{,}169}{S_3}}.$$

Скорость вращения ротора, создаваемая работой отдельных обмоток вычисляется с помощью следующего выражения

$$n = n_0(1-S)\ .$$

Результаты расчётов, проведённых с помощью формул (13)–(16) приведены в таблицах 1–3. Из рисунка 2 отчетливо видно, что максимальный момент обмотки высшей (2Р=4) скорости, примерно в 3 раза меньше максимального момента обмотки средней (2Р=8) скорости. Причиной этому является то, что эта обмотка предназначена для натяжения свободно свисающей части швартовного каната во время швартовки у причала и не участвует

в процессе выбирания якорной цепи и подъёме якоря. В процессе выбирания якорной цепи и подъёме якоря 90% нагрузки всей операции приходится на долю рабочей обмотки (2Р=8) и в это время нагрузка электродвигателя меняется в широких пределах.

Таблица 1

S_1	0	0,04	0,16	0,4	0,63	0,7	0,8	1
M_1 (Н·м)	0	80,7	304	577	637,5	636	365	377
n_1 (об/мин)	375	360	315	225	139	112	75	0

Таблица 2

S_2	0	0,1	0,3	0,4	0,48	0,6	0,7	0,8	1
M_2 (Н·м)	0	493	1111,3	1215	1293	1203	1152	1091	963
n_2 (об/мин)	750	675	525	450	390	300	225	150	0

Таблица 3

S_3	0	0,037	0,1	0,169	0,2	0,4	0,6	0,8	1
M_3 (Н·м)	0	185	395	444,7	440	314	232	180	148
n_3 (об/мин)	1500	1445	1350	1246	1200	900	600	300	0

Естественные механические характеристики 1–3 асинхронного двигателя показаны на рис. 2.

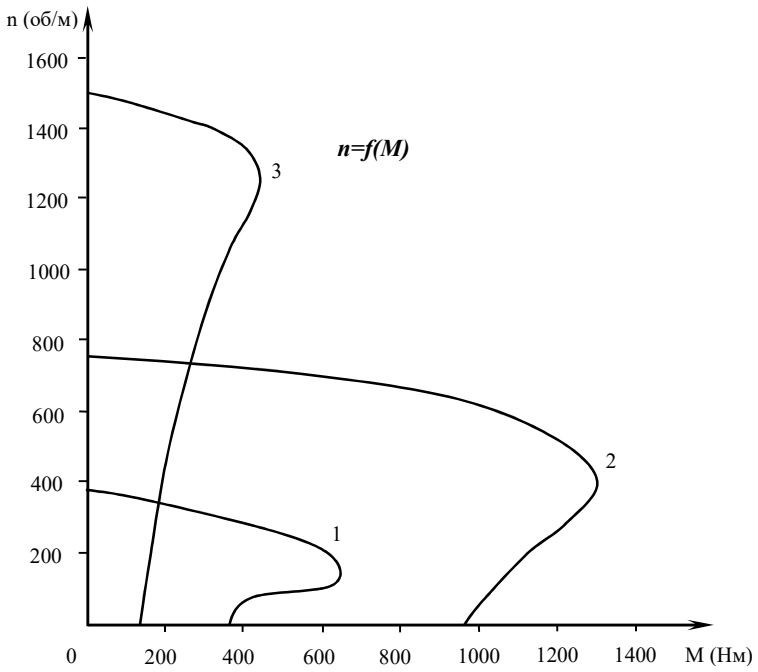


Рис.2. Естественные механические характеристики для каждой отдельной обмотки асинхронного двигателя типа МАП 622-4/8/16.

В момент отрыва якоря от грунта, электродвигатель останавливается на несколько секунд под током (переходит в режим короткого замыкания). Обмотка низшей (2Р=16) скорости включается после выхода якоря из воды и работает в течение медленного подхода якоря к клюзу, во избежание повреждения корпуса судна.

Из вышеуказанного отчётливо видно, что обмотки высшей (2Р=4) и низшей (2Р=16) скоростей являются вспомогательными и работают в течение малого времени. Поэтому при

управлении электродвигателем якорного устройства с помощью частотного преобразователя использована обмотка средней (2P=8) скорости и она будет проверена на соответствие требуемым режимам. Рассмотрим на примере асинхронного двигателя типа МАП 622 регулирование скорости вращения с помощью частотного преобразователя с широтно-импульсной модуляцией, при подключении на напряжение только рабочей обмотки. Как уже было указано, такие частотные преобразователи позволяют регулировать скорость вращения асинхронного двигателя в 20-30 раз ниже и в 1,5-2 раза выше номинальной скорости. Определим с помощью частотного преобразователя для рабочей (2P=8) обмотки необходимые скорости вращения электродвигателя якорного устройства и возможности соответствия всем требуемым режимам работы.

Как известно, в этом методе регулирования для сохранения постоянной перегрузочной способности электродвигателя (на всех ступенях регулирования), наряду с изменением частоты тока, одновременно необходимо изменять и значение напряжения. Сохранение перегрузочной способности электродвигателя при регулировании обеспечивается когда кратность максимального момента ($M_{макс.i}$), создаваемого двигателем к максимальному моменту ($M_{макс.н.}$), при номинальной скорости вращения, равна отношению моментов сопротивления рабочего механизма

$$\frac{M_{ст.i}}{M_{ст.н}} = \frac{M_{макс.i.}}{M_{макс.н.}}, \quad (1)$$

где $M_{ст.i}$ и $M_{макс.i}$ – соответственно значения статического момента механизма и максимального момента двигателя при регулировании;
$M_{ст.н.}$ и $M_{макс.н.}$- соответственно значения статического момента механизма и максимального момента двигателя при номинальной частоте вращения.

Если пренебречь сопротивлением статорной обмотки асинхронного электродвигателя, его максимальный (критический) момент будет

$$M_{макс} = \frac{m_1 U_1^2}{2C_1 \omega_s X_q} = K \frac{U_1^2}{f_1^2}, \quad (2)$$

где $K = \frac{m_1 P^2}{8C_1 \pi^2 L_к}$ - постоянная величина, L_k – индуктивность при к.з.

Соответственно получаем

$$\frac{M_{макс.i.}}{M_{макс.н.}} = \frac{U_{1i}^2}{f_{1i}^2} : \frac{U_1^2}{f_1^2}. \quad (3)$$

Подставив из формулы (1) значение $\frac{M_{макс.i.}}{M_{макс.н.}}$ в выражение (3), получим

$$\frac{M_{ст.i.}}{M_{ст.н.}} = \frac{U_{1i}^2}{f_{1i}^2} : \frac{U_н^2}{f_н^2} = \left(\frac{U_{1i}}{U_н}\right)^2 \cdot \left(\frac{f_н}{f_i}\right)^2.$$

Отсюда

$$\frac{U_{1i}}{U_н} = \frac{fi}{f_н} \sqrt{\frac{M_{ст.i.}}{M_{ст.н.}}}. \quad (4)$$

Как известно из курса электропривода, статический момент сопротивления многих механизмов, зависит от угловой скорости (ω) электродвигателя, приводящего в движение этот механизм

$$\mathrm{M_{ст}} = \mathrm{M_0} + (\mathrm{M_н} - \mathrm{M_0})^{\alpha}\ , \qquad (5)$$

где M_0 - часть статического момента сопротивления, не зависящая от угловой скорости;
α - показатель степени зависимости статического момента сопротивления от угловой скорости. Для большинства механизмов $\alpha = 0 \div 2$.

Если пренебречь M_0, то выражение (5) можно записать в виде

$$\mathrm{M_{ст}} = \mathrm{C}\omega^{\alpha}(\mathrm{C_1} - f_i)^{\alpha}\ , \qquad (6)$$

где C и C_1 – постоянные величины.

Следует отметить, что статический момент сопротивления остается постоянным при изменении угловой скорости. $\alpha = 0$ для условия ($M_{ст}$=const). То есть напряжение, подаваемое на зажимы электродвигателя, изменяется пропорционально частоте. Тогда из выражения (3)

$$\frac{U_{1i}}{U_{\mathrm{н}}} = \frac{f_i}{f_{\mathrm{н}}}\ . \qquad (7)$$

Отсюда

$$U_{1i} = U_{\mathrm{н}}\varphi_i\ , \qquad (8)$$

где $\varphi_1 = \frac{f_i}{f_{\mathrm{н}}}$ – относительное значение изменения частоты тока двигателя.

Известно, чтоизменение частоты тока подаваемого на двигатель, способствует изменению, создаваемой статорной обмоткой, угловой скорости (ω_c) и индуктивного сопротивления X_q. В связи с этим изменяется значение критического скольжения.

Вращающийся магнитный поток статора

$$\omega_{\mathrm{сн}} = \frac{2\pi f_{\mathrm{н}}}{\mathrm{p}};\ \omega_{\mathrm{с}f} = \omega_{\mathrm{сн}}\varphi\ . \qquad (9)$$

Реактивное сопротивление короткого замыкания

$$\mathrm{X_к} = \mathrm{X_{кн}} \cdot \varphi\ . \qquad (10)$$

Выражение для критического скольжения при изменении частоты будет

$$S_{\mathrm{кр}\,f} = \pm\frac{\mathrm{C_1}r_2'}{\sqrt{r_1^2 + X_{\mathrm{к}}^2 \cdot \varphi^2}}\ . \qquad (11)$$

Учитывая, принятое из вывода закона изменения напряжения при изменении частоты [5], значение сопротивления статорной обмотки $r_1 = 0$, запишем

$$S_{\mathrm{кр}\,f} = \pm\frac{\mathrm{C_1}r_2'}{\varphi \cdot \mathrm{X_к}} = \frac{S_{\mathrm{кр}}}{\varphi}\ . \qquad (12)$$

Подставив выражения (11) и (12) в формулу Клосса, получим новое выражение для условия изменения напряжения и частоты тока

$$\mathrm{M}_f = \frac{2 \cdot \mathrm{M_{кр}}}{\frac{S \cdot \varphi}{S_{\mathrm{кр}}} + \frac{S_{\mathrm{кр}}}{S \cdot \varphi}}\ . \qquad (13)$$

Пользуясь вышеуказанной формулой, построим механические характеристики для асинхронного двигателя типа МАП, при различных значениях частоты рабочей обмотки. Регулирование будет осуществляться для обоих направлений.

I. Регулирование скорости вращения электродвигателя вниз от номинальной, путём пропорционального изменения частоты и напряжения.

Определяем показатели механические характеристики асинхронного двигателя, пользуясь выражением (13).

1. $f_н = 50Гц;\ U_н = 380В$

$$M_2 = \frac{2 \cdot M_{2кр}}{\frac{S_2}{S_{2кр}} + \frac{S_{2кр}}{S_2}} = \frac{2 \cdot 1233,6}{\frac{S_2}{0,48} + \frac{0,48}{S_2}}. \quad (14)$$

Расчет, произведенный по указанной формуле показан в таблице 2. Так как при регулировании скорости вращения частота и напряжение изменяется пропорционально, расчет производится по формуле (13). В данной формуле определяем значение φ для произвольного значения частоты и сохраняя постоянство значения φ при различных значениях скольжения (от 0 до 1), находим момент, создаваемый электродвигателем. Результаты расчета, проведенного для значений φ= 1; 0,8; 0,6; 0,4; и 0,2 показан в таблице 4.

2. $f_н = 40Гц;\ \varphi = 0,8;\ U = U_н \cdot 0,8 = 304В$
3.

$$M_2 = \frac{2 \cdot M_{2кр}}{\frac{S_2 \cdot \varphi}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S_2 \cdot \varphi}} = \frac{2 \cdot 1233,6}{\frac{S_2 \cdot 0,8}{0,48} + \frac{0,48}{S_2 \cdot 0,8}}. \quad (15)$$

Результаты расчета, проведенного для остальных значений (φ= 0,6;φ=0,4;φ= 0,2) показан в таблице 4.

Таблица 4

$U = 0,8 \cdot U_н$ $f = 0,8 \cdot f_н$ $\varphi = \frac{f}{f_н} = 0,8$	S	0	0,1	0,3	0,48	0,6	0,7	0,8	1
	M_2 *(Нм)*	0	205,7	1131	1203	1233	1223	1186	1091
	n *(об/мин)*	600	540	420	312	240	180	120	0
$U = 0,6 \cdot U_н$ $f = 0,6 \cdot f_н$ $\varphi = \frac{f}{f_н} = 0,6$	S	0	0,1	0,3	0,48	0,6	0,7	0,8	1
	M_2 *(Нм)*	0	303,6	811	1091,6	1186	1221	1233	1203
	n *(об/мин)*	450	405	315	234	180	135	90	0
$U = 0,4 \cdot U_н$ $f = 0,4 \cdot f_н$ $\varphi = \frac{f}{f_н} = 0,4$	S	0	0,1	0,3	0,48	0,6	0,7	0,8	1
	M_2 *(Нм)*	0	204	580	850,7	860	1077	1142	1215
	n *(об/мин)*	300	270	210	156	120	90	60	0
$U = 0,2 \cdot U_н$ $f = 0,2 \cdot f_н$ $\varphi = \frac{f}{f_н} = 0,2$	S	0	0,1	0,3	0,48	0,6	0,7	0	1
	M_2 *(Нм)*	0	103	304	474	580	665	741	872
	n *(об/мин)*	150	135	105	78	60	45	30	0

II. Регулирование скорости вращения электродвигателя вверх от номинальной, путём увеличения частоты при сохранении номинального значения напряжения (380В).

Как известно, максимальный (критический) момент электродвигателя, прямо пропорционален квадрату напряжения, и обратно пропорционален квадрату частоты $\mathrm{M_{кр}} \equiv \frac{U^2}{f^2}$

В связи с этим при построении механических характеристик, для увеличенных значений частоты приходится заново рассчитывать максимальный (критический) момент электродвигателя [6]. При этом, так как $\mathrm{M_{ст}} = \mathrm{const}$, применим формулу расчета момента для значений частоты в направлении снижения.

4. $$f_{\text{н}} = 60\text{Гц};\ U_{\text{н}} = 380\text{В}$$

$$\varphi_1 = \frac{60}{50} = 1{,}2;$$

$$\mathrm{M_2} = \frac{2\cdot \mathrm{M_{кр1}}}{\frac{S\cdot\varphi}{S_{\text{кр}}} + \frac{S_{\text{кр}}}{S\cdot\varphi}}; \qquad (16)$$

$$\mathrm{M_{кр1}} = \frac{\mathrm{M_{кр.н}}}{1{,}2^2}\frac{123{,}36}{1{,}44} = 856{,}6\text{Н}\cdot\text{м}.$$

Расчет проводится согласно формуле (13)

$$\text{S=0,1} \qquad \mathrm{M_2} = \frac{2\cdot \mathrm{M_{кр1}}}{\frac{S\cdot\varphi}{S_{\text{кр}}} + \frac{S_{\text{кр}}}{S\cdot\varphi}} = \frac{2\cdot 856{,}6}{\frac{0{,}1\cdot 1{,}2}{0{,}48} + \frac{0{,}48}{0{,}1\cdot 1{,}2}} = \frac{1713{,}2}{0{,}25+4} = 403\text{Н}\cdot\text{м}.$$

В этом порядке результаты расчета по формуле (16) приведены в таблице 5.

Таблица 5

$U = U_{н}$ $f = 70\ Гц$ $\varphi_2 = \frac{f}{f_{н}} = \frac{60}{50} = 1,$	S	0	0,1	0,3	0,48	0,6	0,7	0,8	1
	M_2 *(Нм)*	0	403	824	844	793	738	693	591
	n *(об/мин)*	900	810	630	468	360	270	180	0

5. $f_{\text{н}} = 70\text{Гц};\ U = U_{\text{н}}$;

$$\varphi_2 = \frac{70}{50} = 1{,}4;$$

$$\mathrm{M_{кр2}} = \frac{\mathrm{M_{крн}}}{1{,}4^2} = \frac{1233{,}6}{1{,}96} = 629{,}4\text{Нм}\ . \qquad (17)$$

Задавая значения скольжения (S)от 0,1 до 1, проводим вычисления по формуле (17)

$$S = 0{,}1 \qquad \mathrm{M_2} = \frac{2\cdot \mathrm{M_{кр2}}}{\frac{S\cdot\varphi_2}{S_{\text{кр}}} + \frac{S_{\text{кр}}}{S\cdot\varphi_2}} = \frac{2\cdot 629{,}4}{\frac{0{,}1\cdot 1{,}4}{0{,}48} + \frac{0{,}48}{0{,}1\cdot 1{,}4}} = \frac{1259}{0{,}29+3{,}43} = 338\text{Нм}.$$

Результаты расчета проведенного по формуле (17) приведены в таблице 6.

Таблица 6

$U = U_{н}$ $f = 70\ Гц$ $\varphi_2 = \frac{f}{f_{н}} = \frac{70}{50} = 1{,}4$	S	0	0,1	0,3	0,48	0,6	0,7	0,8	1
	M_2 *(Нм)*	0	338	626	593	542	497	456	386
	n *(об/мин)*	1 050	945	735	546	420	315	210	0

Исходя из вышеуказанного определения максимального (критического) момента электродвигателя при различных значениях частот 80, 90 и 100 Гц, построенные механические характеристики для этих и других значений частот показаны на рисунке 3.

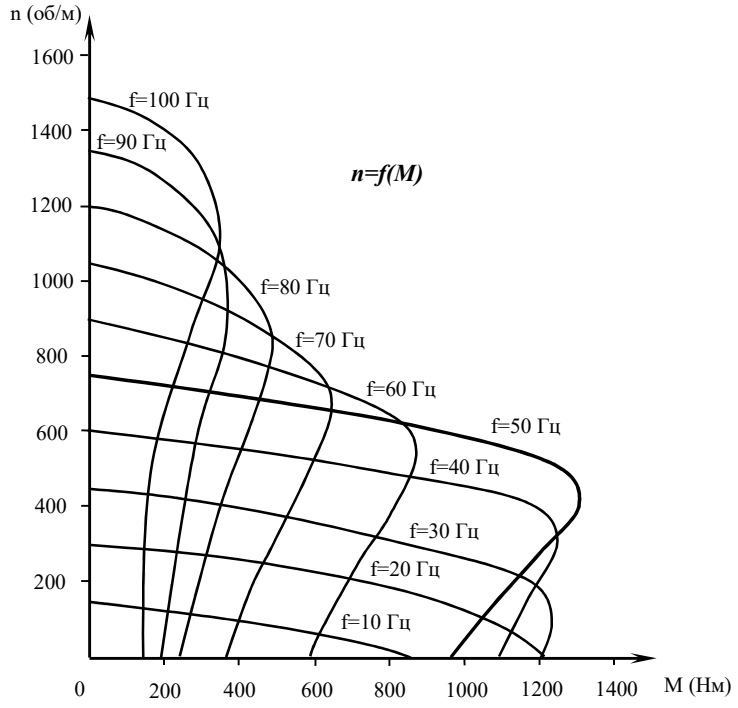


Рис.3. Регулировочные характеристики асинхронного двигателя типа МАП 622-4/8/16 при различных значениях частот

Из характеристик показанных на рисунке 3 отчетливо видно, что при частотном регулировании скорости вращения, создаваемой обмоткой (2P=8) средней скорости, электродвигатель полностью обеспечивает требуемые режимы работы якорного устройства. Одновременно с этим обеспечивается плавность и широкий диапазон регулирования скорости. В дополнение ко всему указанному, замена контакторной системы управления частотным преобразователем на основе полупроводников, облегчает эксплуатацию электропривода якорного устройства, а также повышает очень важный для морских условий показатель – надежность.

Вывод. Основываясь на проведенные исследования, можно отметить:

1. При регулировании скорости вращения электродвигателя якорного устройства с помощью частотного преобразователя, обеспечивается широкий диапазон и плавность регулирования.
2. В сравнении с применяемой на судах контакторной системой управления, эксплуатационные показатели современных частотных преобразователей на основе бесконтактных полупроводников, а также их надежность намного выше.
3. Сокращение числа трёхфазных статорных обмоток, приводит к снижению массогабаритных показателей и стоимости нового изготовленного электродвигателя примерно в два раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мехтиев Г.А., Гасанов З.А., Шабанов Т.Г. Судовые автоматизированные электроприводы. Баку « Нурлан», 2005г. 358 стр.

2. Мехтиев Г.А., Султанов Э.Ф. Технические и экономические преимущества буксирной лебедки частотно-преобразовательного управления по отношению к действующей буксирной лебёдке с асинхронным двигателем. Научные труды №1 Азербайджанской Государственной Морской Академии. Баку 2013, стр. 89-94.
3. Мехтиев Г.А., Гасанов Э.А. Увеличение предела регулирования скорости автоматизированного якорно-швартового устройства. Научные труды Азербайджанской Государственной Морской Академии. Баку 2003, стр 59-63.
4. Султанов Э.Ф. Гасанов Э.А. Управление электропривода якорного устройства с помощью частотного преобразователя» Проблемы Энергетики. Н.изд. №3, Баку, 2014 год, стр. 65-77. (на азербайджанском языке).

Султанов Е.Ф., Мамедов Е.М.

ОСНОВНІ ПЕРЕВАГИ УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ якірного пристрою ЗА ДОПОМОГОЮ ЧАСТОТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

У статті розглянуті питання пов'язані із застосуванням сучасного напівпровідникового перетворювача частоти для регулювання швидкості асинхронного двигуна суднового якірного пристрою і виявлені основні переваги такого електроприводу.

Аналіз результатів дослідження показав, що при регулюванні швидкості обертання електродвигуна якірного пристрою за допомогою частотного перетворювача, забезпечується широкий діапазон і плавність регулювання.

У порівнянні з вживаною на судах контакторной системою управління, експлуатаційні показники сучасних частотних перетворювачів на основі безконтактних напівпровідників, а також їх надійність набагато вище.

Скорочення числа трифазних статорних обмоток, призводить до зниження масогабаритних показників і вартості нового виготовленого електродвигуна приблизно в два рази.

Ключові слова: *судно, якірне пристрій, асинхронний двигун, частота обертання, регулювання, перетворювач частоти.*

Sultanov E.F., Mamedov E.M.

BASIC ADVANTAGES OF ELECTRIC DRIVE CONTROL OF ANCHOR DEVICE BY MEANS OF A FREQUENCY CONVERTER

The article discusses issues related to the use of a modern semiconductor frequency converter for regulating the speed of an asynchronous engine of the ship anchor device and identifies the main advantages of such an electric drive.

Analysis of the research results showed that when regulating the speed of rotation of the armature motor using a frequency converter, a wide range and smoothness of regulation is ensured.

In comparison with the contactor control system used on ships, the operational performance of modern frequency converters based on contactless semiconductors, as well as their reliability, is much higher.

Reducing the number of three-phase stator windings, leads to a decrease in mass and size parameters and the cost of a new manufactured electric motor approximately two times.

Keywords: *ship, anchor device, asynchronous motor, rotational speed, regulation, frequency converter.*

УДК 621.43 *DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.24*

Салимова А.К., Исмаилов С.С.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНШЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В статье предлагается способы улучшения качества электрической энергии на судах. Судовая электроэнергетическая система должна обеспечивать надежное функционирование судовых систем, безопасность плавания, условия жизни и работы экипажа, экономичное генерирование и распределение электроэнергии требуемого качества, а также иметь оптимальное сочетание стоимости ее монтажа и эксплуатации при удовлетворительных массогабаритных показателях, как отдельных элементов, так и всей системы в целом. Технико-экономические показатели СЭЭС определяются, в первую очередь, рациональным выбором рода тока, частоты и величины напряжения в системе, которые являются основными параметрами СЭЭС.

***Ключевые слова**: судовая электроэнергетическая система, качество электрической энергии, стабилизации напряжения*

Введение. Основные параметры, определяющие технико-экономическую эффективность судовых электроэнергетических систем (СЭЭС) – это род тока, значение напряжения, частота тока. Важную актуальность приобретает сегодня и качество электрической энергии. По требованию морского регистра судоходства коэффициент несинусоидальности напряжения судовой электрической сети не должен превышать 10%.

Основная часть. На судах [1,2] разрешается применение постоянного и переменного тока. Однако опыт эксплуатации СЭЭС показал преимущества переменного тока, особенно при больших мощностях энергетических систем.

Сравнивая составные элементы СЭЭС постоянного и переменного тока, необходимо отметить, что при использовании постоянного тока судовые электроприводы отличаются хорошими регулировочными и пусковыми характеристиками; электрораспределительные устройства – меньшими массой, габаритными размерами, стоимостью и объемом.

При использовании в СЭЭС переменного тока для электроприводов в основном применяются асинхронные короткозамкнутые двигатели, реже – асинхронные двигатели с фазным ротором и синхронные двигатели.

Асинхронные короткозамкнутые двигатели (благодаря отсутствию коллектора) обладают большей надежностью, меньшими на 30–40% массой и на 20–30% габаритными размерами, в 2–3 раза меньшей стоимостью, имеют более высокий КПД по сравнению с коллекторными двигателями и более низкий уровень шума.

Система управления асинхронным двигателем проще, а следовательно, он имеет большую надежность, меньшие габаритные размеры, массу и стоимость. Следует отметить сложность регулирования частоты вращения в широких пределах и значительные провалы напряжения при пуске мощных асинхронных короткозамкнутых двигателей.

Следует отметить, что СЭЭС переменного тока дают возможность:

– преобразовать напряжение с помощью трансформаторов;

– разделять на отдельные, электрически не связанные друг с другом части (силовую и осветительную сети);

– получать электроэнергию с берега без преобразователей;

– применять более высокое напряжение;

–повысить уровень унификации судового электрооборудования с электрооборудованием общего (берегового) применения.

Если приемники электроэнергии постоянного и переменного тока на судне сравнительно одинаковы и по важности, и по количеству (например, суда технического флота), вопрос о выборе рода тока решается рассмотрением вариантов с определением экономической эффективности, которая ожидается от их внедрения.

На некоторых судах применяются два рода тока, когда гребные электродвигатели питаются постоянным током, а остальные приемники – переменным.

Размещение СЭС может быть различным. При небольших мощностях СЭС источники, преобразователи и распределительные устройства станции размещают в машинном отделении. Иногда источники электрической энергии устанавливают в помещении, смежном с машинным отделением, а распределительное устройство – вблизи с постом управления главными двигателями. Конечно, наиболее удачным является размещение источников электроэнергии в отдельном помещении, а распределительного устройства – в центральном посту управления энергетической установкой.

Так как условия работы судового электрооборудования в целом отличаются от общепромышленных условий, то это определяет следующие к нему требования: судовое оборудование должно надежно работать при длительном крене до 15° и дифференте до 5°, бортовой качке с амплитудой до 22,5° с периодом 7–9 с и килевой – до 10° от вертикали, повышенной влажности и температуре; при кренах, качках и дифферентах аппаратура не должна самопроизвольно включаться; подвижные контакты электрооборудования не должны изменять коммутационного положения при бортовой качке с амплитудой до 45°.

При этом судовые электрические станции должны обеспечивать возможность:

– раздельной и параллельной работы генераторных агрегатов, электрической защиты генераторов, ГРЩ и подсоединенных к ним кабельных линий при возникновении аварийных ситуаций;

– связи с береговыми электрическими системами и СЭЭС других судов;

– управления качеством распределения генерируемой электроэнергии;

– выполнения эксплуатационного наблюдения за элементами СЭС и проведения ремонтных работ.

Согласно правилам регистра, номинальные напряжения на выводах источников электроэнергии не должны превышать следующих значений: 0,4 кВ (400 В) – при трехфазной системе переменного тока; 0,230 кВ (230 В) – при однофазной системе переменного тока; 0,23 кВ (230 В) – при постоянном токе.

Для судов технического флота, а также для специальных судов допускается применение трехфазной системы напряжением до 10 кВ включительно.

Следует отметить, что напряжение до 1000 В практически не оказывает влияния на массу, габаритные размеры и стоимость электрических машин и трансформаторов. Масса, габаритные размеры и стоимость электрических аппаратов и кабельных линий электропередачи зависят от напряжения и тока, протекающего по ним, а следовательно, и электрораспределительные щиты, в которых устанавливаются электрические аппараты, будут иметь массу, габаритные размеры и стоимость, зависящие от напряжения и тока.

Однако следует помнить, что при малой мощности СЭЭС существенную роль начинают играть такие факторы, как механическая прочность жилы кабеля, дискретность стандартных значений сечений жил кабелей и т.д.

Важную роль при выборе значения напряжения судна имеет и напряжение береговых установок, особенно при постоянном питании с берега. Следует также помнить, что повышение напряжения СЭЭС всегда связано с увеличением вероятности поражения электрическим током, поэтому по мере роста напряжения СЭЭС должна повышаться эффективность мероприятий по обеспечению безопасности обслуживания.

Сети освещения необходимо отделять от силовых сетей.

Основной частотой переменного тока как на судах, так и в береговых электроустановках принята частота 50 Гц.

На современных судах имеется группа приемников, частота тока которых равна 400–500 Гц (радиолокационное, навигационное и другое оборудование). Их питание осуществляется от судовой сети с частотой 50 Гц через преобразователи, вращающиеся и статические, количество которых на крупных судах может быть значительным. Для таких приемников иногда целесообразно иметь систему централизованного снабжения электроэнергией переменного тока частотой 400–500 Гц.

Исследования показали, что увеличение частоты питающего тока приводит к снижению массы и габаритных размеров у вращающихся машин, трансформаторов, магнитных усилителей, конденсаторов, элементов электроавтоматики. Однако масса и габаритные размеры коммутационных аппаратов при повышении частоты тока увеличиваются из-за ухудшения условий дугогашения, а в связи с этим из-за повышения тепловыделений в шинопроводах увеличиваются масса и габаритные размеры электрораспределительных устройств.

Повышение частоты отрицательно сказывается на массе и габаритных размерах электрических кабелей, так как увеличение частоты приводит к увеличению потерь энергии и электрического сопротивления кабелей.

Качества электрической энергии это совокупность свойств электрической энергии, определяющих ее пригодность для судовых электроприемников. К показателям качества в установившихся режимах относят:

- длительное отклонение напряжения в данной точке системы по отношению к номинальному значению, %:

$$\Delta U = \frac{100\left(U - U_{nom}\right)}{U_{nom}}\% ;$$

- длительное отклонение частоты тока по отношению к номинальному значению, *%*

$$\Delta f_q = \frac{\left(f - f_{nom}\right)\cdot 100}{f_{nom}}\% ;$$

- коэффициент несимметрии напряжения основной частоты в трехфазной системе**, %**

$$K_{несим.} = \frac{\left(U_{\max} - U_{\min}\right)\cdot 100}{U_{nom}}\% ,$$

где $U_{\max}$, $U_{\min}$ – максимальное и минимальное значения линейного напряжения;

- коэффициент амплитудной низкочастотной модуляции напряжения переменного тока, %

$$k_{\text{мод}} = \frac{\Delta U_{\text{мод}}}{U_n} 100,$$

где $\Delta U_{\text{мод}}$ – амплитуда огибающей модулированного напряжения;

- модуляцию напряжения, которая может характеризоваться частотой модуляции,

$$f_{\text{мод}} = 1/T_{\text{мод}},$$

где $T_{\text{мод}}$ – период огибающей модулированного напряжения;

- коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения**, %**

$$K = \frac{\sqrt{\sum_2^n U_n^2}}{U_1} 100\%,$$

где – $\sum_2^m U_n^2$ сумма квадратов действующих значений высших гармонических составляющих U_n данной периодической кривой;

U_1– действующее значение основной гармонической составляющей данной гармонической кривой, В;

- коэффициенты пульсации напряжения постоянного тока, %:

$$k_{\text{пульс}} = \frac{U_\mu}{U_{\text{ср}}} 100\%,$$

где U_μ – амплитуда низшей гармоники переменной составляющей выпрямленного напряжения;

$U_{\text{ср}}$ – среднее значение выпрямленного напряжения;

Для единообразия оценки пульсации напряжения при различных его средних значениях допускается величину $U_{\text{ср}}$ заменять $U_{\text{ном}}$, а величину $U_{\max} + U_{\min}$ – на величину $2U_{\text{ном}}$.

К показателям качества электроэнергии в переходных процессах СЭЭС относят: кратковременные отклонения напряжения, кратковременные отклонения частоты.

Следует отметить, что в последние двадцать лет в судостроении происходили быстрые и радикальные изменения, связанные с совершенствованием и применением гребных электрических установок. В эти годы для управления гребными двигателями переменного тока были разработаны преобразователи частоты большой мощности, созданы винторулевые колонки, современные гребные установки. Эти достижения намного повысили качественные характеристики гребных установок и позволили им потеснить пропульсивные комплексы с тепловыми двигателями, работающими непосредственно на гребной винт. По сравнению с другими видами пропульсивных комплексов современных гребных электроустановок обладают рядом преимуществ:

- повышение надежности судовой электроэнергетической установки и пропульсивного комплекса;
- улучшение маневренности судна;
- повышение КПД энергетической установки в долевых режимах;
- низкие уровни шума и вибрации;
- снижение эксплуатационных расходов;
- уменьшение сроков ремонтных работ;
- возможность более рационального размещения оборудования на судне.

Уникальные свойства современных гребных установок позволили в течение очень короткого времени найти применение на судах практически всех видов: круизных лайнерах, паромах, контейнеровозах, танкерах, рыбопромысловых, буксирах, судах снабжения и т.д.

ЭЭС современных судов с электродвижением строятся как единые системы, обеспечивающие питанием и многочисленные общесудовые потребители. От структуры и параметров СЭЭС зависят стоимость проектирования и постройки судов, работоспособность электрооборудования и систем автоматики, коммерческие показатели судов при эксплуатации, в том числе расход топлива, безопасность плавания судна и условия работы экипажа.

Отметим, что серьезной проблемой при создании СЭЭС является обеспечение электромагнитной совместимости общесудовых потребителей и гребных установок, которая для судовой электростанции является нелинейной нагрузкой. По требованию морского

регистра судоходства [2] в полностью укомплектованной судовой электроэнергетической системе коэффициент несинусоидальной кривой напряжения не должно превышать 10%.

Судостроительные организации применяют структуру СЭЭС с трансформаторами в составе ГЭУ. В таких установках проблема электромагнитной совместимости достаточно успешно решена.

При создании современных СЭЭС с полным электродвижением необходимо генерация и преобразования электрической энергии для мощных потребителей с использованием современных полупроводниковых преобразователей и обеспечения их надежной работы. Вместо существующий ранее так называемой интерференции гармонического состава напряжения в современных СЭЭС гармонический состав напряжения в электрической ветвь суммируется. Это является основным отличием поставленной задачи от многочисленных работ по улучшению гармонического состава в «большой» и автономной энергетике.

Для создания СЭЭС необходим системный подход с учетом требований нормативных документов. В соответствии с ними вступают в действие кроме ограничения по качеству электроэнергии и другие требования (надежность, массогабаритные показатели, электромагнитная совместимость, тепловые потери и др.) При этом необходимо использовать несколько признаков.

На СЭЭС желательно добиваться минимального гармонического состава за счет относительно низкозатратных способов преобразования электроэнергии (использование диодных мостов выпрямления, широтно-импульсной модуляции (ШИМ) для систем управления, многоуровневых инверторов, расщепления обмоток и др.). В последнюю очередь необходимо использовать различные фильтры, в том числе и активные.

Обычно на гармонический состав тока и напряжения в СЭЭС влияют следующие факторы:

- параметры генератора;
- мощность эквивалентной асинхронной нагрузки;
- наличие традиционных фильтров и фильтрокомпенсирующих устройств и их параметры;
- использование активных фильтров;
- использование в статических полупроводниковых преобразователях (СПП) широтно-импульсной модуляции;
- использование многоуровневых инверторов;
- фазность системы электродвижения
- тип электродвигателя системы электродвижения (синхронный, асинхронный, вентильный)

Анализируя опыт проектирования и эксплуатации СЭЭС, можно сказать общесудовые потребители в зависимости от режима работы потребляют от 10 до 20% мощности. Однако использование мощных статических преобразователей в системе электродвижения других потребителей заставляет по новому формировать выходное напряжение при обеспечении качества электроэнергии.

Отметим, что статические преобразователи генерируют в сеть высшие гармоники. Общеизвестны их негативные последствия: снижение КПД и моментов электродвигателей, повышенный нагрев элементов системы, сбои в системах управления, связи и др. Если рассматривать типовую структурную схему (рис. 1), то видно, что необходимо обеспечивать синусоидальность токов и напряжений как на главном распределительном щите (ГРЩ), так в подсистеме электродвижения.

Основным параметром, влияющим на гармонический состав напряжения на ГРЩ, для типовых генераторов является сверхпереходное индуктивное сопротивление -x''_d Уменьшение этого сопротивления приближает реальный источник электроэнергии к источнику бесконечной мощности. Применительно к судовым генераторам сопротивление x''_d меняется от 0,11 до 0,32 о.е.

На судах часто устанавливаются приемники, требующие для своей работы электрическую энергию с параметрами, отличными от тех, с которыми вырабатывают ее источники.

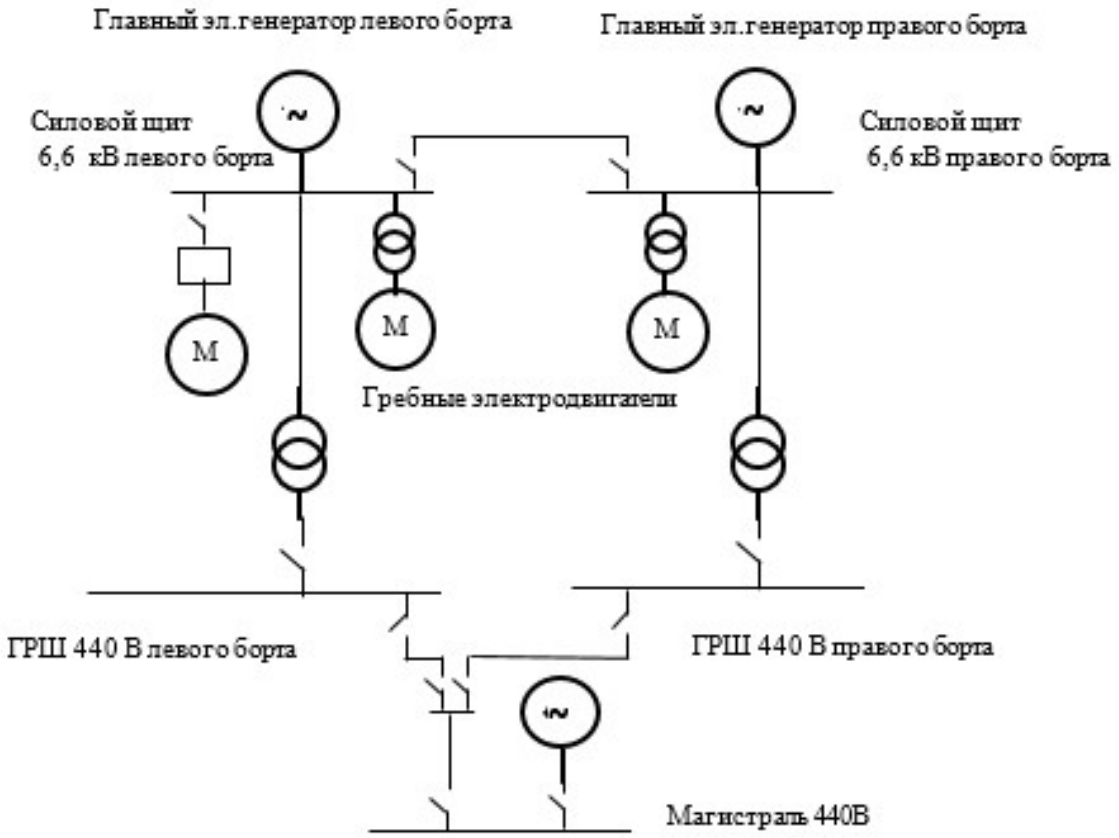


Рис.1. Структурная схема СЭЭС

Например, на судне в качестве источников установлены трехфазные генераторы напряжением 400 В, а для приемника – электрического освещения – требуется напряжение 220 В. На небольших судах установлен источник – генератор постоянного тока 27 В, а приемник – холодильник, работающий от сети переменного тока 220 В. В этих случаях для питания указанных приемников требуется установка соответствующих преобразователей. Проще всего выполнить такие преобразователи в виде двухмашинного агрегата, где одна машина – двигатель – должна быть рассчитана на электроэнергию с параметрами источника, а другая – генератор – должна вырабатывать электроэнергию с параметрами, которые необходимы для работы этих приемников.

Однако вращающиеся преобразователи обладают рядом недостатков, которые присущи всем вращающимся машинам, например, наличием скользящих контактов, подшипников, поэтому часто оказывается целесообразным использование статических преобразователей, в которых нет частей, перемещающихся одна относительно другой.

В судовых электростанциях для преобразования электрической энергии обычно используются трансформаторы, выпрямители и инверторы. Другие преобразователи, например преобразователи частоты, чаще используются для отдельных электроприводов.

На небольших судах, на которых источником электрической энергии является только генератор, навешенный на главный двигатель и вырабатывающий электрическую энергию только во время работы главного двигателя, для снабжения электроэнергией всех приемников во время его стоянки необходима установка какого-либо накопителя энергии. Этот накопитель

при работе генератора работает как приемник и накапливает энергию, а при стоянке генератора переходит в режим источника и отдает энергию в судовую сеть.

Многочисленные расчеты и мониторинг - непрерывный процесс наблюдения и регистрации параметров объекта, в сравнении с заданными критериями позволяют отметить, что в заданном диапазоне рассматриваемых мощностей и при заданных параметрах фильтров коэффициент модуляции инвертора влияет на качество электроэнергии в системе электродвижения (СЭД), причем увеличение коэффициента модуляции (Кт) управления инвертором улучшает гармонический состав СЭД, однако это сказывается на уровне напряжения инвертора [1].

Для повышения показателей КЭЭ предлагается применение современных FACTS- (Flexible AC Transmission System) - гибкие управляемые системы переменного тока, для регулирования реактивной мощности и напряжения в судовой ЭЭС и снижения гармоник тока и напряжения, а также колебания напряжения при резких нагрузках.

К устройствам FACTS относятся устройств: продольной компенсации как традиционного типа, так и регулируемые тиристорно-реакторные группы, статические тиристорные компенсаторы; вставки постоянного тока; электромеханические преобразователи частоты. Если к этому классу устройств отнести управляемые реакторы и СК, то под FACTS следует отметить, что применение гибких передающих систем переменного тока повышает качества электрической энергии [3].

Совокупность устройств, устанавливаемых в судовой электрической сети и предназначенных для стабилизации напряжения, повышения устойчивости, оптимизации потокораспределения, снижения потерь, улучшает качества электрической энергии.

Установка быстродействующих STATCOM на шинах ВН (напряжением 6 кВ) и НН (440 В). Такое распределение STATCOM позволяет улучшение показателей качества электрической энергии на СЭЭС [4]. На рис.2 приведена схематическое представление СТАТКОМ

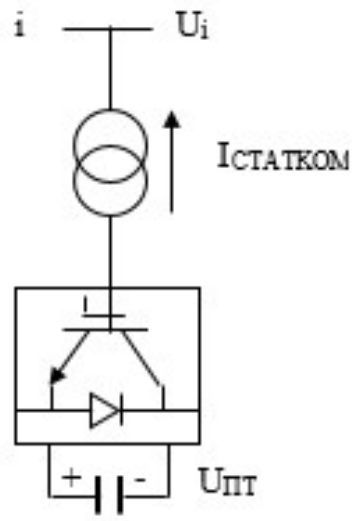


Рис. 2. Схематическое представление СТАТКОМ

Выводы. 1. Для повышения показателей КЭЭ предлагается применение современных FACTS для регулирования напряжения и реактивной мощности в судовой ЭЭС.

2. Используя активные фильтры для снижения гармоник напряжения возможно достичь нормально допустимые значения ПКЭЭ.

3. Применение быстродействующих СТАТОМ позволяет снижение колебаний напряжения при пусках асинхронных двигателей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сеныюв А.А., Дмитриев Б.Ф., Калмыков А.Н., Токарев Л.Н. Судовые единые электроэнергетические системы // *Электротехника*. 2017. № 5.240 с.
2. Правила классификации и постройки морских судов. Российский морской регистр судоходства. Т. 2. *Санкт-Петербург*, 2015.300 с.
3. Баламетов А.Б., Халилов Э.Д. Применение гибких передающих систем переменного тока как эффективный способ решения проблем в ЭЭС. *Проблемы энергетики*. 2010. № 4. С. 20-28.
4. Баламетов А.Б., Халилов Э.Д., Исаева Т.М. Экспериментальные исследования влияния резкопеременной нагрузки на качество электроэнергии на высоковольтной подстанции. *Промышленная Энергетика*. 2008. №5. С.50-53.

Salimova A.K., Ismailov S.C.

METHODS INCREASED QUALITY ELECTRIC ENERGY IN SHIP ELECTRIC ENERGY SYSTEMS

The article proposes ways to improve the quality of electrical energy on ships. The ship electric power system must ensure reliable operation of ship systems, navigation safety, living and working conditions of the crew, economical generation and distribution of electricity of the required quality, as well as an optimal combination of the cost of its installation and operation with satisfactory weight and dimensions indicators the entire system as a whole. Technical and economic indicators of the SEES are determined, first of all, by the rational choice of the type of current, frequency and voltage in the system, which are the main parameters of the SEE.

Keywords: *ship power system, quality of electric energy, voltage stabilization.*

Салимова А.К., Ісмаїлов С.С.

МЕТОДИ ПОВИШЕНШЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ В СУДОВИХ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ

У статті пропонується способи поліпшення якості електричної енергії на судах. Судова електроенергетична система повинна забезпечувати надійне функціонування суднових систем, безпеку плавання, умови життя і роботи екіпажу, економічне генерування і розподіл електроенергії необхідної якості, а також мати оптимальне поєднання вартості її монтажу і експлуатації при удов¬летворітельних масогабаритних показниках, як окремих елементів, так і всієї системи в цілому. Техніко-економічні показники СЕЕС визначаються, в першу чергу, раціональним вибором роду струму, частоти і величини напруги в системі, які є основними параметрами СЕЕС.

Ключові слова: *суднова електроенергетична система, якість електричної енергії, стабілізації напруги.*

УДК 629.7.016 *DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.25*

Глущенко П.А., Панін В.В., Масік І.П., Зазарний А.Ю.

АНАЛІЗ ВПЛИВУ СПІРОІДНИХ КІНЦЕВИХ АЕРОДИНАМІЧНИХ ПОВЕРХОНЬ НА АЕРОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРИЛ ДЛЯ МАЛОГАБАРИТНИХ БЕЗПІЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТІВ КОРАБЕЛЬНОГО БАЗУВАННЯ

Успішність виконання завдань безпілотним літальним апаратом з моніторингу поверхні моря в інтересах судна значною мірою залежить від дальності і тривалості польоту, на які безпосередньо впливає аеродинамічна якість, як літального апарату в цілому, так і крила, як основного несучого елементу. Одним із способів покращення аеродинамічної якості безпілотного літального апарату , що не потребує внесення значних змін у конструкцію, є встановлення кінцевих аеродинамічних поверхонь на крилі для зниження індуктивного опору. Підвищення аеродинамічної якості сучасних безпілотних літальних апаратів, з метою зменшення витрат енергії і, як наслідок, збільшення дальності та тривалості польоту залишається актуальною задачею. На даний час значно розширилась сфера і кількість застосування малогабаритних безпілотних літальних апаратів, що стимулює активізацію робіт в напрямку покращення аеродинамічних характеристик даних літальних апаратів. В основі методики визначення аеродинамічних характеристик крил є ділення виникаючих сил на їх складові, в залежності від природи їх виникнення. Так нормальні сили, обумовлені розподілом тиску по поверхні, добре розраховуються вирішенням задач обтікання нев'язким нестисливим середовищем. Одним із відомих і добре перевірених на практиці методів вирішення зазначених вище задач є модифікований метод дискретних вихорів. Іншою задачею є визначення профільного опору. Як відомо, профільний опір обумовлений дотичними силами (силами тертя) та нормальними (розподілом тиску по поверхні профілю) можна вважати постійним при незначних змінах кута атаки. За розробленою методикою було вивчено вплив встановлення кінцевих аеродинамічних поверхонь та їх геометричних параметрів на сумарні та розподілені аеродинамічні характеристики крил. Встановлено, що кінцеві аеродинамічні поверхні змінюють структуру течії на поверхні крила та за ним, що призводить до зміни аеродинамічних характеристик, що обумовлено усуненням кінцевого вихору з поверхні крила та розмиттю концентрованого вихору позаду крила. Внаслідок цього зменшення індуктивного опору переважає над збільшенням профільного опору, що вносять кінцеві аеродинамічні поверхні. Зміна структури течії на поверхні крила змінює розподіл навантаження в перерізах крила, що призводить до збільшення коефіцієнту підйомної сили. В результаті зазначених факторів аеродинамічна якість для компонувань крило – спіроіди збільшена на 10 – 22 % у порівнянні з крилом без кінцевих аеродинамічних поверхонь.

Ключові слова: кінцеві аеродинамічні поверхні, аеродинамічні характеристики, безпілотні літальні апарати корабельного базування, візуалізація потоку.

Постановка проблеми. Стрімкий прогресивний розвиток безпілотних авіаційних комплексів обумовлює поширення сфер застосування безпілотних літальних апаратів (БПЛА). Не виключенням є морська галузь. Можливо застосування безпілотних авіаційних комплексів в інтересах судна. Особливо це важливо при підході до крупних морських портів, з метою візуальної оцінки проходу інших кораблів. Це дасть змогу зменшити ризик зіткнення з іншими суднами. Успішність виконання завдань безпілотними літальними апаратами з моніторингу поверхні моря в інтересах судна значною мірою залежить від дальності і тривалості польоту, на які безпосередньо впливає аеродинамічна якість, як літального апарату (ЛА) в цілому, так

і крила, як основного несучого елементу. Одним із способів покращення аеродинамічної якості БПЛА, що не потребує внесення значних змін у конструкцію, є встановлення кінцевих аеродинамічних поверхонь (КАП) на крилі для зниження індуктивного опору. Підвищення аеродинамічної якості сучасних БПЛА з метою зменшення витрат енергії і, як наслідок, збільшення дальності та тривалості польоту залишається актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Визначення аеродинамічної якості, як і інших аеродинамічних характеристик (АДХ), крил ЛА з кінцевими аеродинамічними поверхнями є відомою задачею, для вирішення яких присвячено велику кількість робіт, як наприклад [1–7]. Але більшість робіт присвячена розрахунку АДХ крил з КАП для важких, великогабаритних, транспортних ЛА, де ефект від застосування КАП найбільш відчутний. Наприклад в роботах [1, 4, 6, 7] проводяться дослідження з урахуванням великих чисел Рейнольдса та не дають чіткого розуміння можливості застосування на малогабаритних ЛА, політ яких характеризується значно меншими числами Рейнольдса. На даний час значно розширилась сфера і кількість застосування малогабаритних БПЛА, що стимулює активізацію робіт в напрямку покращення аеродинамічних характеристик даних ЛА. Але і в роботах [3, 6–8] не представлено методик визначення АДХ крил з КАП при малих числах Рейнольдса з науковою достовірністю. В вказаних роботах також не розглядається вплив геометричних параметрів спіроідних КАП на аеродинамічні характеристики КАП.

Метою даної роботи є визначення впливу спіроідних кінцевих аеродинамічних поверхонь з різними геометричними параметрами на аеродинамічні характеристики крил, що характерні для малогабаритних та мало швидкісних БПЛА, а також визначення зміни структури потоку на поверхні крила при встановлені КАП.

Основні матеріали досліджень. В основі методики визначення АДХ крил з кінцевими аеродинамічними поверхнями для малогабаритних та малошвидкісних безпілотних літальних апаратів (БПЛА) є ділення виникаючих сил на їх складові, в залежності від природи їх виникнення. Так нормальні сили, обумовлені розподілом тиску по поверхні, добре розраховуються вирішенням задач обтікання нев'язким нестисливим середовищем. Одним із відомих і добре перевірених на практиці методів вирішення зазначених вище задач є модифікований метод дискретних вихорів (МДВ) [9]. Застосування МДВ для розрахунку АДХ крил для малогабаритних малошвидкісних БПЛА є доцільним, оскільки при низьких швидкостях польоту вплив стисливості не є суттєвим. До того ж МДВ не потребує значних потужностей обчислювальної техніки та демонструє добру збіжність отриманих результатів з відомими достовірними даними. Це дозволить розрахувати підйомну силу та індуктивний опір обумовлений нею. Іншою задачею є визначення профільного опору. Як відомо, профільний опір обумовлений дотичними силами (силами тертя) та нормальними (розподілом тиску по поверхні профілю) можна вважати постійним при незначних змінах кута атаки. Внаслідок складності розрахунку профільного опору, особливо при малих значеннях числа Рейнольдса, якими характеризується політ малорозмірних БПЛА, пропонується визначати профільний опір експериментально при випробуваннях в аеродинамічній трубі. Доволі точним і простим є визначення сили опору методом імпульсів[10]. Також для отримання можливості оцінити значення аеродинамічних характеристик крил з КАП при різних значеннях числа Рейнольдса враховується методика викладена в [11]. Суть полягає в тому, що профільний опір крила суттєво залежить від положення зони (точки) переходу ламінарної течії в турбулентну на поверхні крила. Положення даної зони значною мірою залежить від числа Рейнольдса, яким характеризується умови польоту. Застосування даної методики дозволить уточнити значення аеродинамічних характеристик крил з КАП при різних умовах застосування.

Визначивши і розрахувавши вихідні дані для отримання АДХ крил з КАП необхідно провести випробування відповідних моделей в аеродинамічних трубах, а за можливості і льотні випробування для верифікації отриманих результатів і перевірки адекватності розрахункових схем. Структурно-логічна схема методики представлена на рис. 1.

Для верифікації даної методики було обрано тестову задачу з відомим рішенням [12] при числі Рейнольдса Re = 100000. В якості моделі було обрано крило з профілем NACA 2412 з прямою передньою кромкою. Площа моделі напівкрила $S_{кр} = 3.58$ м^2, подовження $\lambda = 4{,}4692$, звуження $\eta = 0{,}79$. Число Рейнольдса по хорді крила складає 100000. Більш детально геометричні характеристики крила та КАП наведено в [12]. Для порівняння отриманих результатів на рис. 2 представлено залежності аеродинамічної якості К від кута атаки α. Певні розбіжності обумовлені різними підходами до моделювання процесу обтікання. Але ефект від встановлення КАП необхідно оцінювати за зміною аеродинамічної якості ΔК, залежність якого від кута атаки наведено на рис. 3.

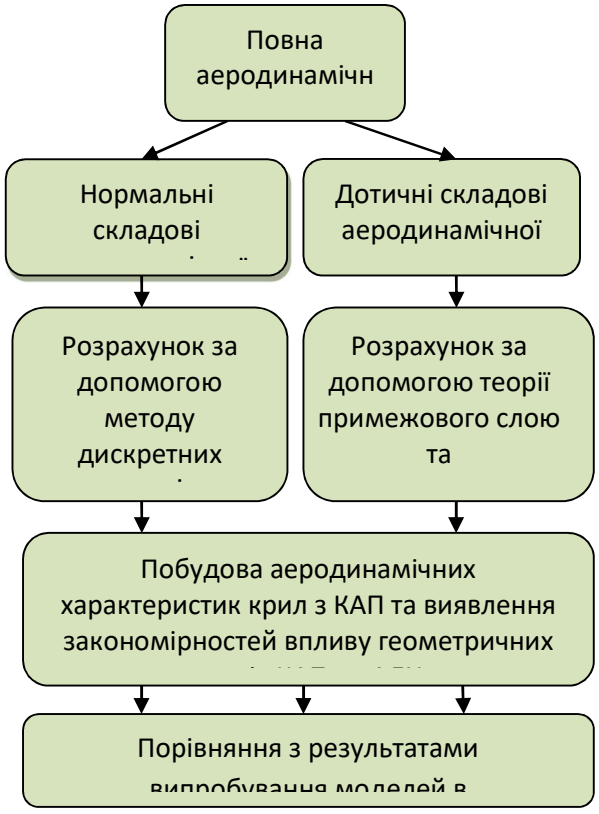


Рис. 1. Структурно-логічна схема методики визначення АДХ крил з КАП спіроідного типу

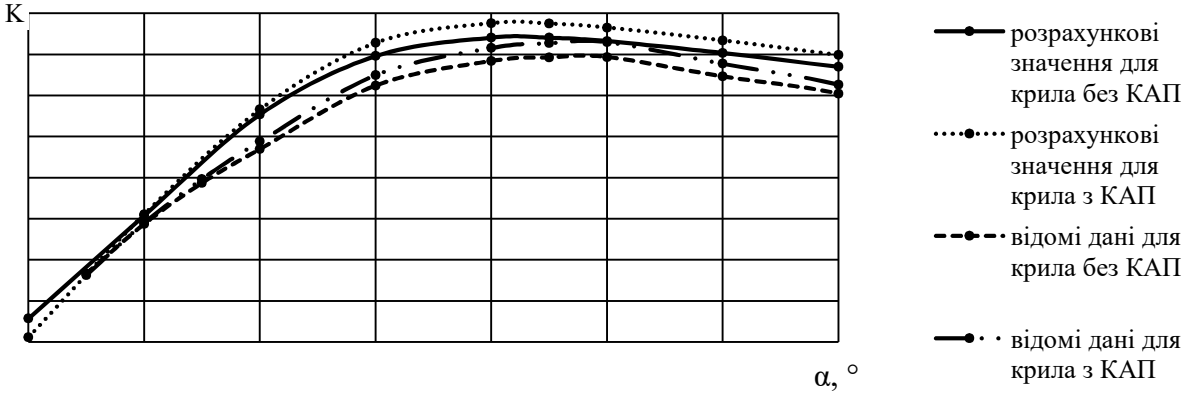


Рис. 2. Залежність аеродинамічної якості К від кута атаки α

Аналіз представлених залежностей дозволяє зробити висновок, що вказана методика дає задовільне співпадіння отриманих розрахунковим шляхом результатів з вже відомими даними. Це дає змогу застосувати дану методику і в подальших розрахунках крил з КАП для БПЛА. Похибка у визначені зміни аеродинамічної якості ΔК складає від 1 до 10 %. Це дозволяє зробити висновок, що застосування зазначеного підходу можливо для виявленя єфекту від застосування спіроідних КАП. Також слід звернути увагу на те, що методика дає дещо гірші значення аеродинамічної якості з метою гарантування необхідних льотно-технічних характеристик.

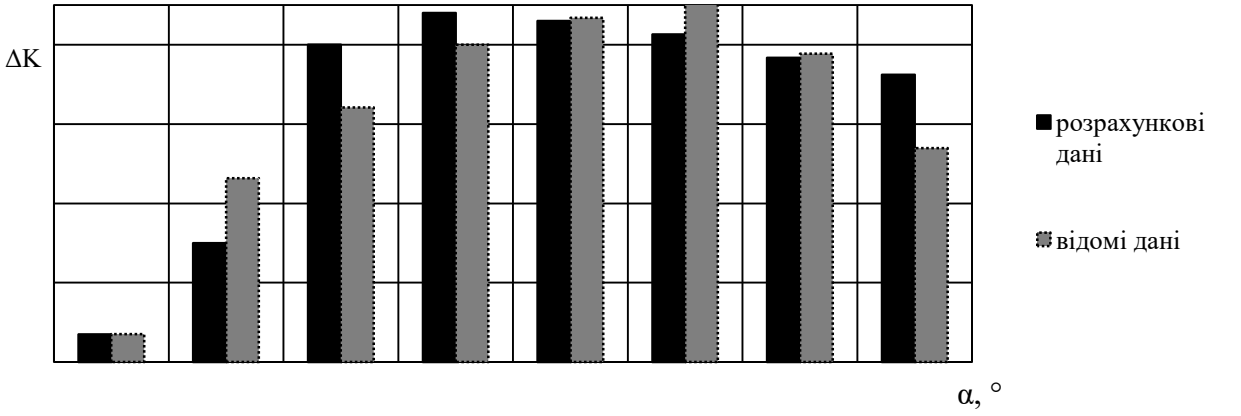


Рис. 3. Зміна аеродинамічної якості ΔК при різних кутах атаки α

Також для розглянутої моделі було визначено розподіл нормальної сили C_n вздовж розмаху крила без КАП та при обладнанні застосуванні різнимх типів КАП (рис. 4). Зміна розподілу нормальної сили вздовж розмаху крила обумовлена зміною структури потоку на поверхні крила.

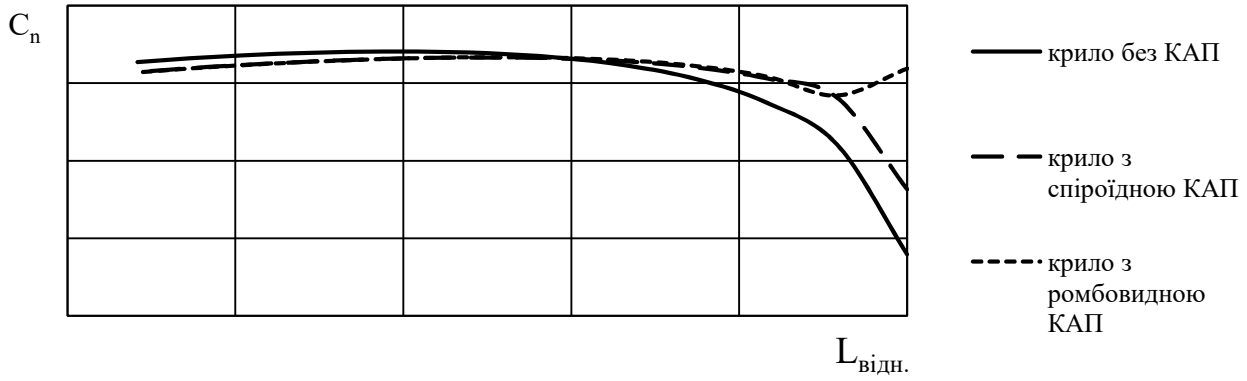


Рис. 4. Розподіл нормальної сили C_n вздовж розмаху напівкрила $\bar{L}_{відн}$

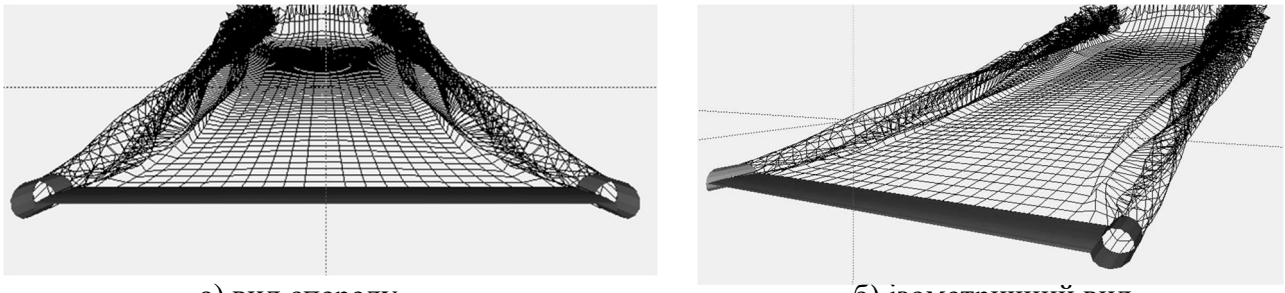
З аналізу представлених залежностей можна зробити висновок про те, що різні типи КАП впливатимуть по різному на структуру на поверхні крила і, як наслідок, в сліді за крилом. Це обумовлює зміни в вихровій структурі позаду крила. Наслідком цього є зміна індуктивного опору відносно крила без КАП.

В роботі визначався плив геометричних параметрів спіроідних КАП на АДХ крил. Одним із основних геометричних параметрів спіроідних КАП є радіус спіроіди r. На рис. 5 представлено приклади спіроідних КАП з різним відносним радіусом $\bar{r}$. В даній роботі хорда

моделей крил була сталою, тому під відносним радіусом слід розуміти відношення радіусу спіроіди до розмаху крила.

а) відносний радіус $\bar{r}$ =0.05 б) відносний радіус $\bar{r}$ =0.15

Рис. 5. Приклад зміни відносного радіусу спіроідних КАП



а) вид спереду б) ізометричний вид

Рис. 6. Розрахункова схема та положення пелени крила з КАП

В якості моделі було обрано прямокутне крило з профілем NACA 23012. Подовження крила складає λ = 4, число Рейнольдса по хорді крила склало Re = 210000. Результати розрахунків наведені на рис. 7–9.

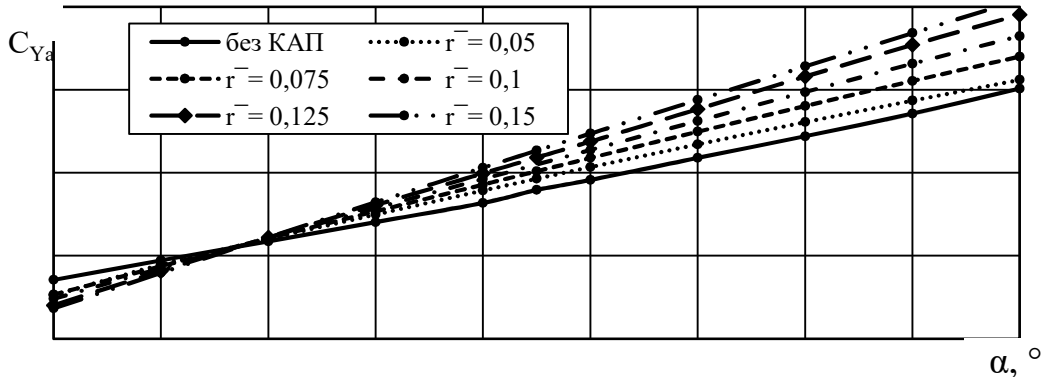


Рис. 7. Залежність коефіцієнту підйомної сили C_{Ya} від кута атаки α при різних $\bar{r}$

Як видно із представлених графічних залежностей на рис. 7 – 9, крила змінюють АДХ в залежності від радіусу спіроіди. Встановлення КАП збільшує значення коефіцієнту підйомної сили (рис. 7), що є наслідком збільшення площі несучої поверхні. Коефіцієнт сили лобового опору (рис. 8) збільшує значення з двох причин.

По-перше, збільшується профільний опір крила з КАП зі збільшенням омиваємої поверхні. По друге, зі збільшенням підйомної сили збільшується і складова індуктивного опору. В той же час, КАП змінюють структуру течії на поверхні крила та в сліді за крилом, що зменшує значення коефіцієнту отвалу поляри. Сумарні зміни аеродинамічних можливо оцінити за залежністю аеродинамічної якості (рис. 9) від кута атаки.

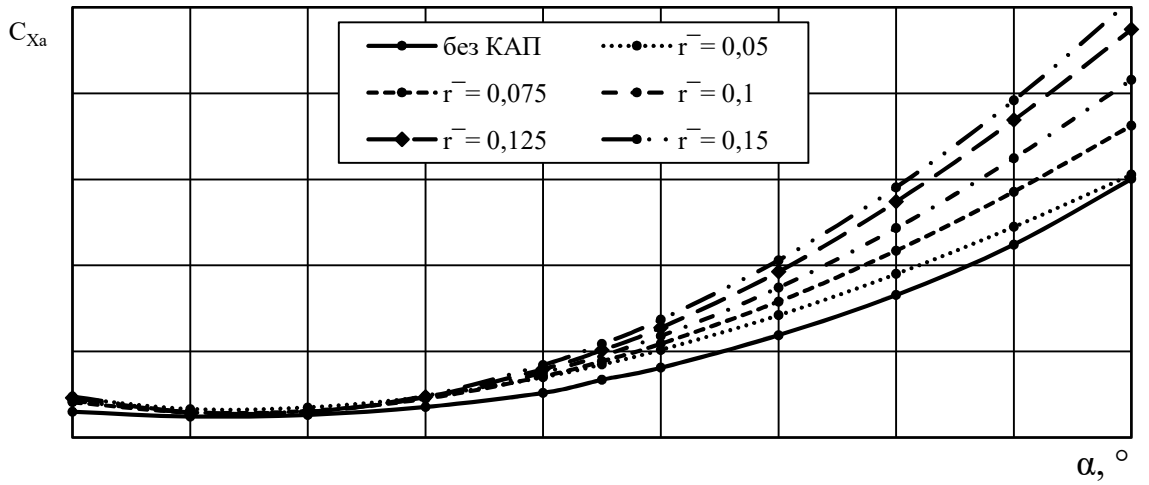


Рис. 8. Залежність коефіцієнту лобового опору C_{Xa} від кута атаки α при різних $\bar{r}$

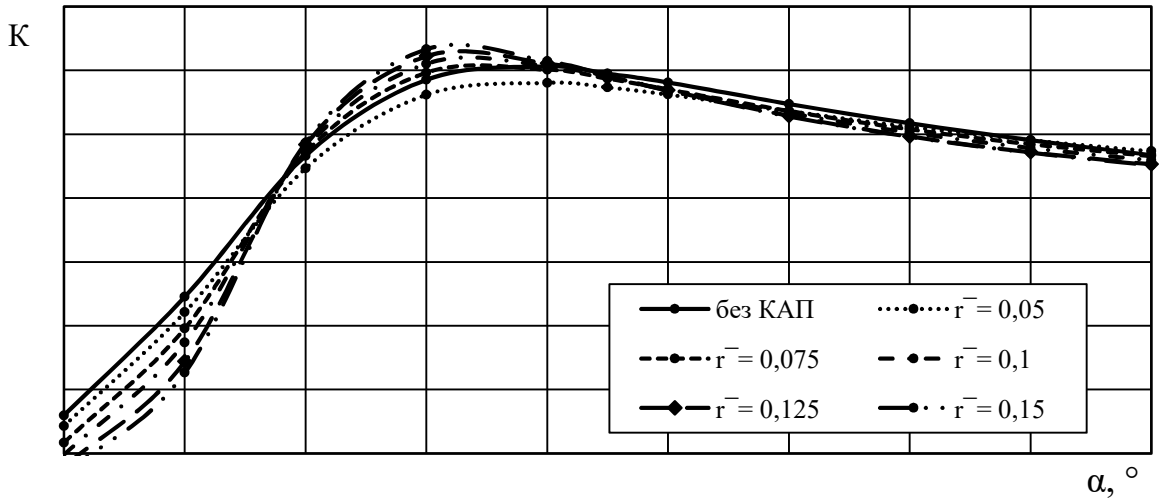


Рис. 9. Залежність аеродинамічної якості К від кута атаки α при різних $\bar{r}$

З аналізу графічних залежностей (рис. 9) можливо зробити висновок, що малі розміри КАП погіршують аеродинамічну якість крил. Більші спіроідні КАП покращують несучі властивості крила, але у певному діапазоні кутів атаки. В той же час, діапазон кутів атаки від 0 до 4 град є найбільш застосовуваний при виконанні польоту літального апарату, особливо при малих числах Рейнольдса.

Визначення аеродинамічних характеристик літального апарату з випробувань його моделей в аеродинамічних трубах залишається основним і найнадійнішим засобом при розробці нових компонувань літальних апаратів (ЛА) і при вдосконаленні вже існуючих. Для перевірки результатів числових розрахунків було проведено порівняння залежностей підйомної сили від кута атаки для моделей крил різного подовження без КАП і з КАП (рис. 10 – 11). Моделі крила для продувки в аеродинамічній трубі Т–1 виконані із дерева, методом переклеювання. Спіроідні КАП виконані з пластику. Всі елементи прошпакльовані, ретельно відшліфовані та пофарбовані. Крила прямокутної форми в плані подовженням $\lambda = 2$ та $\lambda = 3$ з профілем NACA 23012. Спіроіди виконані з пластини товщиною 3 мм. Відносний радіус спіроіди для крила з подовженням $\lambda = 2$ складає $\bar{r} = 0{,}077$, а для крила з $\lambda = 3$ відносний радіус складає $\bar{r} = 0{,}0512$. Число Рейнольдса по хорді крила склало 228000.

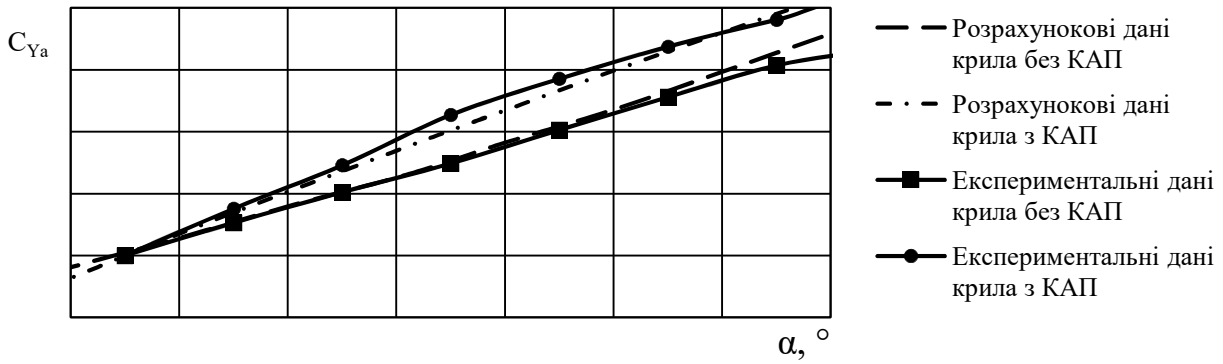


Рис. 10. Залежності підйомної сили C_{Ya} від кута атаки α для моделей крила з λ = 2 без КАП та з КАП отриманих в чисельному та фізичному експериментах

Залежності на рис. 10 та 11 демонструють добру збіжність, що вказує на адекватність математичної моделі. Також приріст коефіцієнту підйомної сили при встановлені КАП на крило є спів розмірний як при фізичному, так і при чисельному експерименті.

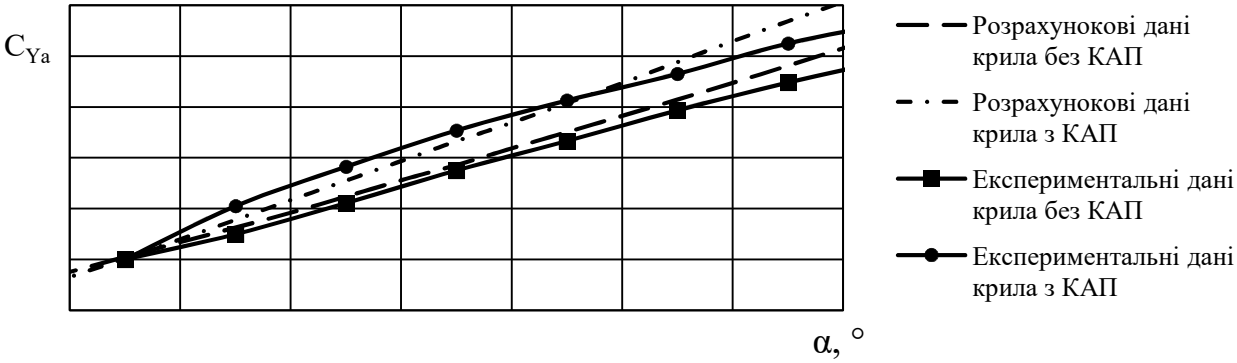


Рис. 11. Залежності підйомної сили C_{Ya} від кута атаки α для моделей крила з λ = 3 без КАП та з КАП отриманих в чисельному та фізичному експериментах

Для розуміння зміни структури потоку на поверхні крила було виконано візуалізацію потоку на поверхні крила методом шовковинок. Суть методу полягає в тому, що шовковинка направлена вздовж вектору місцевої швидкості. На рис. 12 представлені фотографії моделі крила з КАП і без КАП встановлені в робочій частині аеродинамічної труби Т–1 ХНУПС, характеристики якої наведені в [13].

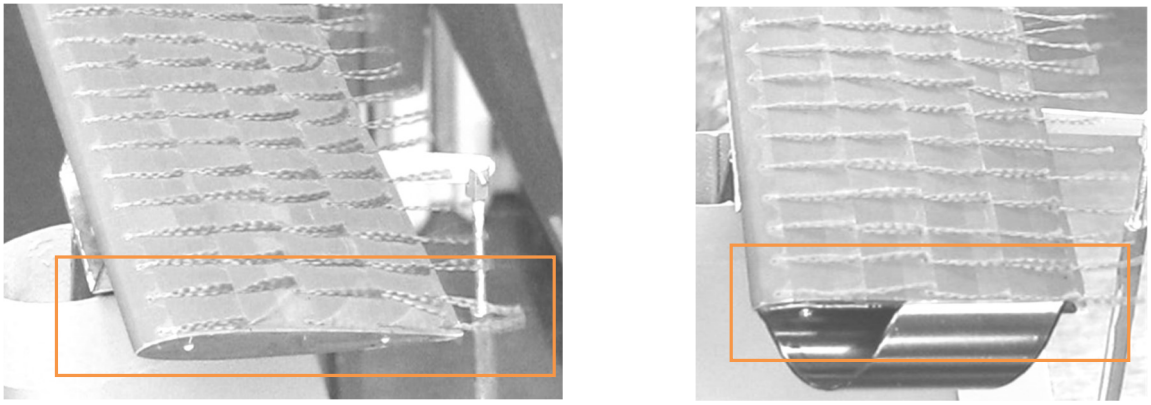


Рис. 12. Фотографія моделі крила подовженням λ = 2 без КАП (зліва) та з КАП (справа) в повітряному потоці АДТ під кутом атаки α =5 град.

Розмиті шовковинки на крилі без КАП вказують на наявність кінцевого вихору. Встановлення КАП усуває кінцевий вихор з поверхні крила. В той же час, необхідно розуміти, що кінцевий вихор сходить з КАП, але меншої інтенсивності. Візуалізація потоку свідчить, про правильно обрану розрахункову схему і варіант сходу пелени (рис.6).

Висновки. Застосована теоретико-експериментальна методика досліджень АДХ БПЛА верифікована рішенням тестової задачі з вдомими даними, а також результатами аеродинамічних випробувань, що дозволяє з достатньою достовірністю оцінити зміну АДХ крил при встановлені КАП. Так похибка при рішенні тестової задачі у визначенні ΔК складає від 1 до 10 %.

Виявлення впливу застосування КАП виконувалось використанням числового і фізичного експерименту. Встановлено, що КАП змінюють структуру течії на поверхні крила та за ним, що призводить до зміни АДХ, що обумовлено усуненням кінцевого вихору з поверхні крила та розмиттю концентрованого вихору позаду крила. Внаслідок цього зменшення індуктивного опору переважає над збільшенням профільного опору, що вносить КАП. Зміна структури течії на поверхні крила змінює розподіл навантаження в перерізах крила, що призводить до збільшення коефіцієнту підйомної сили. В результаті зазначених факторів аеродинамічна якість для компонувань крило – спіроідні КАП збільшена на 10 – 22 % у порівнянні з крилом без КАП.

В подальших дослідженнях планується параметричні дослідження впливу звуження спіроідних КАП на аеродинаміні характеристики КАП.

ЛІТЕРАТУРА

1. Whitcomb R.T. A design approach and selected wind-tunnel results at high subsonic speeds for wing-tip mounted winglets / R.T. Whitcomb // NASA technical note. — W.: NASA, 1976. — NASA TN D-8260. — 30 с.
2. Blended winglet. Patent: (патенти Google) [Електронний ресурс]. – Режим доступу https://www.google.com/patents/US5348253.html.
3. Кравченко С.А. Исследования эффективности многоэлементных («перьевых») законцовок на прямом крыле при малых скоростях / С.А. Кравченко, Н.А. Чичеров // Труды ЦАГИ. — М.: Изд. отд. ЦАГИ, 1991. — Вып. 2504. — С. 50-58.
4. Spillman J.J. The use of wing tip sails to reduce vortex drag / J.J Spillman // Aeronautical Journal. — 1978. — Vol. 82(813). — С. 387 — 395.
5. Al-Atabi M. Aerodynamics of wing tip sails / M. Al-Atabi // Journal of Engineering Science and Technology. — 2006. — Vol. 1(1). — С. 89 — 98.
6. Experimental investigation of wing-tip devices on the reduction of induced drag / [Ceron-Munoz H.D., Cosin R., Coimbra R.F.F. та ін.]. — Journal of Aircraft. — 2013. — Vol. 2(50). — С. 441-449.
7. Чичеров Н.А. Некоторые результаты параметрических исследований крыльев с концевыми шайбами / Н.А. Чичеров // Труды ЦАГИ. — М.: Изд. отд. ЦАГИ, 1991. — Вып. 2504. — С. 22 — 49.
8. A parametric investigation of non-circular spiroid winglets: issue Experimental Fluid Mechanics 2013 [EFM13], (Kutná Hora, 19-22 Nov, 2013) — Kutná Hora: Polypress s.r.o. 2014. — Vol. 67 — 6 с.
9. Апаринов В.А. Метод дискретных вихрей с замкнутыми вихревыми рамками / Апаринов В.А., Дворак А.В. // Применение ЭВМ для исследования аэродинамических нагрузок летательных аппаратов. — Труды ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского. — М.: Изд. ВВИА им. Н.Е. Жуковского. — 1986. — Вып. 1313. — С. 424 — 432.
10. Горшенин Д.С. Методы и задачи практической аэродинамики / Д.С. Горшенин, А.К. Мартынов. — М.: Машиностроение, 1977. — 240 с.

11. Халявко В.И. Расчёт аэродинамических характеристик самолёта. Ч. 1 / В. И. Халявко. // Учебное пособие. — Харьков: ХАИ, 1991. — 72 с.
12. Guerrero Joel E. Biomimetic spiroid winglets for lift and drag control / Guerrero Joel E, Maestro Dario, Bottaro Alessandro. — Genoa: DICAT, 2014. — 22 c
13. Українець Є. О. Визначення значень критеріїв досконалості аеродинамічної труби при технічній підготовці аеродинамічного експерименту / Є. О. Українець, П. А. Глущенко, Є. В. Спіркін // Системи озброєння і військова техніка. — 2018. — № 3(55). — С. 100 — 107. https://doi.org/10.30748/soivt.2018.55.14.

Глущенко П.А., Панин В.В., Масик И.П., Зазарный А.Ю.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СПИРОИДНЫХ КОНЦЕВЫХ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ НА АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРЫЛЬЕВ ДЛЯ МАЛОГАБАРИТНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ КОРАБЕЛЬНОГО БАЗИРОВАНИЯ

Успешность выполнения задач беспилотным летательным аппаратом по мониторингу поверхности моря в интересах судна в значительной степени зависит от дальности и продолжительности полета, на которые непосредственно влияет аэродинамическое качество, как летательного аппарата в целом, так и крыла, как основного несущего элемента.

Одним из способов улучшения аэродинамического качества беспилотного летательного аппарата, который не требует внесения значительных изменений в конструкцию, является установление концевых аэродинамических поверхностей на крыле для снижения индуктивного сопротивления. Повышение аэродинамического качества современных беспилотных летательных аппаратов с целью уменьшения затрат энергии, и как следствие, увеличение дальности и продолжительности полета остается актуальной задачей. В настоящее время значительно расширилась сфера и количество применения малогабаритных беспилотных летательных аппаратов, что стимулирует активизацию работ в направлении улучшения аэродинамических характеристик данных летательных аппаратов. В основе методики определения аэродинамических характеристик крыльев деление возникающих сил на их составляющие в зависимости от природы их возникновения. Так нормальные силы обусловленные распределением давления по поверхности хорошо рассчитываются решением задач обтекания невязки несжимаемой среды.

Одним из известных и хорошо проверенных на практике методов решения указанных выше задач является модифицированный метод дискретных вихрей. Другой задачей является определение профильного сопротивления. Как известно профильное сопротивление обусловлено касательными силами (силами трения) и нормальными (распределением давления по поверхности профиля), которые можно считать постоянными при незначительных изменениях угла атаки.

По разработанной методике было изучено влияние установления конечных аэродинамических поверхностей и их геометрических параметров на суммарные и распределенные аэродинамические характеристики крыльев. Установлено, что концевые аэродинамические поверхности изменяют структуру течения на поверхности крыла и за ним, что приводит к изменению аэродинамических характеристик, что обусловлено устранением концевого вихря с поверхности крыла и размытости концентрированного вихря позади крыла.

В результате уменьшение индуктивного сопротивления преобладает над увеличением профильного сопротивления, которое вносят концевые аэродинамические поверхности. Изменение структуры течения на поверхности крыла изменяет распределение нагрузки в сечениях крыла, что приводит к увеличению коэффициента подъемной силы. В результате указанных факторов аэродинамическое качество для компоновок крыло - спироиды увеличено на 10 – 22% по сравнению с крылом без концевых аэродинамических поверхностей.

Ключевые слова: *концевые аэродинамические поверхности, аэродинамические характеристики, беспилотные летательные аппараты корабельного базирования, визуализация потока.*

Glushchenko P.A., Panin V.V., Masik I.P., Zazarny A.Yu.

DEFENITION OF THE AIRDYNAMICS CHARACTERISTICS OF WING WITH WINGTIP DEVICES FOR SMALL SIZE SHIP-BASED UNMANNED AIECRAFT VICHICLE

The success of the tasks performed by an unmanned aerial vehicle for monitoring the sea surface in the interests of the vessel largely depends on the range and duration of the flight which are directly affected by the aerodynamic quality of both the aircraft as a whole and the wing as the main carrier element. One of the ways to improve the aerodynamic quality of an unmanned aerial vehicle which does not require significant changes in the design is to establish end aerodynamic surfaces on the wing to reduce inductive drag. Improving the aerodynamic quality of modern unmanned aerial vehicles in order to reduce energy costs and as a result increasing the range and duration of the flight remains an urgent task. At present the scope and number of applications of small-sized unmanned aerial vehicles has significantly expanded which stimulates the intensification of work towards improving the aerodynamic characteristics of these aircraft. The methodology for determining the aerodynamic characteristics of the wings is based on the division of arising forces into their components depending on the nature of their occurrence. So the normal forces caused by the pressure distribution over the surface are well calculated by solving the problems of flow around the residual of an incompressible medium. One of the well-known and well-tested in practice methods for solving the above problems is a modified discrete vortex method. Another task is to determine the profile resistance. As is known the profile resistance is caused by tangential forces (friction forces) and normal (pressure distribution over the profile surface) which can be considered constant with minor changes in the angle of attack. According to the developed methodology the influence of the establishment of the final aerodynamic surfaces and their geometrical parameters on the total and distributed aerodynamic characteristics of the wings was studied. It has been established that the end aerodynamic surfaces change the flow structure on the wing surface and behind it which leads to a change in the aerodynamic characteristics which is caused by the elimination of the tip vortex from the wing surface and the blurring of the concentrated vortex behind the wing. As a result a decrease in inductive resistance prevails over an increase in the profile resistance that end aerodynamic surfaces contribute. Changing the flow structure on the wing surface changes the load distribution in the wing sections which leads to an increase in the lift coefficient. As a result of these factors the aerodynamic quality for wing layouts - spiroids is increased by 10-22% compared to a wing without end aerodynamic surfaces.

Keywords*: wingtip devices, aerodynamics characteristics, ship-based unmanned aircraft vehicle, stream visualization.*

УДК 656.7.260 *DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.26*

Сурков К.Ю., Суркова К.В., Кущ О.В., Войченко Т.О.

МОДЕЛЬ ДІЙ ДИСПЕТЧЕРА УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ВИБІРКИ АДАПТИВНОГО ТРЕНАЖЕРУ

В статті визначено, що діяльність диспетчерів повітряного руху в особливих випадках потребує адекватної та повної оцінки. Для вдосконалення професійних навичок диспетчерів потрібно використовувати адаптивні тренажери, що здатні підібрати програму навчання в відповідності з вхідних рівнем умінь та знань навчаємого. При цьому виникає актуальна задача формування навчальної вибірки, що буде закладена до тренажеру.

В статті запропоновано використовувати алгоритмічний метод опису діяльності диспетчера, що дозволить для кожного сценарію (навчальної вибірки) визначити та задати до програми адаптивного тренажеру часові показники виконання кожної операції. Окрім показників своєчасності, оцінюючи діяльність диспетчера при виконанні вправ на тренажері, необхідно ввести показники точності виконання кожної операції. Для побудови математичної моделі оцінки дій диспетчера управління повітряним рухом в потенційно-конфліктних ситуаціях за результатами тренажерних випробувань використовуються алгоритми аналізу даних, які опираються не на загальні моделі досліджуваного об'єкта, а на конкретні факти його поводження, зафіксовані в протоколах "вхід-вихід", або на "прецедентах".

З урахуванням того, що оцінка дій диспетчера приймає дискретні значення, для побудови математичних моделей оцінки діяльності доцільно застосувати методи розпізнавання образів. У результаті отримується розпізнавальна функція оцінки або модель прийняття рішення для оцінки по даним вимірів ряду кількісних показників діяльності диспетчера.

Ключові слова: *адаптивна тренажерна підготовка, диспетчер повітряного руху, навчальна вибірка, модель дій, розпізнавання образів.*

Вступ. Ефективне використання цивільної авіації можливо лише при забезпеченні високого рівня безпеки польотів. Важливу роль у забезпеченні безпеки польотів повітряних суден має система організації повітряного простору, що включає в себе управління повітряним простором, обслуговування повітряного руху та організацію потоків повітряного руху. Центральною ланкою, що вирішує основні завдання служби руху в процесі керування, є диспетчер, результати діяльності якого визначають безпека й ефективність польотів.

Дуже гостро проблема забезпечення безпеки польотів виникає в особливих випадках, причинами яких можуть бути відмови авіаційної техніки, людський фактор, небезпечні метеоявища. Значне число особливих випадків відбувається через відмови авіаційної техніки, чому сприяє експлуатація літаків із продовженим ресурсом.

Для побудови моделей оцінки дій диспетчера в потенційно-конфліктних ситуаціях в застосуванням адаптивних тренажерів необхідно визначити відповідні кількісні показники діяльності, що відображають результати виконання контрольних вправ. Для визначення показників необхідно чітко уявляти змістовну сторону діяльності диспетчера повітряним рухом в потенційно-конфліктних ситуаціях та її порядок, тобто розробити модель.

Аналіз літературних джерел.

Питанню створення моделі дій диспетчера управління повітряним рухом для її застосування у ході проектування адаптивних тренажерів присвячувалося ряд наукових робіт як вітчизняних, так і закордонних авторів. Через розмаїтість та непередбачуваність

виникнення потенційно-конфліктних ситуацій досить складно формалізувати дії диспетчера, про що свідчить аналіз відповідних літературних джерел [1, 2, 3, 4]. В той же час, для опису діяльності диспетчера може бути використана алгоритмічна модель, яка дозволить наочно представити склад та порядок його дій для проведення досліджень. Для побудови алгоритму використовується принципи декомпозиції та агрегування, детально розглянутий в роботі [5].

Основна частина

Дослідження процесів управління повітряним рухом ведеться в основному по двох напрямках [6]:

- моделюванні процесів управління повітряним рухом в цілому, коли шляхом прийняття ряду допущень вдається використати принцип агрегування, тобто об'єднання якої-небудь групи елементів або процесів, функціональна доцільність яких однакова або близька один до одного, в один композиційний елемент або процес;
- моделювання окремих процесів, завдань, операцій і наступне комплексування, коли використовується принцип декомпозиції, тобто раціональне розчленовування структурних або функціональних одиниць і зв'язків між ними на ряд самостійних елементів структури або процесів.

Перший спосіб опису використовується для розкриття та відображення тільки загальних психологічних особливостей, всьому процесу управління повітряним рухом. Другий спосіб, до якого відноситься алгоритмічний метод опису, призначений для відображення окремих частин діяльності, з поданням їх операційної структури та розкриттям психологічного змісту окремих дій і операцій на необхідному рівні деталізації. Саме він використовується для опису дій оператора при рішенні окремих часткових завдань.

До методів опису діяльності диспетчера на рівні системи відносяться такі методи як метод опису переліку функцій, метод багатомірно-вагового опису та метод просторово-організаційного опису.

Метод опису переліку функцій, які виконує диспетчер в системі управління повітряним рухом, фактично зводиться до перерахування та опису функціональних обов'язків людини, їх зовнішніх проявів та пов'язаних з ними психологічних процесів.

Алгоритмічний метод відноситься до методів опису діяльності на рівні операцій, що засновані на послідовності переробки інформації та зв'язків, які існують між елементами та показниками діяльності [7]. Подібні описи призначаються звичайно для розкриття операційної структури окремих етапів діяльності оператора або окремих його завдань.

Для складання таких описів період діяльності або завдання диспетчера розділяються на кінцеву кількість елементів - простих дій або операцій і виявляються функціональні зв'язки, що існують між цими елементами. У таких описах основна увага приділяється не стільки самим окремим станам елементів, скільки переходам цих елементів з одного стану в інший та закономірностям таких переходів.

До методів опису діяльності оператора на рівні окремих операцій, крім того, відноситься метод діаграм оперативних етапів, метод операграм, метод граф-схем.

Серед проаналізованих методів алгоритмічний опис має найбільш широке практичне застосування. Одним з найбільш складних питань даного методу опису є встановлення міри дискретності, тобто рівня деталізації, на якому варто здійснювати даний аналіз. Ці дані визначаються на основ розгляду особливостей інформаційної моделі та розв'язуваного завдання, на основі оцінки властивих диспетчеру способів переробки інформації [4].

Поліергатичні системи управління, до яких відноситься система управління повітряним рухом, створюються для рішення кінцевої множини завдань і виконання ряду конкретних функцій. Ці функції можуть бути успішно виконані в тому випадку, якщо технологічні операції та вихідні характеристики системи, які реалізують дані функції будуть відповідати технічним вимогам, що накладається на систему та відповідними обмеженнями. Всі обмеження, що накладаються на людину-диспетчера повітряного руху, можна звести до категорії своєчасності та категорії точності. Будь-яке завдання, яке виконує людина на

практиці, є заданим в часі, тому як показник для оцінки дій диспетчера доцільно вибрати часові показники. Дані показники доступні для виміру та є інформативними. Фактор часу в діяльності людини-оператора виступає як один з основних критеріїв, що визначають його успішність.

Визначивши час початку виконання технологічних операцій диспетчера щодо і-го сценарію t_i відносно деякого початкового моменту часу t_0 , можна оцінити своєчасність їх виконання. Тому в якості часового показника для оцінки діяльності диспетчера управління повітряним рухом доцільно вибрати показники своєчасності, як часовий інтервал між моментом початку повідомлення екіпажа про виникнення потенційно-конфліктної ситуації до моменту початку реагування диспетчером

$$\Delta t_i = t_i - t_0 \quad (1)$$

Показник своєчасності (1) буде характеризувати можливості диспетчера як оператора системи, його фізичний стан, ступінь завантаженості, рівень підготовки до управління. Використання в моделі показників своєчасності виконання кожної технологи операції практично не представляється можливим через їх значну кількість, тому необхідно вибрати саме інформативні часові показники діяльності диспетчера при потенційно-конфліктній ситуації.

Для кожного і-го сценарію, застосовуючи алгоритмічний підхід до оцінки діяльності диспетчера, можна визначити та задати до програми адаптивного тренажеру часові показники виконання кожної j-ої операції: Δt_{ij}. Окрім показників своєчасності, оцінюючи діяльність диспетчера при виконанні вправ на тренажері, необхідно ввести показники точності виконання кожної операції. Диспетчер у своїй діяльності керується вимогами відповідних нормативно-технічних документів відповідно до сформованої повітряної обстановки, які накладають обмеження на його діяльність. У процесі діяльності диспетчер приймає інформацію, обробляє її й відповідним чином на неї реагує. При обробці інформації диспетчер може допустити порушення керівних документів, які проявляються на засобах реєстрації інформації й при її передачі адресатам. Порушення можуть допускатися як безпосередньо при виконанні типових операцій, так і бути наслідком порушень, допущених при виконанні їх. Для кожного і-го сценарію, застосовуючи алгоритмічний підхід до оцінки діяльності диспетчера, можна визначити та задати до програми адаптивного тренажеру точнісні показники виконання кожної j-ї операції: n_{ij} (кількість помилок при виконанні j-ої операції і-го сценарію).

Для побудови математичної моделі оцінки дій диспетчера управління повітряним рухом в потенційно-конфліктних ситуаціях за результатами тренажерних випробувань потрібно використовувати алгоритми аналізу даних, які опираються не на загальні моделі досліджуваного об'єкта, а на конкретні факти його поводження, зафіксовані в протоколах "вхід-вихід", або на "прецедентах". При цьому використовується гіпотеза про монотонність простору рішень, яку можна виразити так: "схожі вхідні ситуації приводять до схожих вихідних реакцій системи". З урахуванням того, що оцінка дій диспетчера приймає дискретні значення, для побудови математичних моделей оцінки діяльності доцільно застосувати методи розпізнавання образів. У результаті отримується розпізнавальна функція оцінки або модель прийняття рішення для оцінки по даним вимірів ряду кількісних показників діяльності диспетчера.

При цьому, для побудови розпізнавальної функції, проводиться експериментальне дослідження, у ході якого збирається навчальна вибірка.

Ця вибірка містить деяке число об'єктів, кожний з яких описаний набором показників. У результаті експерименту визначається клас кожного об'єкта навчальної вибірки. Навчальна вибірка використовується для побудови розпізнавальної функції.

Перед застосуванням методів розпізнавання образів для побудови математичної моделі

оцінки діяльності диспетчера в потенційно-конфліктній ситуації на основі отриманої навчальної вибірки результатів тренажерних випробувань диспетчерів, доцільно провести аналіз експериментальних даних і визначити інформативність показників.

Для аналізу експериментальних даних застосовуються методи багатомірного аналізу, такі як: кластерний і факторний аналізи.

Найбільш розповсюдженим показником, що характеризує компактність розміщення багатомірних спостережень у кластері, є дисперсія відстані від центра кластера до окремих його точок. Чим менше дисперсія цієї відстані, тим- ближче до центра кластера перебувають спостереження, тим більше щільність кластера. І навпаки, чим більше дисперсія відстані, тим більше розріджений даний кластер. На дисперсійному критерії заснований метод Варда [8], що побудований таким чином, щоб оптимізувати мінімальну дисперсію внутрикластерных відстаней. На першому кроці кожний кластер складається з одного об'єкта, у силу чого внутрикластерная дисперсія відстаней дорівнює нулю. Поєднуються при цьому методі ті об'єкти, які дають мінімальне збільшення дисперсії, внаслідок чого даний метод має тенденцію до породження гіперсферичних кластерів.

Для оцінки інформативності показників застосовується факторний аналіз та дві його моделі: модель головних компонентів та модель головних факторів [8].

Висновки. У зв'язку з багатомірністю завдання, дискретністю оцінок та відсутності необхідної апріорної інформації для побудови моделей оцінки дій диспетчера в особливих випадків доцільно застосувати методи розпізнавання образів, що використовують навчальну вибірку результатів тренажерних випробувань диспетчерів. Навчальна вибірка результатів тренажерних випробувань диспетчерів на основі показників оцінки дій надає можливість аналізу експериментальних даних для оцінки інформативності показників і проведення досліджень діяльності диспетчера із використанням методів багатомірного аналізу. Навчальна вибірка повинна постійно вдосконалюватися шляхом ітераційного її застосування в адаптивних тренажерах диспетчерів повітряного руху.

ЛІТЕРАТУРА

1. Лобарь С. Г. Совершенствование методов профессиональной подготовки членов экипажа воздушного судна к действиям в особых ситуациях полета: Автореф. дис. канд. техн. наук. - С-Пб., 2002. -23С.
2. Санников В. А. Использование статистических методов для оценки уровня квалификации диспетчеров управления воздушным движением // Научный вестник МГТУ ГА. 2010. №159. С.11-19.
3. Юрков Н.К. Особенности управления сложными системами на основе концептуальных моделей. Измерительная техника. 2004, № 4, с. 14-16.
4. Пилипёнок О. Н. Совершенствование процесса профессиональной подготовки диспетчера Tower путем внедрения интеллектуальной обучающей систем / О. Н. Пилипёнок // Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції «Управління високошвидкісними рухомими об'єктами і професійна підготовка операторів складних систем». – Кіровоград : 27-28 листопада 2013 р.
5. Кизько В.Г. Управление движением воздушных судов / В.Г. Кизько; Санкт-Петербург : Гос. служба гражд. авиации, Акад. гражд. авиации. 2003 – 253 с.
6. Основы теории управления воздушным движением : учеб. пособие / сост. В. А. Карнаухов. - Ульяновск : УВАУ ГА(И). 2010. - 78 с.
7. Юрков Н.К. Машинный интеллект и обучение человека: монография / Н.К. Юрков. – Пенза: ИИЦ ПензГУ, 2008г. – 226с.
8. Дайитбегов Д.М. Компьютерные технологии анализа данных в эконометрике. Монография. – М.: Инфра-М, 2013. – 594 с.

Сурков К.Ю., Суркова К.В., Кущ О.В., Войченко Т.А.

МОДЕЛЬ ДЕЙСТВИЙ ДИСПЕТЧЕРА УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ВИБОРКИ АДАПТИВНОГО ТРЕНАЖЕРА

В статье определено, что деятельность диспетчеров воздушного движения в особых случаях требует адекватной и полной оценки. Для совершенствования профессиональных навыков диспетчеров нужно использовать адаптивные тренажеры, способные подобрать программу обучения в соответствии с входных уровнем умений и знаний обучаемого. При этом возникает актуальная задача формирования обучающей выборки, которая будет заложена в тренажер. В статье предложено использовать алгоритмический метод описания деятельности диспетчера, позволяющий для каждого сценария (обучающей выборки) определить и задать программе адаптивного тренажера временные показатели выполнения каждой операции. Кроме показателей своевременности, оценивая деятельность диспетчера при выполнении упражнений на тренажере, необходимо ввести показатели точности выполнения каждой операции. Для построения математической модели оценки действий диспетчера управления воздушным движением в потенциально конфликтных ситуациях по результатам тренажерных испытаний используются алгоритмы анализа данных, которые опираются не на общие модели изучаемого объекта, а на конкретные факты его поведения, зафиксированные в протоколах "вход-выход" или на "прецедентах". С учетом того, что оценка действий диспетчера принимает дискретные значения, для построения математических моделей оценки деятельности целесообразно применить методы распознавания образов. В результате получается распознающая функция оценки или модель принятия решения для оценки по данным измерений ряда количественных показателей деятельности диспетчера.

Ключевые слова: *адаптивная тренажерная подготовка, диспетчер воздушного движения, обучающая выборка, модель действий, распознавание образов.*

Surkov K.Yu., Surkova K.V., Kusch O.V., Voichenko T.A.

MODEL OF ACTIONS OF THE MANAGEMENT CONTROLLER OF THE AIR MOVEMENT FOR THE FORMATION OF THE EDUCATIONAL SAMPLE OF THE ADAPTIVE SIMULATOR

The article defines that the activity of air traffic controllers in special cases requires an adequate and complete assessment. To improve the professional skills of dispatchers, it is necessary to use adaptive simulators capable of selecting a training program in accordance with the input level of the skills and knowledge of the student. In this case, the actual task of forming a training set, which will be incorporated in the simulator, arises. The article proposed to use an algorithmic method for describing the dispatcher's activity, which allows for each scenario (training sample) to determine and set the adaptive simulator program temporary performance indicators for each operation. In addition to indicators of timeliness, evaluating the activities of the dispatcher when performing exercises on the simulator, it is necessary to enter indicators of the accuracy of each operation. To build a mathematical model for evaluating the actions of the air traffic controller in potentially conflict situations based on the results of simulator tests, data analysis algorithms are used, which rely not on general models of the object being studied, but on specific facts of its behavior recorded in the input-output protocols or on precedents. Taking into account the fact that the evaluation of the dispatcher's actions takes discrete values, it is advisable to apply pattern recognition methods to construct mathematical models for evaluating activities. The result is a discriminating evaluation function or a decision-making model for evaluating a number of quantitative indicators of the dispatcher's activity from the measurements.

Keywords*: adaptive simulator training, air traffic controller, training sample, model of actions, pattern recognition.*

УДК 681.324:623.618 *DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.27*

Онипченко П.М., Павленко М.А., Кучерук Г.Ю., Кукалець Л.М.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ СКЛАДАННЯ ПЛАНОВОЇ ТАБЛИЦІ ПОЛЬОТІВ ДЛЯ ВДОСКОНАЛЕННЯ ПІДГОТОВКИ ЛЬОТНОГО СКЛАДУ

В статті розглянуто існуючі методи вирішення задачі автоматизації складання планової таблиці польотів льотного складу. На основі зробленого розгляду обґрунтовано вибір найбільш ефективного методу (алгоритму) вирішення задачі автоматизації процесу складання планової таблиці польотів для вдосконалення процесу підготовки льотного складу державної авіації. Доведено, що планова таблиця польотів, яка є результатом завершального етапу процесу планування польотів, повинна комплексно поєднувати всі аспекти підготовки льотного складу з урахуванням кадрового, методичного, інформаційного, матеріально-технічного, фінансового забезпечення тощо. Стверджується, що в умовах невизначеності для складання планової таблиці польотів льотного складу доцільним є застосування генетичного алгоритму, що характеризується стійкістю до потрапляння у локальні оптимуми поверхні можливих рішень і гарантує отримання деякого варіанту рішення за кінцевий час.

Ключові слова: *процес підготовки, планова таблиця польотів, імітаційне моделювання, мережеві методи, евристичний підхід, метод імітації відпалу, генетичний алгоритм, графічний метод.*

Постановка проблеми. Якісна організація льотної підготовки льотного складу державної авіації може бути досягнута лише при чіткому плануванні польотів. Одним з найбільш відповідальних, трудомістких і складних завдань даного процесу є складання різноманітних планових таблиць польотів. Відповідальність завдання складання планових таблиць польотів визначається безпосереднім впливом результатів його реалізації на якість та ефективність льотної підготовки.

На даний час, трудомісткість та великий обсяг завдання складання планових таблиць польотів зумовлені участю багатьох представників різних ланок управління, планування і забезпечення процесу планування при підготовці, обробці і використанні великої кількості різноманітної інформації та матеріального забезпечення цього процесу. Підвищення ефективності виконання вказаних задач вимагає автоматизації процесу складання планових таблиць польотів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз існуючих методів рішення задачі складання різноманітних розкладів показує, що вирішення задач теорії розкладів представляє відому трудність. За змістом ці задачі відносяться до класу комбінаторних, для яких суттєве значення має розмірність. Як правило, розмірність задач складання оптимальних розкладів настільки велика, що розв’язати їх простим перебором варіантів не представляється можливим.

Часто задачі складання розкладів зводяться до задач цілочисельного лінійного програмування (в тому числі багатоіндексного), для вирішення яких використовуються методи відсікання або гілок і меж. Традиційними методами дослідження операцій для задач планування є комбінаторні процедури, імітаційне моделювання, мережеві методи й евристичні підходи [1 – 3].

В [2, 3] наведено огляд таких методів, як метод імітації відпалу, алгоритм розкраски графа, імітаційне моделювання, логічне програмування в обмеженнях, генетичні алгоритми, лінійне цілочисельне програмування. В [4] наведено докладний опис методів розв’язання

задач дискретної оптимізації, а саме: евристичних та метаевристичних алгоритмів, методу динамічного програмування, графічного методу та деяких інших.

Мета статті. Аналіз існуючих методів вирішення задачі автоматизації складання планової таблиці польотів та обґрунтований вибір найбільш ефективного методу (алгоритму) вирішення задачі автоматизації складання планової таблиці для процесу підготовки льотного складу державної авіації.

Викладення основного матеріалу. Розглянемо основні методи вирішення задач складання різноманітних розкладів.

Цілочисельне математичне програмування. Задача складання розкладу може бути представлена як задача цілочисельного математичного програмування. При даному підході пропозиції від суб'єктів навчального процесу враховуються у вигляді обмежень або визначених критеріїв оптимальності.

Один з варіантів математичної моделі задачі складання розкладу наведено у [3]. Дана модель значно спрощена за рахунок зменшення кількості видів занять і відсутності аудиторного фонду.

Метод гілок та меж. Метод гілок та меж є загальним алгоритмічним методом вирішення оптимізаційних задач. Він широко застосовується для таких NP-повних задач, як задача комівояжера та задача о ранці. Даний метод є варіацією повного перебору при якій відкидаються підмножини допустимих рішень, що не містять оптимальних значень цільової функції.

В методі гілок та меж використовуються дві процедури: розгалуження та знаходження оцінок (меж).

За допомогою процедури розгалуження множина допустимих рішень на кожному етапі розділяється на підмножини меншої розмірності. Ці множини стають вузлами дерева пошуку.

Процедура знаходження оцінок (меж) визначає верхні та нижні межі оптимального значення на підмножинах допустимих рішень. Якщо для знайденого вузла дерева пошуку верхня межа співпадає з нижньою, то це значення цільової функції є оптимальним і досягається на відповідній підмножині допустимих рішень.

Метод імітації відпалу. Алгоритми імітації відпалу [5] – загальний алгоритмічний метод розв'язання задачі глобальної оптимізації; є одним із прикладів методів Монте-Карло. У процесі пошуку оптимального рішення з деякою ймовірністю допускається перехід у стан із більш високим значенням цільової функції. Ця властивість дозволяє виходити з локальних оптимумів. На початку роботи алгоритму ймовірність переходу в стан із більш високим значенням цільової функції повинна бути досить велика, щоб була можливість переходу від обраного початкового наближення до будь-якого іншого розв'язку. У процесі роботи алгоритму ймовірність переходу поступово зменшується.

Генетичні алгоритми. Генетичні алгоритми (ГА) [6] дозволяють вирішувати широке коло складних задач багатокритеріальної оптимізації шляхом випадкового підбору, комбінування та зміни параметрів моделювання способами, що подібні до біологічної еволюції (наслідування, мутація, відбір). Застосовують ці алгоритми й для рішення задач на графах.

Генетичні алгоритми оперують сукупністю особин (популяцією), які кодують одно з можливих рішень задачі. Цим генетичний алгоритм відрізняється від більшості інших алгоритмів оптимізації, які оперують лише з одним рішенням, покращуючи його.

Існує багато модифікацій генетичних алгоритмів. Але всім їм властива універсальність. Тобто від задачі, яку необхідно розв'язати, залежить визначення функції пристосованості й спосіб кодування рішень. Решта же етапів генетичних алгоритмів виконується однаково для будь-яких задач.

Мурашиний алгоритм. Мурашиний алгоритм [7] (ant colony optimization, ACO) – один з ефективних поліноміальних алгоритмів для знаходження наближених рішень задачі комівояжера, а також аналогічних завдань пошуку маршрутів на графах. Суть підходу полягає в використанні моделі поведінки мурах, що шукають шляхи від колонії до джерела живлення.

Спорідненими з мурашиними алгоритмами є методи колективного (ройового) інтелекту,

які описують комплексну колективну поведінку децентралізованої системи, що самоорганізується. Ці методи розглядаються в теорії штучного інтелекту як метод оптимізації.

Задача складання оптимального розкладу може бути вирішена за допомогою *теорії графів*, зокрема модифікацією (шляхом врахування додаткових обмежень при пошуку максимального паросполучення) «класичної» задачі про паросполучення, варіанти розв'язання якої в різних постановках наведено в [4, 8].

З огляду на те, що при складанні планових таблиць польотів необхідно враховувати велику кількість обмежень, зумовлених об'єктивними та суб'єктивними факторами процесу підготовки льотного складу, подібні задачі мають безліч допустимих рішень, які в тій чи іншій мірі задовольняють деякому критерію ефективності. Отримання оптимального розв'язку є найважливішим аспектом процесу складання розкладів. Велика розмірність задачі та її багатопараметричність обумовлюють нелінійну залежність ефективності отриманого рішення, що не дає можливості вибору способу подальшої оптимізації з метою знаходження глобального оптимуму. При цьому основні труднощі застосування класичних методів оптимізації нелінійних функцій пов'язані з проблемами локального екстремуму.

Загальним недоліком *класичних методів* є те, що вони засновані на ітераційній процедурі пошуку або поліпшення деякого початкового наближення. Це означає, що отриманий результат безпосередньо залежить від деякого початкового наближення і природно виникає проблема вибору його значення.

Застосування *методу цілочисельного математичного програмування*, навіть для задач відносно малої розмірності, вимагає значних витрат часу. При дотриманні основних вимог до розкладу, математична модель повинна включати тисячі обмежень і десятки тисяч змінних. Тому не лише цілочисельна, а й проста задача лінійного програмування подібної розмірності не має перспектив на оптимізацію точними методами. Цей факт цілком пояснює, чому при зіставленні розкладу занять на практиці користуються зазвичай *евристичними методами* [8].

Головний недолік *методу гілок і меж* полягає у відсутності ознаки оптимальності і, як наслідок, в необхідності повністю вирішувати задачі лінійного програмування, асоційовані з кожною вершиною багатогранника допустимих рішень. Оптимальне рішення може бути отримано задовго до зупинки алгоритму, але виявити це в загальному випадку не можна, оскільки оптимальність встановлюється лише після вичерпання списку завдань. Для задач великої розмірності це вимагає значних і, певною мірою, невиправданих з практичної точки зору витрат часу. Крім того, для конкретних типів задач проблематичним може бути отримання оцінок для здійснення процедури розгалуження.

В основі *наближених методів*, як правило, лежить використання різного роду евристик або евристичних алгоритмів. Формування розкладів за допомогою деяких правил (евристик) дозволяє прискорити пошук "найкращого" розкладу, але використання таких алгоритмів в більшості випадків гарантує знаходження лише наближеного рішення (досягнення локального екстремуму). Також актуальною є проблема оцінки близькості знайденого рішення до оптимального.

Для багатьох NP-важких задач найкращі рішення були отримані *алгоритмами імітації відпалу* [5]. Однак їх недоліком є висока обчислювальна складність. Це зумовлено тим, що для отримання необхідного рішення потрібно досить повільне зниження ймовірності переходу в стан із більш високим значенням цільової функції, яке призводить до великої кількості ітерацій алгоритму. Алгоритми імітації відпалу можуть застосовуватися для побудови розкладів виконання прикладних програм на всіх стадіях проектування обчислювальних систем реального часу. Однак для практичного застосування методів відпалу актуальною залишається задача зменшення обчислювальної складності алгоритмів.

Генетичні алгоритми можуть бути використані для широкого класу задач, у тому числі великої розмірності, й характеризуються стійкістю до потрапляння у локальні оптимуми поверхні можливих рішень. Ще однією важливою особливістю ГА є те, що вони можуть бути використані в задачах зі змінним середовищем. Проблематично використовувати ГА у випадках:

- коли необхідно знайти точний глобальний оптимум;

- час виконання функції оцінки великий;
- необхідно знайти всі рішення задачі, а не одне з них;
- кодування рішення надто складне.

Мурашині алгоритми гарантують знаходження розв'язку задачі, але час його отримання визначити неможливо. На відміну від ГА, при наступній ітерації використовується пам'ять всієї колонії, а не лише попереднього покоління. Зазвичай потребують застосування додаткових методів, таких як локальний пошук тощо. Для кожного конкретного типу задач потребують визначення параметрів моделювання, які можуть бути отримані лише експериментально [7].

Застосування *методів теорії графів* для розв'язку задачі складання планових таблиць польотів, має експоненціальну складність і для відносно великої розмірності в умовах наявних, часто суперечливих, обмежень не є доцільним.

Висновки. Планова таблиця польотів, яка є результатом завершального етапу процесу планування польотів, повинна комплексно поєднувати всі аспекти підготовки льотного складу з урахуванням кадрового, методичного, інформаційного, матеріально-технічного, фінансового забезпечення тощо.

Задача складання планової таблиці польотів є NP-важкою, тобто такою, для якої невідомий алгоритм її розв'язку за поліноміальний час в залежності від розмірності. Для розв'язання подібних задач великої розмірності застосовують наближені методи. В умовах невизначеності для задачі складання планової таблиці польотів льотного складу доцільним є застосування саме генетичного алгоритму, що характеризується стійкістю до потрапляння у локальні оптимуми поверхні можливих рішень і гарантує отримання деякого варіанту рішення за кінцевий час.

З урахуванням специфіці процесу підготовки льотного складу державної авіації необхідно розробити спеціалізовану автоматизовану систему конструювання планової таблиці польотів. При цьому необхідно врахувати переваги й недоліки проаналізованих систем.

ЛІТЕРАТУРА

1. Семенюта И.С. Исследование эффективности системы составления расписаний методами теории массового обслуживания // Автоматизация и современные технологии. – Москва: Машиностроение, 2011. – № 10. – С. 45-49.
2. Обзор существующих методов составления расписаний / А.Н. Безгинов, С.Ю. Трегубов // Информационные технологии и программирование: Межвузовский сборник статей. – М.: МГИУ, 2005. – Вып. 2 (14). – С. 5-18.
3. Томашевський В.М., Новіков Ю.Л., Камінська П.А. Складання розкладів занять у дистанційних системах навчання Вісник НТУУ «КПІ» Інформатика, управління та обчислювальна техніка: Зб. наук. пр. – К.: Век+, 2010. – №52. – С. 118-130.
4. Лазарев А.А, Гафаров Е.Р. Теория расписаний. Задачи и алгоритмы: Уч. пособ. – М.: МГУ, 2011. – 222 с.
5. Калашников А.В., Костенко В.А. Параллельный алгоритм имитации отжига для построения многопроцессорных расписаний// Известия РАН. Теория и системы управления. - 2008. - № 3. - С.101-110.
6. Гладков, Л.А. Генетические алгоритмы / Л.А. Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик / Под ред. В.М. Курейчика. - 2-е изд., испр. и доп. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. - 320 с.
7. Штовба С.Д. Муравьиные алгоритмы. Exponenta Pro / С.Д. Штовба // Математика в приложениях. – 2003. - №4. - С. 70-75.
8. Логоша Б.А., Петропавловская А.В. Комплекс моделей и методов оптимизации расписания занятий в вузе // Экономика и математические методы. - 1993. - Т. 29. – № 4. – С. 27-34.

Onipchenko P., Pavlenko M., Kucheruk G.Yu., Kukales L.M.

AUTOMATIZATION OF THE PROCESS OF THE COMPOSITION OF THE PLANNER TABLE FOR TRAINING IMPROVEMENT OF THE LITTLE WAREHOUSE

The article considers the existing methods for solving the automation problem of scheduling flight flight table compilation. On the basis of this review, the choice of the most effective method (algorithm) for solving the automation problem of the flight plan planning process is substantiated in order to improve the training process of the aircraft composition of the aircraft of the state aviation. It has been proven that the flight schedule table, which is the result of the final stage of the flight planning process, should integrate all aspects of flight crew training, taking into account personnel, methodological, informational, logistical, financial support. It is argued that in the face of uncertainty, it is advisable to use a genetic algorithm that is resistant to getting into the local optima of the surface of possible solutions and guaranteeing a possible solution for a finite time to compile a planned flight table for flight personnel.

Keywords: *preparation process, flight schedule table, simulation modeling, network methods, heuristic approach, annealing simulation method, genetic algorithm, graphic method.*

Онипченко П.М., Павленко М.А., Кучерук Г.Ю., Кукалець Л.М.

АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА СОСТАВЛЕНИЯ ПЛАНОВОЙ ТАБЛИЦЫ ПОЛЕТОВ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПОДГОТОВКИ ЛЕТНОГО СОСТАВА

В статье рассмотрены существующие методы решения задачи автоматизации процесса составления плановой таблицы полетов летного состава. На основе сделанного рассмотрения обоснован выбор наиболее эффективного метода (алгоритма) решения задачи автоматизации процесса составления плановой таблицы полетов для совершенствования процесса подготовки летного состава государственной авиации. Доказано, что плановая таблица полетов, являющаяся результатом завершающего этапа процесса планирования полетов, должна комплексно объединять все аспекты подготовки летного состава с учетом кадрового, методического, информационного, материально-технического, финансового обеспечения. Утверждается, что в условиях неопределенности для составления плановой таблицы полетов летного состава целесообразно применение генетического алгоритма, характеризующегося стойкостью к попаданию в локальные оптимумы поверхности возможных решений и гарантирующего получение варианта решения за конечное время.

Ключевые слова: *процесс подготовки, плановая таблица полетов, имитационное моделирование, сетевые методы, эвристический подход, метод имитации отжига, генетический алгоритм, графический метод.*

УДК 621.384 *DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.28*

Гришманов Є.О., Захарченко І.В., Кудюкін П.В., Бєлоброва Т.А.

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ФОРМУВАННЯ НАВЧАЛЬНОЇ ВИБІРКИ ДЛЯ ГІБРИДНОЇ НЕЙРОННОЇ МЕРЕЖІ ПРОГНОЗУВАННЯ НЕСПРИЯТЛИВИХ АВІАЦІЙНИХ ПОДІЙ

В роботі розроблено метод формування навчальної вибірки для навчання глибокої гібридної нейронної мережі прогнозуванню несприятливих авіаційних подій в польоті. Формально задача формування навчальної вибірки для навчання глибокої нейронної мережі представлена наступним чином: необхідно побудувати таку модель текстових повідомлень, яка б описувала певний клас авіаційної події і могла розглядатися у вигляді структури даних для подачі на вхід глибокої гібридної нейронної мережі. В якості базового математичного апарату для побудови словника уніграмм (біграмм) використовується міра TF-ICF, а в якості моделі векторного представлення слів (словосполучень) - модель CBOW. Реалізація запропонованого методу дозволить: сформувати алфавіт класів несприятливих авіаційних подій в польоті і побудувати розмічений набір даних, визначити мінімальний обсяг репрезентативної навчальної вибірки, побудувати словники текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті з використанням міри значущості слів (словосполучень); побудувати векторну модель текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті по розміченому набору даних з використанням моделі векторного уявлення слів (словосполучень) CBOW.

Ключові слова: *безпека польотів, прогнозування, глибока гібридна нейронна мережа, векторна модель текстових повідомлень, навчальна вибірка, CBOW, TF-ICF.*

Вступ

Постановка проблеми

Проблема забезпечення безпеки польотів є однією з найгостріших проблем авіації. Незважаючи на стрімкий науково-технічний прогрес, що спостерігається в даній області, кількість авіаційних подій не показує тенденції до зменшення, про що свідчать звіти щодо стану безпеки польотів цивільної авіації за 2016-2018 роки [1-2]. На рівень безпеки польотів впливає ряд факторів, таких як: технічний стан літального апарату, підготовка екіпажу, технічний рівень систем, якими оснащений літальний апарат, система управління повітряним транспортом тощо.

Методи управління безпекою польотів, що застосовуються на даний час зосереджені більше на визначення небезпечних тенденцій щодо технічного стану літальних апаратів і техніки пілотування льотного складу, а також на профілактичну роботу з авіаційними подіями, які вже мали місце. В той же час прогностичні методи забезпечення безпеки польотів розвинуті недостатньо [3].

Підвищення якості систем управління повітряним транспортом можливо здійснювати за рахунок впровадження автоматизованих систем прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті, що дозволить своєчасно приймати рішення щодо їх попередження.

На даний час існує декілька підходів при розробці методів прогнозування авіаційних подій. Один з ефективних інструментів - це застосування глибоких гібридних нейронних мереж, які завдяки алгоритмам глибокого навчання дозволяють забезпечити високу якість та ефективність методів прогнозування [4-5]. При використанні гібридних нейронних мереж для розробки методу прогнозування авіаційних подій необхідно виконати два етапи. Перший етап - сформувати навчальну вибірку для навчання глибокої гібридної нейронної мережі прогнозуванню несприятливих авіаційних подій в польоті, другий – безпосередньо процес навчання гібридної нейронної мережі. Перший етап має визначне значення для забезпечення якісного навчання гібридної нейронної мережі.

Мета статті. Розробка методу формування навчальної вибірки для навчання глибокої гібридної нейронної мережі прогнозуванню несприятливих авіаційних подій в польоті

Основний матеріал

Задача формування навчальної вибірки для навчання глибокої нейронної мережі прогнозуванню несприятливих авіаційних подій в польоті формулюється наступним чином. Необхідно побудувати таку модель текстових повідомлень, яка б описувала певний клас авіаційної події і могла розглядатися у вигляді структури даних для подачі на вхід глибокої гібридної нейронної мережі.

При створенні методу формування навчальної вибірки для навчання глибокої нейронної мережі в роботі було прийнято ряд обмежень та допущень. Будемо вважати, що:

- питання збору, обробки та формування текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті є вирішеними;
- в якості текстових повідомлень в роботі розглядається як неструктурований, так і структурований набір даних у вигляді коротких речень (загальний розмір текстового повідомлення до 1000 слів) з великою кількістю навчальних прикладів;
- перед побудовою векторної моделі текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті створюються два словника: словник використання окремих слів (уніграмм) і словник використання комбінації (словосполучення) двох слів (біграмм);
- формування навчальної вибірки для навчання глибокої гібридної нейронної мережі прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті розглядається в рамках виконання задачі N-арної класифікації (за кількістю класів несприятливих авіаційних подій в польоті);
- для побудови словника уніграмм (біграмм) в якості базового математичного апарату використовується міра TF-ICF[6], а в якості моделі векторного представлення слів (словосполучень) – модель CBOW[7].

Безпосередньо метод включає наступні основні процедури:

1) процедуру визначення алфавіту класів несприятливих авіаційних подій в польоті і побудову розміченого набору даних (текстових повідомлень про несприятливі авіаційних події в польоті);
2) визначення мінімального обсягу репрезентативної навчальної вибірки у вигляді текстових повідомлень про несприятливі авіаційних події в польоті;
3) процедуру побудови словників текстових повідомлень про несприятливі авіаційних події в польоті з використанням міри значущості слів (словосполучень);
4) процедуру побудови векторної моделі текстових повідомлень про несприятливі авіаційних події в польоті по розміченому набору даних (з урахуванням попередньої обробки і побудови словників уніграмм і біграмм) з використанням моделі векторного уявлення слів (словосполучень).

Розглянемо більш детально кожну з вищевикладених процедур.

1. Процедура визначення алфавіту класів несприятливих авіаційних подій.

У загальному випадку авіаційні події поділяють на три класи [2]:

1) авіаційні події (АП);
2) авіаційні інциденти;
3) виробничі події.

Кожен клас авіаційних подій в свою чергу може поділятися на підкласи. У даній статті розглянемо шість підкласів (надалі класів) несприятливих авіаційних подій:

1) катастрофи – АП з людськими жертвами;
2) аварії – АП без людських жертв;
3) авіаційні інциденти;
4) серйозні авіаційні інциденти;
5) пошкодження повітряного судна (ПВС);
6) надзвичайні подія (ПП).

Серед класів несприятливих авіаційних подій перші чотири (катастрофи, аварії, інциденти і серйозні інциденти) відбуваються тільки в польоті, при цьому час польоту визначається з моменту, коли будь-яка особа прибула на борт з наміром здійснити політ і до моменту, коли всі особи, знаходилися на борту з метою здійснення польоту, покинули повітряне судно. Пошкодження повітряного судна відбуваються тільки поза польотної ситуації, а ПП можуть бути як в польоті, так і поза ним.

Надалі в роботі розглядаються тільки класи несприятливих авіаційних подій в польоті.

В якості вихідної інформації для побудови розміченого набору даних про несприятливі авіаційних події в польоті можуть використовуватися як офіційні джерела, наприклад, звіти про стан безпеки польотів у цивільній авіації держав-учасниць Угоди про цивільну авіацію [1-2], ІКАО тощо, або неофіційні джерела, які відстежують авіаційні події, наприклад, Aviation Safety Network (ASN).

Особливістю розглянутих джерел є те, що вони являють собою результати розслідування авіаційних подій та інцидентів. При цьому, в залежності від наслідків ситуації, що розслідуються вже класифіковані по підкласах авіаційних подій та інцидентів, отже являють собою вже розмічені вихідні дані (текстові повідомлення).

Як базове джерело для отримання інформації для побудови словника і векторної моделі текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в роботі будуть використовуватися звіти про стан безпеки польотів у цивільній авіації держав-учасниць Угоди про цивільну авіацію [1-2].

2. Процедура визначення мінімального обсягу репрезентативної навчальної вибірки у вигляді текстових повідомлень про несприятливі авіаційних події в польоті.

Навчальна вибірка повинна бути репрезентативною і забезпечувати всю сукупність ознак, за якими буде здійснюватися класифікація текстових повідомлень про несприятливі авіаційних події в польоті. З статистичної точки зору під репрезентативністю вибірки розуміється відповідність характеристик вибірки характеристикам генеральної сукупності в цілому [8]. Під репрезентативністю навчальної вибірки для навчання глибокої нейронної мережі розуміється наявність достатньої кількості різних навчальних прикладів (прецедентів), які описують правила, закономірності та ознаки, за якими здійснюється класифікація текстових повідомлень.

Будемо вважати, що вибірка для навчання гібридної нейронної мережі вважається репрезентативною, якщо виконуються умови достатності, різноманітності, рівномірності [8].

Під достатністю вибірки розуміється така кількість навчальних прикладів текстових повідомлень, яка повинна перевищувати кількість вагових коефіцієнтів гібридної нейромережевої моделі, які змінюють своє значення в процесі навчання [8].

Під різноманітністю вибірки розуміється наявність значної кількості різних комбінацій вхід-вихід в навчальних прикладах. Якщо всі приклади для навчання гібридної нейромережевої моделі в початковій вибірці однакові, то придбання узагальнюючої властивості гібридної нейромережевої моделі не буде досягнуто. Це призведе до помилок класифікації нових текстових повідомлень [8].

Під рівномірністю розуміється рівномірний розподіл кількості навчальних прикладів текстових повідомлень по класах несприятливих авіаційних подій в польоті. Якщо частота появи текстових повідомлень всіх класів в процесі функціонування гібридної нейромережевої моделі однакова, то кількість навчальних прикладів текстових повідомлень повинна бути також однаковою для всіх класів несприятливих авіаційних подій [8].

Дотримання умови рівномірності дозволяє застосувати міру Вапніка-Червоненкіса для оцінки достатньої кількості навчальних прикладів [9]. Так, достатня кількість навчальних прикладів для навчання ЗНМ виявлення і класифікації обчислюється за формулою:

$$V_{\min} \geq \frac{\ln N_{RNN} - \ln \mu}{2\varepsilon^2}, \tag{1}$$

де $V_{\min}$ – мінімальний об'єм репрезентативної навчальної вибірки у вигляді текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті;

N_{RNN} – кількість вагових коефіцієнтів, які навчаються, гібридної нейромережевої моделі для прогнозування несприятливих авіаційних подій в польоті;

μ – надійність правильного навчання гібридної нейромережевої моделі;

ε – точність функціонування гібридної нейромережевої моделі.

Будемо вважати, що $\mu = 1$ і $\varepsilon = 0,5$, тоді мінімальний обсяг репрезентативної навчальної вибірки у вигляді текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті для кожного класу подій складе $V_{\min} \geq 312$ текстових повідомлень для навчання.

3. Процедура побудови словників текстових повідомлень про несприятливі авіаційних події в польоті з використанням міри значущості слів (словосполучень) TF-ICF.

Дана процедура включає виконання таких основних операцій:

1) видалення з навчальної вибірки малоінформативних текстових повідомлень про несприятливі авіаційних події в польоті (менше 10 слів у текстовому повідомленні);

2) мінімізація «шуму» в текстових повідомленнях, тобто виключення з текстових повідомлень стоп-слів (знаків, символів, які самостійно не несуть ніякого змістовного навантаження) і перетворення слів, що залишилися до нижнього регістру;

3) виконання частотного аналізу для кожного слова з навчальної вибірки по кожному класу текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події, формування загальної статистичної інформації;

4) формування списків уніграмм і біграмм оціночних слів і словосполучень з визначенням їх ваги згідно міри TF- ICF відповідно до виразу (2) і подальшим ранжуванням по спадаючій щодо значення ваги кожного слова:

$$V_{TF-ICF} : TF \times \left(1 + \frac{|C|}{cf(t_i)}\right), \tag{2}$$

де C – кількість класів в даній предметній області;

$cf(t_i)$ – кількість класів, в яких зустрічається зважуване слово.

5) згідно з узагальненим законом Бретфорда ранжовані списки уніграмм та біграмм ключових оціночних слів поділяються на чотири множини [8]:

- множина службових слів $p_1^{u(b)}$;

- множина загально вживаних слів $p_2^{u(b)}$;

- множина слів тематичної лексики $p_3^{u(b)}$;

- множина рідко вживаних спеціальних слів $p_4^{u(b)}$.

При цьому, згідно з узагальненим законом Бретфорда, контролюється виконання такого співвідношення:

$$\frac{p_2^{u(b)}}{p_1^{u(b)}} = \frac{p_3^{u(b)}}{p_2^{u(b)}} = \frac{p_4^{u(b)}}{p_3^{u(b)}}; \tag{3}$$

6) формування словника текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті на основі множин уніграмм для кожної несприятливої авіаційної події

$$S_{K_s^i} = p_1^{ui} \cup p_2^{ui} \cup p_3^{ui} \tag{4}$$

за умови, що ці слова з об'єднання підмножин не входять до множин біграмм $p_4^{u(b)}$. При цьому слова з множин $p_1^{u(b)}$ та $p_2^{u(b)}$ забезпечують можливість використання так званих тематичних слів при використанні моделей Word2Vec, а слова з множини $p_3^{u(b)}$ – цільових слів;

7) лематизацію або нормалізацію слів словника текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті, тобто приведення словоформ до леми (нормальної (словникової) форми);

8) формування єдиного словника текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події

$$S_{K_s^{all}} = \sum_{i=1}^{6} S_{K_s^i}. \tag{5}$$

Далі, в таблицях 1-5 наводяться приклади ключових оціночних слів з відповідними вагами згідно міри TF- ICF для текстових повідомлень про авіаційні аварії та катастрофи за результатами обробки звітів про стан безпеки польотів у цивільній авіації держав-учасниць Угоди про цивільну авіацію.

Для даних прикладів використовувався звіт про стан безпеки польотів у цивільній авіації держав-учасниць Угоди про цивільну авіацію та про використання повітряного простору в першому півріччі 2018 р.

В даному звіті розглядаються два класи авіаційних подій: катастрофа (11 текстових повідомлень обсягом від 14 до 810 слів; аварія (11 текстових повідомлень обсягом від 17 до 680 слів).

Таблиця 1

Приклад формування оціночних слів (уніграмм) з відповідними вагами для текстових повідомлень про аварії

№	Слово в текстовому повідомленні про аварії	Вага слова в повідомленні про аварії	Частота слова в повідомленні про аварії
1	квс	0,67	37 (2,25)
2	вертоліт	0,66	23 (1,40)
3	посадка	0,61	21 (1,28)
4	пасажир	0,36	20 (1,22)
5	виконання	0,55	19 (1,16)
	……		
554	приватний	0,028	1 (0,06)
555	риска	0,028	1 (0,06)
556	крок	0,028	1 (0,06)
557	експлуатант	0,028	1 (0,06)
558	з’явитися	0,028	1 (0,06)

Таблиця 2

Приклад формування оціночних слів (уніграмм) з відповідними вагами для текстових повідомлень про катастрофи

№	Слово в текстовому повідомленні про катастрофи	Вага слова в повідомленні про катастрофи	Частота слова в повідомленні про катастрофи
1	екіпаж	0,49	47 (1,66)
2	польот	0,73	44 (1,55)
3	квс	0,37	35 (1,24)
4	виконання	0,47	28 (0,99)
5	зліт	0,38	23 (0,81)
	……		
815	число	0,019	1 (0,04)
816	штурманський	0,019	1 (0,04)
817	експлуатація	0,019	1 (0,04)
818	електропередача	0,019	1 (0,04)
819	з’явитися	0,019	1 (0,04)

Таблиця 3

Приклад формування словосполучень (біграмм) з відповідними вагами для текстових повідомлень про аварії

№	Словосполучення в текстовому повідомленні про аварії	Вага словосполучення в повідомленні про аварії	Частота словосполучень в повідомленні про аварії
1	борту знаходились	0,26	9 (0,55)
2	пілот пасажири	0,14	8 (0,49)
3	значні пошкодження	0,18	6 (0,37)
	…..		
169	частини фузеляжа	0,057	2 (0,12)
170	невупущенним шассі	0,057	2 (0,12)
171	екіпажа пасажира	0,072	2 (0,12)

Таблиця 4

Приклад формування словосполучень (біграмм) з відповідними вагами для текстових повідомлень про катастрофи

№	Словосполучення в текстовому повідомленні про катастрофи	Вага словосполучення в повідомленні про катастрофи	Частота словосполучень в повідомленні про катастрофи
1	виконання польоту	0,15	9 (0,32)
2	мапи контрольних	0,13	8 (0,28)
3	контрольних перевірок	0,13	8 (0,28)
	…..		
253	умови польоту	0,057	2 (0,07)
254	екипажа пасажира	0,057	2 (0,07)
255	елементів техніки	0,057	2 (0,07)

Таблиця 5

Приклад формування загальної статистичної інформації для текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті

№	Статистична ознака	Кількість слів про аварії	Кількість слів про катастрофи
1	Кількість слів	1643	2833
2	Кількість унікальних слів	558	819
3	Кількість значущих слів	613	1065
4	Кількість стоп-слів	521	892

Використання вагових значень слова в словнику замість частоти їх зустрічі дозволяє акцентувати увагу при використанні словника на словах, унікальних для конкретного класу несприятливих авіаційних подій в польоті.

4. Процедура побудови векторної моделі текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті по розміченому набору даних на основі моделі CBOW.

Процедура побудови векторної моделі текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті по розміченому набору даних включає виконання таких основних операцій:

1) кодування слів зі словника $S_{K_S^{all}}$.

Існують декілька підходів до кодування слів словника, зокрема, унітарне кодування (one-hot encoding) і кодування з використанням бінарного дерева Хаффмана [10]. Основна перевага дерева Хаффмана полягає в значному зниженні обчислювальної та часової складності алгоритму. На рис. 1 наведений приклад побудови бінарного дерева для кодування словника текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті.

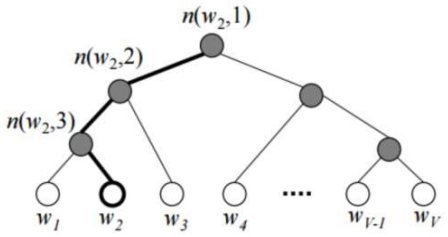


Рис.1. Приклад побудови бінарного дерева для кодування словника текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті

В отриманому дереві V_{tree} слова зі словника $S_{K_s^{all}}$ розташовуються на листках дерева. Як приклад жирним виділено шлях від кореня до слова $w_2 \in S_{K_s^{all}}$. Позначимо довжину шляху $L(w)$, j-ту вершину до слова $w_i \in S_{K_s^{all}}$ позначимо через $n(w_i, j)$.

2) з множини навчальної вибірки обсягом $V_{\min}$ читається субречення (sub-sentence) і проводиться субсемплювання найбільш частотних слів (sub-sampling). В даному дослідженні під субреченням будемо розуміти базовий елемент текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події – речення. Безпосередньо субсемплювання – це процес вилучення найбільш частотних слів з аналізу, що прискорює процес навчання алгоритму і сприяє значному покращенню якості отриманої моделі.

3) виконується прохід по субреченню контекстним вікном (розмір вікна задається алгоритмом як параметр). В даному випадку під контекстним вікном мається на увазі максимальна дистанція між поточним словом(словосполученням) та тим, що передбачається у реченні текстового повідомлення. З одного контекстного вікна виходять два елементи даних (на одне цільове слово приходиться два симетричних слова (словосполучення));

4) для кожного контекстного слова визначається відповідний вектор в шарі embedding моделі CBOW. Даний шар забезпечує безпосереднє зберігання вектора всіх слів в словнику в рамках моделі CBOW. Приклад подання даного шару показаний на рисунку 2.

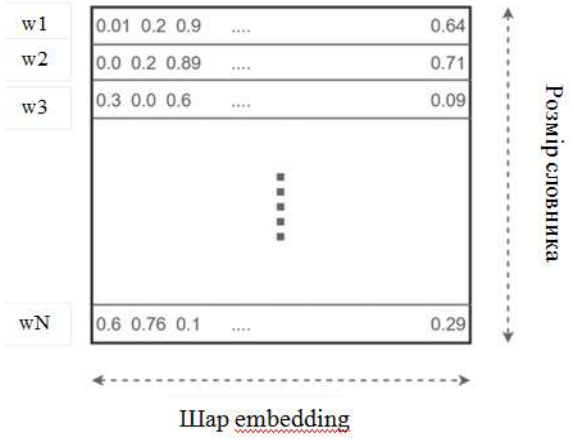


Рис.2. Приклад формування шару embedding для подання словника текстових повідомлень в моделі CBOW

5) функціонування нейронної мережі прямого поширення з функцією активації ієрархічний softmax (в зв'язку з кодуванням на основі дерева Хаффмана в роботі використовується дана функція активації) або негативне семплювання (negative sampling):

- на підставі шару embedding визначається усереднене значення контексту і подається на вхід внутрішньої нейронної мережі моделі CBOW

$$u = \frac{1}{h} \sum_{k=1}^{h} v_{w_i,k} \quad , \tag{6}$$

де $v_{w_i,k}$ – вектор контекстного слова в шарі embedding;

- передбачається ймовірність заданого слова по контексту відповідно до виразу

$$p(w = w_0) = \prod_{j=1}^{L(w)-1} \sigma\left(\left[n(w, j+1) = lch\left(\mathrm{n}(w, j) \right) \right] v_{\mathrm{n}(w,j)}^T u \right), \tag{7}$$

де $\sigma(x)$ – функція активації ієрархічний softmax;

$lch(n)$ – лівий син вершини бінарного дерева для кодування словника текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті;

6) для кожного слова контексту u і коду слова $v_{w_i,k}$ визначається помилка на виході нейронної мережі і зміна ваг на підставі обчислення функції втрат. Стандартна функція перехресної ентропії (softmax cross entropy loss) є ефективним рішенням для задач класифікації, але для моделей Word2vec використання цієї функції не є практичним. Це пов'язано з тим, що для повного обчислення softmax потрібно розрахувати втрати в крос-ентропії по всіх вихідних вузлах. Надалі в роботі використовується sampled softmax loss функція;

7) збереження прихованого embedding шару після навчання моделі як векторної моделі навчальної вибірки про несприятливі авіаційних події в польоті. Передбачений вектор моделі є важливим тільки в контексті навчання, коли результати навчання сходяться, вихідний вектор моделі ігнорується.

Структурна схема виконання процедури побудови векторної моделі текстових повідомлень про несприятливих авіаційних події в польоті по розміченому набору даних на основі моделі CBOW наведена на рис. 3.

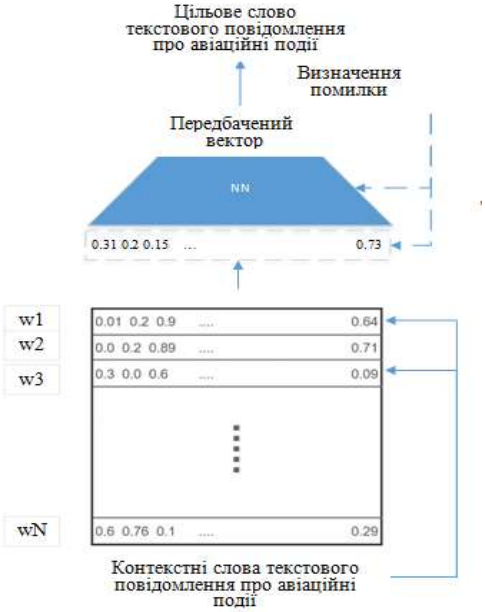


Рис.3. Структурна схема виконання процедури побудови векторної моделі текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті по розміченому набору даних на основі моделі CBOW

Підсумкова векторна модель навчальної вибірки забезпечує можливість використання глибоких нейронних мереж для аналізу текстових повідомлень про авіаційні події в реальному часі.

Висновки

В роботі запропоновано метод формування навчальної вибірки для навчання глибокої гібридної нейронної мережі прогнозуванню несприятливих авіаційних подій в польоті.

Реалізація запропонованого методу дозволить:

- сформувати алфавіт класів несприятливих авіаційних подій в польоті і побудувати розмічений набір даних;
- визначити мінімальний обсяг репрезентативної навчальної вибірки у вигляді текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті;

- побудувати словники текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті з використанням міри значущості слів (словосполучень);
- побудувати векторну модель текстових повідомлень про несприятливі авіаційні події в польоті по розміченому набору даних з використанням моделі векторного уявлення слів (словосполучень) CBOW.

Отримана векторна модель навчальної вибірки є основою для навчання глибокої гібридної нейронної мережі прогнозуванню несприятливих авіаційних подій в польоті

ЛІТЕРАТУРА

1. Справка. Состояние безопасности полетов в гражданской авиации государств-участников соглашения о гражданской авиации и об использовании воздушного пространства в первом полугодии 2018 г. // https://mak-iac.org/upload/iblock/5b0/bp-18-1.pdf.
2. Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents. Worldwide Operations 19592008, Boeing Commercial Airplanes, Seattle, Washington 98124-2207, USA.
3. Макаров В.П. Метод прогнозирования и предупреждения авиационных происшествий на основе анализа "дерева факторов опасности": дисер. канд. техн. наук / В.П. Макаров .— М., 2013. — 137с.
4. Григорків В.С. Нейронні мережі та їхнє використання для прогнозування тенденцій ринку нерухомості // В.С. Григорків, О.І. Ярошенко, Н.В. Філіпчук / Науковий вісник НЛТУ України. – 2012. – Вип. 22.5. – с.328-33.
5. Y. Kim. Convolutional neural networks for sentence classification. arXiv:1408.5882 [cs.CL], 2014.
6. Reed J.W., Jiao Y., Potok T.E., Klump B.A., Elmore M.T., Hurson A.R. TF-ICF: A New Term Weighting Scheme for Clustering Dynamic Data Streams // In: Proc.Machine Learning and Applications (ICMLA '06). 2006. pp. 258–263.
7. Крейнес М. Г. Модели текстов и текстовых коллекций для поиска и анализа информаци // М. Г. Крейнес / Матем. модел. эколого-экономич. систем: экономика ТРУДЫ МФТИ. – 2017. – Том 9(3). – С.132-142.
8. Флах П. Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из даннях / пер. с англ А.А.Слинкина. − М.: ДМК Пресс, 2015.− 400с.
9. Воронцов К. В. Лекции по теории обобщающей способности // http://www.ccas.ru/voron/download/Generalization.pdf
10. Shmuel T. Klein and Dana Shapira Huffman Coding with Non-Sorted Frequencies // http://u.cs.biu.ac.il/~tomi/Postscripts/MathComp.pdf

Гришманов Е.А., Захарченко И.В., Кудюкин П.В., Белоброва Т.А.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДА ФОРМИРОВАНИЯ ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКИ ДЛЯ ГИБРИДНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НЕБЛАГОПРИЯТНЫХ АВИАЦИОННЫХ СОБЫТИЙ

В работе разработан метод формирования обучающей выборки для обучения глубокой гибридной нейронной сети прогнозированию неблагоприятных авиационных событий в полете. Формально задача формирования обучающей выборки для обучения глубокой нейронной сети представлена следующим образом: необходимо построить такую модель текстовых сообщений, которая бы описывала определенный класс авиационного происшествия и могла рассматриваться в виде структуры данных для подачи на вход глубокой гибридной нейронной сети. В качестве базового математического аппарата для построения словаря униграмм (биграмм) используется мера TF-ICF, а в качестве модели векторного представления слов (словосочетаний) - модель CBOW. Реализация предложенного метода позволит: сформировать алфавит классов неблагоприятных

авиационных событий в полете и построить размеченный набор данных, определить минимальный объем репрезентативной обучающей выборки, построить словари текстов сообщений о неблагоприятных авиационных событиях в полете с использованием меры значимости слов (словосочетаний) построить векторную модель текстовых сообщений о неблагоприятных авиационных событиях в полете по размеченному набору данных с использованием модели векторного представления слов (словосочетаний) CBOW.

Ключевые слова: *безопасность полетов, прогнозирования, глубокая гибридная нейронная сеть, векторная модель тексто вых сообщений, обучающая выборка, CBOW, TF-ICF.*

Grishmanov E.A., Zakharchenko I.V., Kudyukin P.V., Belobrova T.A.

IMPROVMENT OF THE METHOD OF FORMING EDUCATIONAL CHOICE FOR THE HYBRID NEURAL NETWORK OF FORECASTING OF NON-COMPETITIVE AVIATION EVENTS

In the paper, a method for forming a training sample for training a deep hybrid neural network to predict unfavorable aircraft accidents in the flight has been developed. Formally, the task of forming a training sample for training a deep neural network is as follows: it is necessary to construct a model of text messages that describes a certain class of an accident and could be considered as a data structure for the input of the deep hybrid neural network. A measure of TF-IC is used as the basic mathematical device for building a dictionary of unigrams (bigrams). The CBOW model is used as a vector representation of words (phrases). The implementation of the proposed method will allow: to form the alphabet of the classes of unfavorable aircraft accidents in the flight and to build a labeled dataset, to determine the minimum amount of representative sample of the training, to construct dictionaries of messages about unfavorable aircraft accidents in the flight, using the measure of importance of words (layer combinations), construct a vector model of text messages about unfavorable aviation events in flight on a labeled dataset using the CBOW vector representation model (word combinations).

Keywords: *flight safety, prediction, deep hybrid neural network, vector text message model, training sample, CBOW, TF-ICF.*

АВТОРИ ВИПУСКУ

Бєлоброва Тетяна Анатоліївна	–	кандидат філологічних наук, доцент кафедри лінгводидактики Одеського національного політехнічного університету, orcid.org/0000-0002-3696-0236
Абдуллаев Абдулла	–	асистент, Азербайджанская государственная морская академия, Баку
Абдуллаев Яшар	–	доктор технических наук, профессор, Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, Баку
Алейніков Владислав Михайлович	–	аспірант, Державний університет інфраструктури та технологій
Алекперов Шахин	–	доктор философии по физике, доцент, Бакинский государственный университет, Баку
Алєйніков Михайло Владиславович	–	аспірант, Державний університет інфраструктури та технологій
Алиев Айдын	–	кандидат технических наук, доцент, Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, Баку
Аллахвердиева Айнура	–	докторант, Азербайджанская государственная морская академия, Баку
Байрамова Ильхама	–	асистент, Азербайджанская государственная морская академия, Баку
Богомья Володимир Іванович	–	доктор технічних наук, професор, Державний університет інфраструктури та технологій, orcid.org/0000-0003-4403-3130
Бойко Світлана Олексіївна	–	аспірант, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ
Боровой Валентін Олександрович	–	доктор технічних наук, професор, ПВНЗ УНТ
Войченко Тетяна Олександрівна	–	кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри технічних систем та процесів управління в судноводінні, Державний університет інфраструктури та технологій
Гамидов Мустафа	–	кандидат технических наук, доцент, Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, Баку
Ганношина Ірина Миколаївна	–	старший викладач кафедри, Державний університет інфраструктури та технологій, orcid.org/0000-0001-5810-2462

Гасанов Эльсевар	_	докторант, Азербайджанская государственная морская академия, Баку
Глухов С.І.		кандидат технічних наук, доцент, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко
Глущенко Павло Аркадійович		ад'юнкт Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, orcid.org/0000-0002-8231-8877
Глущенко Павло Аркадійович	_	ад'юнкт Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, https://orcid.org/0000-0002-8231-8877
Гришманов Євген Олександрович		старший викладач кафедри Льотної академії Національног авіаційного університету; orcid.org/ 0000-0003-0968-1538
Дакі Олена Анатоліївна	_	кандидат педагогічних наук, доцент, декан Дунайського факультету морського та річкового транспорту, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ, orcid.org/0000-0003-3932-462X
Джалилов Турьян	_	ассистент, Азербайджанская государственная морская академия, Баку
Дмитрієв Олег Миколайович	_	кандидат технічних наук, доцент кафедри льотної експлуатації, аеродинаміки і динаміки польоту Кіровоградська льотна академія Національного авіаційного університету
Доронін Володимир Васильович	_	кандидат технічних наук, доцент кафедри, Державний університет інфраструктури та технологій
Єлєазаров Олександр Петрович	_	кандидат юрідічних наук, доцент, декан факультету, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ
Зазарний А.Ю.	_	Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ
Заліський Максим Юрійович		кандидат технічних наук, доцент, Національний авіаційний університет, orcid.org/0000-0002-1535-4384
Зарицький Олександр Васильович		аспірант, Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова
Захарченко Ірина Вікторівна		викладач кафедри математичного і програмного забезпечення АСУ ХНУПС; orcid.org/0000-0002-8534-1888
Исмаилов Сахиб	_	докторант, Азербайджанская государственная морская академия, Баку
Исмаилова Симузер	_	Доктор философии по технике, доцент, Азербайджанская государственная морская академия, Баку

Камінський Євген Олександрович		доцент кафедри Національного авіаційного університету, orcid.org/0000-0001-9588-0079
Кожохіна Олена Володимирівна		кандидат технічних наук, доцент кафедри авіоніки Національного авіаційного університету, orcid.org/0000-0002-3404-0079
Коломієць Оксана Михайлівна	–	аспірант, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ, orcid.org/0000-0001-7161-8957
Кудюкін П.В.	–	Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ
Кузьмин Валерій Миколайович		кандидат технічних наук, Національний авіаційний університет, orcid.org/0000-0003-4461-9297
Кукалець Людмила Миколаївна	–	старший викладач, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ
Кучерук Галина Юрійовна	–	доктор технічних наук, професор, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ
Кущ О.В.	–	Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ
Левицкий М.А.		кандидат економічних наук, доцент, Товариство з обмеженою відповідальністю «TMS Україна» партнер TÜV SÜD Німеччина, orcid.org/0000-0002-2746-3879
Макаров Олександр Михайлович	–	старший викладач, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ
Мамедов Эмиль	–	старший преподаватель, Азербайджанская государственная морская академия, Баку
Маммедова Фахранда	–	асистент, Азербайджанская государственная морская академия, Баку
Масік Ігор Петрович	–	здобувач, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ
Медведева Н.А.		кандидат технічних наук, доцент, Національний університет біоресурсів і природокористування України, orcid.org/0000-0002-9475-0990
Мельник Ольга Володимирівна	–	кандидат економічних наук, доцент, доцент кафедри, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ
Михайлова Тетяна Іванівна	–	аспірант, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ
Міхеев О.І.	–	Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ

Онипченко П.М	–	Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба
Павленко Максим Анатолійович	–	доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба
Панін Владислав Вадимович	–	доктор технічних наук, професор, в.о. ректора, Державний університет інфраструктури та технологій
Пархоменко Данило Олексійович	–	кандидат технічних наук старший викладач Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, orcid.org/0000-0002-2254-7248
Розбицька Тетяна Вікторівна	–	аспірант, Національний університет біоресурсів і природокористування України, orcid.org/0000-0003-0098-927X
Салимова Афаг	–	доктор философии по технике, доцент, Азербайджанский научно-исследовательский и проектно-изыскательский институт энергетики, Баку
Султанов Эльшан	–	доктор философии по технике, доцент, Азербайджанская государственная морская академия, Баку
Султанов Эльшан	–	доктор философии по технике, доцент, Азербайджанская государственная морская академия, Баку
Сурков Костянтин Юрійович	–	старший викладач кафедри інформаційних технологій та обслуговування повітряного руху Льотної академії Національного авіаційного університету", orcid.org/0000-0003-3917-8335
Суркова Катерина Вікторівна	–	доцент кафедри інформаційних технологій та обслуговування повітряного руху Льотної академії Національного авіаційного університету", orcid.org/0000-0002-1388-7611
Сухенко Владислав Юрійович	–	доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри, Національний університет біоресурсів і природокористування України, orcid.org/0000-0002-8325-3331
Сущенко Олга Андрійовна	–	доктор технічних наук, професор, Національний авіаційний університет
Тимощук Олена Миколаївна	–	доктор технічних наук, доцент, директор інституту, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ, orcid.org/0000-0003-3684-6182
Ткачук Дмитро Олексійович	–	старший викладач, Державний університет інфраструктури та технологій

Фархадов Вахид	–	кандидат технических наук, доцент, Азербайджанский технический университет, Баку
Федотов В.Г.	–	Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ
Черевашко Денис Ігорович	–	аспірант, Національний університет біоресурсів і природокористування України, orcid.org/0000-0002-0260-1032
Чередник Володимир Миколайович	–	старший викладач кафедри, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ
Шевченко Антон Петрович	–	аспірант, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ, orcid.org/0000-0001-8892-8951
Штрибець Валерій Валерійович	–	аспірант, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ, orcid.org/0000-0001-8892-8951
Эфендиев Орхан	–	доктор технических наук, профессор, Азербайджанский технический университет, Баку

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ

1. До друку у збірнику наукових праць ПВНЗ «Університет новітніх технологій» 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);
- витяг з протоколу засідання кафедри чи лабораторії або наукового підрозділу;
- 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 1800 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 Рис., *Табл.,* Діаграма, Схема та їхні номери набираються звичайниv 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.

Наукове видання

НОВІТНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Збірник наукових праць

Випуск 1(8)

Відповідальний за випуск: *В. Богом´я* (bog260341@gmail.com)

Комп'ютерна верстка: *О. Богом´я* (olgabog@ukr.net)

Підп. до друку 22.02.19. Формат 60х84 1/8. Папір для тиражувальних апаратів.
Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 10,63. Наклад 100 прим.
Зам. № 7-728. Віддруковано з оригіналів.

Приватний вищий навчальний заклад
«Університет новітніх технологій»

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
(Свідоцтво про державну реєстрацію від 22 січня 2016 року
КВ № 21858 – 11757Р.)
пров. Машинобудівний, 28
Київ, Україна, 03067.
тел./факс: (044) 503-07-86.
E-mail: JournalNT@unt.kiev.ua