

Законодательное Собрание Камчатского края  
Правительство Камчатского края  
Министерство рыбного хозяйства Камчатского края  
Федеральное агентство по рыболовству  
Российский союз инженеров  
Международный союз машиностроителей  
Камчатский государственный технический университет  
Донецкий национальный технический университет  
Кубанский государственный университет  
Азербайджанская государственная морская академия  
Усинский филиал Ухтинского государственного технического университета

# ***ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ***

*Материалы  
Второй международной научно-технической конференции  
(23–25 октября 2019 г.)*

Издательство



КамчатГТУ

Петропавловск-Камчатский  
2020

УДК 656.6:629.5  
ББК 39.42-08  
Т38

Ответственный за выпуск

*О.А. Белов,*  
кандидат технических наук

Редакционная коллегия

*О.А. Белов, к.т.н. (председатель);*  
*А.В. Костенко, к.т.н.; С.Ю. Труднев, к.т.н.; В.А. Швецов, д.х.н.;*  
*Н.С. Салтанова, к.т.н.; Е.П. Белова, к.п.н.*

Т38 **Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития** : материалы Второй международной научно-технической конференции (23–25 октября 2019 г.) / отв. за вып. О.А. Белов. – Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2020. – 213 с.

ISBN 978-5-328-00401-5

В сборник включены материалы Второй международной научно-технической конференции «Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития», отражающие научные и практические результаты в области технической эксплуатации водного транспорта.

Освещены актуальные проблемы, представлены современные достижения и перспективные направления развития в таких областях, как судовождение, судостроение и судоремонт, электротехнические комплексы и системы, информационные технологии и моделирование, технологические машины и оборудование, наукоемкие технологии изготовления и ремонта деталей судов и судовых агрегатов, подготовка инженерных кадров.

Авторами представленных докладов являются преподаватели, ведущие сотрудники научно-исследовательских институтов, аспиранты и студенты высших учебных заведений, ведущих научную и образовательную деятельность в сфере водного транспорта.

УДК 656.6:629.5  
ББК 39.42-08

ISBN 978-5-328-00401-5

© КамчатГТУ, 2020  
© Авторы, 2020

## СОДЕРЖАНИЕ

### СЕКЦИЯ 1. СУДОВОЖДЕНИЕ, СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ

<b>Varbanets R.A.</b> Vibro-acoustic diagnostics of turbocharger .....	6
<b>Ахундов И.С., Исмаилов А.Ш.</b> Теоретическое исследование влияния изменения вида и плотности топлива на параметры главного судового дизеля марки 6L20.....	12
<b>Джаббаров Р.Д.</b> Определение эффективности механизации и автоматизации процессов обработки.....	16
<b>Ерошков В.Ю., Непомилуев В.В., Семенов А.Н.</b> Лазерная центровка валов корабельных газотурбинных агрегатов .....	19
<b>Костенко А.В., Безлобенко Б.Н.</b> К вопросу о развитии судоремонтной отрасли Камчатского края .....	23
<b>Костенко А.В., Полетайкин А.Н.</b> Методика нечеткого оценивания эффективности методов отделочно-упрочняющей обработки деталей машин .....	28
<b>Котов В.С., Панкратов А.В., Резникова Р.К.</b> Реализация возможностей аддитивных технологий в техническом обслуживании газотурбинных двигателей.....	32
<b>Кузнецов Р.В.</b> Разработка методов контроля герметичности биметаллических элементов изделий судового машиностроения.....	37
<b>Марченко С.С.</b> Анализ технико-экономических характеристик модернизируемого нефтеналивного судна проекта 610 на повышение класса регистра .....	41
<b>Мирошников В.В., Петрущенко Т.В.</b> Методы и способы контроля механических напряжений в ферромагнетиках.....	44
<b>Мирошников В.В., Лавренченко А.В., Богданов В.П.</b> О применении магнитного метода контроля механического напряжения корпуса судна.....	49
<b>Михайлов А.Н., Лукичев А.В., Стрельник Ю.Н., Матвиенко С.А., Михайлов В.А.</b> Технология нанесения функционально-ориентированных ионно-плазменных покрытий на рабочую поверхность шарового пальца .....	54
<b>Пашеева Т.Ю.</b> О современных технологиях очистки корпусов судов .....	59
<b>Третьяков А.Н., Четин А.В., Чабанов Е.А.</b> Применение инновационных технологий в судоремонте .....	63
<b>Труднев С.Ю., Нистор А.С.</b> Анализ аварийности судов рыбопромыслового флота Дальнего Востока .....	66
<b>Фатьянова Н.В.</b> Особенности процесса подготовки высокодисперсных порошков талька.....	70

### СЕКЦИЯ 2. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

<b>Белов О.А., Мясников Г.С.</b> Внедрение комплексной защиты судовых асинхронных электроприводов.....	73
<b>Кротенко Д.С., Белов О.А.</b> Моделирование процессов оптимизации режимов судовой электроэнергетической системы при электропитании от береговой сети.....	77
<b>Лебедев И.И., Марченко А.А.</b> Анализ схемных решений гребных электрических установок переменного тока.....	81
<b>Лебедев И.И., Марченко А.А.</b> Модернизация гребной электрической установки на постоянном токе .....	86

<b>Рак А.Н.</b> Об особенностях пуска высоковольтных асинхронных двигателей от генераторов соизмеримой мощности судовой электроэнергетической системы.....	90
<b>Рак А.Н., Черников В.Г., Капанадзе Г.А.</b> Расширение функциональных возможностей и повышение эффективности комбинированных судовых пропульсивных установок.....	99
<b>Султанов Э.Ф., Мамедов Э.М.</b> Исследование микропроцессорного пуска асинхронных двигателей большой мощности.....	106
<b>Шереметьев А.Н., Марченко А.А.</b> Моделирование гребной электрической установки с преобразователем частоты.....	110
<b>Шуваева А.О., Труднев С.Ю., Портнягин Н.Н.</b> Анализ статистических значений скорости ветра в шельфовых морях России и его использование в системах автономной катодной защиты .....	115
<b>Ямщиков В.А.</b> Экологическая опасность сотовой телефонии.....	119
<b>Ястребов Д.П., Белов О.А., Швецов В.А., Ушакевич А.П., Кузнецов Г.В.</b> О целесообразности использования хлорсеребряных электродов для контроля систем протекторной защиты стального корпуса судна .....	121
<b>Ястребов Д.П., Белов О.А., Швецов В.А., Белавина О.А., Зайцев С.А.</b> К вопросу использования стальных пластин для контроля протекторной защиты корпусов судов и кораблей.....	125

### СЕКЦИЯ 3. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

<b>Белов Н.И., Кариева Э.М.</b> Внедрение современных технологий в морские грузоперевозки .....	130
<b>Бобров М.Ю., Гуров В.Д.</b> Организация физической подготовки для экипажей судов.....	134
<b>Витренко В.А., Сыровой Г.В., Афошин А.А.</b> Исследование прочности и характера разрушений моделей, получаемых при изменении положения в 3d-печати .....	137
<b>Круглова Л.К.</b> Значение гуманитарной составляющей подготовки кадров в области технической эксплуатации водного транспорта в аспекте государственной культурной политики.....	141
<b>Кунц Е.Ю., Полетайкин А.Н.</b> Организация цифрового фонда оценочных средств для подготовки специалистов водного транспорта.....	147
<b>Непомилуев В.В., Семенов А.Н.</b> Компьютерное моделирование процесса сборки как способ обеспечения его качества.....	153
<b>Полетайкин А.Н.</b> Компьютерная система составления туристических маршрутов методом генетических алгоритмов .....	158
<b>Царенко С.Н.</b> Математическое моделирование динамики стержневой конструкции на плавучей платформе .....	163
<b>Шурыгина А.П., Скорюпина Л.С.</b> Внедрение новых информационных систем на терминальном комплексе.....	170

### СЕКЦИЯ. 4 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

<b>Абрахимов И.Р., Степанова Е.А.</b> Поиск нефтяных ловушек.....	173
<b>Гуров В.Д.</b> О совершенствовании технологии снабжения питьевой водой экипажей судов .....	177
<b>Гутаревич В.О., Игнаткина Е.Л.</b> Поперечные колебания монорельса во время торможения подвесной монорельсовой дороги .....	180

<b>Ефимов А.А., Ефимова М.В.</b> Операционный пульт управления тренажерным комплексом «Технология рыбных продуктов».....	184
<b>Ипаткин П.В., Иодис В.А.</b> Получение биологически активных добавок из створок мидии тихоокеанской с использованием холодильного потенциала твердой углекислоты .....	189
<b>Косимхужаев А.А., Захаров Г.И., Цветков В.А., Скорюпина Л.С.</b> Анализ показателей работы и безопасности трубопроводного транспорта .....	192
<b>Лебедева А.П., Заляева Г.О.</b> Выбор критерия подобия при расчете ступени центробежного погружного насоса .....	195
<b>Мищенко Т.П.</b> Методы и средства контроля тяговых параметров ленточного конвейера .....	201
<b>Шевченко С.В., Муховатый А.А.</b> Особенности параметризации цилиндрической зубчатой передачи с наклонно-арочными зубьями .....	206
<b>Щербаков В.Н., Иодис В.А.</b> Передвижные углекислотные комплексы для получения биологически активных добавок из створок мидии тихоокеанской .....	210

## СЕКЦИЯ 1. СУДОВОЖДЕНИЕ, СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ

УДК 621.43.041.6

**R.A. Varbanets**

*Odessa National Maritime University,  
Ukraine, Odessa, 65029;  
IMES GmbH,  
Germany, Kaufbeuren, 87600  
e-mail: roman.varbanets@gmail.com*

**VIBRO-ACOUSTIC DIAGNOSTICS OF TURBOCHARGER**

The proposed method is based on solving a system of complex equations. The article considers the method for diagnosing a turbocharger, based on the spectral analysis of vibroacoustic signals of a compressor. A method for eliminating the “DFT leakage effect” in the discrete spectrum is offered.

**Key words:** turbocharger diagnostics, leakage effect, spectral analysis, compressor blade frequency.

**Turbocharger diagnostics.** Turbochargers are an integral part of most modern marine diesel engines. Modern turbochargers provide a high value of charge air pressure ( $\pi_k$  up to 6 at ST27-Serie and  $\pi_k$  up to 10 at K2B serie) and highly efficient operation of marine diesel engines with low emissions of carbon oxides and soot [1, 2].

High efficiency of MAN ME and MAN MC diesel engines (with a real specific effective flow rate of 160–170 g/kWh) is provided by the high charge air pressure, in particular. When the efficiency of the turbocharger decreases, the efficiency of the diesel engine drops abruptly, the level of emission of carbon oxides and soot increases.

During operation of marine diesel engines, the exhaust manifolds become clogged with products of incomplete combustion. As a result, the throughput of the exhaust manifolds and the nature of the internal flow of gases before the blades of the turbocharger impeller may vary. In this case, the appearance of pulsations is possible which leads to rotor oscillation. The increased level of rotor oscillation creates additional loads on the turbocharger bearings and reduces their life. In the event of microdefects in the bearings of the turbocharger, the vibration level of the rotor increases even further that may lead to a severe accident.

Constant operational monitoring of the vibration level of the turbocharger rotor can prevent an emergency situation [3].

The experiments on diesel engines in laboratory and in sea conditions have revealed that the turbocharger compressor blades generate oscillations which are always present in the overall vibration spectrum, regardless of the technical condition of the turbocharger. The spectral analysis of the turbocharger vibration has shown that the compressor blades generate a vibroacoustic signal with a frequency equal to the speed of the turbocharger rotor multiplied by the number of air blades [3, 4]

$$v_b = n_b \times RPM_{tur} / 60,$$

where  $v_b$  – blade frequency of the turbocharger compressor, Hz;  $n_b$  – the number of compressor air blades,  $RPM_{tur}$  – the speed of the turbocharger rotor  $\text{min}^{-1}$ .

To determine the blade frequency of the turbocharger compressor and the subsequent calculation of the turbocharger speed, the amplitude spectrum of vibroacoustic signals was used. The recording was made on the opposite side of the compressor air filter (see Fig. 1) using a broadband industrial microphone with a frequency bandwidth of 10 Hz – 20 kHz.

In the case of recording vibration of the turbocharger of diesel engine 6L80MCE with the turbocharger VTR 564-31 (20 compressor blades), the expected blade frequency of the compressor was calculated on the basis of the turbocharger rotor speed rating at the nominal conditions:

$$v_b = 20 \text{ blades} \times 9000 \text{ rpm} / 60 = 3 \text{ kHz}.$$

Due to the fact that the operating mode of the diesel engine was at a lower load, the expected speed of the turbocharger rotor shall be less than the nominal one. Thus, the value of the blade frequency calculated for the nominal conditions can be used as the upper limit for determining the actual operational value.

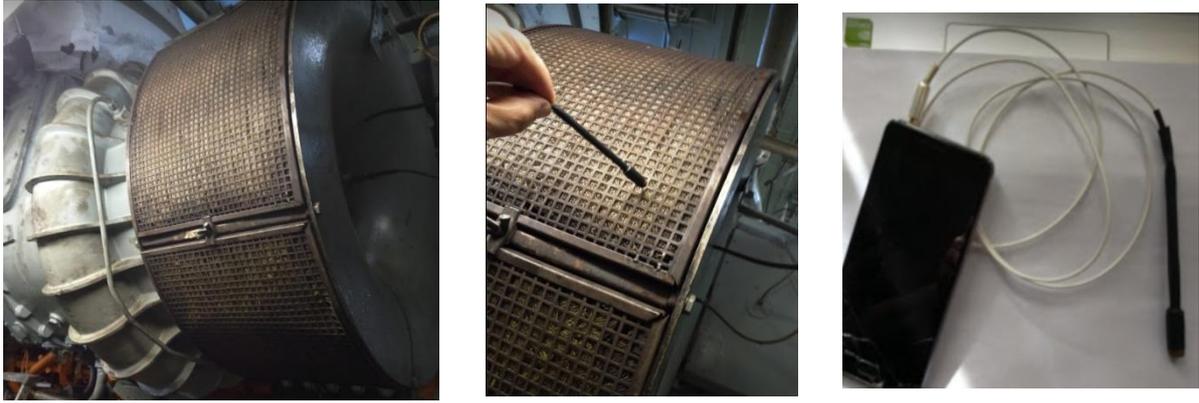


Fig. 1. Recording the vibration of turbocharger using the broadband microphone

Fig. 2 shows the vibration spectrum of the turbocharger VTR 564-31 recorded at a load close to the nominal one. It can be seen from Fig. 2 that the harmonic closest to 3 kHz has a frequency of 2 948 Hz. The nearest harmonic on the left has a frequency of 1 474 Hz and is a subharmonic with a frequency equal to half of the blade frequency  $\nu_b/2$ . This leftmost subharmonic in the spectrum can be considered as the left boundary when determining of the harmonic corresponding to the blade frequency of the turbocharger compressor.

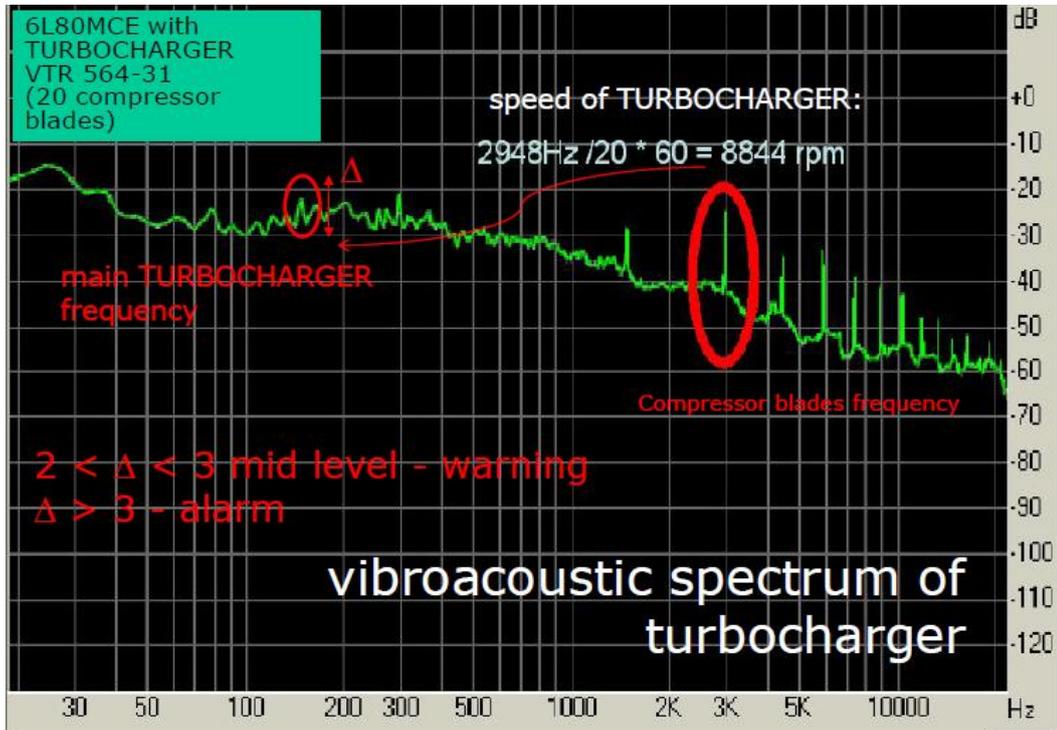


Fig. 2. Vibroacoustic spectrum of turbocharger VTR 564-31

Thus, according to the blade frequency of the VTR 564-31 turbocharger compressor determined in the spectrum in the operational conditions, we calculate the speed of the turbocharger rotor:

$$RPM_{tur} = 60 \times \nu_b / n_b,$$

$$RPM_{tur} = 60 \times 2948 \text{ Hz} / 20 = 8844 \text{ RPM}.$$

The regular tachometer of the turbocharger showed a rotation speed of 8 800 RPM, which in comparison with the value determined by the spectrum gives a relative error of 0,5%.

It is necessary to take into account the industrial accuracy class of the standard tachometer (division scale of 200 RPM).

Spectral analysis of a vibroacoustic signal recorded at a frequency of 44,1 kHz makes it possible to analyze harmonics in steps of less than 1 Hz at a recorded signal frequency up to 20 kHz [5]. The blade frequency of the turbocharger compressor is significantly lower. Thus, as a result of the spec-

tral analysis of the vibroacoustic signal of the turbocharger compressor, an error in determining the frequency less than 1 RPM can be reasonably obtained. Such accuracy is much higher than the accuracy of the standard tachometers, which makes it possible to use the blade frequency of the turbocharger compressor in accurate calculations of the main rotational speed of the turbocharger and the subsequent estimation of the diesel engine power.

After determining the compressor blade frequency and the main speed of the turbocharger ( $RPM_{tur}$ ), we can analyze the harmonic amplitude at the main speed of the rotor:

$$v_{turbocharger} = v_b / n_b$$

In the case shown in Fig. 2

$$v_{turbocharger} = 2948 \text{ Hz} / 20 = 147,4 \text{ Hz}.$$

We eliminate the "leakage effect" for the harmonic at the fundamental frequency  $v$  of the turbocharger, using the algorithm described in paragraph 4, solving the system of equations (1). After recovering the amplitude of the  $v_{turbocharger}$ , we analyze it.

Obviously, if there is a significant increase in the amplitude  $\Delta$  of the harmonic at the main speed of the turbocharger rotor, this demonstrates an increased vibration of the rotor. Fig. 2 shows a slight increase in the amplitude of the fundamental harmonic  $\Delta$ , which characterizes the permissible vibration level of the turbocharger rotor.

Preliminary experiments on MAN MC diesel engines have shown that an increase in the amplitude of the harmonic at the main frequency  $v_{turbocharger}$  in 2–3 times regarding the average level of the amplitude spectrum characterizes the dangerous vibration level of the turbocharger rotor. The average level of the harmonic amplitudes was estimated in the frequency range

$$[v_{turbocharger} - 50 \text{ Hz} .. v_{turbocharger} + 50 \text{ Hz}].$$

To better quantify the limits of vibration level of the turbocharger rotor, further research is required. It may be noted that the spectrum analysis of vibroacoustic signals of the turbocharger compressor can be made quickly under operating conditions.

**Eliminating the "leakage effect" of discrete spectrum.** In the process of analyzing the discrete spectrum of vibroacoustic signals in order to estimate their frequency and amplitude characteristics, it is necessary to solve the problem of eliminating the effect of "leakage". This effect is a consequence of the finiteness of the analyzed temporal realization and its discrete representation. The effect of "leakage" or outflow of power from the spectral peaks into the adjacent spectral lines is considered to be one of the main DFT errors [4, 5].

As an example, Fig. 3 shows the amplitude spectra of the same sinusoidal signal with an integer (a) and a non-integer (b) number of samples per one signal period. Let the frequency of a signal be represented by  $\gamma = M/T$ , where  $T$  is the period of the signal;  $M = n + \sigma$ , where  $n$  is an integer and  $0 < \sigma < 1$ , then the maximum distortions of the amplitude, frequency and phase of the central harmonica and leakage of power into the neighbouring ones will be observed at  $\sigma = 0,5$  See [5].

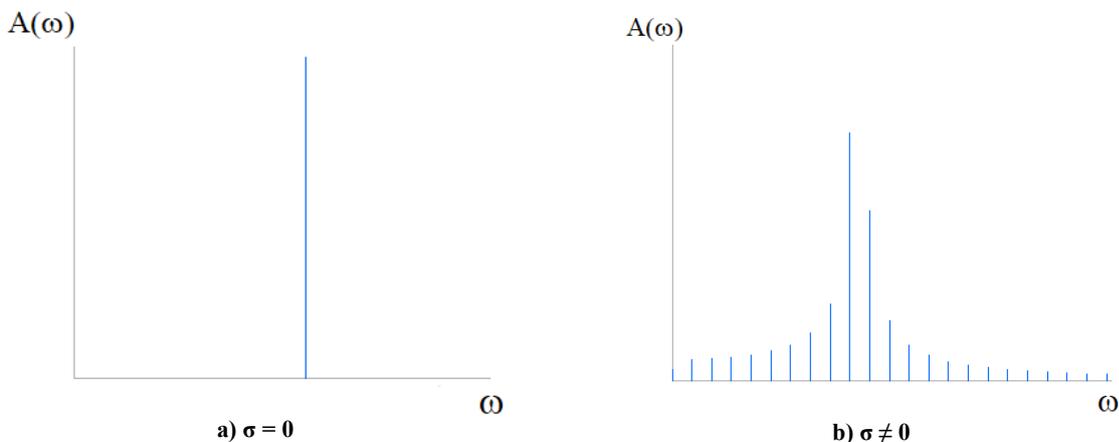


Fig. 3. DFT leakage effect

Thus, when analyzing the parameters of the original spectrum signal, i. e. the central harmonic, the resulting amplitude, frequency and phase will be distorted in the case of a non-integer number of signal

samples per its period. In practice, for discrete recording of signals, an ADC with a selected and fixed sampling rate is used. It is understandable that the number of samples per period will never be an integer and the value of  $\sigma$  will change from 0 to 1 depending on the natural frequency of the measured signal, and the accuracy of estimating the signal parameters along the central harmonic will change.

The most common solution for leakage effect reduction is based on window transform methods. The essence of the method is simple: to reduce the number of discontinuities at the edges in order to reduce leakage it is necessary to reduce the amplitude of the signal near the edges. This scaling is carried out during the implementation of the multiplication by the window with the special form

$$s_j^w = s_j \cdot W(j),$$

where  $W(j)$  is stands for Window functions (see Table).

As a result of applying window functions, the spectrum of the original signal is changed and its *RMS* decreases by *RMS Coeff* times, as shown in Table. The decrease in *RMS* when using the Hanning window is  $0,707 / 0,433 = 1,633$ . Thus, the dependence of the amplitude, frequency and phase of the fundamental harmonic in the spectrum from the value of  $\sigma$  decreases. This means that the fundamental harmonic  $s_j^w$  can be used to approximate the signal parameters with a certain constant error, which can be taken into account.

Table

Window functions and RMS coefficient used to reduce the effect of "leakage"

Hemming window	RMS Coeff = 1,414	$\varpi(n) = 0,53836 - 0,46164 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right)$
Hanning window	RMS Coeff = 1,633	$\varpi(n) = 0,5 \left(1 - \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right)\right)$
Kaiser window	RMS Coeff = 1,61	$\varpi(n) = \frac{ I_0\left(\beta\sqrt{1 - \left(\frac{2n-N+1}{N-1}\right)^2}\right) }{ I_0(\beta) }$
Blackman-Harris window	RMS Coeff = 1,585	$\varpi(n) = 0,42 - 0,5\cos(2\pi n / (N-1)) + 0,8\cos(4\pi n / (N-1))$

More precisely, we can eliminate the "leakage" effect by a numerical method based on the processing of the complex *DFT* results. In [5], a suggestion was made that the frequency  $m$ , the phase  $\varphi$ , and the amplitude  $A$  of the original signal from the values of two maximum harmonics in the spectrum  $X_k, X_{k+1}$  should be specified. For this it is proposed to solve numerically the system of complex equations. To do so, the system of complex equations is proposed to be solved numerically:

$$\left\{ \begin{array}{l} |E(m, \phi)_k / E(m, \phi)_{k+1}| = |X_k / X_{k+1}| \\ \text{Arg}(E(m, \phi)_k) = \text{Arg}(X_k) \end{array} \right\}, \quad (1)$$

where the parameters of the  $k$ -th harmonic are specified as:

$$\begin{aligned} X_k &= \text{Re}_k + j \text{Im}_k; \\ X_k &= NA_k e^{j\phi_k}, \\ A_k &= \frac{1}{N} \sqrt{\text{Re}_k^2 + \text{Im}_k^2}, \\ \phi_k &= \arctg\left(\frac{\text{Im}_k}{\text{Re}_k}\right) = \text{Arg}(X_k). \end{aligned}$$

The harmonic coefficients can be represented in the form  $X_k = (A_k / 2)E(m, \phi)_k$ , where  $E(m, \phi)_k$  is a complex function independent of the amplitude, but dependent on the frequency and phase:

$$E(m, \phi)_k = e^{j\phi} \frac{e^{2\pi j(m-k)} - 1}{e^{\frac{2\pi j(m-k)}{N}} - 1} + e^{-j\phi} \frac{e^{-2\pi j(m+k)} - 1}{e^{\frac{-2\pi j(m+k)}{N}} - 1}.$$

The system of equations (1) must be solved in the case where the harmonics to the left and right of the central one are not equal to zero (in practice it is more than a given small value  $\delta$ ):

$$X_{k-1} > \delta, X_{k+1} > \delta.$$

If  $X_{k-1} = 0, X_{k+1} = 0$ , then the leakage effect is absent and the frequency, amplitude and phase of the central harmonica correspond to parameters of the measured initial signal See Fig. 4.

When solving the system (1) for the situation of strong leakage effects ( $\sigma \sim 0,5$  See Fig. 4), only five full iterations were required to provide a specified error of less than 0,5% in frequency and phase. For a sinusoidal signal, the amplitude and frequency are recovered to the value specified in the original signal with accuracy to 5 decimal places. In this case, the amplitude of the central harmonic in the spectrum after the DFT before the recovery procedure was with an error of 35% (!) See Fig. 4, c [3, 4].

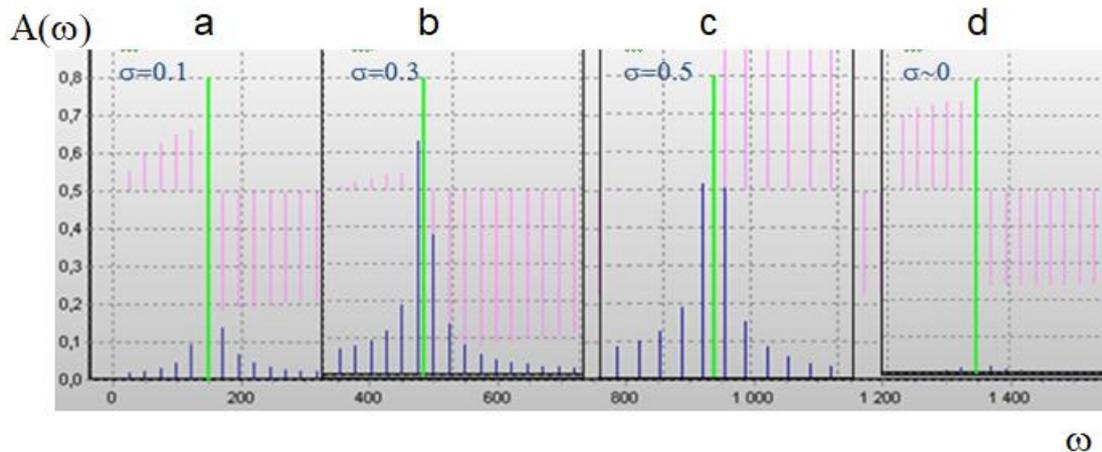


Fig. 4. DFT leakage effect eliminating [3, 4]

An error in estimating the frequency of the original signal with respect to the frequency of the central harmonic can also be significant. It depends on the frequency of the ADC and the frequency of the original signal. As the frequency of the ADC increases, the error in estimating the frequency will decrease.

The solution of the system (1) is not associated with additional memory as is the case for the fast Fourier transform (FFT). Despite the iterative numerical solution for system (1), such procedure only very slightly increases the overall computation time, and make it possible to obtain not only the spectrum of the signal, but also the restored value of the fundamental frequency, amplitude and phase of the measured signal, when it is close to sinusoidal.

The solution of system (1) is not connected with allocating additional memory for storing volumetric data sets and computed coefficients, as in case of fast Fourier transform (FFT). In this regard, the algorithm can be programmed on a modern DSP controller which implements the FFT.

Despite the iterative numerical solution (1), such a recovery procedure increases the total calculation time very slightly and it allows recovery of not only the signal spectrum, but also the restored value of the fundamental frequency and amplitude and phase of the measured signal, if it is close to sinusoidal.

This method was investigated in case of noise in the original signal (with a white noise of 5% and 10% of the amplitude of the sinusoid). Fig. 4 shows the solution of the system (1) for a sinusoid with an amplitude of 0,8 and for the cases a)  $\sigma = 0,1$ , b)  $\sigma = 0,3$  c)  $\sigma = 0,5$  and c)  $\sigma = 0$ . The central green line in each Fig. 4, a–d is the main harmonic of a sinusoid with amplitude of 0,8 with the restored amplitude, frequency and phase, being a result of solving the system of equations (1).

For all the cases, not more than 5 complete iterations were required to ensure a given accuracy. As a result of the solution of the system (1), the phase and frequency of the signal with the addition of white noise to 10%, are restored to the initial value with an error of not more than 0,5%.

**Conclusions.** The methods of vibrodiagnostics of marine diesel engines with turbocharging considered in the article can be helpful for practical use. The "leakage effect" method improves the reliability of diagnostic findings. A vibroacoustic method for determining the speed of a turbocharger rotor and estimating the level of the oscillation amplitude at the main rotational speed can be used as a basis for the express diagnostics of the turbocharger under operating conditions.

### Literature

1. *Heywood J.B.* Internal Combustion Engine Fundamentals. – New York: McGraw-Hill, 1988.
2. Individual turbocharger solutions from KBB [Electronic resource]. – URL: <https://kbb-turbo.com/turbocharger-product-series/>
3. *Varbanets R.A.* Turbocharged Marine diesel engine frequency parameters monitoring / R.A. Varbanets, Y.M. Kucherenko, A.I. Halavan // Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine equipment and technology. – Astrakhan. – 2013. – № 1. – P. 103–110.9.
4. *Varbanets R.A.* The "leakage" elimination methods analysis of the spectrum in the diagnosis system of marine diesel engines turbo system / R.A. Varbanets, Y.N. Kucherenko, A.I. Golovanov, N. Alexandrovskaya // Artificial intelligence. – 2013. – № 4 (62). – P. 289–295.
5. Applied Time Series Analysis, by Robert K. Otnes and Loren Enochson. – New York: Wiley, 1978. – P. 428.

УДК 621.437

**И.С. Ахундов, А.Ш. Исмаилов**

*Азербайджанская государственная морская академия,  
Баку, AZ1000  
e-mail: i.akhundov@caspmarine.com*

### **ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ВИДА И ПЛОТНОСТИ ТОПЛИВА НА ПАРАМЕТРЫ ГЛАВНОГО СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ МАРКИ 6L20**

В статье рассматривается теоретическое исследование результатов вычислительных экспериментов с целью определения влияния изменения вида топлива на параметры процесса сгорания, на индикаторные и эффективные показатели главного судового дизельного двигателя марки 6L20.

**Ключевые слова:** дизельный двигатель, топливо, плотность, вычислительные эксперименты, индикаторные показатели, эффективные показатели, индикаторная мощность, эффективная мощность, расход топлива, продолжительность сгорания, коэффициент использования теплоты, период индукции.

**I.S. Akhundov, A.Sh. Ismailov**

*Azerbaijan State Marine Academy,  
Baku, AZ1000  
e-mail: i.akhundov@caspmarine.com*

### **THEORETICAL STUDY OF THE INFLUENCE OF CHANGE OF TYPE AND DENSITY OF FUEL ON THE PARAMETERS OF THE MAIN VESSEL ENGINE TYPE 6L20**

The deals with a theoretical study of the results of a computational experiments, in order to determine the effect of various type of fuel on the parameters of the combustion process, in-cylinder indicators and effective parameters of marine main diesel engine type 6L20.

**Key words:** diesel engine, fuel, density, computational experiments, in-cylinder parameters, effective indicators, indicated power, effective power, fuel consumption, combustion duration, coefficient of heat utilization, induction period.

В главных судовых дизельных двигателях применяются различные виды легкого и тяжелого топлива. Плотность, вязкость, температура вспышки, цетановое число и другие параметры являются основными отличительными свойствами этих топлив. Поэтому при изменении вида топлива, используемого в двигателе, очень важно предварительное прогнозирование влияния применяемого топлива на основные показатели двигателя. Такое прогнозирование возможно двумя способами: первое – путем определения основных показателей двигателя при использовании другого вида топлива с помощью моторных испытаний, второе – путем вычислительных экспериментов с использованием расчетной методики, учитывающей основные физико-химические свойства используемого топлива. Первому способу свойственны значительные затраты времени и материальных средств. Поэтому предпочтение отдается обычно второму способу. Так как в этом случае за очень короткое время без каких-либо материальных затрат можно определить показатели двигателя в зависимости применяемого вида топлива. В связи с этим рассматриваемый вопрос можно считать актуальным.

Для исследования влияния изменения вида или плотности топлива на показатели судового главного двигателя марки 6L20 для вычисления продолжительности процесса сгорания ( $\varphi_z$ ), коэффициента использования теплоты ( $\xi_z$ ) и периода индукции ( $\tau_i$ ), были использованы следующие эмпирические выражения:

$$\varphi_{zon} = -104,393 + 0,6198 \cdot P_{\text{фю}} - 0,1719 \cdot P_{\text{фю}}^2 + 0,5208 \cdot 10^{-2} \cdot P_{\text{фю}}^3, \quad (1)$$

$$\xi_{zon} = (0,891049 + 0,9062525 \cdot 10^{-2} \cdot P_{\text{фо}} - 0,2187509 \cdot 10^{-3} \cdot P_{\text{фо}}^2) \cdot \rho_{\text{дл}} / \rho_{\text{дт}}, \quad (2)$$

$$\tau_i = \sqrt{\left(\frac{V_{\theta} - V_c}{V_{\text{звп}}} + \frac{1}{\varepsilon}\right) \frac{T_o}{P_o}} \cdot 10 \cdot B \cdot \exp\left[\left(\frac{V_{\theta} - V_c}{V_{\text{звп}}} + \frac{1}{\varepsilon}\right)^{0,34} \cdot E / (R_{\mu} \cdot T_o)\right] \cdot \rho_{\text{дл}} / \rho_{\text{дт}}, \quad (3)$$

где  $\varphi_{zon}$  и  $\xi_{zon}$  – оптимальные значения продолжительности процесса сгорания и коэффициента использования теплоты для номинального режима работы двигателя;

$\rho_{\text{дл}}$  – плотность стандартного дизельного топлива, используемого в двигателе, кг/м<sup>3</sup>;

$\rho_{\text{дт}}$  – плотность других легких и тяжелых топлив, которые могут использоваться в этом двигателе, кг/м<sup>3</sup>;

$P_{\text{фо}}$  – начальное давление впрыска топлива из форсунки при номинальном режиме работы двигателя, МПа;

$V_{\theta}$  и  $V_{\text{звп}}$  – соответствующие объемы цилиндра при начале подачи топлива в цилиндр и закрытии впускного клапана;

$E$  – условная энергия активации, МДж/кмоль;

$B = (1 - 1,6 \cdot 10^{-4} n) \cdot 12 \cdot 10^{-5}$  – коэффициент [1];

$\varepsilon$  – степень сжатия двигателя;

$P_o$  и  $T_o$  – давление и температура окружающей среды; МПа и К;

$R_{\mu}$  – универсальная газовая постоянная, МДж/(кмоль · К).

В выражениях (2) и (3) влияние изменения вида топлива учитывается отношениями плотностей ( $\rho_{\text{дл}} / \rho_{\text{дт}}$  или  $\rho_{\text{дт}} / \rho_{\text{дл}}$ ). Принято, что изменение цетанового числа (*ЦЧ*) в основном влияет на энергию активации ( $E$ ), так как *ЦЧ* характеризует способность самовоспламенения топлива и непосредственно влияет на период индукции. Это предположение учитывается в значении энергии активации ( $E$ ), которое определяется следующей формулой [2]:

$$E = E_{\text{дл}} \cdot (\text{ЦЧ}_{\text{дл}} / \text{ЦЧ}_{\text{дт}})^{0,11028}, \quad (4)$$

где  $E_{\text{дл}}$  – энергия активации стандартного дизельного топлива;

$\text{ЦЧ}_{\text{дл}}$  и  $\text{ЦЧ}_{\text{дт}}$  – цетановые числа стандартного дизельного топлива и топлива, которое используется в двигателе.

В табл. 1 показаны основные физико-химические свойства топлив, используемые в главных судовых дизелях марки 6L20.

Таблица 1

Основные физико-химические свойства топлив, используемых в главных судовых дизелях марки 6L20

Показатели	Плотность, кг/м <sup>3</sup>			
	827	838	848	900
1. Цетановое число (ЦЧ), не менее	51	51	45	35
2. Цетановый индекс (ЦИ), не менее	50,4	50,4	–	35
3. Массовая доля серы, мг/кг, не более	–	8,6	9,0	1,5 (% м/м)
4. Температура вспышки в закрытом тигеле, °С, не ниже	74	67	65	60
5. Коксуемость 10%-ного остатка разгонки, % масс, не более	–	0,03	0,03	0,3
6. Зольность, % масс, не более	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	0,01 (% м/м)
7. Массовая доля воды, мг/кг, не более	Отсутствует	38	–	0,3 (% об/об)
8. Массовая доля механических примесей, не более	Отсутствует	Отсутствует	Отсутствует	–
9. Кинематическая вязкость при температуре 40°С (мм <sup>2</sup> /с)	2,98	2,579	2,76	2÷11
10. Низшая теплота сгорания ( $Q_{\text{Н}}$ ), МДж/кг	42,65	42,65	42,65	41,42

Низшая теплота сгорания влияет на выделенную теплоту при сгорании топлива ( $Q_{\text{НС}}$ ):

$$Q_{\text{НС}} = \xi_z \cdot Q_{\text{Н}} \cdot g_{\text{ц}} \cdot x, \quad \text{Дж/кг}, \quad (5)$$

где  $Q_{\text{Н}}$  – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг;

$g_{\text{ц}}$  – цикловая подача топлива, кг;

$\Delta x$  – массовая доля условно сгоревшего топлива в расчетном шаге.

В табл. 2. показаны результаты проведенных математических экспериментов для исследования влияния изменения вида топлива или плотности топлива на основные показатели главного судового дизельного двигателя марки 6L20. При этом угол подачи топлива по мениску принят  $\theta_{\text{мен}} = 9,8^\circ$ , а давление начала впрыска топлива – равным  $P_{\text{фо}}$  МПа.

Таблица 2

**Основные показатели главного судового дизеля марки 6L20 в зависимости от плотности топлива**  
 ( $P_{\text{фо}} = 45$  МПа;  $\theta_{\text{мен}} = 9,8^\circ$ ;  $n = 1\,000$  мин<sup>-1</sup>;  $\eta_m = 0,85$ )

Показатели	Плотность ( $\rho$ ), кг/м <sup>3</sup>					
	827	838	848	860	880	900
1. Низшая теплота сгорания топлива ( $Q_n$ ), $\frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	42,65	42,65	42,65	42,65	42,65	42,65
2. Цетановое число топлива (ЦЧ)	51	51	45	45	45	35
3. Максимальное давление сгорания ( $P_z$ ), МПа	19,4	19,23	18,97	18,8	18,52	18,0
4. Максимальная температура сгорания ( $T_z$ ), К	2 035	2 017	2 000	1 981	1 952	1 919
5. Индикаторный КПД ( $\eta_i$ ), %	0,553	0,546	0,539	0,532	0,520	0,507
6. Среднее индикаторное давление ( $P_i$ ), МПа	2,919	2,882	2,846	2,807	2,745	2,678
7. Период индукции ( $\tau_i$ ), с	$0,5304 \cdot 10^{-3}$	$0,5375 \cdot 10^{-3}$	$0,572 \cdot 10^{-3}$	$0,58 \cdot 10^{-3}$	$0,594 \cdot 10^{-3}$	$0,673 \cdot 10^{-3}$
8. Индикаторная мощность ( $N_i$ ), кВт	1 284	1 268	1 252	1 235	1 207	1 178
9. Удельный индикаторный расход топлива ( $g_i$ ), $\frac{\text{г}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$	152,7	154,6	156,6	158,7	162,3	166,6
10. Среднее эффективное давление ( $P_e$ ), МПа	2,481	2,450	2,419	2,386	2,333	2,276
11. Эффективная мощность ( $N_e$ ), кВт	1 091	1 078	1 064	1 050	1 026	1 001
12. Удельный эффективный расход топлива ( $g_e$ ), $\frac{\text{г}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$	179,6	181,9	184,2	186,7	190,9	196
13. Коэффициент использования теплоты ( $\xi_z$ )	0,878	0,866	0,856	0,844	0,825	0,806

На рис. 1 и 2 показаны закономерности изменения значений основных параметров процесса сгорания ( $\tau_i$ ,  $\varphi_z$ ,  $\xi_z$ ,  $P_z$ ,  $T_z$ ), индикаторных и эффективных показателей двигателя ( $\eta_i$ ,  $g_i$ ,  $N_i$  и  $\eta_e$ ,  $g_e$ ,  $N_e$ ), полученных с помощью математических экспериментов в зависимости от плотности топлива.

Как видно из рис. 1, с утяжелением топлива, вернее, с увеличением плотности топлива, ухудшается испаряемость топлива и увеличивается период индукции ( $\tau_i$ ), а также в результате ухудшения качества смесеобразования и процесса сгорания уменьшается коэффициент использования теплоты ( $\xi_z$ ). А это, в свою очередь, приводит к уменьшению максимального давления сгорания ( $P_z$ ) и максимальной температуры процесса сгорания ( $T_z$ ). Следует отметить, что повышение плотности топлива не влияет на продолжительность сгорания ( $\varphi_z$ ) и  $\varphi_z$  практически остается постоянным.

Из рис. 2 видно, что с повышением плотности топлива индикаторные и эффективные мощности двигателя ( $N_i$  и  $N_e$ ) снижаются, а удельный индикаторный и эффективный расходы топлива ( $g_i$  и  $g_e$ ) увеличиваются. Это объясняется, как было указано выше, ухудшением качества процесса сгорания.

При проведении математических экспериментов цикловая подача топлива ( $g_n$ ) и коэффициент избытка воздуха ( $\alpha$ ) принимаются постоянными, а механический КПД ( $\eta_m$ ) – равным 0,85.

Таким образом, как видно из табл. 2, при увеличении плотности топлива от 827 кг/м<sup>3</sup> до 900 кг/м<sup>3</sup> эффективная мощность двигателя уменьшается на 8,2%, а удельный эффективный расход топлива увеличивается на 9,1%. Поэтому для сохранения мощности и экономичности двигателя на нужном уровне оптимальные значения плотности топлива можно принять в пределах 840÷850 кг/м<sup>3</sup>.

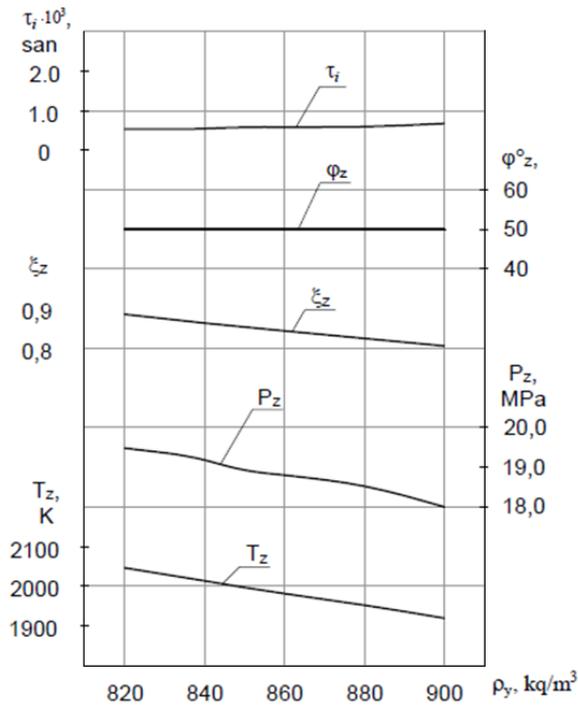


Рис. 1. Графики изменения показателей процесса сгорания в зависимости от плотности топлива главного судового двигателя марки 6L20 ( $P_{\text{ф0}} = 45 \text{ МПа}$ ;  $\theta_{\text{мен}} = 9,8^\circ$ ;  $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$ )

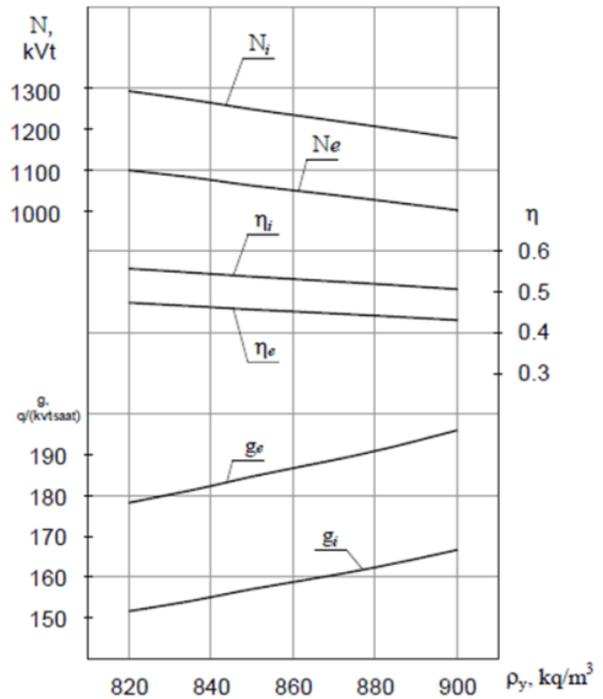


Рис. 2. Графики изменения индикаторных и эффективных показателей главного судового двигателя марки 6L20 в зависимости от плотности топлива ( $P_{\text{ф0}} = 45 \text{ МПа}$ ;  $\theta_{\text{мен}} = 9,8^\circ$ ;  $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$ )

### Литература

1. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей: Учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / Д.Н. Вырубов, Н.А. Ивашенко, В.И. Ивин и др. / Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 372 с.
2. Насибов Ф.Б. Рабочий процесс дизеля с поршнем, автоматически регулирующим степень сжатия при использовании различных жидких топлив: Дис. ... канд. тех. наук / Ф.Б. Насибов. – Баку, 1999. – С. 140.

УДК 621-2:621.81

**Р.Д. Джаббаров**

*Азербайджанская государственная морская академия,  
Баку, AZ1000  
e-mail: rovsan59@mail.ru*

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЗАЦИИ И АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ОБРАБОТКИ**

В данной статье определяется эффективность механизации и автоматизации технологических процессов такими показателями, как повышение производительности труда, снижение себестоимости продукции, сокращение производственного цикла (длительности обработки), повышение качества обработки и облегчение условий труда. Рассчитываются оценка сравнительной производительности труда, оценка степени автоматизации станка, коэффициент автоматизации, сравнительная себестоимость обработки одной заготовки и период окупаемости капитальных вложений.

**Ключевые слова:** эффективность механизации, технологический процесс, производительность труда, трудоемкость операции, технологическая себестоимость.

**R.D. Djabbarov**

*Azerbaijan State Marine Academy,  
Baku, AZ1000  
e-mail: rovsan59@mail.ru*

### **DETERMINATION OF EFFICIENCY OF MECHANIZATION AND AUTOMATION OF PROCESSING PROCESSES**

This article determines the effectiveness of mechanization and automation of technological processes by such indicators as increasing labor productivity, reducing production costs, shortening the production cycle (processing time), improving the quality of processing and facilitating working conditions. The estimation of the comparative labor productivity, the degree of automation of the machine, the coefficient of automation, the comparative cost of processing one workpiece and the payback period of capital investments are calculated.

**Key words:** efficiency of mechanization, technological process, labor productivity, labor input of an operation, technological prime cost.

Степень прогресса определяет интенсивность изучения производственных процессов, а следовательно, и научное их обобщение с установлением теоретических основ закономерностей в технологии механической обработки и сборки.

Начало изучения технологических процессов, т. е. способов обработки заготовок, в результате которых получается готовое изделие, соответствующее по размерам, форме и качеству требованиям, предъявляемым к его работе, относится к первым годам прошлого столетия.

Практическому внедрению механизации и автоматизации производственных процессов должно предшествовать осуществление комплекса технологических мероприятий, создающих предпосылки для выбора экономических методов и способов производства применительно к различным условиям.

Одним из основных направлений в машиностроении является выбор экономичных форм заготовок, которые дают наименьшие технологические отходы. Непрерывное повышение точности заготовок и приближение их форм к формам готовых деталей резко сокращают область применения различных методов обработки резанием, ограничивая ее в ряде случаев операциями окончательной отделки и сокращая тем самым отходы металла в стружку.

Эффективность механизации и автоматизации технологических процессов определяют следующими показателями: повышением производительности труда, снижением себестоимости

продукции, сокращением производственного цикла (длительности обработки), повышением качества обработки и облегчением условий труда.

Эти показатели не являются постоянными и зависят от условий и требований конкретного производственного процесса.

Непосредственное влияние на характер автоматизации технологических процессов оказывает масштаб или объем производства, размер партий деталей и повторяемость партий (для серийного производства); количество типоразмеров деталей, изготавливаемых на данном оборудовании, устойчивость производственной программы данных типоразмеров деталей, размеры и формы изготавливаемых деталей и характеристика действующего оборудования.

Эти условия существенно влияют на выбор степени автоматизации, причем рациональный характер автоматизации, обеспечивающий наибольшую экономическую эффективность, для различных видов производства будет различен [1].

Для оценки сравнительной производительности труда при проведении мероприятий по механизации и автоматизации технологических процессов может быть использована формула:

$$P = \frac{1}{T} \text{ шт/чел} \cdot \text{ч},$$

где  $P$  – производительность труда, выраженная в единицах продукции, приходящейся на человеко-час труда рабочего;

$T$  – трудоемкость операции в человеко-часах.

Для приближенной оценки степени автоматизации станка при обработке примерно однородных заготовок можно пользоваться коэффициентом автоматизации, который определяется из следующей зависимости:

$$\eta = \frac{C_{\text{ст}} - T}{C_{\text{ст}}},$$

где  $C_{\text{ст}}$  – станкоемкость, т. е. время станка, затрачиваемое на единицу продукции, в станко-минутах или станко-часах.

При полной автоматизации, когда трудоемкость  $T$  мала и приближается к нулю, коэффициент автоматизации  $\eta$  близок к единице. Для металлорежущих станков, когда  $T = C_{\text{ст}}$ ,  $\eta$  практически равен нулю.

Сравнивая коэффициенты автоматизации при выполнении одной и той же операции на разных станках с разной степенью технических усовершенствований, можно дать сравнительную оценку степени автоматизации этих станков.

Кроме коэффициента автоматизации  $\eta$ , уровень совершенства построения технологического процесса обработки может характеризовать коэффициент непрерывности работы станка  $\kappa$ , представляющий отношение технологического времени к сумме технологического и вспомогательного времени:

$$\kappa = \frac{T_{\text{T}}}{T_{\text{T}} + T_{\text{В}}}.$$

Наиболее выгодным технологическим процессом при обработке на неавтоматизированных металлорежущих станках является процесс непрерывной обработки, например, непрерывное фрезерование или шлифование на станках с вращающимися столами и непрерывной загрузкой. В этих случаях вспомогательное время  $T_{\text{В}}$  равно нулю (совмещается с машинами), а следовательно,  $\kappa = 1$ .

При неизменной величине вспомогательного времени даже значительное уменьшение технологического времени обычно дает сравнительный малый рост производительности, поэтому осуществление только одного совершенствования процесса резания (повышение режимов) без существенного изменения вспомогательного времени не дает нужного эффекта [2].

Целесообразная степень автоматизации технологических операций в конкретных производственных условиях характеризуется наименьшей затратой труда в процессе производства.

Эти затраты оценивают при определении сравнительной себестоимости обработки до и после автоматизации и расчета времени окупаемости капитальных вложений, которые необходимо произвести при автоматизации технологического процесса.

Сравнительную себестоимость обработки одной заготовки в серийном производстве можно определить, пользуясь формулой

$$C_t = \left(1,15 + \frac{H}{100}\right) \frac{T_{ш}}{K_c} \cdot Z_{ст} + m_c T_{ш} + \frac{T_{пз}}{K_3} Z_{нп},$$

где  $C_t$  – технологическая себестоимость обработки одной заготовки, коп.;

$H$  – накладные расходы к основной заработной плате (без стоимости эксплуатации оборудования, но со стоимостью эксплуатации инструмента и оснастки), %. Для неавтоматизированного производства  $H = 200\%$ ; для автоматизированного производства  $H = 300\%$ ;

$Z_{ст}$  – минутная заработная плата станочника, коп.;

$T_{ш}$  – штучное время обработки одной заготовки, мин;

$K_c$  – количество станков, одновременно обслуживаемых одним станочником, шт.;

$m_c$  – минутная стоимость эксплуатации станка с учетом ремонта, коп.;

$T_{пз}$  – подготовительно-заключительное время, мин;

$K_3$  – количество заготовок в партии, шт.;

$Z_{нп}$  – минутная заработная плата наладчика, коп. [3].

Период окупаемости капитальных вложений  $T_{ок}$  можно определить по формуле:

$$T_{ок} = \frac{C_k}{C_{сж} M} \text{ месяцев,}$$

где  $C_k$  – сумма капитальных затрат, т. е. стоимость приобретения или изготовления автоматизированных устройств или оборудования, коп.;

$C_{сж}$  – величина снижения технологической себестоимости обработки в результате автоматизации процессов (в сравнении с себестоимостью по прежнему варианту), коп.;

$M$  – месячная программа выпуска деталей, шт. [4].

Практически можно считать, что период окупаемости дополнительных автоматизированных устройств и приспособлений к металлорежущим станкам должен быть не более 6–8 месяцев.

Приведенные критерии оценки степени автоматизации технологических процессов зависят от условий и требований каждого конкретного производства, однако в большинстве случаев экономическая эффективность должна быть основной оценкой целесообразности проведения тех или иных технических усовершенствований.

## Литература

1. *Богатырев В.Н.* Выбор экономического процесса механической обработки деталей на машиностроительном заводе / В.Н. Богатырев. – М.: Машгиз, 1991. – 363 с.
2. *Данилевский В.В.* Автоматизация процессов обработки на универсальных станках / В.В. Данилевский // Научно-технический сборник «Технология машиностроения» / ЦИНТИ-МАШ. – № 12. – 2001. – 51 с.
3. *Данилевский В.В.* Определение эффективности автоматизации процессов обработки на универсальном оборудовании / В.В. Данилевский // Научно-технический журнал «Механизация и автоматизация производства». – 1996. – № 1. – 47 с.
4. *Демьянюк Ф.С.* Технологические основы поточного и автоматизированного производства / Ф.С. Демьянюк. – М.: Машгиз, 2003. – 68 с.

УДК 623.85

**В.Ю. Ерошков<sup>1</sup>, В.В. Непомилуев<sup>2</sup>, А.Н. Семенов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>ПАО «ОДК-САТУРН»,

Рыбинск, 152903

e-mail: eroschkow@mail.ru;

<sup>2</sup>Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева,

Рыбинск, 152934

e-mail: vvvvnn@yandex.ru, semenov.an@mail.ru

## ЛАЗЕРНАЯ ЦЕНТРОВКА ВАЛОВ КОРАБЕЛЬНЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ АГРЕГАТОВ

Рассматривается вопрос повышения качества и производительности монтажных работ корабельных газотурбинных агрегатов в условиях испытательного стенда. Предложен метод лазерной центровки валов с использованием регулируемых виброопор.

**Ключевые слова:** монтаж, газотурбинные агрегаты, лазерная система центровки, виброопоры.

**V.Yu. Eroshkov<sup>1</sup>, V.V. Nepomiluev<sup>2</sup>, A.N. Semenov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Public Joint-Stock Company "UEC-Saturn",

Rybinsk, 152903

e-mail: vasily.eroshkov@uec-saturn.ru;

<sup>2</sup>P.A. Solovyov Rybinsk State Aviation Technical University,

Rybinsk, 152934

e-mail: vvvvnn@yandex.ru, semenov.an@mail.ru

## LASER CENTERING OF SHAFT OF GAS TURBINE UNITS

The question of improving the quality and performance of installation work of ship gas turbine units in a test stand. A method of laser alignment of shafts using adjustable vibration supports is proposed.

**Key words:** installation, gas turbine units, laser centering system, vibration dampers.

Успешное освоение производства судовых газотурбинных и дизель-газотурбинных агрегатов на российских двигателестроительных предприятиях непосредственно связано с обеспечением эффективности их монтажа при заводских стендовых испытаниях. Важным условием качества стендового монтажа является обеспечение соосности всех роторных машин, узлов и агрегатов, выполняющих функции передачи крутящего момента от силовой турбины ГТД к корабельному редуктору. Эффективность процесса монтажа определяется затратами труда на выверку и фиксацию положения всех компонентов газотурбинных агрегатов. Ограничительными факторами процесса монтажа являются значительные габариты и массы компонентов, высокие мощности и угловые скорости, наличие большого количества трубной обвязки и газоотвода, приводящие к напряженности и перекосам корпусов, тепловые расширения, приводящие к изгибам валопроводов и соединительных муфт, погрешности фундамента, и большое количество мест крепления основания ГТД.

Основными видами отклонений от соосности являются линейные и угловые смещения осей всех сопрягаемых компонентов от номинального положения общей оси вращения. Поэтому выверка узлов предполагает наличие в конструкции регулировочных элементов, позволяющих выполнять коррекцию положения в горизонтальном, вертикальном и угловых направлениях, т. е. в трехмерном пространстве с высокой точностью, а также жестко фиксировать без дополнительных податливостей в процессе закрепления.

В настоящее время центровка компонентов дизель-газотурбинных агрегатов выполняется классическим способом, широко используемым в машиностроении, на основе косвенного метода измерения с помощью специальных приспособлений и часовых индикаторов [1].

Точность центровки, которая является для корабельного агрегата паспортной величиной, фиксируется в документации как при монтаже на испытательном стенде, так и при монтаже в корабле и определяется величиной излома осей валов агрегатов и трансмиссий их соединяющих (рис. 1).

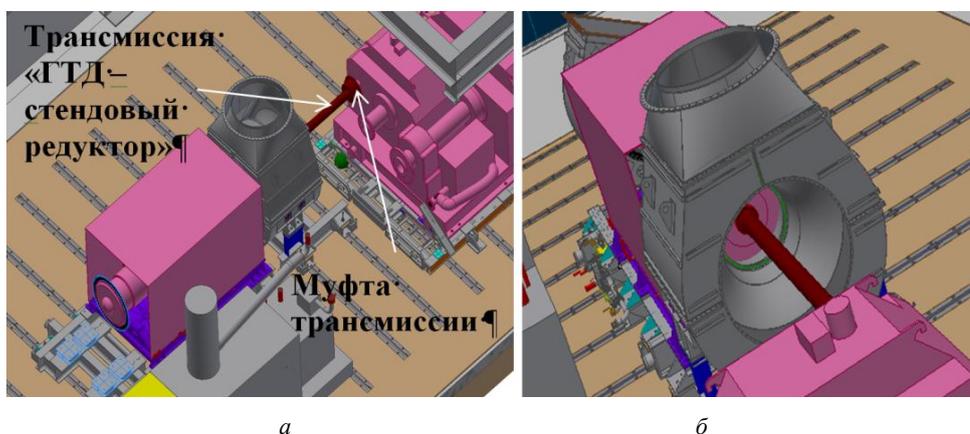


Рис. 1. Трансмиссия «ГТД – стендовый редуктор», предварительно смонтированная на стенде:  
а – вид со стороны ГТД, б – вид со стороны стендового редуктора

Особенностью описанного способа и контроля, и регулировки и, соответственно, его недостатком является то, что при измерении только радиального биения фиксируется угловое смещение осей валов. В случае же наличия линейной составляющей несоосности индикаторная схема не позволяет выявить смещение осей.

Другим недостатком существующей схемы оценки несоосности является влияние на результаты измерений деформаций передаточной системы – муфт, на которые устанавливается измерительное приспособление и которые при силовом замыкании меняют положение стыковочных плоскостей ввиду их конструктивно заложенной компенсационной способности. Поэтому необходимым условием обеспечения соосности валов трансмиссии и агрегатов является проведение контроля и регулировки положения агрегатов при разомкнутой трансмиссии по исполнительным поверхностям выходных узлов.

Обеспечить нормативную величину соосности с первого раза, как правило, не удастся, поэтому приходится производить многократную дополнительную подцентровку агрегатов изделия за счет изменения толщины клиньев между опорными поверхностями установочной рамы ГТД и фундаментом бокса. Определение необходимых величин клиньев – операция трудоемкая, которая требует значительного опыта исполнителей в проведении подобной регулировки.



Рис. 2. Схема установки системы лазерной центровки OPTALIGN Smart

В первую очередь при монтаже ГТА и его центровке решено использовать прямой метод измерения, основанный на использовании передовой лазерной системы OPTALIGN Smart. Система OPTALIGN Smart – измерительная система точной центровки валов, в состав которой входит надежный компьютер, в защищенном исполнении, способный работать в условиях вибраций, внешних климатических воздействий, электромагнитных полей и других негативных производственных факторов, дополненный техническими возможностями лазерного датчика с технологией выравнивания по пяти осям (рис. 2). Погрешность центровки валов данной системой составляет 0,01 мм, разрешающая способность 0,001 мм.

Положительное значение означает, что опора перемещаемого оборудования поднята вверх или смещена в сторону от наблюдателя; отрицательное значение свидетельствует, что опора перемещаемого оборудования опущена вниз или смещена навстречу.

Для повышения производительности и снижения трудоемкости регулировочных работ были применены универсальные регулируемые опоры SKF Vibracon, которые предназначены для простой и точной регулировки оборудования. Опоры компенсируют угловой перекося до 4° между оборудованием и монтажным основанием, устраняя необходимость в дорогостоящей механической обработке основания, облегчают подгонку клиньев, позволяют обеспечить выравнивание рамы ГТД в трех направлениях и центровку с трансмиссией, расположенной в выхлопном коллекторе.

Датчик лазерной системы OPTALIGN Smart оснащен двумя позиционно-чувствительными детекторами, встроенной микроэлектромеханической системой, которая обеспечивает возможность проведения одновременной корректировки положения по вертикали и горизонтали в реальном времени, а также датчиком углового положения вала. Во время вращения вала в режиме непрерывной линейной развертки достигается быстрое и точное считывание данных. Данные технические разработки обеспечивают высокую точность воспроизведения результатов даже при наличии механических ограничений, таких как свободный ход вала.

Монтаж лазерной системы центровки на валу достаточно прост. Компактное зажимное устройство датчика и лазера, и приемника цепного типа обеспечивает максимально жесткую фиксацию компонентов измерительной системы. В случае изготовления вала или трансмиссии из магнитных сталей и сплавов для ускорения процесса установки лазерного датчика может использоваться магнитное зажимное устройство.

После выполнения процедур размещения компонентов корабельного агрегата на стенде, включая ГТД на собственной раме, выхлопного коллектора (части системы газоотвода) производится предварительный монтаж трансмиссии «ГТД – стендовый редуктор». Место соединения трансмиссии к ГТД внутри газоотвода является базовым и далее не демонтируется, поэтому установка лазерной системы центровки OPTALIGN Smart производится на фланцы силовой турбины ГТД и фланцы трансмиссии. После установки выполняется ввод необходимых размеров оборудования в пульт управления компьютера OPTALIGN Smart:

- расстояние от центра муфты до датчика;
- диаметр муфты;
- частота вращения;
- расстояние от центра муфты до передней опоры изделия;
- расстояние между передней и задней опорами изделия.

После выполнения монтажа лазерной системы и ввода исходных данных выполняется центровка лазерного луча по центру датчика приемника путем регулировки зажимов крепежа и поворота дисковых регуляторов угла. Процедура выполняется в автоматическом режиме путем поворота трансмиссии включением валоповоротного устройства редуктора.

Результаты измерения относительного расположения осей трансмиссии отражаются на мониторе в виде значений их смещения и зазора в стыке муфты как для горизонтальной, так и вертикальной плоскостей (рис. 3). Положительное значение зазора отображается при обзоре сверху или сбоку от наблюдателя; положительное значение смещения отображается в том случае, если вал правой машины в точке муфтового соединения располагается выше и дальше.



Рис. 3. Результаты предварительного измерения относительного расположения агрегатов на мониторе компьютера OPTALIGN Smart

Операция центровки выполняется до тех пор, пока на экране монитора не появятся необходимые значения, определяемые соответствующим допуском на центровку агрегатов.

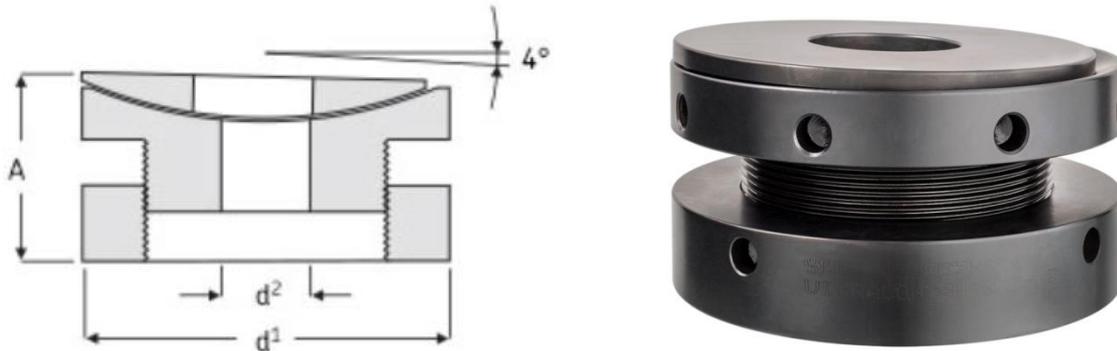


Рис. 4. Принципиальная схема и внешний вид регулируемой опоры SKF Vibracou

В заключение необходимо отметить, что на ПАО «ОДК-Сатурн» технология лазерной центровки успешно используется при монтаже корабельных газотурбинных агрегатов различной конфигурации. Ее реализация позволяет достичь более высокой точности центровки, сократить на 30% трудоемкость работ по центрировке агрегатов, а также обеспечить наглядность процедуры центровки, удобство предъявления операции службе технического контроля или заказчику. Разработанный метод центровки агрегатов может быть использован при сборке и ремонте любых подобных конструкций в судовых условиях.

#### Литература

1. Ревизин Б.С. Газотурбинные двигатели судового типа для энергетических установок / Б.С. Ревизин, О.В. Комаров. – Екатеринбург: Изд-во УГТУ-УПИ, 2003. – 56 с.

УДК 629.5.083.5

**А.В. Костенко<sup>1</sup>, Б.Н. Безлобенко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003;*

<sup>2</sup>*Петропавловск-Камчатский судоремонтный завод,  
Петропавловск-Камчатский, 683015  
e-mail: andr13kost@list.ru*

## **К ВОПРОСУ О РАЗВИТИИ СУДОРЕМОНТНОЙ ОТРАСЛИ КАМЧАТСКОГО КРАЯ**

В работе рассмотрен вопрос о перспективах развития судоремонтной отрасли Камчатского края. Приведены сведения из стратегии социально-экономического развития Камчатского края. Рассмотрена актуальность использования в судоремонте газотермических покрытий. Приведены виды покрытий. Показаны актуальность и перспективы создания научно-исследовательской лаборатории машиностроения и судоремонта на базе Камчатского государственного технического университета.

**Ключевые слова:** судоремонт, газотермическое покрытие, напыление, классификация покрытий, техническая научно-исследовательская лаборатория машиностроения и судоремонта.

**A.V. Kostenko<sup>1</sup>, B.N. Bezlobenko<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003;*

<sup>2</sup>*Petropavlovsk-Kamchatsky Shipyard,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683015  
e-mail: andr13kost@list.ru*

## **TO THE QUESTION OF THE DEVELOPMENT OF THE SHIP REPAIR INDUSTRY OF THE KAMCHATKA REGION**

The work considers the issue of the prospects for the development of the ship repair industry in the Kamchatka Region. The information from the strategy of socioeconomic development of the Kamchatka Region is presented. The relevance of using gas-thermal coatings in ship repair is considered. The types of coatings are given. The relevance and prospects of creating a research laboratory of mechanical engineering and ship repair on the basis of the Kamchatka State Technical University are shown.

**Key words:** ship repair, gas-thermal coating, spraying, classification of coatings, technical research laboratory of mechanical engineering and ship repair.

При изготовлении и восстановлении деталей судовых дизелей необходимо обеспечить требуемые свойства деталей, что обеспечит надежное функционирование двигателя в целом. Использование различных методов отделочно-упрочняющей обработки (ОУО) способствует решению задачи получения требуемых характеристик поверхностного слоя, которые существенно влияют на параметры качества всей детали.

Особенности современного машиностроения [1] требуют поиска новых подходов к реализации существующих методов ОУО, в том числе и на основе применения функционально-ориентированного подхода.

Развитие существующих и создание новых технологических процессов (ТП) является актуальным и для судоремонта, для которого следует отметить следующие проблемы: высокий уровень физического и морального износа основного и технологического оборудования; устаревшие технологические и проектные решения; острая нехватка и проблема старения квалифицированных кадров; конкуренция с китайскими, корейскими и японскими верфями [2].

Кроме того, в Стратегии социально-экономического развития Камчатского края до 2030 года [3] отмечено, что ежегодная потребность предприятий Камчатского края в судоремонте будет находиться на устойчивом уровне с тенденцией постоянного роста. В этой связи Прави-

тельством Камчатского края намечено несколько приоритетных стратегических направлений развития судоремонта:

- модернизация оборудования судоремонтных предприятий с расширением перечня услуг судоремонта;
- формирование благоприятного имиджа судоремонта Камчатского края с целью увеличения конкурентоспособности камчатских предприятий;
- организация подготовки профессиональных кадров для судоремонта в Камчатском крае на базе КамчатГТУ.

Для создания необходимых эксплуатационных свойств деталей судовых агрегатов, особенно тяжело нагруженных деталей, работающих в сложных эксплуатационных условиях, перспективными методами ОУО являются методы, связанные с нанесением покрытия на поверхности деталей: плазменное, детонационное, электродуговое, лазерное напыления. Эти методы имеют ряд преимуществ: ограниченное тепловое воздействие на обрабатываемую деталь и уменьшение деформаций последней; минимальная глубина проплавления обеспечивает незначительное перемешивание основного металла с металлом покрытия и позволяет получать физико-механические свойства покрытий, близкие к свойствам наплавочного порошкового материала; возможность нанесения на изношенную поверхность порошков различных составов и получения покрытий с заданными физико-механическими свойствами; экономия материальных и энергетических средств за счет получения покрытий с минимальными припусками на последующую механическую обработку [4].

В общем случае газотермическое напыление – это способ получения покрытий из нагретых и распыленных частиц, получаемых в результате газотермического диспергирования исходного напыляемого материала покрытия с применением высокотемпературной распыляющей газовой струи, при соударении которых с основой или под слоем ранее напыленного материала происходит их соединение посредством сварки, адгезии или механического сцепления. Упрочняющее назначение газотермических покрытий имеет многоцелевой характер. Особенности таких покрытий является их многообразие и результат совокупного взаимодействия трех основных природных (феноменологических) факторов газотермического напыления: вещества напыляемого материала; энергетического способа газотермического диспергирования напыляемого материала; восприимчивости основы к сцеплению с диспергированными частицами напыляемого материала при определенном состоянии их агрегатно-фазовых превращений. В зависимости от характера сочетаний этих факторов и функционального назначения различаются все газотермические покрытия. В табл. 1 показаны названия покрытий и их назначение [5].

Таблица 1

Эксплуатационная классификация газотермических покрытий

Название покрытия	Назначение покрытия
Антиадгезионное	Износостойкое покрытие, снижающее склонность контактирующих поверхностей к адгезионному взаимодействию или схватыванию
Антифрикционное	Износостойкое покрытие, понижающее коэффициент трения в рабочей паре трения
Жаростойкое	Коррозионностойкое покрытие, повышающее сопротивление поверхности разрушению при высоких температурах
Защитное	Покрытие, защищающее поверхность от внешних воздействий
Износостойкое	Покрытие, повышающее сопротивление поверхности различным видам изнашивания
Корковое	Покрытие, сформированное на основе в целях копирования ее формы или снимаемое с основы для использования в самостоятельных целях
Коррозионностойкое	Защитное покрытие, повышающее сопротивление основы коррозионному разрушению
Теплозащитное	Терморегулирующее покрытие, снижающее воздействие тепловых потоков на защищаемую поверхность
Терморегулирующее	Покрытие, обеспечивающее регулирование поглощения или излучения поверхностью тепловых потоков
Термостойкое	Покрытие, обладающее необходимой работоспособностью в условиях многократных изменений температуры
Уплотнительное	Покрытие, обеспечивающее необходимую стабильность зазоров в сопряженных элементах конструкции изделия
Фрикционное	Износостойкое покрытие, повышающее коэффициент трения
Эрозионностойкое	Покрытие, уменьшающее результативность воздействия высокоскоростных турбулентных потоков на защищаемую поверхность

Таким образом, следует отметить широкие возможности методов ОУО нанесения покрытий.

Возможность использования напыления подтверждается Российским морским регистром судоходства, который в методических рекомендациях по техническому наблюдению за ремонтом морских судов [6] допускает использование напыления при условии одобрения Регистром соответствующего ТП.

В табл. 2 приведены детали судового дизеля, для устранения дефектов которых в качестве одного из рекомендованных способов определено напыление.

Таблица 2

Рекомендации по техническому наблюдению

Наименование детали, узла	Вероятные дефекты	Способы устранения дефектов
Блок цилиндров	Коррозионные разъедания, риски, забоины по направляющим поясам блока, а также в районе продувочных окон. Увеличение диаметра поясов и зазора в соединении	Зачистка до чистого металла и заделка полимерными составами либо расточка блока и установка проставочного кольца по технологии, одобренной РС. Газоплазменное напыление или наплавка плазменная, электроискровая
Клапаны выпускной и впускной	Дефекты седла: износ поверхности пояса, зазор более допустимого	Обработка канавки под наплавку. Наплавка или плазменно-порошковая наплавка с обработкой по технологии, одобренной Регистром
	Дефекты выпускного клапана: износ поверхности рабочего пояса, зазор более допустимого	Замена клапана либо наплавка и обработка, либо плазменно-порошковое напыление по технологии, одобренной Регистром
	Износ поверхности штока клапана, зазоры в соединении «шток-втулка направляющая» более допустимого, овальность штока выше допустимой	Хромирование поверхности штока либо плазменное или газотермическое напыление
Клапан пусковой	Дефекты шпинделя: риски, износ уплотнительной цилиндрической поверхности	Восстановление поверхности методом хромирования плазменным или газотермическим напылением с последующей обработкой
Коленчатый вал	Износ поверхности, многочисленные риски, задиры, овальность или конусность рамовых и мотылевых шеек более допустимых величин	Наплавка или напыление плазменным методом по технологии, одобренной Регистром
Шатун в сборе	Ослабление посадки втулки в верхней головке шатуна	Восстановление наружной поверхности втулки напылением либо хромированием с обеспечением номинального натяга
Поршень со штоками пальцем	Ослабление посадки пальца в поршне	Плазменное или газотермическое напыление по технологии, одобренной РС
Вал распределительный	Ослабление натяга в соединении «вал – шайба кулачная»	Восстановление посадочных поверхностей осталиванием, хромированием, плазменным или газотермическим напылением с обеспечением установочного натяга в соединении

Отметим, что выбор способа восстановления определяется возможностями судоремонтного предприятия и экономической целесообразностью, зависит от многих факторов: производственных, экономических, конструкторско-технологических, эксплуатационных и др.

Основными способами восстановления деталей при ремонте являются:

- сварка и наплавка (электродуговая, электроконтактная, вибродуговая, газовая, плазменная, лазерная) с последующим упрочнением;
- напыление (газотермическое, плазменное);
- электрохимические (гальванические) покрытия (хромирование, осталивание, меднение);
- механическая обработка;
- применение полимерных и синтетических материалов;
- нанесение композиционных электрохимических покрытий и др.

Учитывая вышеизложенное и принимая во внимание широкие возможности реализации методов ОУО, связанных с напылением, перспективным является развитие в Камчатском крае технологических процессов нанесения покрытий на основе ФОР для судового машиностроения и судоремонта. Для исследований в области нанесения покрытий на детали судовых

агрегатов, в том числе и судовых дизелей, необходимо на базе КамчатГТУ, имеющего соответствующий научный потенциал, создание технической научно-исследовательской лаборатории машиностроения и судоремонта.

В табл. 3 приведено основное оборудование, необходимое для оснащения лаборатории.

Таблица 3

**Оборудование перспективной научно-исследовательской лаборатории машиностроения и судоремонта Камчатского государственного технического университета**

Наименование	Назначение
Установка для плазменного напыления металлических покрытий	Для создания керамических и металлических покрытий различного назначения: – термобарьерных, уплотняющих покрытий для деталей газовых турбин и компрессоров, гидронасосов, гидромоторов и др. ; – создание износостойких и защитных керамических покрытий; – ремонт изношенных посадочных мест под подшипники различных валов и восстановление размерности деталей машиностроения; – использование для деталей технологического оборудования деталей агрегатов судов рыболовного флота и др.
Твердомер	Твердомер используется для определения твердости металла – важной характеристики, так как она тесно связана с такими основными характеристиками металлов и сплавов, как прочность, износостойкость и др.
Профилометр	Среди показателей качества изделий машиностроения для судовых агрегатов и технологического оборудования первостепенное значение имеют параметры шероховатости поверхности, являющейся одной из важнейших эксплуатационных характеристик. От нее зависит не только коэффициент трения изделий, но и множество др. свойств – коррозионная стойкость и износостойкость, ряд механических характеристик
Измерительный микроскоп	Точные геометрические измерения при решении задач контроля качества изделий играют важную роль в производстве и качестве выпускаемой продукции, а также выполнения и проверки качества ремонтных работ Микроскоп позволяет проводить измерение структуры материала, размеров покрытий, величины износа и др. Дает возможность исследовать тяжелые детали, что позволяет использовать для деталей технологического оборудования судовых агрегатов рыболовного флота
Инвертированный микроскоп	Микроскоп позволяет исследовать структуру поверхностного слоя деталей
Шлифовально-полировальный станок	Станки используются для подготовки проб изделий к исследованию. Пробоподготовка является одним из первых этапов для проведения металлографии и крайне важна в металлографии
Отрезной станок	
Универсальная разрывная машина	Разрывное оборудование с электронным измерителем силы позволяет определить относительное сужение и удлинение, временное сопротивление, сопротивление на разрыв, а также позволяет вычислить модуль упругости материала Разрывные машины, дополненные различными приспособлениями, способны определить сопротивление материалов на осадку, изгиб, остаточную деформацию, сплющивание, расслоение, отслаивание, раздирание и т. п.

Работа лаборатории будет направлена на решение следующих задач:

- повышение эксплуатационной надежности и долговечности деталей судовых агрегатов и пищевого оборудования, в т. ч. рыбообрабатывающего;
- совершенствование технологии и повышение эффективности ремонтно-восстановительных работ путем нанесения покрытий с целью восстановления изношенных частей деталей;
- изучение причин повреждения деталей с целью совершенствования процесса изготовления и ремонта.

Создание научной инженерной лаборатории позволит вузу обеспечить более качественную подготовку кадров инженерных специальностей рыбопромыслового флота и береговых предприятий, а также других предприятий смежных отраслей.

Кроме того реализация вышеописанного проекта, а также ряда других технических проектов будут являться вкладом мореходного факультета КамчатГТУ в решение задач развития рыбохозяйственного комплекса и судоремонтной отрасли Камчатского края [3]:

- обновление рыбопромыслового флота, развитие портовой инфраструктуры для комплексного обслуживания судов рыбопромыслового флота;
- возможность ремонта крупнотоннажных судов в порту г. Петропавловска-Камчатского;
- обеспечение возможности ремонта судов иностранной постройки, крупнотоннажных судов (длиной до 150 м) на судоремонтных предприятиях Камчатского края;

- обеспечение возможности оперативной доставки импортного оборудования;
- обеспечение конкурентоспособности технологической базы;
- кадровое обеспечение отрасли трудовыми ресурсами необходимой квалификации.

Отметим, что судоремонтная отрасль имеет перспективы сохранения и увеличения объемов производства только в случае технического перевооружения предприятий отрасли. Преимущественные позиции судоремонта обеспечиваются за счет спроса, предъявляемого рыбохозяйственным комплексом на обновление и ремонт рыбопромыслового флота, а также за счет приближенности к районам рыбного промысла и возрождения Северного морского пути.

### Литература

1. *Костенко А.В.* Объектно-ориентированное проектирование в машиностроении / А.В. Костенко // Инновационные перспективы Донбасса: Материалы V Междунар. науч.-практ. конф. (22–25 мая 2019 г.) Т. 3. – Донецк: ДонНТУ, 2019. – С. 54–58.
2. *Астафурова И.В.* Кластер судостроения и судоремонта Приморского края: перспективы и возможности / И.В. Астафурова // Территория новых возможностей. Вестник ВГУЭС. – 2018. – № 2. – С. 28–36.
3. Стратегия социально-экономического развития Камчатского края до 2030 года [Электронный ресурс]. – URL: <http://strategy2030.kamgov.ru/> (дата обращения: 10.08.2019).
4. *Сидоров А.И.* Восстановление деталей машин напылением и наплавкой / А.И. Сидоров. – М.: Машиностроение, 1987. – 192 с.
5. *Поляк М.С.* Технология упрочнения. В 2 т. / М.С. Поляк. – М.: Л.В.М. – СКРИПТ, Машиностроение, 1995. – Т. 1. – 832 с.
6. Методические рекомендации по техническому наблюдению за ремонтом морских судов (редакция 2018 года): НД 2-039901-005. – Электронный аналог печатного издания, утвержденного 30.06.16. – Санкт-Петербург: Российский морской регистр судоходства, 2016. – 145 с. – URL: <https://meganorm.ru/Index2/1/4293736/4293736573.htm> (дата обращения: 10.08.2019).

УДК 004.04:621.9

**А.В. Костенко<sup>1</sup>, А.Н. Полетайкин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: andr13kost@list.ru;*

<sup>2</sup>*Кубанский государственный университет,  
Краснодар, 350040  
e-mail: alex.poletaykin@gmail.com*

### **МЕТОДИКА НЕЧЕТКОГО ОЦЕНИВАНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

В статье представлен вариант математического решения задачи оценивания эффективности методов отделочно-упрочняющей обработки деталей машин. Целью создания методики является повышение эксплуатационных характеристик деталей машин и их соединений. Для решения задачи формализованы данные параметров состояния поверхностного слоя, эксплуатационных свойств деталей, а также методов отделочно-упрочняющей обработки. В основу методики положен механизм нечеткой композиции бинарных нечетких отношений, статистический анализ и метод экспертного оценивания.

**Ключевые слова:** детали машин, отделочно-упрочняющая обработка, параметры состояния, эксплуатационные свойства, бинарное нечеткое отношение, нечеткая композиция.

**A.V. Kostenko<sup>1</sup>, A.N. Poletajkin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: andr13kost@list.ru;*

<sup>2</sup>*Kuban State University,  
Krasnodar, 350040  
e-mail: alex.poletaykin@gmail.com*

### **METHODOLOGY OF INDISTINCT ESTIMATION OF THE EFFECTIVENESS OF METHODS OF FINISHING AND STRENGTHENING PROCESSING OF MACHINE PARTS**

The article presents a version of the mathematical solution to the problem of evaluating the effectiveness of methods of finishing and strengthening processing of machine parts. The purpose of the methodology is to increase the operational characteristics of machine parts and their unions. To solve the problem, data on the parameters of the surface layer state, operational properties of parts, and methods of finishing and strengthening processing are formalized. The methodology is based on the mechanism of indistinct composition of binary indistinct ratios, statistical analysis and expert estimation method.

**Key words:** machine parts, finishing and strengthening processing, state parameters, operational properties, a binary indistinct ratio, aindistinct composition.

Проблема надежности механических средств стоит в современном мире достаточно остро. В силу различных обстоятельств, связанных с недолговечностью материалов, детали машин (ДМ) или их функциональные элементы (ФЭ) рано или поздно утрачивают свою работоспособность, что влечет за собой выход из строя узлов, в которые входят эти детали, и механизма в целом. Эффективно этому противостоять возможно лишь посредством реализации превентивных мероприятий, связанных с профилактическим ремонтом и своевременной заменой указанных компонентов машин. Дополнительным решением данной проблемы является увеличение срока безаварийной работы машины посредством повышения характеристик прочности ее компонентов за счет выбора и применения адекватных возможностям получения требуемых характеристик методов отделочно-упрочняющей обработки (МОУО). Из справочной литературы (см., напри-

мер, [1]) известна обширная классификация МОУО, включающая несколько десятков методов, в их соотношении со многими десятками параметров качества поверхностного слоя деталей или их ФЭ, а также их многочисленными эксплуатационными свойствами. Имея в наличии такие данные и опираясь на текущее состояние объекта воздействия (ОВ), можно подобрать такой комплекс МОУО, который бы обеспечивал получение требуемых параметров качества ДМ (ФЭ) с учетом их начального состояния, а также уровня воздействия и других параметров, в т. ч. показателей экономической эффективности. Однако решение такой громоздкой задачи, предполагающей, с учетом вариативности начального состояния ОВ, практически неограниченное число вариантов, ни посредством тривиального математического аппарата, использующего классические методы комбинирования, и тем более ручным способом, недостижимо. Поэтому актуальной задачей является разработка модели, формирующей за приемлемое время рациональные решения по комплексированию МОУО, применение которых приводит к наиболее полному достижению заданных значений эксплуатационных свойств ДМ, обеспечивающих их бесперебойную работу в соответствии с принципом единого ресурса [2].

Разработанный авторами классификатор [3] позволяет получать классификационные группировки МОУО, имеющие отношение к определенному типу деталей машин. Так, согласно данному классификатору, для детали «шестерни» могут быть применены такие МОУО, как закалка ТВЧ, цементация, азотирование, дробеструйная обработка, азотирование, цементация или покрытие пористым хромом, лазерное упрочнение и другие. В монографии [1] представлена обширная классификация методов обработки поверхностного слоя деталей машин, а также приведены результаты статистической обработки объективных данных о степени управления качеством поверхностного слоя применением указанных методов. При этом соотношения отдельных МОУО и управляемых параметров состояния поверхностного слоя (ПСПС) сформулированы в виде следующих формулировок:

- 1) позволяет управлять в значительной степени;
- 2) позволяет управлять незначительно;
- 3) не позволяет управлять;
- 4) информация о возможностях управления отсутствует;
- 5) полное обновление параметров, для управления которыми требуются финишные методы обработки.

При этом формулировки 1 и 2 имеют ярко выраженный нечеткий характер и заключают в себе неопределенность эффективности управления. Имея изначально статистическую природу, эта неопределенность может быть учтена и обработана как нечеткая именно в силу нечетких формулировок. В этом свете формулировка 4 также может быть отнесена к категории нечетких с максимальной степенью неопределенности.

С другой стороны, в этой же монографии имеются данные о взаимосвязи эксплуатационных свойств деталей машин (ЭСДМ) с параметрами состояния их поверхностного слоя с такими формулировками:

- увеличение параметра вызывает существенное улучшение ЭСДМ;
- увеличение параметра вызывает улучшение ЭСДМ;
- уменьшение параметра вызывает ухудшение ЭСДМ;
- уменьшение параметра вызывает существенное ухудшение ЭСДМ;
- отсутствие влияния параметра на ЭСДМ.

Здесь все формулировки, за исключением последней, допускают нечеткие оценки степени улучшения/ухудшения и также могут быть отнесены к категории нечетких.

Таким образом, на основе наличествующих справочных данных можно построить формальную модель нечеткого оценивания пригодности МОУО для достижения требуемых показателей ЭСДМ. В работе [4] обосновано применение для формализации нечетких отношений механизма композиции бинарных нечетких отношений. Бинарное нечеткое отношение (БНО) строится на базе двух базисных множеств, например, множества ЭСДМ  $E$  и множества ПСПС  $P$ . Полученное таким образом БНО  $I_{PE}$  образует декартово произведение базисных множеств  $E$  и  $P$ , при этом элементами БНО выступает множество кортежей. В данном случае может быть сформировано БНО нечетких оценок влияния ПСПС на ЭСДМ  $I_{PE} = \{ \langle p_j, e_k \rangle, \mu_{I_{PE}} \langle p_j, e_k \rangle \}$ . Здесь  $e_k \in E$  и  $p_j \in P$  – элементы четких множеств,  $\mu_{I_{PE}} \langle e_k, p_j \rangle$  – функция принадлежности (ФП) БНО, кото-

рая определяется как отображение  $\mu_{PE} : P, E \rightarrow [0, 1]$ . Фактически это матрица размером  $|P| \times |E|$ , элементами которой выступают нечеткие оценки, формализуемые ФП  $\mu_{PE}$ . Подобным же образом может быть построено БНО  $I_{MP} = \{\langle m_i, p_j \rangle, \mu_{MP} \langle m_i, p_j \rangle\}$ , формализующее нечеткое влияние применения МОУО на эффективность управления ПСПС ДМ.  $I_{MP}$  строится на базе множеств  $M$  и  $P$ , где  $M$  – множество МОУО.

Элементы указанных БНО есть справочные данные, которые в самом простом варианте могут быть получены соотношением указанных выше нечетких формулировок с определенной величиной в пределах единичного отрезка. Например,  $\mu_{MP} < \text{позволяет управлять в значительной степени} > = 0,8$ ;  $\mu_{MP} < \text{позволяет управлять незначительно} > = 0,3$ . В предельно корректном варианте данное соотношение должно быть дифференцированным в отношении каждой пары элементов базисных множеств, что требует получения статистических данных о связи элементов этой пары либо, при отсутствии таковых, привлечения группы экспертов, определяющих значения  $\mu_{MP}$  экспертными оценками.

Нечеткая композиция этих БНО дает результатное БНО  $I_{ME}$ . Данная операция в ее классическом исполнении формально представляется так:

$$I_{ME} = I_{MP} \otimes I_{PE}, \quad (1)$$

$$\mu_{ME} \{\langle m_i, e_k \rangle\} = \max_{p_j \in P} \left\{ \min \left\{ \mu_{MP} \langle m_i, p_j \rangle, \mu_{PE} \langle p_j, e_k \rangle \right\} \right\}. \quad (2)$$

Результатное БНО  $I_{ME}$  есть матрица, каждая  $i$ -я строка которой представляет собой вектор нечетких оценок, характеризующий эффективность  $i$ -го МОУО в отношении анализируемой ДМ. Скалярная (четкая) оценка  $Q_i$  эффективности  $i$ -го метода может быть получена посредством выполнения операции дефаззификации методом центра тяжести для одноточечных множеств:

$$Q_i = \frac{\sum_{k=1}^{|E|} I_{MEik} \cdot q_{ik}}{\sum_{k=1}^{|E|} I_{MEik}}, \quad (3)$$

где  $I_{MEik}$  – элемент БНО  $I_{ME}$ , выражаемый ФП  $\mu_{ME} \{\langle m_i, e_k \rangle\}$  по формуле (2),  $q_{ik}$  – четкое значение соответствующего элемента базисного множества  $E$ , определяемое на основе ФП «Нечеткая оценка влияния МОУО на ЭСДМ по 10-балльной шкале», примерный график которой показан на рис. 1. В таком случае итоговая вещественная оценка  $Q_i$  будет находиться в интервале  $Q_i \in [0, 10]$ . На рис. 1 показана трехкомпонентная ФП, выражающая нечеткое отнесение формализуемого влияния к трем уровням этого влияния, представленным соответствующими лингвистическими термами: «низкое», «среднее», «высокое». Число таких уровней может быть расширено до 5 или 7 введением таких дополнительных лингвистических термов, таких как «очень низкое», «выше среднего» и др.

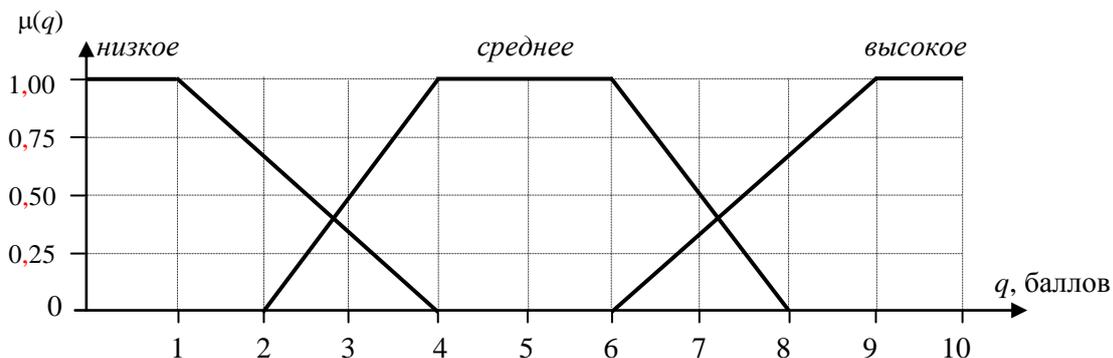


Рис. 1. График функции принадлежности нечеткого множества «Нечеткая оценка влияния МОУО на ЭСДМ по 10-балльной шкале»

Имея вектор  $Q$  оценок эффективности МОУО, можно определить по наилучшим значениям индексы методов, наиболее подходящих для обработки МД. При наличии дополнительных описанных выше условий и ограничений, накладываемых на задачу выбора методов, таких как начальное состояние ДМ, условия обработки, требования к экономической целесообразности обработки и др., необходимо применение оптимизационного моделирования. В этом случае рассмотренная в этой статье модель нечеткого оценивания МОУО может быть положена в основу методики расчета целевой функции оптимизации. Машинная реализация разработанной методики в комплексе с другими математическими методами в виде гибридной модели управления механообработкой деталей машин позволит повысить надежность механизмов и увеличит их срок службы.

### Литература

1. Инженерия поверхности деталей / Колл. авт.; под ред. А.Г. Сулова. – М.: Машиностроение. 2008. – 320 с.
2. *Костенко А.В.* Принцип единого ресурса при проектировании и производстве деталей судовых дизелей / А.В. Костенко, А.Н. Полетайкин // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – Донецк, 2018. – № 4 (63). – С. 43–48.
3. *Михайлов А.Н.* Многоаспектная классификация компонентов агрегатов / А.Н. Михайлов, А.В. Костенко, А.Н. Полетайкин // Актуальные проблемы в машиностроении. – Новосибирск. – 2019. – Т. 6, № 1–4. – С. 41–47.
4. *Леоненков А.* Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH / А. Леоненков. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 720 с.

УДК 623.85

**В.С. Котов<sup>1</sup>, А.В. Панкратов<sup>1</sup>, Р.К. Резникова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Военный институт (военно-морской политехнический)  
Военного учебно-научного центра Военно-Морского Флота  
«Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова»  
Санкт-Петербург, Пушкин, 196604;*

<sup>2</sup>*Военный учебно-научный центр Военно-Морского Флота  
«Военно-морская академия имени Адмирала Флота Советского Союза Н.Г. Кузнецова»,  
Санкт-Петербург, 197045  
e-mail: legkieshagi@yandex.ru*

## **РЕАЛИЗАЦИЯ ВОЗМОЖНОСТЕЙ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ**

В данной статье предложено решение проблемы импортозамещения при выполнении ремонтных работ, связанных с техническим обслуживанием энергетических установок кораблей и судов, применением аддитивных технологий. Проведен сравнительный анализ технологий 3D-печати с использованием металлических порошков, выявлены их отличия и особенности применения в нестационарных условиях, определены основные преимущества и недостатки. Обобщены условия, необходимые для проведения ремонта с применением данных технологий. Авторами определены наиболее оптимальные технологии 3D-печати с точки зрения практической реализации для выполнения ремонтных работ и технического обслуживания энергетических установок кораблей и судов. Приведены примеры использования ремонта с помощью аддитивных технологий. Предложен алгоритм использования аддитивных технологий по устранению неисправностей, возникающих при эксплуатации энергетических установок надводных кораблей. Материал содержит таблицы, справки, статистические данные.

**Ключевые слова:** судоремонт, аддитивные технологии, газотурбинный двигатель, ремонтпригодность, 3D-печать, прямое лазерное выращивание.

**V.S. Kotov<sup>1</sup>, A.V. Pankratov<sup>1</sup>, R.K. Reznikova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Military Institute (Military-Moral Polytechnic)  
Military Training and Scientific Center of the Navy  
“Naval Academy named after Admiral of the Soviet Union N. Kuznetsov”;  
St. Petersburg, Pushkin, 196604;*

<sup>2</sup>*The military educational and scientific center of the Navy;  
“Naval Academy named after the Admiral of the Fleet of the Soviet Union N.G. Kuznetsov”  
St. Petersburg, 197045  
e-mail: legkieshagi@yandex.ru*

## **THE IMPLEMENTATION OF THE CAPABILITIES OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN THE MAINTENANCE OF GAS TURBINE ENGINES**

This article proposes a solution to the problem of import substitution during the repair work related to the maintenance of power plants of ships using additive technologies. Comparative analysis of 3D printing technologies with using metal powders, their differences and features of application under non-stationary conditions, the main advantages and disadvantages are determined. The conditions necessary for repairs using these technologies are summarized. The authors determined the most optimal 3D printing technology from the point of view of practical implementation for repair work and maintenance of power plants of ships and vessels. Examples of the use of repairs with the help of additive technologies are given. An algorithm for using additive technologies to eliminate malfunctions arising from the operation of power plants of surface ships is proposed. The material contains tables, references, statistics.

**Key words:** ship repair, additive technologies, gas turbine engine, maintainability, 3D printing, direct laser growing.

На современном этапе процесса реформирования и перевооружения Вооруженных Сил России вопросы поиска способов импортозамещения производственных ресурсов особенно актуальны.

Командование Военно-Морского Флота РФ обращает внимание на поддержание технической готовности кораблей, находящихся и поступающих в состав ВМФ.

Решение задач импортозамещения в судостроительной и судоремонтной промышленности вызывает ряд сложностей, что зачастую приводит к изменению сроков строительства и ремонта кораблей. Однако, несмотря на тенденцию широкого импортозамещения энергетических установок надводных кораблей ВМФ России, значительная часть надводных кораблей ВМФ до сих пор обладает энергетическими установками иностранного производства.

Возникает необходимость рассмотрения вопроса ремонтпригодности таких установок при проведении анализа их использования. Более чем на шестидесяти кораблях военно-морского флота в эксплуатации находятся двигатели производства «Зоря»-«Машпроект». Поэтому «ремонтпригодность» является одним из основных критериев надежности этих изделий.

Аварийность ЭУ на море в настоящее время остается достаточно высокой и существенно не снижается. В большинстве случаев аварии и аварийные происшествия характеризуются комбинацией отказов оборудования и других событий, возникающих из-за ошибок человека, в том числе нарушений персоналом требований руководящих документов по технической эксплуатации, нерасчетных внешних воздействий. Повреждения (отказы) элементов энергетической установки составляют более 30% от всех видов аварий. Статистические данные по авариям зарубежных кораблей подтверждают этот факт.

Также неоднократно фиксировались и крупные морские происшествия с кораблями военно-морского флота при удалении их от основного места базирования с потерей хода, вплоть до нескольких суток включительно.

Вышеизложенное подчеркивает необходимость новых вариантов краткосрочного ремонта элементов энергетических установок.

Основная проблема краткосрочных ремонтов – это восстановление оригинальных деталей изделий, снятых с производства либо производящихся за пределами Российской Федерации после распада Советского Союза. В этом случае наиболее технологически сложным является процесс возобновления производства деталей, получаемых литьем. Возобновление литейного производства широкой номенклатуры деталей в единичном объеме для ремонтных предприятий невыгодно.

Одно из перспективных направлений решения этих вопросов – внедрение аддитивных технологий в ремонтное производство в комплексном сочетании 3D-печати и 3D-сканирования. Так, при дефектации деталей с помощью 3D-сканера возможно было бы определить величину износа поверхности, а с помощью 3D-принтера восстановить изношенную поверхность с учетом неравномерности износа.

Преимущества ремонта с помощью аддитивных технологий:

- возможность восстановления деталей сложной геометрической формы;
- точность нанесения слоя восстанавливающего материала на место износа с учетом геометрических особенностей поверхности и, как следствие, снижение расхода материала. В зависимости от сочетания параметров построения коэффициент использования материала может варьироваться от 0,2 до 0,9, т. е. от 20 до 90% материала, поступившего через сопловые отверстия системы подачи, фактически формируют деталь;
- снижение затрат на последующую обработку детали;
- возможность автоматизации технологического процесса ремонта.

Сочетание применения аддитивных технологий и выполнения ремонтных работ расширяет возможности эффективного использования энергетических установок по назначению. Такая вариативность позволяет решать поставленные задачи.

Примерами использования ремонта с помощью аддитивных технологий могут быть:

- восстановление лабиринтных уплотнений, сопловых аппаратов, рабочих лопаток турбин и компрессоров и т. д.;
- изготовление отсутствующих деталей, необходимых для ремонта главных и вспомогательных двигателей, что позволяет избежать крупных аварий энергетической установки.

Ремонт с использованием аддитивных технологий позволяет восстанавливать работоспособность двигателя.

При этом аварийную ситуацию на объекте, находящемся в удалении от базы, также возможно предотвратить с помощью оперативного изготовления необходимой детали и с последующей доставкой.

Важнейшим этапом обеспечения ремонта является выбор аддитивных технологий, отвечающих заданным характеристикам.

Технологии 3D-печати делают возможным изготовление любой детали, а также проведение ремонта поврежденной на основе ее трехмерной модели.

К недостаткам данного метода можно отнести высокую стоимость расходных материалов и самого оборудования. Развитие данных технологий позволит снизить себестоимость процесса изготовления отдельных деталей.

Основные методы технологий 3D-печати с использованием металлических порошков, широко распространенные и успешно применяемые в настоящее время в различных областях науки и техники, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные аддитивные технологии

Метод	Свойство
High-speed Direct Laser Growth (HSDLG)	Формирование изделия из порошка, подаваемого сжатой газопорошковой струей непосредственно в зону выращивания
Selective Laser Sintering (SLS)	Последовательное частичное плавление (спекание) слоев материалов из металлических порошков с помощью лазера
Selective Laser Melting (SLM)	Расплавление слоев материалов из металлических порошков с помощью лазера
Direct Metal Deposition (DMD)	Нанесение расплавленного с помощью лазера металла в точку построения для последовательного создания слоев детали
Construction Laser Additive Directe (CLAD)	Частичная плавка металла газопорошковой струи в фокусе лазерного луча
Laser Engineered Net Shaping (LENS)	Спекание распыляемого порошкового металла в фокусе лазерного луча
Fused deposition modeling (FDM)	Послойном создании трехмерных объектов за счет укладки расплавленной металлической проволоки
Electron Beam Melting (EBM)	Последовательное частичное плавление (спекание) слоев материалов из металлических порошков с помощью потока электронов
Electron beam Direct Manufacturing (EBDM)	Послойное наваривание металла в виде проволоки, расплавляемой потоком электронов
Ultrasonic additive manufacturing (UAM)	Послойном сваривании тонких металлических пластин с помощью ультразвука
Multiphase Jet Solidification (MJS)	Послойном образовании детали посредством распределения жидкого материала по поверхности

В табл. 2 представлены достоинства аддитивных технологий, к основным же преимуществам можно отнести следующие:

- высокую скорость изготовления изделий,
- высокую точность изготовления деталей,
- обширный диапазон используемых порошковых материалов,
- возможность изготовления готовых деталей со сложной геометрией.

Анализ характеристик аддитивных технологий позволяет сделать выборку наиболее оптимальных методов для проведения ремонта. Это связано с особенностями использования отдельных технологий, например, необходимо осуществлять дополнительные трудоемкие технологические операции (UAM, MJS, MIM), также они имеют ограниченный спектр использования (CLAD), невысокую физическую прочность готовых деталей (FDM), громоздкость и сложность устанавливаемого оборудования.

Наиболее приемлемым методом для решения поставленной задачи является использование технологии высокоскоростного прямого лазерного выращивания (High-speed Direct Laser Growth), основанной на спекании распыляемого порошкового металла в фокусе лазерного луча. Этот метод наиболее удобен для практической реализации. Он позволяет изготавливать элементы сложной как внутренней, так и наружной геометрической конфигурации с одновременным созданием сплавов и слоев металла. Также технология позволяет производить ремонт поврежденных деталей.

## Преимущества методов аддитивных технологий

Метод	Преимущества
HSDLG	<ul style="list-style-type: none"> <li>– высокая скорость изготовления изделий,</li> <li>– высокая точность изготовления,</li> <li>– обширный диапазон используемых порошковых материалов,</li> <li>– процесс изготовления происходит без поддерживающих структур,</li> <li>– возможность изготовления готовых деталей со сложной геометрией,</li> <li>– объем камеры также подходит для изготовления крупных и габаритных деталей.</li> </ul>
SLS	<ul style="list-style-type: none"> <li>– высокая точность изготовления,</li> <li>– обширный диапазон используемых порошковых материалов,</li> <li>– процесс изготовления происходит без поддерживающих структур,</li> <li>– возможность изготовления готовых деталей со сложной геометрией,</li> <li>– объем камеры также подходит для изготовления крупных и габаритных деталей.</li> </ul>
SLM	<ul style="list-style-type: none"> <li>– высокая точность изготовления деталей,</li> <li>– обширный диапазон используемых порошковых материалов,</li> <li>– процесс изготовления происходит без поддерживающих структур,</li> <li>– возможность изготовления готовых деталей со сложной геометрией,</li> <li>– объем камеры также подходит для изготовления крупных и габаритных деталей.</li> </ul>
DMD	<ul style="list-style-type: none"> <li>– высокая точность изготовления деталей,</li> <li>– процесс изготовления происходит без поддерживающих структур,</li> <li>– обширный диапазон используемых порошковых материалов, в т. ч. подача двух различных материалов,</li> <li>– возможность производства отдельных элементов со сложной геометрией,</li> <li>– объем камеры также подходит для изготовления крупных и габаритных деталей,</li> <li>– возможность нанесения специальных покрытий на готовые детали,</li> <li>– ремонт деталей без дополнительной механической обработки.</li> </ul>
CLAD	<ul style="list-style-type: none"> <li>– высокая точность изготовления деталей,</li> <li>– процесс изготовления происходит без поддерживающих структур,</li> <li>– обширный диапазон используемых порошковых материалов, в т. ч. подача двух различных материалов,</li> <li>– возможность изготовления деталей со сложной геометрией,</li> <li>– объем камеры также подходит для изготовления крупных и габаритных деталей,</li> <li>– возможность нанесения специальных покрытий на готовые детали,</li> <li>– ремонт деталей без дополнительной механической обработки.</li> </ul>
LENS	<ul style="list-style-type: none"> <li>– высокая точность изготовления,</li> <li>– обширный диапазон используемых порошковых материалов,</li> <li>– возможность одновременной подачи различных материалов и получение их сплавов,</li> <li>– возможность производства отдельных элементов со сложной геометрией,</li> <li>– объем камеры также подходит для изготовления крупных и габаритных деталей.</li> </ul>
FDM	<ul style="list-style-type: none"> <li>– объем камеры подходит для изготовления крупных и габаритных деталей,</li> <li>– простота конструкции, невысокая стоимость оборудования.</li> </ul>
EBM	<ul style="list-style-type: none"> <li>– высокая скорость построения деталей,</li> <li>– изготовление не требует дополнительных технологических операций после изготовления детали для достижения необходимой механической прочности,</li> <li>– большая камера для построения готовых деталей.</li> </ul>
EBDM	<ul style="list-style-type: none"> <li>– высокая скорость построения,</li> <li>– не требует дополнительных технологических операций после изготовления детали для достижения необходимой механической прочности,</li> <li>– большая камера для построения готовых деталей.</li> </ul>
UAM	<ul style="list-style-type: none"> <li>– низкая температура рабочих деталей,</li> <li>– низкие требования к рабочей камере,</li> <li>– возможность создания биметаллических деталей.</li> </ul>
MJS	<ul style="list-style-type: none"> <li>– большая камера для построения готовых деталей,</li> <li>– простота конструкции, невысокая стоимость оборудования.</li> </ul>

Таким образом, ремонт с применением аддитивных технологий позволит сократить временные и материальные затраты на техническое обслуживание и ремонт элементов энергетических установок и пропульсивного комплекса, что повысит их эффективность, эксплуатационную надежность кораблей Военно-Морского Флота.

## Литература

1. Белов Г.П. Атлантическая эскадра 1968–2005 / Г.П. Белов. – СПб.: Береста, 2012. – 604 с.
2. Антонова В.С. Аддитивные технологии: Учеб. пособие / В.С. Антонова, И.И. Осовская. – СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2017. – 30 с.

3. Зленко М.А. Аддитивные технологии в машиностроении: Пособие для инженеров / М.А. Зленко. – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2015. – 220 с.

4. Различные технологии в 3D-печати [Электронный ресурс]. – URL: <https://docplayer.ru/27519886-Razlichnye-tehnologii-v-3d-pechati.html> (дата обращения: 03.02.19).

5. Аварии ДВС. Их причины. Рекомендации [Электронный ресурс]. – URL: <http://mirmarine.net/poleznaya-informatsiya/avarii/360-avarii-ikh-prichiny-rekomendatsii> (дата обращения: 20.01.2019).

УДК 621.822:629.5.03

**Р.В. Кузнецов**

*ПАО «ЗВЕЗДА»,  
Санкт-Петербург, 194295  
e-mail: kuznetsovrv@zvezda.spb.ru*

### **РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗДЕЛИЙ СУДОВОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ**

В работе предложена методика и аппаратура для испытаний на гидравлическую герметичность биметаллических узлов и соединений, имеющих антифрикционное назначение, проведена оценка герметичности опытных образцов состава «литейный алюминиевый сплав + спеченный порошковый материал» и серийных подшипниковых узлов состава «литейный алюминиевый сплав + литейный бронзовый сплав». Проведена оценка влияния технологии получения биметаллических соединений на степень его гидравлической герметичности.

**Ключевые слова:** биметалл, подшипниковый узел, масляный насос, гидравлическая герметичность, порошковый материал, штамповка жидкого металла.

**R.V. Kuznetsov**

*PJSC«ZVEZDA»,  
St. Petersburg, 194295  
e-mail: kuznetsovrv@zvezda.spb.ru*

### **DEVELOPMENT OF METHODS FOR TIGHTNESS CONTROL OF BIMETALLIC ELEMENTS OF SHIP ENGINEERING PRODUCTS**

In this work we propose a methodology and equipment for testing the hydraulic tightness of bimetallic assemblies and joints having an antifriction purpose, evaluate the tightness of prototypes of cast aluminum alloy + sintered powder material, and serial bearing assemblies of cast aluminum alloy + bronze cast alloy composition. The impact of the technology for producing bimetallic compounds on the degree of its hydraulic tightness is assessed.

**Key words:** bimetal, bearing assembly, oil pump, hydraulic tightness, powder material, liquid metal stamping.

На протяжении последних лет на предприятии ПАО «Звезда» проводятся работы по повышению качества и ресурса серийных узлов и агрегатов высокооборотистых судовых дизелей и входящего в их состав гидравлического оборудования. Одним из таких направлений является повышение ресурса шестеренчатых масляных насосов в силовых установках размерностью 16/17 и 18/20. На практике добиться этого представляется возможным следующими способами: заменой материалов заготовок для подшипниковых узлов, развитием новых технологий производства и изменением конструкции изделий, однако последнее в условиях серийного производства практически не представляется возможным.

В работах [1–3] авторами была предложена перспективная технология производства корпусных фасонных заготовок с подшипниковыми узлами на этапе заготовительного производства для деталей судовых насосов, заключающаяся в создании биметаллического соединения алюминиевого сплава АК9ч и спеченного порошкового материала на основе железа. Апробированная технология штамповки жидкого металла при наличии порошковой втулки позволила создать устойчивую адгезионную связь между материалами как за счет проникновения алюминия в поры втулки, так и за счет диффузионного образования интерметаллидов типа AlFe или AlFeSi на границе материалов, которые в малых количествах существенно повысят адгезионную прочность. Однако гидравлическая герметичность такого соединения остается под вопросом.

Так, в работе [4] авторы исследовали влияние параметров сварки методом «короткого замыкания» на прочность соединения сплава алюминиевой бронзы и стальной основы (использовался сплав ASTM 1045), металлографическую микроструктуру алюминия, межфазные явления диффузии на границе алюминиевая бронза – железо. Адгезионная прочность при этом составила от 430 до 528 МПа, что было обусловлено различными параметрами сварки. Также авторы выявили, что для такого биметаллического узла на границе материалов возникает устойчивое химическое соединение в виде различных твердых фаз, гидравлическая герметичность данного соединения была в пределах нормы.

В работе [5] авторы выполнили попытку создания биметаллического подшипникового узла из низколегированной стали (материал основы) и баббитовых сплавов (антифрикционный материал) методом MIG-сварки, при этом конструкция подшипника предполагала торцевую сварку баббита и низколегированной стали. Прочность адгезии материалов при этом составила от 66 до 83 МПа, наблюдалось взаимное проникновение материалов за счет перемешивания и диффузии отдельных компонентов баббита, авторы не проводили испытания на герметичность.

В работе [6] автор предложил технологию изготовления биметаллического подшипника для топливного насоса с целью снижения затрат на производство. Разработанная технология основана на изостатическом прессовании порошковых материалов и сплавов алюминия. Высокие адгезионные свойства, по мнению автора, были получены за счет формирования интерметаллидов в зоне контакта материалов, гидравлическая герметичность проверялась избыточным давлением и была на необходимом уровне.

Исследования адгезионной прочности и механических свойств опытных биметаллических образцов АК9ч-порошковый материал доказали преимущества данной технологии в сравнении с существующими серийными способами производства [2]. Однако при определении возможности внедрения биметалла в технологическую цепочку предприятия важным является определение эксплуатационных характеристик полученных изделий, в частности гидравлической герметичности [7].

Целью данной работы являлась разработка методики и аппаратуры для оценки гидравлической герметичности биметаллического подшипникового узла, определение влияния технологии получения биметаллического соединения на степень его герметичности. Традиционная методика испытаний предполагает стендовые испытания всего изделия в сборе, при рабочих режимах нагружения в течение определенного времени. При этом возможность определить герметичность отдельных отсеков насоса или перемещения (деформации) подшипниковых втулок отсутствует, повышение давления сверх номинального не всегда возможно.

Решение поставленных задач было реализовано на специально спроектированном испытательном стенде, представленном на рисунке.

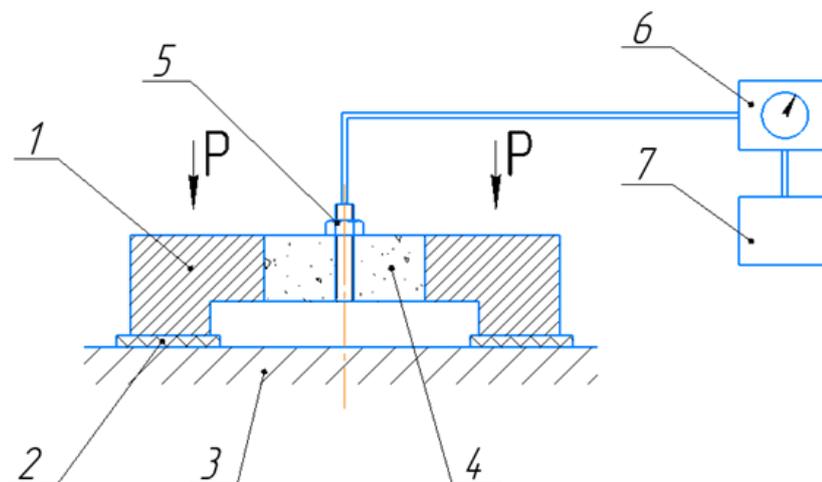


Схема испытания герметичности подшипникового узла:

1 – материал основы, 2 – паронитовая прокладка, 3 – плита,  
4 – порошковый антифрикционный материал, 5 – штуцер, 6 – насос, 7 – источник масла

При проектировании стенда учитывались следующие основные требования:

- простота и понятность механической и гидравлической конструкции;
- легкий съем-установка образца для обеспечения осмотра подшипникового узла на месте;
- возможность воспроизведения условий, близких к серийным испытаниям;
- соответствие требованиям ГОСТ 24054-80 и Российского морского регистра судоходства (РС).

Конструкция стенда состояла из: рабочего стола (плиты) пресса, уплотнительной сменной паронитовой прокладки, штуцера с внутренним диаметром 3 мм, маслonaгнетающего насоса мощностью 40 л/мин и резервуара с маслом. Дополнительно имелась возможность установки часового индикатора перемещений (на рисунке не показан) для определения выдавливания поршковой втулки из алюминиевого корпуса подшипника. Фиксацию образца на плоскости стола производили нагружением с помощью лабораторно-испытательного пресса ПСУ-125. Усилие герметичности создавалось на прессе ПСУ-125 путем создания осевого усилия  $P$ , которое измерялось механическим динамометром сжатия и воспроизводилось в диапазоне, необходимом для деформационного уплотнения паронитовой прокладки. Внутренняя рабочая полость всех образцов выполнялась путем механической обработки (фрезерования) на глубину  $h = 35$  мм.

Степень герметичности образцов оценивали жидкостным гидростатическим методом. Для проведения компрессионной опрессовки изготавливались образцы, аналогичные [3] с наружным диаметром  $\varnothing 61$  мм, высотой  $H = 70$  мм из литейного доэвтектического силумина АК9ч (ГОСТ1583-93). В качестве антифрикционной заготовки использовали цилиндр диаметром  $\varnothing 27$  мм, высотой  $H = 36$  мм из порошка марки АНС100.29 и ПА-БрОГр (ГОСТ 26719-85) с пористостью, равной 15%. Опытную партию биметаллических заготовок получали при следующих постоянных технологических параметрах:  $T_{\text{зал}} = 700 \pm 10^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{осн}} = 450 \pm 10^\circ\text{C}$ ,  $T_{\text{обр}} = 25 \pm 5^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{кр}} = 20$  с. Давление прессования в процессе штамповки жидкого металла (ШЖМ) варьировали в диапазоне от 0 до 170 МПа. Всего было получено 4 группы опытных образцов:

- 1)  $P_{\text{ш}} = 0$  МПа – литейное плакирование;
- 2)  $P_{\text{ш}} = 1 \div 3$  МПа – литье под низким давлением;
- 3)  $P_{\text{ш}} = 75 \div 80$  МПа – ШЖМ в интервале оптимального давления;
- 4)  $P_{\text{ш}} = 165 \div 171$  МПа – ШЖМ в интервале избыточного давления.

С целью повышения достоверности исследования наряду с опытными образцами испытывались биметаллические заготовки аналогичного размера состава «литейный алюминиевый сплав + литейный бронзовый сплав». Серийные образцы получали путем последовательной механической обработки литых заготовок с последующей запрессовкой с натягом цилиндра из оловянно-свинцовой бронзы в алюминиевую обойму.

Опрессовку производили по серийному технологическому процессу ПАО «Звезда». В качестве пробной жидкости использовалось масло МС-20 (ГОСТ21743-76) с  $t = 75 \div 85^\circ\text{C}$ . Давление опрессовки  $P = 20 \pm 1$  кг/см<sup>2</sup> выдерживали в течение 5 мин. Температуру масла оценивали с помощью лазерного пирометра КБ «ПИРОЦЕЛЬС» Диполь.

О негерметичности подшипникового узла судили по наличию (отсутствию) течей, пятен и запотевания на внешней поверхности образца.

Технологические испытания показали следующие результаты. Во всех образцах, полученных литейным плакированием, независимо от используемого антифрикционного порошкового материала при давлении свыше 1 кг/см<sup>2</sup> происходит капельная течь рабочей жидкости в зоне контакта биметаллического соединения. Применение незначительного давления прессования (1÷3 МПа) в процессе ШЖМ позволяет компенсировать усадку литейного сплава и практически полностью ликвидировать воздушный зазор на границе «жидкий металл-порошковый материал». Образцы, полученные при таком режиме, показали герметичность соединения в пределах 5–7 кг/см<sup>2</sup>, после чего проявлялась капельная или струйная течь в районе сопряжения материалов. Повышение давления до заданного значения, как правило, приводило к разрушению образца в зоне контакта.

Образцы, полученные методом ШЖМ в интервале давления прессования  $P = 75 \div 171$  МПа, не проявили признаков негерметичности, что свидетельствует о высокой адгезионной прочности полученного биметаллического соединения.

Интересным является результат опрессовки образцов, полученных по серийной заводской технологии. На двух из пяти таких образцов при наборе рабочего давления в течение 2–3 мин после начала испытания наблюдалось местное запотевание на наружной поверхности материала

основы, что, вероятнее всего, объясняется более низкой плотностью и неравномерностью структуры литого материала в сравнении с аналогичным сплавом, полученным методом ШЖМ [8, 9].

Практическая реализация разработанной методики и аппаратуры для оценки гидравлической герметичности биметаллических узлов изделий судового машиностроения делает его рекомендованным для применения в условиях промышленного производства для проведения периодических технологических испытаний.

Предложенная методика качественной оценки герметичности биметаллических антифрикционных соединений судового машиностроения подтвердила перспективность применения технологии совместной ШЖМ и спеченного порошкового материала для получения подшипниковых узлов для деталей масляных насосов судовых дизелей.

### Литература

1. *Кузнецов Р.В.* Технология изготовления биметаллических подшипников с бронзолитыми вкладышами / Р.В. Кузнецов, П.А. Кузнецов // Неделя науки СПбГПУ. Секция «Технология конструкционных материалов и материаловедение»: Материалы научно-практической конференции с международным участием (19–24 ноября). – СПб., 2018.

2. *Кузнецов Р.В.* Штамповка биметаллических подшипников из жидкого алюминия и спеченных порошковых вкладышей / Р.В. Кузнецов, П.А. Кузнецов // Металлообработка. – 2019. – № 3 – С. 27–32.

3. *Кузнецов Р.В.* Эластостатическое прессование спеченных рабочих вкладышей с градиентной структурой для биметаллических подшипников скольжения / Р.В. Кузнецов, П.А. Кузнецов, И.Д. Карачевцев // Современное машиностроение: наука и образование: Материалы VIII Международной научно-практической конференции / Под ред. А.Н. Евграфова и А.А. Поповича. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2019.

4. *Zhang X.M. et al.* Microstructure and Bonding Strength of Aluminum Bronze on ASTM 1045 Steel by CMT welding // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2018. – Vol. 436, № 1. – P. 012019.

5. *Wei M. et al.* Microstructure and bonding strength of tin-based Babbitt alloy on ASTM 1045 steel by MIG arc brazing // Journal of Adhesion Science and Technology. – 2018. – Vol. 32, № 19. – P. 2150–2161.

6. *Murray P.J.* Hotisostatic pressing for the production of bimetallic fuel pumpbearings: Dissertation / University of Birmingham. – 2016.

7. *Шец С.П.* Критерий работоспособности магнитожидкостного смазочного материала в трибосопряжениях подшипниковых узлов / С.П. Шец // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2011. – № 1. – С. 29.

8. *Батышев А.И.* Штамповка жидкого металла: Литье с кристаллизацией под давлением / А.И. Батышев, Е.М. Базилевский, В.И. Бобров и др. – М.: Машиностроение, 1979. – 200 с.

9. *Халикова Г.Р.* Влияние режимов кристаллизации при жидкой штамповке на структуру и свойства высокопрочного алюминиевого сплава – 1960 / Г.Р. Халикова, В.Г. Трифионов // Письма о материалах. – 2012. – Т. 2, № 3. – С. 147–151.

УДК 656.61:338.27

**С.С. Марченко**

*Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова,  
Санкт-Петербург, 198035  
e-mail: march-serr@yandex.ru*

### **АНАЛИЗ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МОДЕРНИЗИРУЕМОГО НЕФТЕНАЛИВНОГО СУДНА ПРОЕКТА 610 НА ПОВЫШЕНИЕ КЛАССА РЕГИСТРА**

В статье рассматриваются вопросы повышения экологической безопасности судоходства, обеспечения портов и нефтяных компаний современными бункеровочными судами. Рассмотрена проблема морального и физического износа бункерных танкеров и необходимости проведения их модернизации.

Выполнена стоимостная оценка этапов модернизации бункеровочных судов с целью повышения их класса Регистра. Проанализированы технико-экономические результаты работ по модернизации нефтеналивного судна проекта 610 и экономическая целесообразность их проведения. В результате модернизации нефтеналивное судно стало экологически безопаснее.

**Ключевые слова:** оценка, модернизация, бункерное судно, судоходство.

**S.S. Marchenko**

*Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,  
St. Petersburg, 198035  
e-mail: march-serr@yandex.ru*

### **ANALYSIS OF THE TECHNICAL AND ECONOMIC CHARACTERISTICS OF THE MODERNIZED OIL TANK OF THE PROJECT 610 TO INCREASE THE REGISTER CLASS**

The article deals with the issues of improving the environmental safety of navigation, providing ports and oil companies with modern bunker vessels. The problem of moral and physical deterioration of bunker tankers and the need to modernize them is considered.

The cost estimate of the stages of modernization of bunker vessels with the aim of increasing their Register class has been carried out. The technical and economic results of the modernization of the project 610 oil tanker and the economic feasibility of their implementation are analyzed. As a result of modernization, the oil tanker has become environmentally friendly.

**Key words:** assessment, modernization, bunker vessel, navigation.

Рынок бункеровки речных и морских судов горюче-смазочными материалами является одним из основных сегментов мировой торговли нефтепродуктами. В 2017 г. на территории Российской Федерации было реализовано 11,3 млн т бункерного топлива (рост к 2008 г. составил 63%). Наибольшая доля реализации бункера приходится на Дальневосточный регион, порядка 4,6 млн т.

В условиях жесткой конкуренции между нефтяными компаниями, роста дедефта судов, постройки новых портов и терминалов актуальной проблемой является наличие в портах и у крупных нефтяных компаний современных, эффективных и экологически безопасных судов-бункеровщиков.

Отметим, что большая часть отечественных бункеровщиков имеют значительный моральный и физический износ. Морской бункеровочный флот РФ составляет примерно 220 танкеров дедефтом от 2 000 до 3 500 тонн. Средний возраст морских бункеровочных судов составляет 32 года. Речной бункеровочный флот РФ составляет примерно 170 танкеров, средний возраст которого 45 лет [1].

Одним из возможных путей уменьшения аварийности флота, повышения экологической безопасности, устранения морального износа и повышения конкурентоспособности судов является модернизация бункеровочного флота. В работах [2, 3] показано, что одной из основных

задач модернизации судна может являться повышение его класса Регистра, т. к. он является основным фактором конкурентоспособности судна и связан с другими его технико-экономическими характеристиками.

Выполнить стоимостную оценку выполнения работ по модернизации нефтеналивного судна «Бункеровщик-5» проекта 610 для обоснования экономической целесообразности модернизации бункеровочных судов и определения направлений, позволяющих снизить затраты на ее проведение. Проанализировать технико-экономические результаты повышения класса Регистра модернизируемого бункеровочного судна.

Под «модернизацией судна понимается совокупность операций по изменению конструкции судна с целью повышения технико-эксплуатационных характеристик, условий труда и быта, а также выполнения требований Международных конвенций» [4]. В работе [2] отмечается, что модернизация судов, как правило, приурочивается к времени проведения среднего ремонта, а работы, связанные с реновацией и переоборудованием судна, включаются в состав работ по модернизации судна.

В качестве примера модернизации бункеровщика рассмотрим модернизацию бункеровочного судна «Бункеровщик-5» проекта 610. Основными целями модернизации судна являлись повышение класса Регистра судна, получение конвенционных документов и выполнение требований Правил РМРС изд. 2007 и МК МАРПОЛ 73/78 с Приложениями I и II. Для этой цели судно дооборудовано вторым дном и вторыми бортами, а также на судне выполнены мероприятия, предусмотренные проектом для повышения класса и получения конвенционных документов. При дооборудовании корпуса судна изменена грузовая система, система вентиляции, внесены изменения в существующую систему подогрева груза, систему задвижек и балластно-осушительную систему [5]. Основные технико-эксплуатационные характеристики судна до и после модернизации представлены в табл. 1.

Таблица 1

Технико-эксплуатационные характеристики бункеровочного судна «Бункеровщик-5»

п/п	Наименование характеристики	Единица измерения	Значение до модернизации	Значение после модернизации
1	Длина	м	77,53	77,53
2	Ширина	м	14	14
3	Высота борта	м	6,5	6,5
4	Осадка по ЛГВЛ	м	5,4	5,3
5	Дедвейт	т	3 389	3 093
6	Скорость	уз.	10	10
7	Класс Регистра	–	Л2*III танкер (>60) (ОП)	КМ*ice3 R2 oil tanker

В табл. 2 выполнен анализ затрат на модернизацию судна, в процессе которого работы по модернизации бункеровочного судна «Бункеровщик-5» были сгруппированы по этапам и их стоимости. Из табл. 2 видно, что мероприятия по уменьшению стоимости модернизации бункерных судов судоремонтным предприятием следует начинать разрабатывать с анализа возможности оптимизации работ по модернизации корпуса судна и балластно-осушительной системы, т. к. именно этот этап модернизации судна-бункеровщика имеет наибольший удельный вес.

Таблица 2

Основные этапы модернизации судна «Бункеровщик-5» проекта 610

п/п	Наименование раздела	Стоимость, руб.	Удельный вес, %
1	2	3	4
1	Генеральный сервис (содержание судна в доке, стоимость электроэнергии, пожарный надзор)	839 052	1,4
2	Модернизационные работы, в том числе:	36 972 490	62,1
	2.1. Корпус судна	17 472 051	29,3
	2.2. Балластно-осушительная система	2 670 168,9	4,5
	2.3. Система воздушно-измерительных труб	716 146	1,2
	2.4. Система естественной вентиляции	371 983	0,6
	2.5. Грузовая система	4 096 944,1	6,8
	2.6. Система обогрева груза	4 893 332	8,2
	2.7. Система контроля уровней в грузовых танках	648 150	1,1
	2.8. Газоотводная система	829 365	1,4
	2.9. Работы по восстановлению труб наполнения грузовых танков и др.	5 274 350	8,8

1	2	3	4
3	Работы по повышению класса Регистра (корпус судна, главный двигатель, автоматика и т. д.)	12 664 806	21,3
4	Итого	50 476 348	–
5	НДС 18%	9 085 472,6	15,2
<b>Всего с НДС</b>		<b>59 562 090,6</b>	<b>100</b>

Подводя итоги, можно сделать вывод, что модернизация бункеровщиков является одним из перспективных направлений обновления флота как с точки зрения повышения их экологической безопасности, так и для повышения экономической эффективности растущих перевозок через российские порты. Модернизация судна «Бункеровщик-5» составила менее 15% от стоимости постройки нового судна, что говорит о ее экономической целесообразности. В результате модернизации судно «Бункеровщик-5» стало экологически безопаснее, соответствует более высокому классу Регистра и удовлетворяет требованиям МК МАРПОЛ 73/78.

### Литература

1. Российская ассоциация морских и речных бункеровщиков: Официальный сайт. – URL: [mrbunker.ru/arkhiv-forumov/forum-2018](http://mrbunker.ru/arkhiv-forumov/forum-2018) (дата обращения: 17.06.2019).
2. *Марченко С.С.* Возможности повышения конкурентоспособности сухогрузных судов смешанного плавания за счет модернизации флота / С.С. Марченко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2013. – № 3 (22).
3. *Лазарев А.Н.* Теоретические аспекты модернизации судов речного флота / А.Н. Лазарев, С.С. Марченко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2016. – № 1 (35).
4. Правила ремонта судов Министерства речного флота РСФСР / МРФ РСФСР / А.Н. Лазарев, В.Г. Никифоров, Б.Д. Худяков, В.Л. Черкасов. – М.: Транспорт, 1990. – 72 с.
5. Проект переоборудования нефтеналивного судна пр. 610 в соответствии с требованиями Международных конвенций [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.stapel.ru/projects/gotovyie-proekty-sudov/nalivnye-suda/proekt-pereoborudovaniya-neftenalivnogo-sudna-pr-610-v-sootvetstvii-s-trebovaniyami-mezhdunarodnykh-konventsiiy-bez-podema-paluby-proekt-r5321/> (дата обращения: 17.06.2019).

УДК 537

**В.В. Мирошников, Т.В. Петрущенко**

*Луганский национальный университет имени Владимира Даля,  
Луганск, 91034  
e-mail: prorectormvv@mail.ru; ptvdom@gmail.com*

## **МЕТОДЫ И СПОСОБЫ КОНТРОЛЯ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ФЕРРОМАГНЕТИКАХ**

В статье рассмотрены методы и способы неразрушающего контроля механических напряжений в ферромагнетиках, их целесообразность применения при контроле магистральных трубопроводов и других крупногабаритных изделий.

**Ключевые слова:** неразрушающий контроль, ферромагнетики, магнитный метод, метод магнитных шумов, магнитопровод, магнитное поле, объект контроля.

**V.V. Miroshnikov, T.V. Petrushhenko**

*Lugansk Vladimir Dahl National University,  
Lugansk, 91034  
e-mail: prorectormvv@mail.ru; ptvdom@gmail.com*

## **METHODS OF CONTROL OF MECHANICAL STRESSES IN FERROMAGNETICS**

The article discusses the methods of non-destructive testing of mechanical stresses in ferromagnetics, their feasibility of application in the control of trunk pipelines and other large-sized products.

**Key words:** non-destructive testing, ferromagnetics, magnetic method, magnetic noise method, magnetic circuit, magnetic field, control object.

Магистральные трубопроводы выполнены из конструкционной низколегированной стали для сварных конструкций (сталь 20Ф, 09ГСФ, 13ХФА, 08ХМФЧА, 15ХМФА, 3 и др.). Каждая марка обладает своими физико-механическими свойствами, общим для всех этих материалов является то, что они ферромагнетики. Поверхность трубопроводов и его конструктивных элементов имеет противокоррозионные покрытия и, несмотря на это, определенную степень коррозии. Доступ к поверхности магистральных трубопроводов ограничен, поэтому контроль их поверхностей связан с определенными сложностями, вызванными необходимостью зачистки области контроля и изолирования ее от последующей коррозии в течение времени контроля.

Наибольшей перспективой метода контроля механических напряжений поверхности трубопровода в процессе его эксплуатации обладают бесконтактные методы контроля или методы контроля, не требующие специальной подготовки поверхности трубопровода и имеющие с ним минимальную площадь контакта.

Кроме этого метод контроля должен иметь математическое обеспечение, позволяющее производить расчет характеристик преобразователя и его выходного сигнала при изменении механических напряжений в элементах магистрального трубопровода. Причем на первый план выходят расчеты, базирующиеся на использовании теории структурных изменений в металле под воздействием внешних нагрузок и уже во вторую очередь экспериментально полученные зависимости.

Другим важнейшим свойством преобразователя, реализующего тот или иной метод контроля механических напряжений, являются возможности его длительной эксплуатации без потери исходных свойств. При этом он должен обладать высокой помехоустойчивостью, возможностью калибровки и поверки без демонтажа с контролируемой поверхности. Учитывая, что магистральные трубопроводы достаточно габаритные и для объективной оценки их технического состояния необходимо большое число преобразователей, их стоимость должна быть невысокой.

Одновременно с этим они должны быть легкозаменяемыми при выходе из строя и обладать высокой повторяемостью характеристик в процессе изготовления.

Исходя из вышеперечисленных требований, проведем анализ известных методов контроля механических напряжений ферромагнитных материалов, которые могут быть применены для контроля магистрального трубопровода, находящегося длительное время в эксплуатации.

*1. Тепловой метод.* Термоупругий эффект известен и используется в технике уже больше 100 лет. Как известно, при механическом нагружении металлических объектов часть подводимой механической энергии переходит и рассеивается в виде тепла. При работе изделия в области упругих деформаций количество выделяемого тепла практически линейно зависит от величины приложенных напряжений, а при переходе в область пластической деформации происходит резкое увеличение выделяемого тепла.

Количество теплоты  $Q$ , рассеявшееся в процессе механических нагрузок, определяется решением одномерного нестационарного уравнения теплопроводности с внутренними источниками теплоты  $q$  [1]:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \cdot \frac{\partial^2 T(x,t)}{\partial x^2} - v(T(x,t) - T_c) + \frac{q(t)}{c \cdot \rho},$$

где  $T(x,0) = T_c$ ,  $T(0,t) = T_c$ ,  $T(f,t) = T_c$ ,  $T(x,t)$  – распределение температуры на поверхности объекта контроля,

$T_c$  – температура окружающей среды,

$a$  – коэффициент температуропроводности,

$v$  – коэффициент температурного рассеяния.

Выразим решения уравнения теплопроводности с внутренними источниками тепла:

$$q(t) = \frac{T(x,t)}{a_1 - a_2 \exp[-b_1 t] - a_3 \exp[b_2 t]},$$

где  $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2$  – постоянные, зависящие от длины образца, теплопроводности, плотности теплоемкости материала.

Согласно проведенным расчетам строят диаграмму выделяемого тепла в зависимости от величины механических напряжений, действующих на контрольный образец, выполненный из Ст3.

Превышение температуры механически нагруженного участка над температурой остального металла создаст возможность его дистанционного диагностирования. Развитие бесконтактных средств измерения температуры, позволяющих измерять температуру с точностью  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ , позволило использовать их для измерения механических напряжений в металлоконструкциях [2–5]. Сканирование контролируемой поверхности производится тепловыми детекторами (тепловизорами) с разрешением по площади  $2 \times 2 \text{ мм}^2$ . Другим эффективным методом контроля локальных зон повышения температуры является нанесение на контролируемую поверхность жидких кристаллов.

*2. Рентгеновский метод.* Метод контроля заключается в облучении поверхности контролируемого изделия электромагнитным излучением рентгеновского диапазона от 5–10 до 200–400 КэВ, а изделия большой толщины (до 500 мм) просвечивают сверхжестким электромагнитным излучением с энергией в десятки МэВ и измерения интенсивности рассеиваемого поверхностью излучения. Данный метод широко применяется в рентгеноструктурном анализе. Проводимые лабораторные исследования контролируемых образцов позволяют измерить абсолютную величину механических напряжений этих образцов. Использование рентгеновского метода в промышленных условиях ограничено в силу отсутствия достаточных по мощности мобильных источников рентгеновского излучения и соответствующих чувствительных регистров [5–8].

Развитие рентгенооптических элементов нового поколения – линз, полулинз и растров Кумахова [9] дает возможность создавать рентгеновские приборы нового поколения. Так, применение поликапиллярной оптики позволяет в 200–500 раз повысить эффективность (светосилу) рентгеновского потока, что дает возможность: понизить мощность рентгеновской трубки и изготавливать радиационно-безопасные приборы настольного и носимого вариантов; малые габаритные размеры позволяют доставлять рентгеновские средства контроля непосредственно к объекту и изучать его в условиях эксплуатации и воздействия нагрузок.

3. *Ультразвуковой метод.* Ультразвуковая дефектоскопия – один из наиболее широко используемых методов неразрушающих испытаний. Первоначально она предназначалась для обнаружения дефектов внутри поковок и отливок (объемная дефектоскопия), а затем стала применяться для контроля сварных швов и была развита для обнаружения поверхностных дефектов (например, трещин) [2]. Аппаратура для ультразвуковых испытаний была создана на основе применяемой в ультразвуковых линиях задержки в локационных системах.

Суть ультразвукового метода заключается в излучении в изделие и последующем принятии отраженных ультразвуковых колебаний с помощью специального оборудования – ультразвукового дефектоскопа и пьезоэлектропреобразователя и дальнейшем анализе полученных данных с целью определения наличия дефектов, а также их эквивалентного размера, формы (объемный / плоскостной), вида (точечный / протяженный), глубины залегания и пр. [10, 11]. Для проведения ультразвукового контроля в зависимости от конкретных условий (марки материала, его толщины, геометрических особенностей поверхностей контроля, минимально выявляемых размеров дефектов и др.) имеется достаточно широкий ассортимент средств контроля.

4. *Магнитные методы.* Учитывая, что магистральный трубопровод изготавливается из ферромагнитного материала, естественным является рассмотреть возможность применения магнитных методов контроля и способы их реализации. Магнитный метод является многопараметровым методом, т. к. ферромагнетик обладает большим количеством магнитных характеристик, которые неразрывно связаны между собой. Особенностью магнитного метода контроля является влияние большого числа внешних факторов на магнитные свойства металла. А основная сложность при проведении контроля – это нелинейность магнитных характеристик и широкий диапазон их изменения. Рассмотрим основные методы контроля, которые применяются для непосредственного контроля величины механических напряжений в ферромагнитном материале, из которого изготовлен трубопровод, постоянно находящийся в эксплуатации.

5. *Метод магнитных шумов.* При исследовании ферромагнитных материалов в медленно изменяющемся магнитном поле в 1917 г. Баркгаузен обнаружил, что намагничивание осуществляется скачкообразно [13]. При расположении индукционной катушки на поверхности ферромагнетика, находящегося в низкочастотном магнитном поле, в ней наводится ЭДС, которую назвали Баркгаузеновским шумом. Так как характер этой ЭДС зависит от структуры и состояния материала, то магнитный эффект Баркгаузена применяют для неразрушающего контроля [14, 15] и, в частности, для определения механических напряжений [16–18]. Метод магнитных шумов базируется на перемагничивании объема материала низкочастотным переменным магнитным полем с одновременной регистрацией магнитных шумов в широком частотном диапазоне. При всем разнообразии способов намагничивания и приема магнитных шумов этот метод проиллюстрируем следующей схемой (рис. 1).

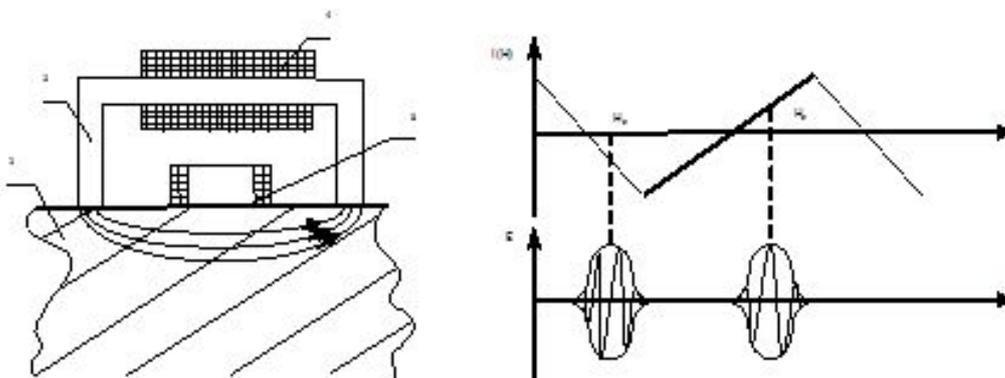


Рис. 1. Схема возбуждения и приема магнитных шумов и временные диаграммы изменения магнитного поля ( $H$ ) и ЭДС ( $E$ ) в измерительной катушке: 1 – ферромагнитный объект контроля, 2 – магнитопровод, 3 – измерительная катушка, 4 – катушка возбуждения

Переменное магнитное поле в объекте контроля (1) создается с помощью магнитопровода (2) и возбуждающей катушки (4). На графиках показана форма тока, протекающая в катушке возбуждения, и создаваемые этим током поля, а также огибающая ЭДС, наводимая в измерительной катушке, соответствующая магнитному шуму. Скорость изменения магнитного потока сцепления в объекте контроля  $d\Phi/dt$ , связанную с возникающей ЭДС магнитных шумов соотношением  $E = -d\Phi/dt$ , можно проанализировать, рассмотрев перемагничивание материала

как процесс перехода его доменной структуры в зоне размагничивания и регистрации ЭДС от однодоменной к многодоменной. Направление вектора намагниченности доменов зависит от характера механических напряжений, сжатия или растяжения. Для мягких сталей, используя среднее за период перемагничивания значение ЭДС от магнитных шумов, установлено, что с увеличением растягивающей нагрузки в объекте контроля величина ЭДС возрастает, а при сжатии уменьшается. В области упругих напряжений она монотонна, при достижении предела упругости контролируемого материала ЭДС магнитных шумов с ростом нагрузки уменьшается. Если полностью снять нагрузку с исследуемого объекта, то ЭДС магнитных шумов окажется меньше первоначального значения. Разница между значениями ЭДС до нагружения и после будет характеризовать величину остаточных напряжений. Это подтверждают результаты экспериментальных исследований [14, 16], позволившие установить корреляционную зависимость между величиной внутренних напряжений, определенных рентгеновским методом и величиной ЭДС от магнитных шумов. Вместе с тем процесс возникновения магнитных шумов не позволяет однозначно объяснить причины подавления магнитных шумов высокого уровня при напряженности магнитного поля близкой к коэрцитивной силе, а также механизмы влияния механических напряжений и структуры металла на параметры шумов в области намагниченности, близкой к нулю. Используя известные модели, не представляется возможным на основе анализа «скачкообразного движения доменной границы» под действием намагничивающего поля объяснить возникновение максимума магнитного шума в момент достижения ферромагнетиком нулевой остаточной намагниченности. Это связано с тем, что при размагничивании ферромагнетика из однодоменного состояния в исходное скачки доменных границ должны уменьшаться вследствие влияния полей непрерывно возникающих соседних доменов, а значит, должна уменьшаться скорость изменения магнитного потока, вызванного этими процессами и, как следствие, снижается величина ЭДС, но этого не наблюдается на практике. Однако опыт эксплуатации преобразователя на эффекте магнитного шума (эффект Баркгаузена) показал, что ЭДС магнитного шума является чувствительным к упругим напряжениям. При этом спектральный состав магнитного шума находится в диапазоне 10–100 кГц, поэтому информация поступает лишь от поверхностных слоев металла. Из этого следует, что ЭДС магнитных шумов имеет сильную зависимость от качества поверхности контролируемого объекта, что подтверждается публикациями, за исключением [16], в которых все исследования по магнитному шуму выполнены на отшлифованных образцах, в то время как реальный объект имеет широкий спектр свойств поверхности (окалина, поверхностный наклеп, коррозия и др.) Так, например, в работах [15, 19] показано очень большое влияние поверхностно-пластической деформации на ЭДС магнитного шума, когда растягивающее напряжение в 400 МПа изменяет выходной сигнал на 60%, а поверхностный наклеп приводит к изменению этого сигнала в десятки раз.

Подводя итог, можно сделать следующие выводы. Тепловой метод и средства контроля позволяют измерять величину механических напряжений с точностью  $\pm 20\text{--}40$  МПа. Однако для достижения данной точности контроля нагрузка должна носить знакопеременный характер при циклическом нагружении. Таким образом, статические или медленно изменяющиеся нагрузки данным методом контролировать не представляется возможным. Несмотря на достигнутые успехи рентгеновского приборостроения, применение рентгеновского метода для контроля крупногабаритных объектов не представляется возможным. Основным недостатком метода является малая глубина проникновения рентгеновского излучения для переносимых дефектоскопов (порядка 0,02...0,01 мм), сильная зависимость результатов измерения от температуры металла. Ультразвуковой метод имеет ряд недостатков, не позволяющих использовать его для контроля магистральных трубопроводов, а именно невозможность определить реальные размеры дефекта, некоторые дефекты практически невозможно выявить этим методом, жесткие требования по подготовке поверхности контроля к контролю. Применение метода магнитных шумов для измерения механических напряжений в реальных металлоконструкциях с учетом всех вышеперечисленных причин требует осторожного подхода.

### Литература

1. Экспериментальная механика: В 2-х книгах: Книга I. Пер. с англ. / Под ред. А. Кобаяси. – М.: Мир, 1990. – 616 с.
2. Экспериментальная механика: В 2-х книгах: Книга II. – М.: Мир, 1990. – 545 с.

3. Япония. Заявка № 55-31402. Способ измерения механических напряжений с использованием жидких кристаллов // Оpubл. 18.08.80. № 6. – 786 с.
4. *Harid H., Middeldorf K.* Thermometrische Methoden bei der mehaniscen Werkstoffruffung // Werkstoffruffung, 1984, Votr. Tag., Bad Nauheim, 6–7 Dez., 1984. – Berlin, 1985. – P. 441–451.
5. Неразрушающий контроль материалов и изделий / П.И. Беда, Б.И. Выборнов, Ю.А. Глазков и др. – М.: Машиностроение, 1976. – 456 с.
6. *Ruud C.O.* A revive of selected non-destructive methods for residual stress measurement. "NDT Int." 1982. – 15, № 1. – P. 15–23.
7. Заявка 60-1576 Япония, МКИ G 01 N 23/207, G 01 L/1/100, G 21 G 4/04, публикация 16.01.85, № 6–40. Устройство для измерения механического напряжения в материалах с помощью широкополосного рентгеновского излучения.
8. Рентгенографическое измерение напряжений в жаростойких материалах / Arima Junici, Iwai Yasuyoshi // Dзауре: J. Soc. Mater. Sci. Jap. – 1979. – 28, № 306. – С. 211–217.
9. Поликапиллярная оптика Кумахова и статические приборы на ее основе / А. Болотов, Д. Зайцев, А. Щербаков, А. Лютцау // Аналитика. – 2012. – № 4. – С. 14–22.
10. К теории определения начальных напряжений на результаты ультразвуковых измерений / А.Н. Гузь, Ф.Г. Махорт, О.Н. Гуца, В.К. Лебедев // Прикладная механика. – 1971. – Т. 7, № 6. – С. 110–113.
11. *Химченко Н.В.* Ультразвуковой структурный анализ металлических материалов и изделий / Н.В. Химченко. – М.: Машиностроение, 1976. – 12 с.
12. *Левитин Р.З.* Магнитоупругие и упругие свойства диспрозия / Р.З. Левитин, С.А. Никитин // ФММ. – 1961. – Т. 11, № 6. – С. 948–950.
13. *Белов К.П.* Магнитострикция редкоземельных ферритов-гранатов при низких температурах / К.П. Белов, В.И. Соколов // ЖЭТФ. – 1965. – Т. 48 – С. 979.
14. *Koon N., Schindler A., Carter F.* Giant magnetostriction in cubic rare earth-iron compounds of the type RFe<sub>2</sub>. // Physics Letters A. 1971. – Vol. 37, № 5. – P. 413–414.
15. *Белов К.П.* Магнитострикционные явления и их технические приложения / К.П. Белов. – М.: Наука, 1987. – 158 с.
16. *Белов К.П.* Магнитострикционные явления. Материалы с гигантской магнитострикцией / К.П. Белов // СОЖ, Физика. – 1998. – № 3. – С. 112–117.
17. *Вонсовский С.В.* Магнетизм. Магнитные свойства диа-, пара-, ферро-, антиферро- и ферримангнетиков / С.В. Вонсовский. – М.: Наука, 1971. – 1032 с.
18. *Ивановский В.И.* Физика магнитных явлений / В.И. Ивановский, Л.А. Черникова. – М.: МГУ, 1981. – 287 с.
19. *Рейнбот Г.* Магнитные материалы и их применение: Пер. с нем / Г. Рейнбот. – Л.: Энергия, 1974. – 384 с.

УДК 537:629.15

**В.В. Мирошников<sup>1</sup>, А.В. Лавренченко<sup>1</sup>, В.П. Богданов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Луганский национальный университет имени Владимира Даля,  
Луганск, 91034*

*e-mail: v.miroshnikov@mail.ru;*

<sup>2</sup>*Антрацитовский факультет горного дела и транспорта  
Луганского национального университета имени Владимира Даля  
Антрацит, 94613*

## **О ПРИМЕНЕНИИ МАГНИТНОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ МЕХАНИЧЕСКОГО НАПРЯЖЕНИЯ КОРПУСА СУДНА**

Предлагается метод контроля механических напряжений корпуса судна по величине остаточной намагниченности, учитывая, что судно находится в магнитном поле Земли.

**Ключевые слова:** судно, деформация, механическое напряжение, намагниченность, сталь, измерительный преобразователь.

**V.V. Miroshnikov<sup>1</sup>, A.V. Lavrenchenko<sup>1</sup>, V.P. Bogdanov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Lugansk Vladimir Dahl National University,  
Lugansk, 91034*

*e-mail: dahl.pribory@yandex.ru;*

<sup>2</sup>*Anthracite Department of Mining and Transport  
Lugansk Vladimir Dahl National University  
Anthracite, 94613*

## **ON APPLICATION OF MAGNETIC METHOD FOR MONITORING THE MECHANICAL STRESS OF A SHIP'S HULL**

The article deals with method for monitoring the mechanical stresses of the ship's hull by the magnitude of the residual magnetization, considering that the ship is in the Earth's magnetic field.

**Key words:** ship, deformation, mechanical stress, magnetization, steel, measuring transducer.

При изгибе судна на тихой воде в ходе погрузочно-разгрузочных работ [1, 2] могут возникать значительные деформации прогиба либо перегиба (изгибающие моменты). Особенно это важно для судов, обладающих повышенной гибкостью корпуса (большая длина, низкий борт, материал корпуса – сталь повышенной прочности). Изгиб корпуса судна на тихой воде происходит из-за того, что, как правило, силы веса и силы поддержания распределены по длине судна неодинаково и в каждом поперечном сечении имеют различные значения. В целом же такие силы уравновешены, а их суммарные величины равны между собой.

На рис. 1 изображены деформации корпуса судна на тихой воде в зависимости от характера его загрузки [3]. При равномерном распределении груза, когда деформация корпуса отсутствует, действующие в корпусе судна механические напряжения меньше или равны допускаемым (рис. 1, а). При неравномерном распределении груза, когда корпус судна испытывает перегиб или прогиб, действующие в корпусе судна механические напряжения больше допускаемых. Допускаемые напряжения при изгибе корпуса, как правило, регламентируются Правилами Классификационных обществ [4–6], а также приводятся в Информации об остойчивости и прочности для каждого судна индивидуально.

Так, судно типа река – море (длина 128,43 м; ширина 15,63 м; высота борта 5,45 м) перевозит 3 300 т груза. В случае перехода из порта выгрузки в порт погрузки в порожнем состоянии судно принимает забортную воду в качестве балласта в количестве 2 187 т. Сухогруз с основными размерениями: длина 185,00 м; ширина 32,26 м; высота борта 18,00 м, может перевозить 57 000 т груза. В порожнем состоянии такое навалочное судно берет на борт 30 880 т балласта.

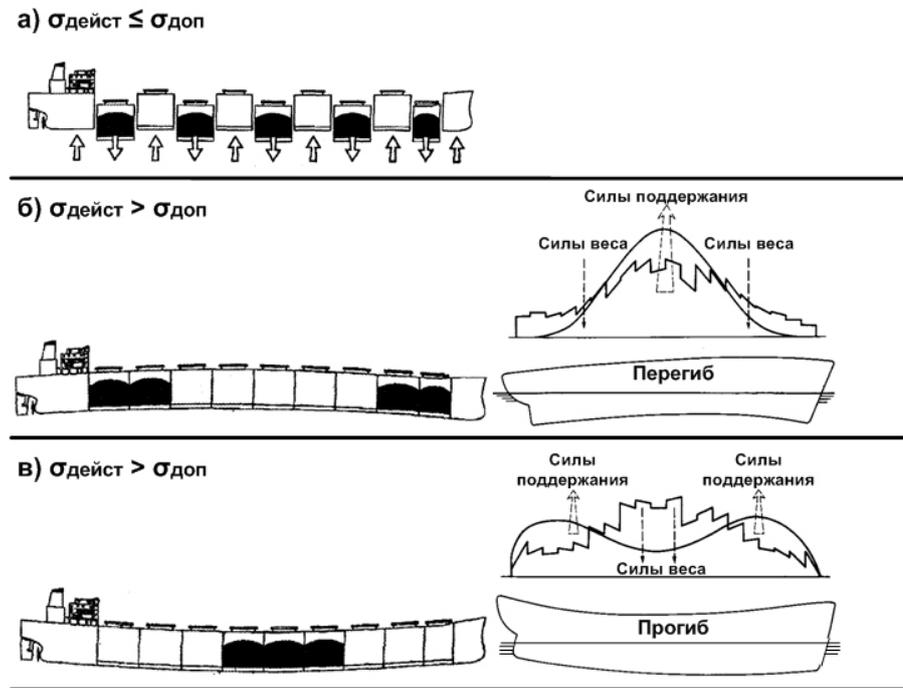


Рис. 1. Деформации корпуса судна во время грузовых и балластных операций (на тихой воде):  
 а – равномерное распределение груза (деформация корпуса отсутствует);  
 б – груз сконцентрирован в противоположных концах судна (перегиб);  
 в – груз сконцентрирован в средней части судна (прогиб)

Для небольших судов (длиной менее 120 м) [7] общая прочность, как правило, всегда обеспечена. Для морских судов среднего тоннажа (длиной 120–180 м) прочность по перерезывающим силам считается обеспеченной, а наибольший изгибающий момент имеет место в районе мидель-шпангоута (средней части судна).

У крупнотоннажных судов (длиной более 180 м) [7] величина и положение наибольших значений перерезывающих сил и изгибающих моментов может значительно меняться в зависимости от расположения грузовых трюмов и принятой последовательности их загрузки. Тем не менее здесь неизменной зоной повышенных механических напряжений является район мидель-шпангоута судна.

Таким образом, превышение допустимой нагрузки в каком-либо трюме в процессе погрузочно-разгрузочных работ [8] увеличивает механические напряжения в конструкции корпуса в целом и тем самым снижает его способность противостоять динамическим нагрузкам, когда судно оказывается в неблагоприятных штормовых условиях.

Применение известных зависимостей остаточной намагниченности от величины механических напряжений  $f = M_r(\sigma)$  имеет смысл в случае изменения только действующих в ферромагнитной конструкции (корпусе судна) механических напряжений. В действительности же дело обстоит несколько иначе. Экспериментальные измерения на исследуемом судне проводились в различных точках на поверхности горизонтальной пластины комингса трюмов как верхней плоскости эквивалентного бруса [2]. Здесь сплошной комингс грузовых трюмов (рис. 2) является одной из важнейших несущих продольных связей и поэтому используется в качестве объекта контроля механических напряжений судового корпуса в процессе грузовых и балластных операций.

Таким образом, на практике в ходе проводимых измерений, выяснилось, что получаемые значения остаточной намагниченности зависят от многих факторов [9]: механических напряжений, возникающих в стальной ферромагнитной конструкции (корпусе судна), в процессе эксплуатации, ( $\sigma$ ); величины зазора между контролируемой поверхностью комингса и измерительным преобразователем ( $\delta$ ); коэрцитивной силы материала комингса ( $H_c$ ), которая в ходе эксперимента предварительно замерялась коэрцитиметром; нормальной и тангенциальной составляющих вектора напряженности магнитного поля Земли, в зависимости от пространственной ориентации корпуса судна ( $H_r, H_x$ ); геометрических размеров области контроля с учетом краевого эффекта ( $a, b, c$ ) (рис. 3).

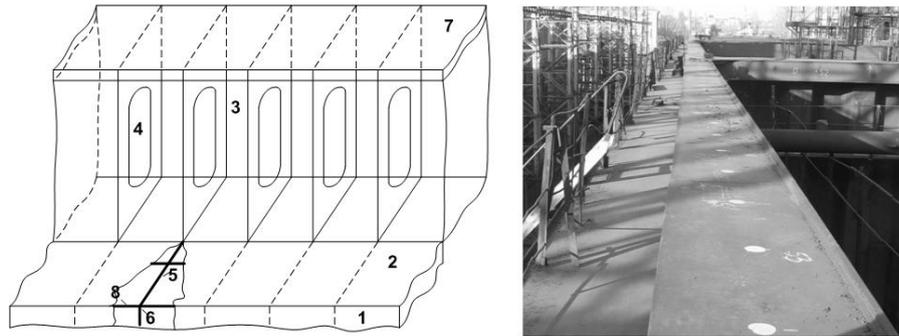


Рис. 2. Комингс грузовых трюмов:  
 1 – борт судна (пояс ширстрека); 2 – настил палубы; 3 – комингс люка; 4 – стойки комингса; 5 – бимс;  
 6 – шпангоут; 7 – горизонтальная пластина комингса; 8 – подпалубный стрингер

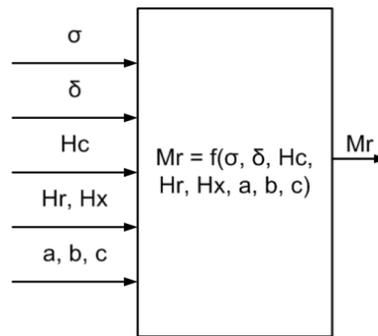


Рис. 3. Структура системы математической модели зависимости остаточной намагниченности  $M_r$ .

Аппроксимирующая модель взаимосвязи остаточной намагниченности и рассмотренных выше параметров была получена с помощью математической теории планирования эксперимента [10, 11].

Согласно [10] решаемая задача формулируется следующим образом: нужно получить некоторое представление о функции отклика

$$\eta = f(x_1, x_2, \dots, x_k), \quad (1)$$

где  $\eta$  – параметр процесса, подлежащий оптимизации;

$x_i (i = \overline{1, k})$  – независимые переменные, изменяемые при постановке эксперимента.

Согласно [10] функция отклика представляется полиномом

$$\eta = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j}^k \beta_{ij} x_i x_j + \dots \quad (2)$$

с коэффициентами регрессии  $\beta_0, \beta_i, \beta_{ii}, \beta_{ij}$ .

Коэффициенты  $b_0, b_i, b_{ii}, b_{ij}$  определяются в ходе эксперимента, после чего уравнение (2) принимает, согласно [10], вид:

$$\hat{y} = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i < j < l}^k b_{ijl} x_i x_j x_l, \quad (3)$$

где  $\hat{y}$  – расчетное значение параметра оптимизации ( $y$  – выборочная оценка для  $\eta$ ).

При выполнении основных требований, согласно методу планирования эксперимента, к функции отклика ( $M_r$ ) считаем возможным построение математической модели, аппроксимирующей зависимости остаточной намагниченности  $M_r$  от влияющих факторов в виде полинома второго порядка, базируясь на теории планирования эксперимента.

Так, требуется установить зависимость остаточной намагниченности  $M_r$  от трех выбранных на основе априорной информации наиболее значимых факторов: механических напряжений  $\sigma$  в судовой конструкции, коэрцитивной силы материала комингса трюмов  $H_c$  и величины зазора между комингсом и измерительным преобразователем  $\delta$ .

Зависимость  $M_r(\sigma, H_c, \delta)$  можно аппроксимировать полиномом второй степени. Эксперимент проведен по программе центрального композиционного ротatableльного планирования второго порядка [11].

Интервалы варьирования и натуральные уровни: механических напряжений  $\sigma$  и коэрцитивной силы  $H_c$  принимались, согласно соответствующим механическим и магнитным характеристикам материала комингса трюмов, а также исходя из экспериментальных данных [12]. Интервалы варьирования и натуральные уровни величины зазора между комингсом и измерительным преобразователем  $\delta$  были определены с учетом неровности поверхности комингса (шероховатости, ржавчина и т. п.), а также исходя из конструктивных особенностей измерительного преобразователя.

Переходя от кодированных  $(x_1, x_2, x_3)$  значений факторов к натуральным  $(\sigma, H_c, \delta)$ , а также после необходимых преобразований зависимость  $M_r(\sigma, H_c, \delta)$  представляется как:

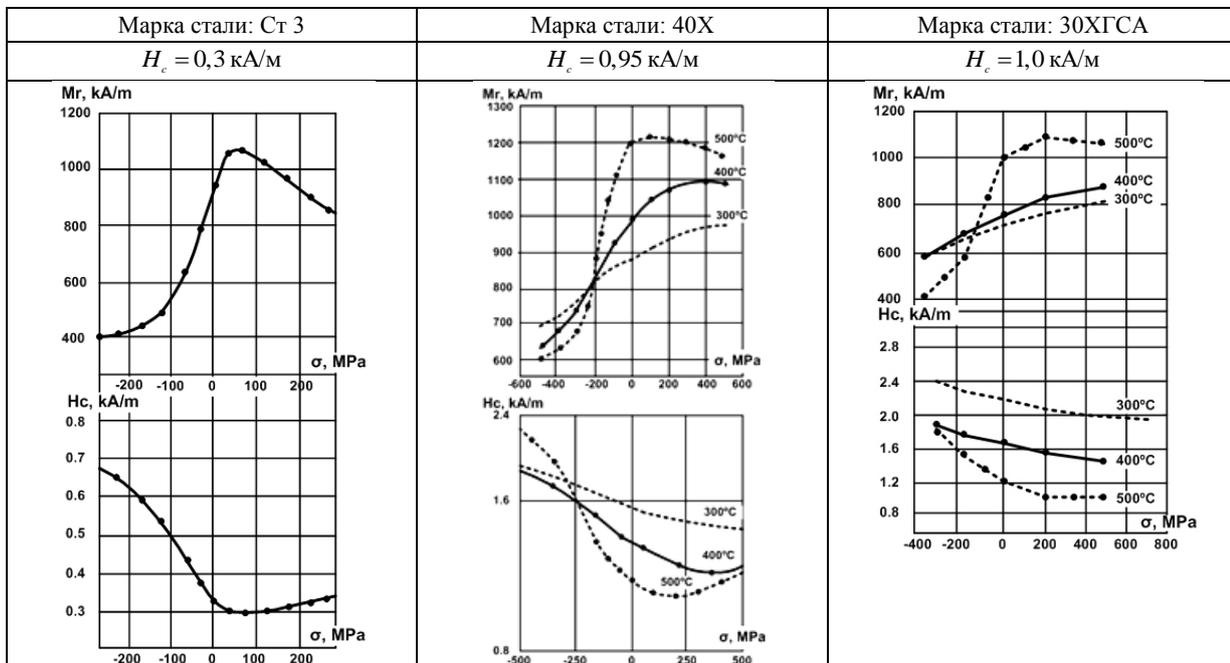
$$M_r(\sigma, H_c, \delta) = 464 + 0,22\sigma - 156H_c + 3,82 \cdot 10^5 \delta + 0,55\sigma H_c + 3,05\sigma\delta - 4,01 \cdot 10^5 H_c \delta - 1,58 \cdot 10^{-3} \sigma^2 + 426H_c^2 - 3,22 \cdot 10^7 \delta^2. \quad (4)$$

Известно [10], что функция отклика, аппроксимируемая полиномом, может быть и неадекватной наблюдаемым значениям величины  $y$ . В связи с этим перед использованием полученной математической модели следует проверить ее адекватность данным эксперимента.

Определенные путем эксперимента, а также из уравнения (4) значения остаточной намагниченности  $M_r$  носят такой же характер, как и полученные значения  $M_r$  для большого числа ферромагнитных сталей (40X, Ст3, 30ХГСА) в других работах [12–14]. Отличие друг от друга состоит только в численных данных, что подтверждает табл. 2. Семейства кривых в указанной таблице представлены для различных температур отпуска стали.

Таблица 2

Экспериментальные зависимости остаточной намагниченности и коэрцитивной силы от упругих напряжений для разных марок сталей



### Литература

1. Rawson K.J. Basic Ship Theory. Volume 1 / K.J. Rawson, E.C. Tupper. – Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2001. – 379 с.
2. Максимаджи А.И. Капитану о прочности корпуса судна: Справочник / А.И. Максимаджи. – Л.: Судостроение, 1988. – 224 с.

3. *Павленко Л.В.* Особенности эксплуатации балкеров: Учеб. пособие / Л.В. Павленко, Л.А. Козырь. – Одесса: ЛАТСТАР, 2002. – 80 с.
4. Правила классификации и постройки морских судов Российского морского регистра судоходства. НД N 2-020101-064. Том 1. Часть I. «Классификация». – СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2012. – 530 с.
5. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. НД N 2-020101-044. Том 4. Часть XVIII. «Общие правила по конструкции и прочности навалочных судов». – СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2006. – 475 с.
6. Common Structural Rules for Bulk Carriers [Electronic resource] / Nippon Kaiji Kyokai (Class NK). – URL: <http://www.classnk.or.jp>.
7. *Сизов В.Г.* Теория корабля: Учеб. пособие / В.Г. Сизов. – Одесса: ФЕНИКС, 2003. – 284 с.
8. *Головешкин Ю.В.* Третья проблема строительной механики корабля (нормирование прочности) / Ю.В. Головешкин, Н.И. Тузлукова. – СПб.: Судостроение, 1999. – 154 с.
9. *Miroshnikov V.* Model of the relationship of residual magnetization and the elastic stress of ship's hulls during cargo and ballast operations / V. Miroshnikov, O. Zavalniuk, V. Nesterenko // TEKA commission of motorization and energetics in agriculture. – Lublin-Rzeszów: Polish Academy of Sciences, 2013. – Vol. 13, № 4. – P. 174–183.
10. *Барабашук В.И.* Планирование эксперимента в технике / В.И. Барабашук, Б.П. Креденцер, В.И. Мирошниченко / Под ред. Б.П. Креденцера. – К.: Техніка, 1984. – 200 с.
11. *Джонсон Н.* Статистика и планирование эксперимента в технике и науке: Методы планирования эксперимента / Н. Джонсон, Ф. Лион; пер. с англ. – М.: Мир, 1981. – 520 с.
12. *Кулеев В.Г.* Влияние растягивающих пластических деформаций на остаточную намагниченность и начальную проницаемость малоуглеродистых сталей / В.Г. Кулеев, Т.П. Царькова, А.П. Ничипурук // Дефектоскопия. – Екатеринбург: Российская академия наук, 2006. – № 4. – С. 61–74.
13. *Кулеев В.Г.* Механизмы влияния внутренних и внешних напряжений на коэрцитивную силу ферромагнитных сталей / В.Г. Кулеев, Э.С. Горкунов // Дефектоскопия. – Екатеринбург: Российская академия наук, 1997. – № 11. – С. 3–18.
14. *Кулеев В.Г.* О возможности использования зависимости остаточной намагниченности от упругих напряжений для их неразрушающего контроля в стальных ферромагнитных конструкциях / В.Г. Кулеев, Г.В. Бида, Л.В. Атангулова // Дефектоскопия. – Екатеринбург: Российская академия наук, 2000. – № 12. – С. 7–19.

УДК 621.793.184+621.793.74

**А.Н. Михайлов, А.В. Лукичев, Ю.Н. Стрельник, С.А. Матвиенко, В.А. Михайлов**

*Донецкий национальный технический университет,  
Донецк, 283001  
e-mail: a\_lukichov@mail.ru*

### **ТЕХНОЛОГИЯ НАНЕСЕНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА РАБОЧУЮ ПОВЕРХНОСТЬ ШАРОВОГО ПАЛЬЦА**

В статье предложена технология нанесения функционально-ориентированных ионно-плазменных покрытий на рабочую сферическую поверхность шарового пальца на основании исследования условий эксплуатации изделия. На базе графа ТП нанесения многослойных покрытий на основе ФОР разработан алгоритм полного состава всех операций ОУО ТП ионно-плазменного напыления сферической поверхности наконечника рулевой тяги в вакуумной ионно-плазменной установке.

**Ключевые слова:** ионно-плазменные покрытия, шаровой палец, ионно-плазменная бомбардировка.

**A.N. Mikhaylov, A.V. Lukichov, Yu.N. Strelnik, S.A. Matvienko, V.A. Mikhaylov**

*Donetsk National Technical University,  
Donetsk, 283001  
e-mail: a\_lukichov@mail.ru*

### **TECHNOLOGY OF APPLICATION OF FUNCTIONALLY ORIENTED ION-PLASMA COATINGS ON THE WORKING SURFACE OF THE BALL PIN**

The article proposes a technology of application of functionally oriented ion-plasma coatings on the working spherical surface of the ball pin, based on the study of operating conditions of the product. On the basis of the graph of TP deposition of multilayer coatings on the basis FOP the algorithm the complete composition of all the operations of TP, DMS, ion-plasma spraying the spherical surface of tie rod end in a vacuum ion-plasma installation.

**Key words:** ion-plasma coatings, a ball pin, ion-plasma bombardment.

Шаровые пальцы широко используются в качестве деталей подвижных узлов рулевого механизма транспортных машин. Шаровые пальцы эксплуатируются в условиях ударных знакопеременных нагрузок и абразивного износа. Изготавливают их из стали 45 и легированных сталей. Исполнительная сферическая поверхность головки пальца должна обладать повышенными износостойкостью и твердостью.

Заготовки шаровых пальцев получают из калиброванного проката. После обточки обычно поверхность сферической головки пальца подвергается закалке токами высокой частоты (ТВЧ), затем следуют отпуск, промывка и контроль твердости детали. Изготовление шаровых пальцев заканчивается шлифованием сферической головки и посадочного конуса.

Как правило, при разработке технологического процесса (ТП) отделочно-упрочняющей обработки (ОУО) шаровых пальцев не учитывается неравномерный износ рабочих сферических поверхностей при эксплуатации. Решение данной проблемы возможно за счет применения функционально-ориентированных покрытий (ФОР) [1–4]. Научное совершенствование и создание новых методов обработки ведется с учетом функционального назначения рабочих поверхностей деталей. Например, если рабочая поверхность функционирует в условиях трения и изнашивания, то в соответствии с трибологическими требованиями, окончательный метод обработки должен обеспечить ее оптимальную форму и качество, которые соответствуют их состоянию после приработки. Это позволяет значительно повысить долговечность рабочих поверхностей трения деталей. Таким образом, функционально-ориентированные технологии разрабатываются на основе совместного рассмотрения процессов обработки и эксплуатации

рабочих поверхностей (РП) деталей машин. Это позволяет в значительной мере увеличить долговечность ответственных деталей машин, обеспечить требуемый заказчиком ресурс каждой из РП наконечника рулевой тяги, выполненного в виде шарового пальца.

Для выполнения экспериментальных исследований по определению особенностей нанесения вакуумных функционально-ориентированных ионно-плазменных покрытий на РП шаровых шарниров изделия были выбраны натурные образцы шарового пальца (рис. 1) производства компании «СпецМаш» с твердостью рабочей части (шара) HRC 50, весом 0,6 кг и изготовленного из легированной хромистой стали 40Х.

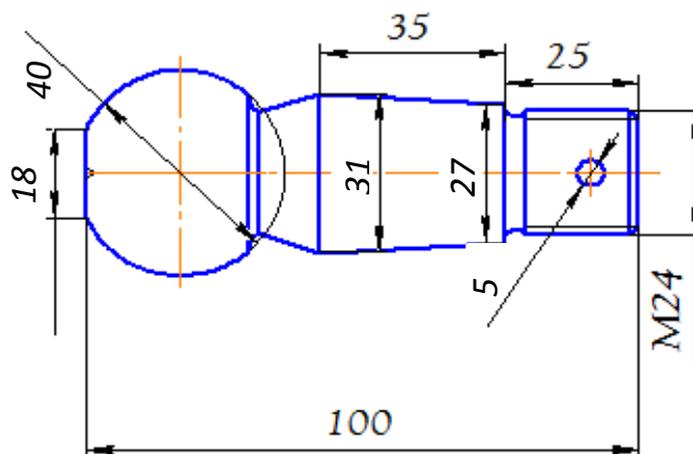


Рис. 1. Общий вид шарового пальца

Технологический процесс отделочной обработки рабочих поверхностей шаровых соединений (до нанесения покрытия) включал выполнение следующих операций: полировка РП (рис. 2), обезжиривание и подготовка РП (ионно-плазменная бомбардировка) к нанесению покрытия.



Рис. 2. Шаровые пальцы с полированной исполнительной сферической поверхностью

При полировании припуск на обработку составил от 0,002 до 0,008 мм, в качестве абразивных материалов использованы тонкие микрошлифпорошки с размерами зерен М10. Для полировки использован войлочный круг. Обработка выполнена с длительной обработкой 305 с, при этом полученная шероховатость составила  $R_a = 0,03$  мм.

Для последующего нанесения вакуумных ионно-плазменных покрытий выполнен процесс обезжиривания: 1 – ацетон, 2 – спирт.

Вакуумное ионно-плазменное покрытие РП изделий выполнено на установке ННВ 6.6-И1. Материал катодов ВТ 1-0, количество катодов – 2 (рис. 3).

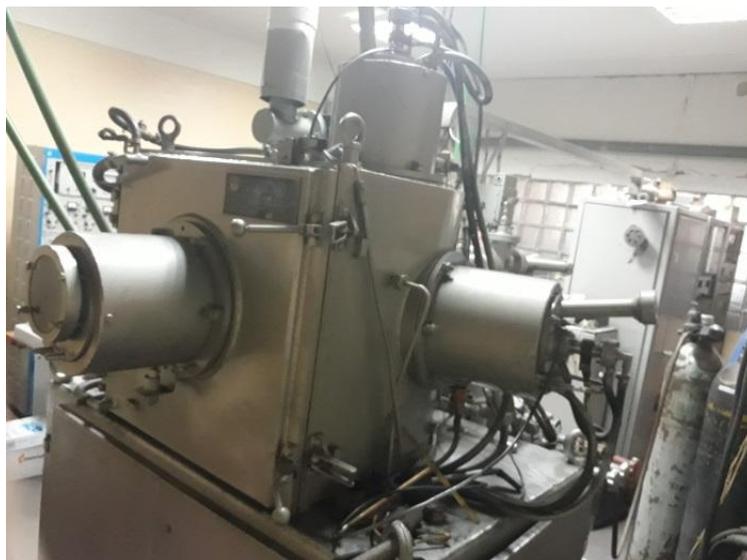


Рис. 3. Установка ННВ 6.6-III

В соответствии с исследованным износом РП сферической поверхности и математическим моделированием наиболее нагруженной части сферы [3, 4] наносилось многослойное композиционное покрытие на основе нитридтитанового покрытия TiN, являющееся ФОП. Максимальная толщина покрытия составила 12 мкм. Длительность нанесения покрытия составила 50 мин, угол наклона оси втулки – 90°. Деталь устанавливается в планетарный механизм с помощью оправки из нержавеющей стали (рис. 4 и 5). Планетарный механизм устанавливается в камеру установки. После установки планетарного механизма камера закрывается. Обработка происходит при вращении заготовки в планетарном механизме.



Рис. 4. Заготовка в оправке

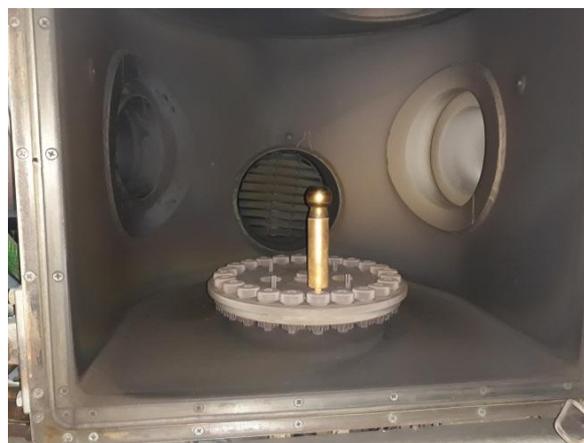


Рис. 5. Установка детали в планетарный механизм

На первой стадии происходит очистка от примесей и окислов с помощью ионно-плазменной бомбардировки.

Затем осуществляется прогрев детали до нужной температуры для получения адгезионного слоя, подложки титана, которая наносится в режиме опорного напряжения, т. е. в процессе обработки изменяется полярность. Прогрев осуществляется до температуры 700°C.

После режимами наносятся слои:

- 1 слой – чистый титан (1 мкм) – вся сфера;
- 2 слой – нитрид титана (6 мкм) – вся сфера;
- 3 слой – нитрид-титан-алюминий (6 мкм) – наиболее нагруженный шаровой пояс.

На саму деталь конденсируется и оседает созданное облако. Для обработки отдельных зон остальная область обрабатываемой поверхности затемнялась, защищалась от нанесения повторного слоя. Угол нанесения слоев – 90 градусов. Общий вид изделий с многослойным нитридтитановым покрытием представлен на рис. 6.



Рис. 6. Натурные образцы шаровых пальцев  
(основа – легированная хромистая сталь, покрытие – нитридтитановое):  
а – с двумя слоями (1, 2); б – с тремя слоями (1, 2, 3)

Образцы-свидетели планируется устанавливать под углом к потоку плазмы и выполнять процесс нанесения покрытия. Углы  $\omega$  наклона оси изделия к направлению потока плазмы  $90^\circ$ . Длительность нанесения слоя нитридтитанового покрытия составляла 20 мин.

На базе графа ТП нанесения многослойных покрытий на основе функционально-ориентированного подхода [1] разработан алгоритм (рис. 7) полного состава всех операций ОУО.

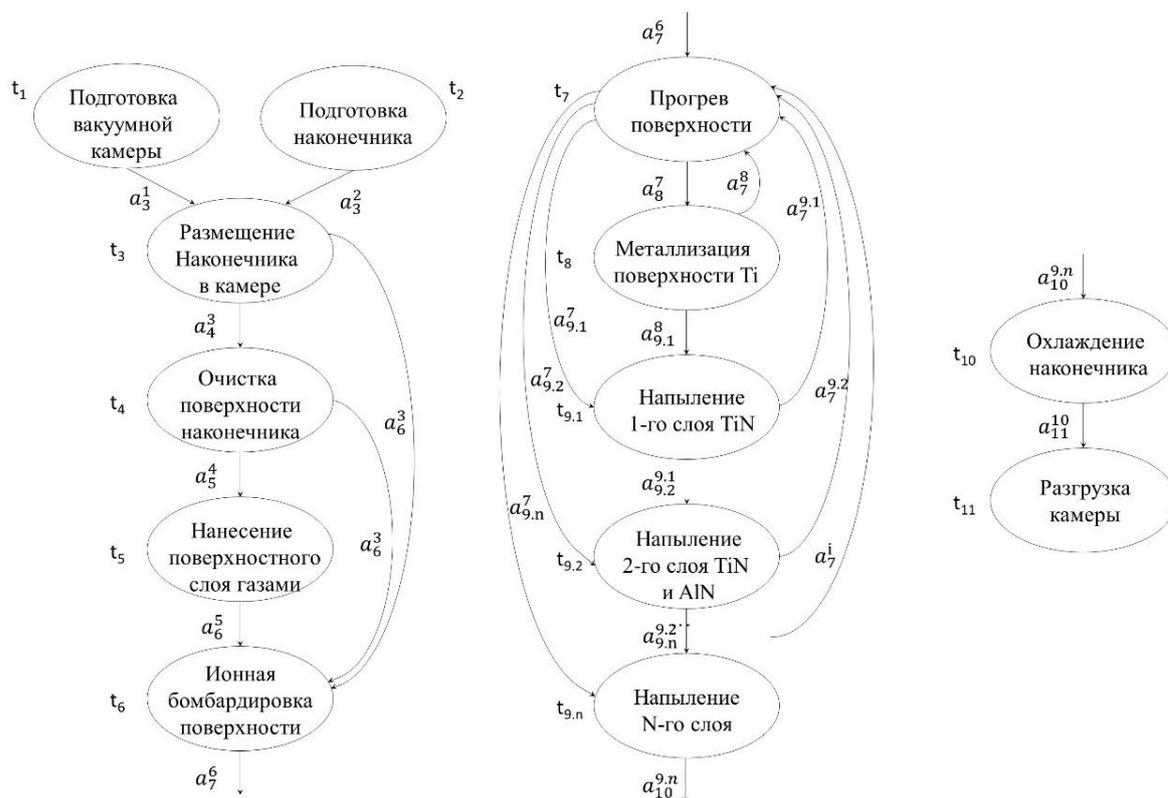


Рис. 7. Структурный вариант операций ионно-плазменного напыления сферической поверхности наконечника рулевой тяги в вакуумной ионно-плазменной установке

ТП ионно-плазменного напыления сферической поверхности наконечника рулевой тяги в вакуумной ионно-плазменной установке (в виде графа  $G(T, A)$ ):  $T$  – это множество вершин графа – операции ТП;  $A$  – упорядоченные пары вершин – отношения между операциями). В данном исследовании количество слоев покрытия ограничено двумя слоями, хотя их количество может быть увеличено при дальнейшей дифференциации функциональных зон РП.

В результате ионно-плазменного напыления сферической поверхности наконечника рулевой тяги в вакуумной ионно-плазменной установке экспериментально подтверждена возможность получения образцов с модифицированным поверхностным слоем. С использованием обработанных образцов необходимо дополнительное проведение экспериментальных исследований по определению следующих параметров нитридтитанового покрытия на рабочую поверхность изделия по следующей методике: а) определение параметров шероховатости шаровых пальцев с нитридтитановым покрытием, б) установление параметров микротвердости покрытия, в) определение толщины нитридтитанового покрытия по сферической полуокружности поверхности шарового пальца для конкретного сечения, г) определение особенностей изменения толщины нитридтитанового покрытия на РП изделия по различным сечениям изделия. Таким образом, предлагаемая методика экспериментальных исследований позволит выполнить заданные исследования и установить особенности нанесения вакуумных ионно-плазменных ФОП на исполнительные сферические поверхности наконечников рулевой тяги.

### Литература

1. *Костенко А.В.* Особенности структуры функционально-ориентированной отделочно-упрочняющей обработки деталей судовых агрегатов / А.В. Костенко, А.Н. Михайлов, А.В. Лукичев // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2019. – № 1 (64). – С. 43–51.
2. *Матвиенко С.А.* Моделирование кинематики при работе сферических шарниров дорожных машин для повышения безопасности их эксплуатации / С.А. Матвиенко, А.В. Лукичев, Ю.Н. Стрельник // Вестник ДонНТУ. – 2019. – № 1. – С. 40–46.
3. Реализация функционально-ориентированного подхода к финишной обработке шаровых опор на основе направленной виброрезонансной обработки / А.Н. Михайлов, А.В. Лукичев, С.А. Матвиенко, Ю.Н. Стрельник // Механики XXI века. – 2018. – № 17. – С. 215–221.
4. *Лукичев А.В.* К вопросу анализа функциональных особенностей износа шаровых шарниров / А.В. Лукичев, С.А. Матвиенко, Ю.Н. Стрельник // Машиностроение и техносфера XXI века: Сборник трудов XXVI Международной научно-технической конференции в г. Севастополе 23–29 сентября 2019 г. – Донецк: ДонНТУ, 2019. – С. 244–252.

УДК 629.5.083.5:629.5.024

**Т.Ю. Пашеева**

*Мурманский государственный технический университет,  
Мурманск, 183010  
e-mail: tatjana-pasheeva@rambler.ru*

## **О СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ОЧИСТКИ КОРПУСОВ СУДОВ**

Степень подготовки поверхности к нанесению защитных покрытий имеет ключевое значение. Главная задача очистки – получение шероховатой поверхности, которая обеспечит хорошее сцепление с лакокрасочными материалами. В судоремонте возможны несколько вариантов организации работ по очистке поверхностей, при этом выбор конкретного варианта определяется как основными направлениями деятельности предприятия, так и его производственной программой.

**Ключевые слова:** судоремонтные предприятия, корпусные конструкции судна, судоремонт, технология очистки корпусов судов.

**T.Yu. Pasheeva**

*Murmansk State Technical University,  
Murmansk, 183010  
e-mail: tatjana-pasheeva@rambler.ru*

## **ON MODERN SHIP HULL CLEANING TECHNOLOGIES**

The degree of surface preparation for applying protective coatings is key. The main task of cleaning is to obtain a rough surface, which will provide good adhesion to paints and varnishes. In ship repair, several options for organizing work on cleaning surfaces are possible, while the choice of a specific option is distributed both by the main activities of the enterprise and its production program.

**Key words:** ship repair enterprises, ship hull structures, ship repair, ship hull cleaning technology.

В судоремонте необходимо максимальное внимание уделить вопросам механизации. Рассматривая проблемы механизации доковых работ, важно сосредоточить внимание на очистке корпусов судов, т. к. в настоящее время существенно возросли требования к качеству поверхности изделий и деталей, а также к экологической чистоте производственных процессов.

Степень подготовки поверхности к нанесению защитных покрытий имеет ключевое значение: чем выше степень очистки корпуса судна, тем выше качество окраски. Главная задача очистки – получение шероховатой поверхности, которая обеспечит хорошее сцепление с лакокрасочными материалами. В случае нанесения на поверхность корпусных конструкций, деталей покрытий (лакокрасочных и других) неудовлетворительное состояние поверхности приведет к резкому уменьшению адгезионной прочности нанесенного покрытия с поверхностью и его отслаиванию в процессе эксплуатации. Одновременно должна преследоваться цель увеличения производительности очистки, поэтому перед судоремонтными предприятиями встает вопрос модернизации очистного оборудования.

В судоремонте возможны несколько вариантов организации работ по очистке поверхностей, при этом выбор конкретного варианта распределяется как основными направлениями деятельности предприятия, так и его производственной программой. В настоящее время в судоремонте нашли применение разнообразные способы очистки металлопроката корпусных конструкций: абразивоструйная, дробеметная, гидравлическая, термическая, очистка сухим льдом, химические способы очистки, очистка механизированным инструментом, лазерная очистка [1].

Традиционные способы устранения загрязнений с корпуса сложны и не способны в полной мере устранить загрязнения, а химические – слишком агрессивны, требуют серьезной подготов-

ки и оснащения. На текущий день оптимальным вариантом по очистке корпуса от грязи, ржавчины, старой краски и масляной пленки является пескоструйная очистка.

Обозначения способов подготовки поверхности указаны в табл. 1. Степень абразивно-струйной очистки и очистки ручным и механизированным инструментами указаны в табл. 2 и 3.

Таблица 1

Обозначения способов подготовки поверхности [1]

Sa	Струйно-абразивная очистка
St	Очистка ручным или механизированным инструментом

Таблица 2

Степени абразивно-струйной очистки [1]

Sa1	Легкая очистка. При осмотре без увеличения поверхность должна быть свободной от видимых масла, смазки, грязи, а также от слабопристающих окалины, ржавчины, краски и посторонних частиц
Sa2	Тщательная очистка. При осмотре без увеличения поверхность должна быть свободной от видимых масла, смазки и грязи, а также от большей части прокатной окалины, ржавчины, краски и посторонних частиц. Любые оставшиеся загрязнения должны приставать прочно
Sa21/2	Очень тщательная очистка. При осмотре без увеличения поверхность должна быть свободной от видимых масла, смазки и грязи, а также от большей части прокатной окалины, ржавчины, краски и посторонних частиц. Любые оставшиеся следы загрязнений должны выглядеть только как легкое окрашивание в виде пятен или полос
Sa3	Очистка до визуально чистой стали. При осмотре без увеличения поверхность должна быть свободной от видимых масла, смазки и грязи, а также от большей части прокатной окалины, ржавчины, краски и посторонних частиц. Она должна иметь однородную металлическую окраску

Таблица 3

Степени очистки ручным и механизированным инструментами [1]

St2	Тщательная очистка. При осмотре без увеличения поверхность должна быть свободной от видимых масла, смазки и грязи, а также от плохо пристающих прокатной окалины, ржавчины, краски и посторонних частиц
St3	Очень тщательная очистка. Как St2, но поверхность должна обрабатываться более тщательно до получения металлического блеска

Основными способами механической обработки поверхности являются шлифование, полирование, крацевание, виброобработка, струйная абразивная и гидроабразивная обработка. Недостатками этих технологий являются остатки абразивов на поверхности обрабатываемых деталей, а также, зачастую, высокие энергозатраты.

В настоящее время лазерная очистка используется в основном в приборостроении и при реставрационных работах. Однако быстрое развитие лазерных технологий не исключает также ее внедрения в судостроение [1].

Технология лазерной очистки является бесконтактным, безабразивным, высокопроизводительным и экологически чистым способом очистки поверхностей перед проведением различных технологических операций, в том числе покраски, нанесения защитных покрытий, сварки и т. д. Применение лазерной очистки ограничивалось недостаточной надежностью и высокой стоимостью лазеров. С появлением волоконных лазеров ситуация изменилась, так как срок службы, надежность, высокий коэффициент полезного действия, стабильность параметров и удобство использования окупают издержки на их приобретение и эксплуатацию [2].

Перспективы применения лазерных технологий очистки таковы, что судно достаточно будет покрасить один раз за весь срок эксплуатации. После этого в порту два-три подводных аппарата непосредственно в воде будут чистить его лазером. Лазер сжигает все наросты, не нанося вреда корпусу судна. Как следствие применения этой технологии – громадная экономия топлива, т. к. шероховатость днища уменьшает скорость судна до 30%, увеличивая тем самым расход топлива, и выбросы CO<sub>2</sub> в атмосферу [3].

Судоремонтные предприятия применяют технологию гидроструйной очистки с помощью аппаратов сверхвысокого давления, которая основана на воздействии кинетической высоконапорной водяной струи на обрабатываемую поверхность и позволяет удалять с поверхности загрязнения и отложения любой физической природы и химического состава: ржавчину, консервационные смазки, лакокрасочные покрытия, отложения нефтепродуктов, нагар, окалину, органические соединения.

Энергетической основой гидроструйных технологий является процесс превращения работы, совершаемой главными исполнительными органами технологического оборудования в кинетическую энергию струи жидкости малого диаметра, что достигается путем сжатия рабочей жидкости (обычно воды) до сверхвысоких давлений и ее последующего продавливания через специально спрофилированное гидросопло малого диаметра. На выходе из гидросопла компактная струя воды имеет высокую скорость и обладает значительной удельной кинетической энергией. Кинетическая энергия высокоскоростной струи жидкости в зоне обработки материалов превращается в механическую работу, например в резание [4].

Гидроструйная очистка имеет ряд неоспоримых преимуществ перед другими технологиями: высокую производительность, взрывопожаробезопасность, экологическую чистоту, пониженную опасность для работающего персонала. Эффективность очистки достигает класса чистоты Sa2,5 – Sa3 по стандарту ГОСТ Р ИСО 8501-1-2014 «Подготовка стальной поверхности перед нанесением лакокрасочных материалов и относящихся к ним продуктов. Визуальная оценка чистоты поверхности» [5].

Оборудование высокого давления совершенно незаменимо для очистки внешних поверхностей судов. Преимуществом очистки струей воды супервысокого давления по сравнению с пескоструйным методом очистки является сокращение численности рабочих (в том числе вспомогательных рабочих), снижение затрат на утилизацию абразива. Наиболее эффективна гидроабразивная очистка там, где необходимо очистить поверхность от окалины, ржавчины, убрать различные загрязнения, получить максимальную чистоту поверхности, подготовить поверхность с наивысшим качеством под нанесение покрытия, провести финишную обработку сложного контура, снизить шероховатость, при этом сохраняя экологическую чистоту окружающего пространства.

Акционерное общество «Центр технологии судостроения и судоремонта» специализируется на разработке технологии очистки и окрашивания конструкций корпусов судов. В книге «Технология очистки и окраски корпусов судов» рассмотрены требования к подготовке металлических поверхностей под окрашивание, приводятся достаточно полные сведения по современным лакокрасочным материалам, технологии и оборудованию для подготовки поверхностей корпусных конструкций. Данные сведения позволяют определить основные направления модернизации малярного производства судостроительных и судоремонтных предприятий, а также является прекрасным учебным пособием для студентов высших учебных заведений и колледжей [6].

В журнале «Экспозиция Металлообработка» вышла статья «Правильная подготовка корпуса судна к нанесению покрытий» автора Ирины Батуриной, менеджера по маркетингу. Описанный метод очистки и подготовки металла за один проход удаляет загрязнение, обезжиривает и обеспыливает поверхность, позволяя предприятиям экономить миллионы на транспортировке абразива, времени работ и зарплате операторов. Технология «Sponge бластинг» удаляет коррозию и старую краску с конструкций морских буровых установок, нефтяных платформ, промышленных, военных и коммерческих кораблей, барж, танкеров [7].

Информационно-аналитический портал, созданный для актуализации процессов в сфере судостроения Sudostroenie.info сообщает, что Балтийский и международный морской совет намерен разработать стандарт очистки корпуса судов в портах. Стандарт необходим для безопасной очистки подводной части корпуса и защиты окружающей среды от загрязнений. При этом очистка корпуса крайне необходима из-за его обрастания, в результате чего снижается скорость, повышается расход топлива. Стандарт также будет способствовать увеличению количества портов, в которых может быть произведена очистка, поскольку сейчас их число ограничено. Над стандартом работают компании-производители судовых покрытий, судовладельцы, а также организации, предоставляющие услуги по очистке. Участники надеются, что стандарт будет готов к концу 2019 г. [8].

Своевременная информация по инновационным технологиям очистки и окрашивания конструкций корпусов судов очень важна для судоремонтных предприятий, которые в настоящее время активно приступают к модернизации производства.

### Литература

1. Технология очистки и окраски корпусов судов / А.А. Васильев, В.М. Левшаков, Н.П. Маслова, С.В. Морозов. – СПб.: ЦТСС, 2015. – 269 с.

2. Перспективы промышленных применений лазерной очистки материалов / В.П. Вейко, А.А. Кишалов, Т.Ю. Мугин, В.Н. Смирнов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2012. – № 3 (79) [Электронный ресурс]. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-industrialnyh-primeneniy-lazernoj-ochistki-materialov> (дата обращения: 06.09.2019).

3. Внедрение лазерных технологий в Приморье позволит сохранить экологию и деньги // ZRPRESS.ru: деловое интернет-издание Дальнего Востока: Сайт. – URL: [https://zrpress.ru/nauka/primorje\\_03.03.2016\\_76894\\_vnedrenie-lazernykh-tekhnologij-v-primorje-pozvolit-sokhranit-kologiju-i-dengi.html](https://zrpress.ru/nauka/primorje_03.03.2016_76894_vnedrenie-lazernykh-tekhnologij-v-primorje-pozvolit-sokhranit-kologiju-i-dengi.html) (дата обращения: 06.09.2019).

4. *Тарасов В.А.* Проблемы и перспективы развития гидроструйных технологий в ракетно-космической технике / В.А. Тарасов, А.Л. Галиновский // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – Вып. 3 (15) [Электронный ресурс]. – URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/rocket/636.html> (дата обращения: 06.09.2019).

5. Судоремонтное предприятие «Сориус» применяет аппараты гидроструйной очистки при доковом ремонте кораблей // Корабел.ру: Сайт. – URL: [https://www.korabel.ru/news/comments/sudoremontnoe\\_predpriyatie\\_sorius\\_primenyaet\\_apparati\\_gidrostruynoy\\_ochistki\\_pri\\_dokovom\\_remonte\\_korabley.html](https://www.korabel.ru/news/comments/sudoremontnoe_predpriyatie_sorius_primenyaet_apparati_gidrostruynoy_ochistki_pri_dokovom_remonte_korabley.html) (дата обращения: 07.09.2019).

6. АО «Центр технологии судостроения и судоремонта»: Сайт. – URL: <http://www.sstc.spb.ru/publications/all/vasilev-a-a-levshakov-v-m-maslova-n-p-morozov-s-v-tekhnologiya-ochistki-i-okraski-korpusov-sudov-.html> (дата обращения: 08.09.2019).

7. Правильная подготовка корпуса судна к нанесению покрытий // Новости компании IST: Сайт. – URL: <http://www.ist-russia.ru/news/70/320/pravilnaya-podgotovka-korpusa-sudna-k-naneseniyu-pokrytij> (дата обращения: 08.09.2019).

8. В 2019 году будет разработан стандарт очистки судового корпуса // Sudostroenie info: Сайт. – URL: <https://sudostroenie.info/novosti/24618.html> (дата обращения: 10.09.2019).

УДК 629.5.083.5

**А.Н. Третьяков<sup>1</sup>, А.В. Четин<sup>1</sup>, Е.А. Чабанов<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Пермский филиал Волжского государственного университета водного транспорта,  
Пермь, 614060;*

<sup>2</sup>*Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
Пермь, 614990  
e-mail: ceapb@mail.ru*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СУДОРЕМОНТЕ**

Судоремонтная промышленность в современных условиях – это внедрение в технологический процесс инновационных решений и преобразований. С развитием судов нового поколения возникает необходимость не только обновления, но и постоянного развития судоремонтной индустрии. Стратегия применения инновационных технологий во время ремонтных работ, связанных с естественной амортизацией, а также при восстановлении послеаварийных ситуаций является весьма актуальной для современной судоремонтной отрасли. Исторически сложилось, что в период реформ, перестройки и в процессе перехода к рыночным отношениям судоремонтная промышленность Российской Федерации имела очень низкий уровень обеспечения техническими ресурсами. Флот, построенный в прошлом веке, не требовал высокотехнического оснащения. На предприятиях данной сферы применялось оборудование, а также материалы, внедренные в технологический процесс 35–40 лет назад. Подобное устаревшее техническое обслуживание не является достаточным для ремонта современных судов различных категорий. Актуальность рассмотренной в статье темы заключается в том, что для организации стабильной работы российского флота нужна полная модернизация судоремонтной отрасли, что невозможно без внедрения инновационных решений.

**Ключевые слова:** судоремонт, инновационные методы, лазерная резка, лазерная наплавка.

**A.N. Tretiakov<sup>1</sup>, A.V. Chetin<sup>1</sup>, E.A. Chabanov<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>*Perm branch of Volga State University of Water Transport,  
Perm, 614060;*

<sup>2</sup>*Perm National Research Polytechnic University,  
Perm, 614990  
e-mail: ceapb@mail.ru*

## **APPLICATION OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN SHIP REPAIR**

The ship repair industry in modern conditions is the introduction of innovative solutions and transformations into the technological process. With the development of new generation vessels, the need arises not only for updating, but also for the continuous development of the ship repair industry. The strategy for the application of innovative technologies during repairs related to natural depreciation, as well as during recovery from emergencies, is very relevant for the modern ship repair industry. Historically, during the period of reforms, perestroika and in the process of transition to market relations, the ship repair industry of the Russian Federation had a very low level of technical resources. The fleet built in the last century did not require high-tech equipment. The enterprises in this sphere used equipment, as well as materials introduced into the technological process 35–40 years ago. Such outdated maintenance is not sufficient to repair modern vessels of various categories. The relevance of the topic discussed in the article is that for the organization of the stable operation of the Russian fleet, a complete modernization of the ship repair industry is necessary, which is impossible without the introduction of innovative solutions.

**Key words:** ship repair, innovative methods, laser cutting, laser surfacing.

Сложно представить на сегодняшний день развитие ведущих отраслей промышленности, например космической или атомной, без использования современных инновационных технологий, таких как лазерные. Не является исключением судостроение и судоремонт [1].

В ремонтных работах морской техники нашли широкое применение новые высокотехнологичные разработки по лазерной резке и сварке. Динамично происходит внедрение плазменных методик. Например, к преимуществам внедрения портального комплекса «Ритм – Лазер» можно отнести следующие параметры [2]:

- позволяет с высокой точностью вырезать деталь,
- автоматизирована разметка, а также маркировка детали,
- комплекс приспособлен к работе в сложных нестандартных производственных помещениях,
- невысокие расходы на эксплуатацию комплекса,
- надежность конструкции, большие резервные возможности комплекса и его составляющих.

Следует заострить внимание на комплексе «Лабиринт». Новый технологичный процесс позволяет приварить тонкие ободки, кольца-обечайки к тяжеловесным мощным конструкциям. Прерогатива перед аналогичными модификациями:

- скорость сварных работ,
- миллиметровая толщина свариваемых материалов,
- область обработки деталей,
- возможна сварка в проблемных зонах.

Необходимо отметить инновационную лазерно-дуговую сварку при судоремонтных работах. Налицо положительные аспекты перед традиционными методиками дуговых подходов:

- 1) высокоскоростной технологический процесс,
- 2) высокие качественные показатели сварного шва,
- 3) минимизация присадочных материалов, а также отсутствие деформаций после термической обработки,
- 4) сведена к минимуму область термического воздействия.

Важным фактором эффективности производства является качество выполняемых работ. Именно по этой причине стоит отметить, что применение лазерных технологий в судоремонтной промышленности является решением таких проблем, как повышение уровня производительности труда и высокий качественный показатель судоремонтных работ.

Акционерное общество «Центр технологии судостроения и судоремонта» (АО «ЦТСС», г. Санкт-Петербург) проводит масштабные исследования в сфере лазерных технологий, занимается усовершенствованием технологических процессов в данном направлении, а также внедряет инновации в производственный цикл на судоремонтных предприятиях.

АО «ЦТСС» – это научный центр, приоритетной задачей которого на сегодняшний день является усовершенствование технологий в лазерной сфере, а также внедрение инновационных разработок в производство. Пионером в данной области стал судоремонтный завод в Астрахани, именно на его производственных площадках введен в эксплуатацию комплекс «Ритм-Малазер» с новой модификацией лазерной резки материалов, применяемых при ремонте морской техники [3].

К инновационным разработкам следует также отнести новое решение в области механической обработки металлов при ремонтных работах судов после длительной эксплуатации. Это экономичное в плане ресурсов решение при подготовке металлической поверхности перед покраской разработано на базе ООО «Барабан НТО» (г. Санкт-Петербург).

Во время проведения ремонтных работ часто приходится регенерировать, реставрировать детали и механизмы машин, имеющих большой износ или повреждения. Для решения таких задач применяется лазерная наплавка.

Данный метод имеет много плюсов:

- разнообразный выбор материалов для наплавки,
- возможность управлять зоной глубины сплавления,
- экономические показатели – время и расход материалов,
- высокий скоростной показатель,
- минимальные проблемы с деформацией,
- гарантия циклизации покрытия и основы. Итог – это цельное изделие.

Проведем аналогию с Китайской Народной Республикой. Известно, что в настоящее время, опередив США, Китай является лидером на всем мировом пространстве по уровню вложений в инновационные разработки.

Следует отметить, что судоремонтная сфера в Китае является государственной собственностью. В состав этой собственности входят не только судостроительные, судоремонтные предприятия и верфи, а также 30 научно-исследовательских институтов.

Секрет инновационных процессов в Китае, связанный с судоремонтной деятельностью, кроется не только в финансовых возможностях, но и в психологии населения Поднебесной – все, что происходит, для процветания страны. Успех инновационных проектов в данной области инвестиций – желание к внедрению инновационных методик и решению поставленных задач, смелая апробация экспериментов и экономия ресурсов.

Китайские судоремонтные предприятия создают вескую конкуренцию на данном рынке услуг. Причин несколько – ценовая и инвестиционная политика, отлаженный сервис. Все эти аспекты позитивно отражаются на спросе данного спектра услуг у судовладельцев.

За 2018–2019 гг. выдано большое количество патентов в сфере ремонта морской техники. Ударение делается на разработку лазерных и плазменных методик по ремонту и обслуживанию флота с различной степенью износа, по борьбе с коррозионными явлениями, ржавчиной, а также лазерной сварке деталей и материалов в нестандартных условиях – плавучих платформах. Большое внимание уделяется компьютерному моделированию, математическим расчетным составляющим и манипуляторам[4].

Несмотря на государственную поддержку и обилие патентов, большая часть интересных разработок производится на сегодняшний день на территории России.

Важными проблемами для российского рынка судоремонтных услуг на сегодняшний день является не отсутствие инвестиционных разработок, а несовершенная законодательная база и таможенный кодекс. Именно по этим причинам судоремонтные предприятия в настоящее время теряют конкурентную способность в отношении аналогичных предприятий в Китае. Создается критическое состояние отрасли, как показывает статистика, происходит сокращение заказов ежегодно.

Сложность ситуации заключается в следующем. Это применение и таможенное оформление оборудования, необходимых материалов, которые привозятся из-за границы для ремонтных работ, как отечественных, так и зарубежных заказчиков. В современных условиях нет возможности организовать весь ассортимент оборудования, согласно международным стандартам в одной стране. Проблемы в оформлении привезенных запасных частей и уплата НДС делают сотрудничество с российскими предприятиями невыгодным для заказчиков.

### Литература

1. *Храпов В.Е.* Инновационные преобразования на судоремонтных предприятиях как потребность устойчивого обеспечения морской деятельности / В.Е. Храпов, Т.В. Турчанинова // Вестник МГТУ. – 2010. – Т. 13, № 1. – С. 120–125.
2. *Туричин Г.А.* Перспективы внедрения лазерно-дугового процесса для сварки металлов больших толщин / Г.А. Туричин, И.А. Цибульский, М.В. Кузнецов, В.В. Сомов // Ритм. – 2010. – Вып. 10. – С. 28–31.
3. *Левшаков В.М.* Опыт разработки промышленных лазерных технологий изготовления судокорпусных конструкций / В.М. Левшаков, Н.А. Стешенкова, Н.А. Носырев // Вестник технологии судостроения и судоремонта. – 2013. – № 21. – С. 47–49.
4. *Лопота В.А.* Компьютерное моделирование лазерной сварки для применений в технологии / В.А. Лопота, Ю.Т. Сухов, Г.А. Туричин // Изв. РАН. – Сер. физ. – Т. 61, № 8. – 1997. – С. 1613–1618.

УДК 656.61.052(571.6)

**С.Ю. Труднев, А.С. Нистор**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: trudnev@mail.ru*

### **АНАЛИЗ АВАРИЙНОСТИ СУДОВ РЫБОПРОМЫСЛОВОГО ФЛОТА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА**

В материале приведена официальная статистика столкновения судов рыбопромыслового флота, а также причины и последствия аварий. Изложен анализ устройств, обеспечивающих безопасность мореплавания, предотвращающих столкновение судов. Предложены варианты решений описанных проблем путем разработки современных технологий управления судном на основе интегрированной системы управления.

**Ключевые слова:** столкновение, суда, рыбопромысловый флот.

**S.Yu. Trudnev, A.S. Nistor**

*Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: trudnev@mail.ru*

### **THE ANALYSIS OF ACCIDENT RATE OF FISHING FLEET VESSELS IN THE FAR EAST**

The article provides official statistics on collisions of fishing vessels, as well as the causes and consequences of accidents. The analysis of safe navigation devices, preventing the vessel collisions is shown. Solutions to the described problems by developing modern ship management technologies based on an integrated control system are proposed.

**Key words:** collision, vessels, fishing fleet.

На сегодняшний день безопасности мореплавания уделяется больше внимание. Возраст рыболовецких судов флота Дальнего Востока: за 20 лет – 2 492 единиц, от 10 до 20 лет – 775 единиц и всего лишь 160 судов младше 10 лет. 90% судов рыбопромыслового флота составляют малоэффективные физически изношенные и значительно устаревшие суда, построенные в СССР 60–80-х годах, имеющие крайне высокие показатели энергоемкости. Эксплуатационные характеристики таких судов остались на уровне последней четверти прошлого века. Рыбопромысловый флот России «вымирает» (рис. 1). В связи с плачевным состоянием рыбопромыслового флота увеличивается вероятность отказа его оборудования, в результате чего все чаще и чаще возникают аварийные ситуации в море.

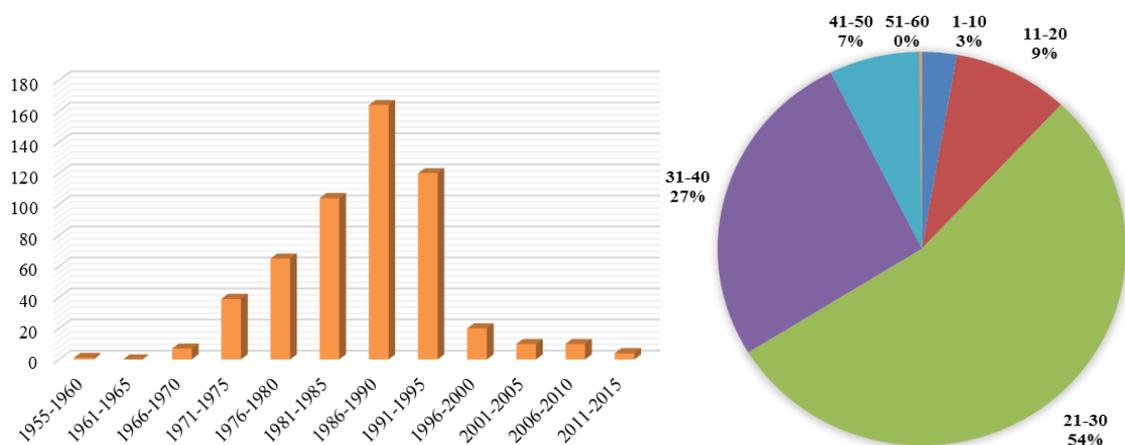


Рис. 1. Диаграммы возрастной структуры рыболовецких судов Дальнего Востока

Согласно последним официальным данным Ространснадзора появляется тенденция к увеличению аварий в море, из них столкновение судов и посадка на мель – самые распространенные (рис. 2).



Рис. 2. Столкновение судов и посадка на мель

На слайде приведена статистика кораблекрушений на Дальнем Востоке за несколько лет (рис. 3):

- 2010 г. было зафиксировано 110 аварийных случаев, 38 человек погибли;
- 2011 г. – 86 аварийных случаев, яркий пример судно «Аметист», которое оказалось не там, где нужно, не в то время, погиб 51 человек, 23 из них были членами экипажа;
- 2012 г. – 85 аварийных случаев, 16 человек погибли, 16 пропали без вести;
- 2013 г. – 37 аварийных случаев, 32 человека погибли;
- 2014 г. – 77 аварийных случаев;
- 2016 г. – 82 аварийных случая;
- 2017 г. – 95 аварийных случаев, 25 человек погибли.



Рис. 3. Статистика кораблекрушений

Ниже перечислены несколько кораблекрушений и их последствия:

«Петрозаводск» – морское судно, транспортный рефрижератор. Построен в Дании в 1980 г. как «Заполярье». 11 мая 2009 г. сел на мель у о. Медвежий в Баренцевом море. Экипаж спасен.

7 февраля 2012 г. произошло еще одно ЧП на море: сухогруз «Таня Карпинская» из Владивостока затонул у побережья японской префектуры Ниигата, после столкновения с сухогрузом «Кота Дута», флаг Сингапура. 17 членов экипажа российского судна доставили на берег и расселили в гостинице. Капитаны обоих судов оштрафованы за нарушение правил судоходства. Позже судно подняли со дна [1].

Самая первая крупная авария произошла 4 января 2013 г. Недалеко от Южных Курил на рефрижератор «Ирина» обрушился сильный шторм, пришедший из Владивостока. В 13 милях от о. Кунашир судно коснулось гребным винтом грунта, в машинно-котельном отделении открылась пробоина, и начала поступать вода, в результате чего главный двигатель вышел

из строя. Судно достигало крена от трех до десяти градусов. Капитан рефрижератора принял решение эвакуировать экипаж в составе 19 человек. Моряков принял на борт теплоход «Татарстан», оставив судно в дрейфе без экипажа, подвергая экологической опасности Тихий океан. На «Ирине» находилось 560 т рыбы, 105 т мазута, 40 т топлива, до 6 т смазочного масла. Спасательным судам удалось взять «Ирину» на буксир 9 января.

Экологи вздрогнули 15 февраля 2013 г., когда танкер «Каракумнефть» сел на мель в 80 м от берега Итурупа. На его борту около 1 тыс. т дизельного топлива. Еще примерно 300 т разлилось в море. Местные жители говорят о большом экологическом ущербе – в акватории Курильского залива у побережья Итурупа наблюдается многократное увеличение масляной пленки, сильный запах соляра, шуга в море, берег и площади выше покрыты слоем эмульсии желтого цвета. Судно принадлежит компании из Владивостока, которая теперь просчитывает рентабельность спасательной операции [2].

Охотское море продолжает слыть местом особенно опасным для моряков. Судно «Вест» перевернулось в Охотском море вечером 23 сентября 2013 г. Всего на борту судна находились 10 членов экипажа. Восемь спасли, двое считаются пропавшими без вести. По факту затопления судна возбуждено уголовное дело.

Крушение автономного траулера «Дальний Восток» – морская катастрофа, произошедшая 2 апреля 2015 г. около 4:12 по сахалинскому времени (1 апреля в 21:12 по московскому времени, 18:12 по всемирному координированному времени) в Охотском море, в 150 милях южнее Магадана, крушение привело к гибели 62 человек. 63 спасенных человека получили разные степени переохлаждения организма.

И это только часть данных произошедших катастроф. К сожалению, с каждым годом число кораблекрушений становится больше. По официальным данным Росрыболовства, большинство аварий произошло по вине человека.

В связи с этим Правительством Российской Федерации разработан комплекс мер, направленных на усиление контроля за безопасностью мореплавания и снижение аварийности на море. В частности, особое внимание уделено качеству подготовки по конвенционным специальностям в морских вузах.

На сегодняшний день Международным классификационным сообществом для подготовки курсантов морских вузов разработан и постоянно актуализируется ряд документов, основным из которых является Международная конвенция ПДНВ (рис. 4).



Рис. 4. Международные документы, регламентирующие подготовку моряков

Но проблема очень многогранна, и наиболее эффективное ее решение будет достигаться не через нормативно-правовую базу, а через создание сложных технических систем, предугадывающих и предотвращающих чрезвычайные ситуации в море.

Количество морских судов в мире с каждым годом растет, увеличивая плотность водного транспорта в морях и океанах. В промысловом режиме транспортное судно встречает большое количество препятствий: плохая погода, суровый климат, шторм, туман, ночь, плавучие льды и ледяные глыбы, мели, рифы, дрейфующие суда без экипажа и многое другое. Так, одной из распространенных аварий является столкновение судов с различными объектами. В результа-

те столкновения происходит затопление и повреждение одного или нескольких отсеков, которое может повлечь за собой гибель судна и его экипажа. Результат таких ситуаций также может повлечь за собой экологическую катастрофу в виде разлива нефтепродуктов. При любой аварийной ситуации судовладелец несет колоссальные убытки на подъем и ремонт судна, ликвидацию загрязнений и выплаты штрафов. Например, на закупку нового большого траулера судовладелец должен будет затратить около пятидесяти миллионов евро. Такие расходы могут быть неподъемными для большинства судовладельцев, и все, что остается, – это покупка более дешевого устаревшего действующего судна. Тем самым опять подвергается опасности экипаж старого судна с устаревшим оборудованием, значительно снижается безопасность мореплавания, и увеличивается вероятность отказа.

На сегодняшний день существуют современные высокоточные системы с нейросетевыми интеллектуальными регуляторами, которые способны не только предупредить, но и предотвратить аварию.

Для сбора информации возможно применение современных следящих систем:

– система глобального позиционирования: GPS, Galileo, ГЛОНАСС, Beidou. С высокой точностью GPS обеспечивает слежение с погрешностью от 15 до 50 м, а при приеме и обработке дифференциальных поправок уменьшает погрешность до 10 м. Систему слежения с дифференциальными поправками используют вблизи берега;

– система АИС генерирует вокруг парохода поле с информацией о курсе и скорости судна, его типе, о грузе, месте и времени прибытия судна и текущих координатах судна;

– судовые РЛС и САРП. Информацию от РЛС и САРП судоводитель может проанализировать и использовать данные для оценки наиболее опасных объектов, а также есть время для принятия решения по выбору оптимального расхождения с опасными целями.

Таким образом, разработка комплексного устройства, работающего совместно с судовыми следящими системами, позволит собирать, анализировать полученную информацию в реальном времени, а также выбирать курс, скорость с учетом всех потенциально опасных факторов через автоматическую систему управления судном.

Тем самым будет устранена человеческая ошибка при расхождении с большим количеством судов при их плотном движении в системах разделения движения, в узкостях и на подходах к порту или выходе из порта, и увеличится безопасность мореплавания любого судна.

### Литература

1. *Круглова Т.Н.* Учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ / Т.Н. Круглова // Интегрированные системы управления. – 2017. – 81 с.
2. *Снопков В.И.* Управление судном: Учебник для ВУЗов / В.И. Снопков. – 3-е изд, перераб. и доп. – СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2004. – 536 с.
3. Управление судном и его техническая эксплуатация: Учебник для учащихся судоводит. спец. высш. инж. мор. училищ / Е.И. Жуков, М.Н. Либензон, М.Н. Письменный и др.; под ред. А.И. Щетининой. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1983. – 655 с.
4. *Витченко А.А.* Морское дело: Учебное пособие / А.А. Витченко. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – С. 157–159.
5. GPS как работает? Принципы работы GPS-навигатора [Электронный ресурс]. – URL: <http://fb.ru/article/146619/gps-kak-rabotaet-printsipyi-raboty-gps-navigatora> (дата обращения: 05.09.2019).

УДК 544.778.4:553.673

**Н.В. Фатьянова**

*Азербайджанская государственная морская академия,  
Баку, AZ1000  
e-mail: nice.natali92@mail.ru*

### **ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА ПОДГОТОВКИ ВЫСОКОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ ТАЛЬКА**

В данной статье рассматриваются особенности процесса подготовки высокодисперсных порошков талька. Рассматриваются зависимости влажности верхнего предела пластичности, влажности максимального набухания и емкости обменных катионов талькита кальцита от продолжительности сухого помола.

**Ключевые слова:** талькит кальцит, продолжительности сухого помола, влажность максимального набухания, шаровая мельница.

**N.V. Fatyanova**

*Azerbaijan State Marine Academy,  
Baku, AZ1000  
e-mail: nice.natali92@mail.ru*

### **FEATURES OF THE PROCESS OF PREPARATION OF HIGH-DISPERSION TALC POWDERS**

This article discusses the features of the preparation of highly dispersed talcum powder. The dependence of the humidity of the upper limit of plasticity, the maximum swelling humidity and the capacity of the calcite talcite exchange cations on the duration of dry grinding are considered.

**Key words:** talcite, calcite, dry grinding duration, maximum swelling moisture, ball mill.

На судоремонтном заводе «Биби-Ейбат» в качестве наполнителя ЛКМ применяли природный мел, который значительно ухудшал внешний вид покрытия, не обеспечивал атмосферостойкость, физические и эксплуатационные характеристики краски.

В настоящее время в качестве наполнителя на заводе в основном применяют тальк – основной белый пигмент в лакокрасочном производстве, а также большой спектр цветных пигментов, в частности: железоокисные пигменты, свинцовые, цинковые, молибдатные крона, сажа, окись хрома и органических пигментов, позволяющих получать эмаль ПФ-115 всевозможных цветов и оттенков.

Как известно, тальк – слоистый силикат, относится к моноклинной сингонии, имеет весьма совершенную спайность, являясь мягким рассыпчатым минералом, представлен в виде рваных слоистых частиц, с чешуйчатым габитусом.

Являясь химически инертным и гидрофобным материалом, устойчивым к большинству кислот и атмосферным воздействиям, тальк используют для получения антикоррозионных покрытий [1].

Повышение дисперсности талька может быть осуществлено путем помола порошков в специальных мельницах при оптимальном режиме.

Минералы талька относятся к дисперсным водным магнетитам слоистой структуры, что обуславливает их высокую удельную поверхность.

Известно, что поверхности базисов минералов талька активны относительно адсорбции катионов и молекул воды. Поэтому количество активных центров адсорбции, находящихся на базисах кристаллов, преобладает над количеством центров адсорбции на сколах, углах и ребрах кристаллов.

В равновесном состоянии водонасыщенного талька силы притяжения между частицами должны быть равны силам расклинивания с обратным знаком. Однако при этом необходимо

принимать во внимание различие в скоростях изменения сил с удалением от поверхности частиц. При увеличении расстояния между частицами силы отталкивания быстрее убывают, чем силы притяжения.

Тогда можно сделать вывод, что показатель степени в обратно пропорциональной зависимости, выражающей изменение сил притяжения и отталкивания с расстоянием от поверхности частиц, должен быть в первом случае (притяжение) меньше, чем во втором.

Это обстоятельство обуславливает необратимость процесса сжатия водонасыщенного талька. Действительно, опыты с суспензиями по набуханию талька подтверждают это. В результате для приготовления суспензии требуется приложение внешнего усилия для диспергации. Замачивания частиц талька с водой недостаточно, поэтому применяется метод растирания с добавками диспергатора.

Рентгеновским анализом установлено, что дегидратированные частицы талька могут увеличивать межплоскостное расстояние решетки за счет ввода ограниченного количества жидкости. Например, в некоторых талькитах базисные поверхности могут отойти друг от друга в процессе гидратации на расстояние более  $19\text{ \AA}$ . Однако на наружной базисной поверхности может формироваться более мощный гидратно-ионный диффузный слой за счет поверхностной диссоциации и набухания. Всякое механическое разрушение агрегатов талька способствует увеличению наружной базисной поверхности частиц. Поэтому можно полагать, что агрегатное состояние талька определяется степенью их механической диспергации [2].

Процесс механической диспергации микроталька проводили на шаровой эксцентриковой мельнице. Эксперименты показали, что можно создать такой режим работы мельницы, при котором будет получен нанопорошок с высоким расслоением агрегатов по плоскости их спайности, что обуславливает максимальную величину эффективной удельной поверхности. При этом значительно повышается гидрофильность, набухание и пластичность. Время диспергации для достижения этого эффекта зависит от качества и режима работы шаровых мельниц. Однако установлено, что при равных условиях для талькитов требуется менее длительное растирание, чем для кальцитов.

Как показали эксперименты, на первом этапе помола наблюдается (рис. 1) увеличение пластичности, емкости обмена и набухание. После достижения максимума указанные показатели начинают снижаться. После 8–10 ч сухого помола значительно увеличилась удельная поверхность частиц талькита, которая составила  $330\text{ м}^2/\text{г}$ .

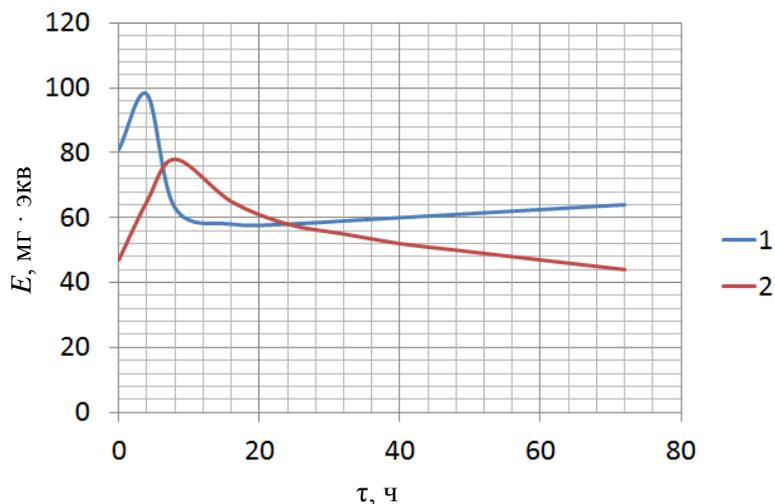


Рис. 1. Зависимость влажности максимального набухания (1) и емкости обменных катионов (2) кальцита от продолжительности сухого помола

Установлено, что высокая дисперсность обеспечивается после завершения первого этапа сухого помола. Рациональный режим помола в мельницах должен способствовать максимальному проявлению пластичных свойств частиц талькита при взаимодействии с полярными дисперсионными средами [3].

На основании проведенных экспериментов можно заключить, что процесс сухого помола талькитов в шаровой мельнице должен состоять из двух основных этапов: разрушения микроаг-

регатов талькита по плоскости спайности, т. е. расслоения агрегатов на тонкие пакеты, и увеличения эффективной удельной поверхности; разламывания кристаллов перпендикулярно базальным плоскостям, и увеличения доли поверхности, приходящейся на сколы кристаллов (рис. 1 и 2).

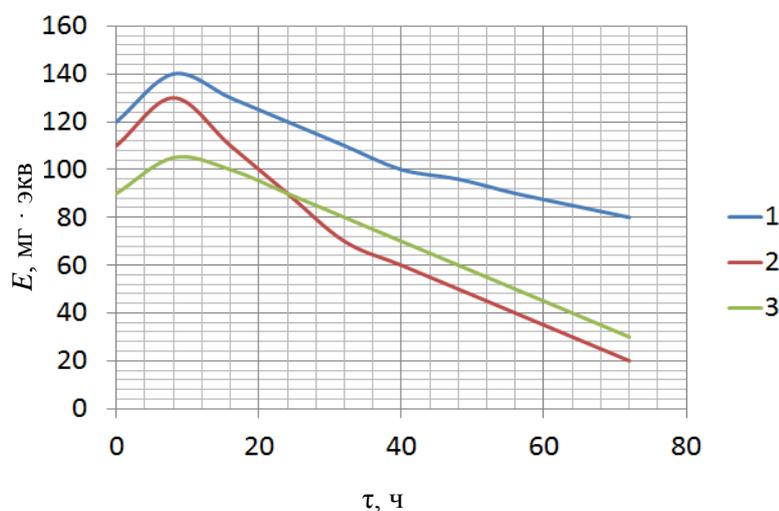


Рис. 2. Зависимость влажности верхнего предела пластичности (1), влажности максимального набухания (2) и емкости обменных катионов (3) талькита от продолжительности сухого помола

Таким образом, установлено, что наиболее рациональным состоянием использования талькитов в составах лакокрасочных материалов является порошковое. Для производства высокодисперсных порошков талькитов необходимо обеспечить оптимальный режим помола в шаровых мельницах. При этом наилучший эффект достигается при влажности воздуха в мельницах в интервале 70–80%. Оптимальный режим помола талька обеспечивает высокую дисперсность порошков, высокую обменную емкость и пластичность. Для местного талька продолжительность сухого помола составила 8–10 часов. Высокодисперсные порошки характеризуются большой удельной поверхностью набухания и емкости обмена катионов, а при высыхании наиболее упорядоченной текстурой и малой усадкой, что обеспечивает высокое качество лакокрасочных покрытий.

### Литература

1. Фатьянова Н.В. Лакокрасочные материалы – эффективные средства защиты от коррозии / Н.В. Фатьянова, З.З. Шарифов, Н.Ш. Исмаилов // Научные труды АГМА. – Баку, 2018. – № 1. – С. 24–30.
2. Ультрадисперсные и наноразмерные порошки. Создание, строение, производство и применение / Ю.А. Бирюков, В.М. Бузник и др. – Томск: Изд-во НТЛ, 2009. – 195 с.
3. Рыбальченко В.В. Получение наноразмерных порошков оксида алюминия методом химического диспергирования алюминия и его сплавов / В.В. Рыбальченко, Ю.Г. Трифонов, А.Ю. Омаров // Труды Всероссийской научно-технической конференции с международным участием, посвященной 30-летию открытия наноалмазов. – Красноярск, 2012. – С. 114–115.

## СЕКЦИЯ 2. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.3.019.34

**О.А. Белов, Г.С Мясников**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: boa-1@mail.ru*

### **ВНЕДРЕНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ЗАЩИТЫ СУДОВЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ**

Асинхронный электродвигатель на сегодняшний день является основным приводом судовых механизмов, систем и устройств. Надежность и эффективность его работы обеспечивается системой мероприятий, где наряду с конструктивными решениями важное место отводится техническому обслуживанию и поддержанию эксплуатационных характеристик электроприводов в процессе работы. Важным элементом в этой системе является защита электропривода от различных аварийных режимов. Однако разнообразие режимов работы и особенности условий эксплуатации асинхронного электропривода не позволяют обеспечить эффективную защиту электропривода традиционными средствами. Это требует разработки принципиально новых подходов к решению данной проблемы и внедрения комплексной защиты судовых электроприводов.

**Ключевые слова:** асинхронный электродвигатель, электропривод, электрическая защита, тепловая защита, тепловое реле, короткое замыкание, акустическая защита.

**O.A. Belov, G.S. Myasnikov**

*Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: boa-1@mail.ru*

### **IMPLEMENTATION OF INTEGRATED PROTECTION OF SHIP ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVES**

Asynchronous electric motor today is the main drive of ship mechanisms, systems and devices. Reliability and efficiency of its work is ensured by a system of measures, where along with constructive solutions, an important place is given to maintenance and maintenance of the operational characteristics of electric drives during operation. An important element in this system is the protection of the drive from various emergency conditions. However, a variety of operating modes and features of the operating conditions of an asynchronous electric drive do not allow to provide effective protection of the electric drive by traditional means. This requires the development of fundamentally new approaches to solving this problem and the introduction of integrated protection of marine electric drives.

**Key words:** asynchronous electric motor, electric drive, electric protection, thermal protection, thermal relay, short circuit, acoustic protection.

Уровень энергоемкости и автоматизации современных судов неизменно увеличивается, и эта тенденция продолжает сохраняться на протяжении последних десятилетий. Асинхронный электропривод является ключевым элементом судовой энергетической установки, общесудовых систем и устройств, а также технологических линий и судовых производств. Около 70% электроэнергии, производимой на судне, потребляется асинхронными электродвигателями. От надежности и безотказности работы асинхронных электроприводов зависит не только качество и количество производимой продукции, эффективность и трудоемкость различных технологических операций, но и создание комфортных условий обитаемости экипажа, придание судну важных мореходных свойств, в т. ч. обеспечения живучести судна и безопасности мореплавания [1, 2].

Внезапный отказ и утрата работоспособности практически любого судового электропривода сопровождается снижением эксплуатационных характеристик судна, повышает вероятность возникновения технических, экологических и навигационных происшествий. Причины отказов (инициирующие события) судового электрооборудования, в том числе и асинхронных двигателей, рассмотрены в публикациях [3–5].

Основные причины отказов можно условно разделить на три группы:

– *конструкторско-технологические причины*, связанные с ошибками в проектировании, нарушением технологии сборки, внутренними дефектами и несоответствием оборудования фактическим условиям эксплуатации;

– *ремонтно-сервисные причины*, обусловленные низким уровнем технического обслуживания и ремонта, что приводит к повышению интенсивности процессов изнашивания, старения и возникновению внезапных отказов, как правило, со значительными разрушениями деталей и узлового оборудования;

– *эксплуатационные причины*, вызванные нарушением правил и норм эксплуатации, превышением или значительным отклонением эксплуатационных параметров, снижением сопротивления изоляции и возникновением коротких замыканий.

Слабоформализуемым элементом в каждой из указанных групп является «человеческий фактор», связанный с уровнем квалификации персонала, его психофизиологическим и эмоциональным состоянием, степенью ответственности и мотивированности, способностью безошибочно выполнять контрольные и управляющие функции в процессе эксплуатации технических средств [6].

Все эти факторы могут проявляться не сразу, а только при определенных, чаще всего, предельно допустимых условиях эксплуатации. Вместе с тем следует отметить, что наличие тех или иных инициирующих событий в отдельности не обязательно приводит к возникновению аварийного отказа. Как правило, указанные инициирующие события имеют общую природу и образуют взаимосвязанные цепочки, приводящие в итоге к серьезным авариям с необратимыми последствиями [7].

Для предотвращения таких последствий необходимо изолировать инициирующие события друг от друга или разорвать общую цепочку инициирующих событий, в т. ч. снизить негативное влияние «человеческого фактора». Именно эту функцию в системе судового электропривода выполняет электрическая защита.

На сегодняшний день судовые электроприводы имеют ряд типовых электрических защит и блокировок, строящихся на базе тепловых и электромагнитных реле:

- защита от короткого замыкания;
- защита от перегрузки (тепловая защита);
- защита от снижения напряжения и обрыва фазы;
- нулевая защита;
- грузовая защита и т. д.

Указанные виды защит в большинстве случаев реагируют на аварийные отклонения параметров и не отслеживают возникающие инициирующие события в процессе эксплуатации. Это, по сути, приводит к генерации новых инициирующих событий, и процесс развития аварийного отказа приобретает лавинообразную форму [7].

Так, проведенные лабораторные исследования показали, что при одинаковых начальных условиях и нагрузке до  $0,5P_n$ , отключение одной из фаз асинхронного электродвигателя вызывает срабатывание защиты в интервале до 8 мин, при этом температура обмотки статора в момент отключения превышает предельно допустимую на 10%. При увеличении нагрузки до  $0,8P_n$  разброс параметров увеличивается, интервал времени срабатывания сокращается до 5 мин, но отклонение предельной температуры достигает 15%.

Исследование тепловой защиты электродвигателя показало, что при плавном увеличении нагрузки на валу тепловые реле срабатывают относительно корректно, обеспечивая заданный уровень параметров. При резком увеличении нагрузки на валу тепловая защита, из-за большой инерционности тепловых реле, срабатывает с недопустимым запаздыванием, когда температура обмоток уже значительно превысила допустимый уровень.

Значительный разброс по критическим параметрам имеют и другие виды защит, что в реальных условиях приводит не только к аварийным отключениям с необратимыми последствиями

ми, но и снижает ресурс электрооборудования, происходит интенсивное старение и накопление внутренних дефектов, снижается работоспособность и надежность технических средств [8].

Таким образом, с учетом широкого диапазона режимов работы и особенностей эксплуатации судовых электроприводов традиционные средства защиты являются недостаточно эффективными и надежными. Это требует разработки принципиально новых подходов к решению данной проблемы и внедрению комплексной защиты судовых электроприводов, например на базе виброакустических средств контроля.

Элементная база системы виброакустического контроля включает в себя набор пьезоэлектрических датчиков, блок коммутации, микроконтроллеры и микропроцессорную систему с установленным программным обеспечением и устройством вывода информации.

С наименьшими затратами система может быть внедрена на основе одноплатного микрокомпьютера RaspberryPi, нескольких микроконтроллеров ArduinoUno, релейного и клеммного модуля, объединенных на общей печатной плате и заключенных в пластиковый корпус, с возможностью крепления на DIN-рейку или на плоскую поверхность. Коммутация нескольких устройств в одну сеть возможна с помощью встроенного интерфейса Ethernet на 10/100 Мбит. Обмен данными напрямую с ПК или планшетом возможен через Wi-Fi или Bluetooth. Преимуществами такой комплектации являются низкая стоимость компонентов, доступность на рынке, возможность использования отечественных комплектующих.

Внедрение виброакустического контроля в систему управления судовым электроприводом позволяет не только осуществлять непрерывный мониторинг и регистрацию виброакустической «картины» защищаемого оборудования, но и обеспечит своевременную диагностику большинства характерных неисправностей, к которым относятся:

- неправильное соединение отдельных частей или фаз обмоток;
- обрывы одной или нескольких параллельных ветвей обмоток;
- неравномерный воздушный зазор между статором и ротором;
- расцентровка электродвигателя с рабочей машиной;
- неисправности в соединительной муфте;
- искривление вала;
- неуравновешенность вращающихся частей электродвигателя или рабочей машины;
- ослабление крепления или посадки вращающихся частей;
- дефекты подшипников электропривода.

Своевременное обнаружение и устранение указанных дефектов позволяет локализовать отдельные «иницирующие события» и разорвать цепочку развития внезапного отказа и возникновения необратимых аварийных последствий.

Внедрение комплексной защиты электроприводов на базе рассмотренной микропроцессорной системы позволяет варьировать и расширять ее возможности в зависимости от типа электропривода и режимов его работы. Так, при соответствующей доработке программного обеспечения и применения в качестве датчиков температурных реле, уровнемеров, центробежных указателей скорости и других устройств, возможно добавление целого ряда функций:

- контроль, регистрация, а в отдельных случаях и регулирование температуры (обмоток статора, подшипников, масла, охлаждающей жидкости, помещений и т. д.);
- контроль давления;
- контроль уровня жидкостей и масел;
- контроль положения в пространстве (запрет на пуск в нерабочем положении);
- контроль и регистрация скорости вращения;
- контроль параметров электрической сети;
- мониторинг и регистрация потребления электроэнергии оборудованием.

Таким образом, внедряемая система способна не только обеспечивать непрерывную защиту электропривода, но и вести регистрацию всех параметров на устройстве, что фактически исключает потерю данных, позволяет удаленно производить мониторинг и управление оборудованием, осуществлять своевременную диагностику и контроль технического состояния, а также выдавать при необходимости запрет на запуск и своевременно инициировать аварийную остановку.

Для эффективного внедрения комплексной защиты асинхронных электроприводов требуется решение ряда сопутствующих задач. В частности, необходимо упростить процесс интерпретации полученных данных и тем самым снизить вероятность ошибки оператора. Кроме того необходима соответствующая подготовка и повышение квалификации операторов.

Другой проблемой, требующей решения, является технологическая вибрация судовых механизмов (например, поршневых компрессоров), которая существенно затрудняет использование виброакустических средств контроля. Решение данной проблемы и разработка системы, способной распознать среди прочих шумов и вибраций именно ту, которая является предпосылкой развития необратимого дефекта и выхода из строя оборудования, является актуальной задачей.

Таким образом, внедрение комплексной защиты судовых электроприводов в совокупности с решением сопутствующих задач и совершенствованием элементной базы и программного обеспечения позволит существенно повысить ее эффективность и обеспечить требуемый уровень надежности и безопасности судового электрооборудования.

### Литература

1. Белов О.А. Обзор основных факторов снижения безопасности сложных технических систем / О.А. Белов, А.И. Парфенкин // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2015. – № 35. – С. 11.

2. Белов О.А. Методология анализа и контроля безопасности судна как сложной организационно-технической системы / О.А. Белов // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2015. – № 34. – С. 12–18.

3. Пантина А.И. Контроль технического состояния судовых асинхронных двигателей на основе характеристик внешнего электромагнитного поля / А.И. Пантина, О.А. Белов // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – 2017. – Т. 13, № 1. – С. 32–36.

4. Труднев С.Ю. Разработка устройства диагностики защитной аппаратуры судового электрооборудования на основе ионистора / С.Ю. Труднев, Р.А. Юрьев, А.А. Марченко // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование: Материалы Пятой всероссийской научно-практической конференции. – 2014. – С. 147–148.

5. Белов О.А. Методология оценки технического состояния электрооборудования при развитии параметрических отказов / О.А. Белов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2015. – № 3. – С. 96–102.

6. Белов О.А. Оценка технической готовности системы с учетом влияния человеческого фактора / О.А. Белов // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2014. – № 30. – С. 11–16.

7. Белов О.А. Общий алгоритм развития опасных ситуаций в судовых условиях / О.А. Белов // Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы Восьмой всероссийской научно-практической конференции, 2017. – С. 51–54.

8. Белов О.А. Процесс формирования постепенного отказа в технических системах / О.А. Белов // Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы Шестой всероссийской научно-практической конференции, 2015. – С. 44–49.

УДК 621.311.001.57

**Д.С. Кротенко, О.А. Белов**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: boa-1@mail.ru*

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ОПТИМИЗАЦИИ  
РЕЖИМОВ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ  
ПРИ ЭЛЕКТРОПИТАНИИ ОТ БЕРЕГОВОЙ СЕТИ**

Определенные этапы эксплуатации кораблей и судов связаны с длительной стоянкой у пирсовых сооружений. Для целого ряда плавучих объектов такой режим технической эксплуатации является основным. Электроснабжение потребителей электрической энергии в этом режиме осуществляется от береговой сети. Обеспечение безопасности и надежности электроснабжения в данных условиях во многом зависит от качества электрической энергии. Однако по ряду объективных и субъективных причин обеспечение требуемых качественных показателей электроэнергии для судовых потребителей при осуществлении электропитания от береговых источников связано с определенными трудностями. Это обусловлено конструктивными, эксплуатационными, технологическими и нормативными особенностями судовой электроэнергетической системы. Оптимизация режимов работы судовых потребителей при электропитании с берега и имитационное моделирование процессов взаимодействия судовой и береговой сетей является актуальной задачей.

**Ключевые слова:** судовая электроэнергетическая система, режим длительной стоянки, береговая электрическая сеть, щит питания с берега, качество электроэнергии, электропотребители, надежность электроснабжения.

**D.S. Krotenko, O.A. Belov**

*Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: boa-1@mail.ru*

**MODELING OF OPTIMIZATION PROCESSES OF SHIP'S ELECTRIC POWER SYSTEM  
AT POWER SUPPLY FROM THE SHORE NETWORK**

Certain stages of the operation of ships and vessels are associated with long-term parking at the pier facilities. For a number of floating objects, this mode of technical operation is the main one. Power supply to consumers of electric energy in this mode is carried out from the coastal network. Ensuring the safety and reliability of power supply in these conditions largely depends on the quality of electric energy. However, for a number of objective and subjective reasons, the provision of the required quality indicators of electricity for ship consumers in the implementation of power supply from shore sources is associated with certain difficulties. This is due to the structural, operational, technological and regulatory features of the ship's electric power system. Optimization of ship consumers' operating modes during power supply from the shore and simulation of the processes of interaction between ship and shore networks is an urgent task.

**Key words:** ship electric power system, long-term parking mode, on-shore electric network, shore power board, power quality, power consumers, reliability of power supply.

Основной задачей любой системы электроснабжения является бесперебойное обеспечение потребителей электрической энергией установленного качества. Для береговых потребителей показатели и нормы качества электроэнергии устанавливаются в точках ее передачи пользователям сетей низкого, среднего и высокого напряжения систем электроснабжения общего назначения переменного трехфазного и однофазного тока частотой 50 Гц согласно [1].

Как правило, электроснабжение судов от береговых сетей переменного тока осуществляется через установленные на причалах стандартные электроколонки, которые и являются точками передачи электроэнергии. Подача электроэнергии от береговой электроколонки в судовую сеть производится через щит питания с берега (ЩПБ). Электроснабжение трехфазным током от береговых источников осуществляется посредством судового гибкого шлангового кабеля по одной из схем, представленных на рис. 1.

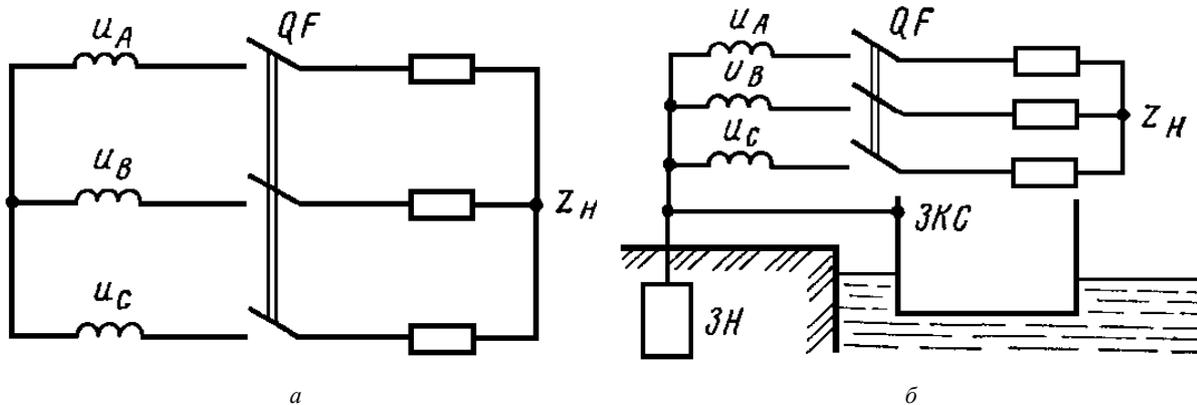


Рис. 1. Схемы подключения судовой электроэнергетической системы к береговой сети:  
 а – с изолированной нейтралью; б – с глухозаземленной нейтралью;  
 $z_n$  – эквивалентное сопротивление нагрузки;  $u_A, u_B, u_C$  – фазные напряжения источника;  
 ЗКЗ – точка заземления корпуса судна; ЗН – заземлитель нейтрали

Именно в точках передачи происходит обращение электроэнергии в соответствии с договором на поставку или на услуги по передаче электроэнергии установленного качества, ответственность за которое несет сетевая организация [2, 3].

Качество электроэнергии в судовой электроэнергетической системе (СЭЭС) определяется совокупностью показателей, характеризующих меру отклонения амплитуд, частоты и взаимных фаз мгновенных напряжений от их номинальных значений, а также искажения синусоидальности формы напряжения для 3-фазных потребителей. Электропитание судовых потребителей будет оптимальным, если фазные напряжения отвечают следующим условиям:

$$u_a = U_{am} \cdot \sin(2\pi ft + \theta_a), \quad (1)$$

$$u_b = U_{bm} \cdot \sin(2\pi ft + \theta_b), \quad (2)$$

$$u_c = U_{cm} \cdot \sin(2\pi ft + \theta_c), \quad (3)$$

$$U_{am} = U_{bm} = U_{cm} = \sqrt{2}U_n, \quad (4)$$

$$f = f_n, \quad (5)$$

$$\theta_a = \theta_b = \theta_c = 2\pi/3, \quad (6)$$

где  $u_a, u_b, u_c$  – действующие значения фазных напряжений;  
 $U_{am}, U_{bm}, U_{cm}$  – амплитудные значения фазных напряжений;  
 $U_n$  – линейное напряжение сети;  
 $f$  – действующая частота сети;  
 $f_n$  – номинальная частота сети;  
 $\theta_a, \theta_b, \theta_{cm}$  – угол сдвига фазы действующего напряжения.

При электроснабжении судовых потребителей от собственных источников электрической энергии данные условия выполняются автоматически, за счет систем регулирования и автоматизации судовой электростанции. Современные судовые комплексы автоматизации позволяют обеспечить требуемые показатели качества электроэнергии как для установившихся, так и для переходных режимов СЭЭС. Упрощенная структурная схема автоматизации судовой электростанции представлена на рис. 2.

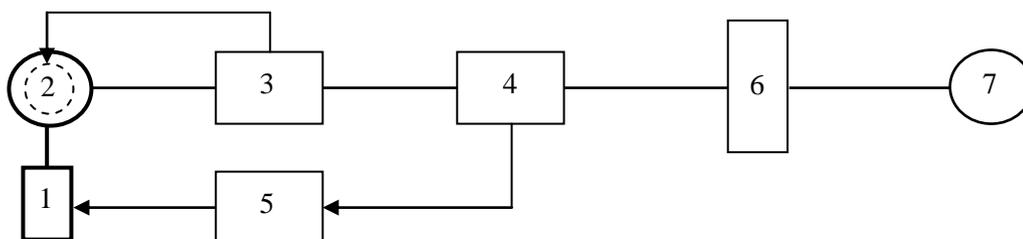


Рис. 2. Структурная схема автоматизации судовой электростанции при электроснабжении от собственных источников: 1 – приводной двигатель; 2 – синхронный генератор; 3 – автоматический регулятор напряжения (АРН); 4 – автоматический регулятор частоты (АРЧ); 5 – система дистанционного автоматического управления приводным двигателем (ДАУ СДГ); 6 – электрическая защита; 7 – потребители электроэнергии

Электроснабжение судна с берега предполагает соблюдение требований качества электроэнергии и установившегося режима работы судовых потребителей. Однако на практике оба эти условия невозможно обеспечить по ряду объективных и субъективных причин. В первом случае потери напряжения в кабеле берегового питания снижают его значение на судовых распределительных устройствах. При удаленном расположении береговой колонки эти потери могут превышать допустимые значения. Возникновение динамических режимов в СЭЭС при электропитании с берега, связанных с автоматическими пусками, переключениями судовых потребителей или изменением режимов их работы приводит к нарушению устойчивости системы и снижению надежности работы ее элементов. При одновременном воздействии указанных факторов возрастает вероятность возникновения внутренних дефектов и аварийных отказов, которые в последствии затрудняют эксплуатацию СЭЭС в стандартных режимах [4–6].

Для устранения указанных противоречий и оптимизации режимов работы судовой электростанции при электроснабжении с берега предлагается использовать схему, представленную на рис. 3. Внедрение системы контроля и регулирования при электроснабжении с берега позволит обеспечить надежное и качественное электроснабжение потребителей, безопасность стоянки и сохранность элементов СЭЭС [7, 8].

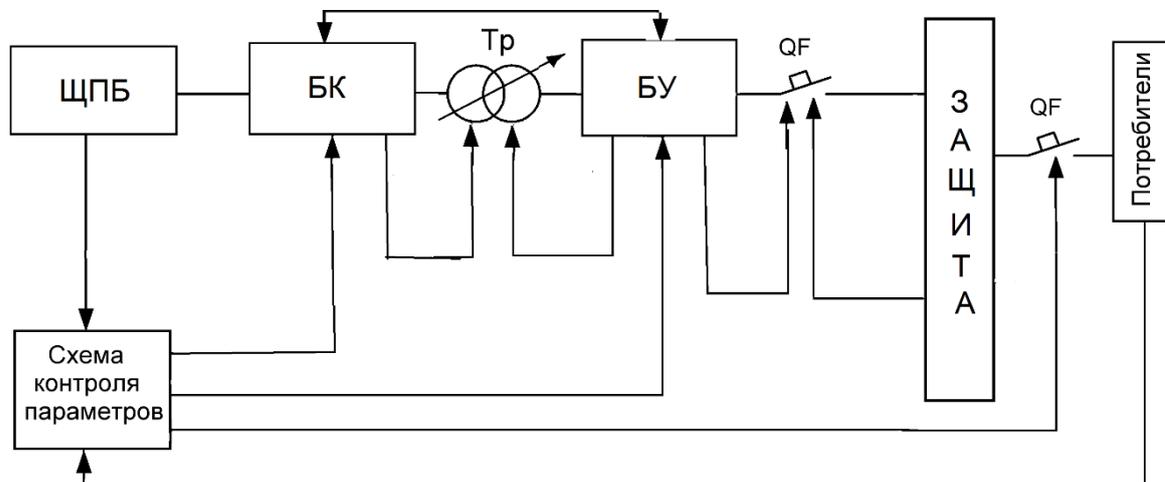


Рис. 3. Структурная схема оптимизации электроснабжения СЭЭС от собственных источников: ЩПБ – щит питания с берега; БК – блок контроля; Tr – регулируемый трансформатор; БУ – блок управления; QF – автоматический выключатель

Анализ представленной схемы позволяет ввести регулировочный коэффициент по напряжению, благодаря чему предоставляется возможность стабилизировать параметры напряжения в судовой электросети и обеспечить требования руководящих документов [1–3].

Вторым критическим параметром, определяющим состояние и устойчивость судовой электроэнергетической системы при электропитании с берега, является суммарный ток нагрузки и пусковые токи потребителей. Превышение установленных критериев по этому параметру приводит к срабатыванию защиты на береговой колонке и обесточиванию всех потребителей. Устойчивость системы в пусковых режимах и в режимах перегрузки, согласно схеме, представленной на рис. 3, обеспечивается дифференциальным блоком контроля параметров, который согласно заданной программе разгружает систему, отключая второстепенных потребителей, или

выдает запрет на запуск потребителей с большими пусковыми токами. Кроме того, при пусках асинхронной нагрузки через блок управления (БУ) регулировочным трансформатором Тр компенсируются потери реактивной мощности в электросети и ограничиваются пусковые токи.

Таким образом, для обеспечения установленных показателей качества электрической энергии для судовой электросети при питании с берега необходимо учитывать ряд факторов, связанных с местом стоянки судна, способом подключения к береговой колонке, конструкцией щита питания с берега, режимом работы потребителей и суммарной мощностью системы в режиме стоянки. Для обеспечения вышеуказанных условий требуется обеспечение технической возможности контроля и регулирования основных параметров. Реализация данного принципа, в т. ч. на основе предлагаемой типовой схемы, позволяет обеспечить требуемое качество электрической энергии в судовой электросети, необходимую надежность электроснабжения потребителей и безопасность эксплуатации судна в режиме длительной стоянки [9].

### Литература

1. ГОСТ 32144-2013 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.
2. Федеральный закон «Об электроэнергетике» от 26.03.2003 № 35-ФЗ (редакция, действующая с 13 августа 2019 года).
3. Постановление Правительства РФ от 27.12.2004 № 861 (ред. от 22.06.2019) «Об утверждении Правил недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии и оказания этих услуг и Правил технологического присоединения энергопринимающих устройств потребителей электрической энергии, объектов по производству электрической энергии, а также объектов электросетевого хозяйства, принадлежащих сетевым организациям и иным лицам, к электрическим сетям».
4. Белов О.А. Методология оценки технического состояния электрооборудования при развитии параметрических отказов / О.А. Белов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2015. – № 3. – С 96–102.
5. Белов О.А. Общий алгоритм развития опасных ситуаций в судовых условиях / О.А. Белов // Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы Восьмой всероссийской научно-практической конференции. – 2017. – С. 51–54.
6. Белов О.А. Процесс формирования постепенного отказа в технических системах / О.А. Белов // Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы Шестой всероссийской научно-практической конференции. – 2015. – С. 44–49.
7. Белов О.А. Методология анализа и контроля безопасности судна как сложной организационно-технической системы / О.А. Белов // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2015. – № 34. – С. 12–18.
8. Белов О.А. Оценка безопасности эксплуатации судовых энергетических установок / О.А. Белов // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2017. – № 42. – С. 6–10.
9. Белов О.А. К вопросу о повышении экологической безопасности судов при долговременном стояночном режиме / О.А. Белов, В.А. Швецов // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование: Материалы Девятой всероссийской научно-практической конференции. – 2018. – С. 119–121.

УДК 621.313

**И.И. Лебедев, А.А. Марченко**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: Lebedev@mail.ru*

### **АНАЛИЗ СХЕМНЫХ РЕШЕНИЙ ГРЕБНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ПЕРЕМЕННОГО ТОКА**

В данной статье представлена схема модернизации гребной электрической установки. В качестве объекта модернизации была выбрана гребная электрическая установка постоянного тока, обмотки которой питаются от независимого источника питания.

В данной статье автор предлагает запитать гребную установку от основной судовой сети переменного тока с помощью применения полупроводниковых преобразователей напряжения на тиристорах в цепи возбуждения гребных электродвигателей.

**Ключевые слова:** гребные установки, тиристоры.

**I.I. Lebedev, A.A. Marchenko**

*Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: Lebedev@mail.ru*

### **ANALYSIS OF CIRCUIT SOLUTIONS OF ROWING ELECTRICAL UNITS OF ALTERNATING CURRENT**

The scheme of upgrade of the rowing electrical unit is presented in this article. As an object of modernization, a direct current rowing electric unit was selected, the windings of which are powered by an independent power source.

In this article the author suggests to power rowing unit from the main ship alternating current network by using semiconductor voltage converters on thyristors in the excitation circuit of rowing motors.

**Key words:** rowing units, thyristors.

Несмотря на развитие всевозможных методов по транспортировке грузов, в полярных районах самым распространенным средством для перевозок сегодня и на ближайшее время останутся ледокольно-транспортные суда и ледоколы. По этой причине сегодня также актуальны вопросы постоянного совершенствования флота ледокольных судов. Сегодня модернизация ведется как в отношении кораблестроительных элементов, так и энергетических установок.

Тенденция повышения мощности ледоколов является характерной для всех стран. При этом ступенчатое увеличение мощности происходит постоянно полуторакратным или двукратным увеличением. Качество ледоколов зависит от технических возможностей их энергетических установок, а также упора гребных винтов. По этой причине поиск наиболее рациональных типов энергетических установок ведется постоянно. Сегодня существует множество проектов гребных установок, таких как комбинированные установки, установки с гидропреобразователями и т. д. Наряду с положительными качествами такие системы имеют множество недостатков.

При проектировании энергетической установки производится сравнительный анализ основных и вспомогательных характеристик. К основной группе обычно относят характеристики маневренные, механические, частичных режимов, надежности. Также важными являются массогабаритные характеристики, которые напрямую влияют на размещение, осадку и автономность плавания судна [1]. Вспомогательными характеристиками являются: уровень автоматизации, удобство управления, ремонтпригодность. Опыт эксплуатации показал, что основными режимами работы ледокольного судна (по нескольким суткам) являются маневренные режимы при среднем количестве реверсов не более 20 в час.

Энергетическая установка таких судов должна обеспечивать от 15 до 30 реверсов в час в зависимости от мощности. При ходе судна во льдах время реверса с полной мощностью не должно превышать 10 с с момента перекладки рукоятки поста управления до начала работы винта в обратном направлении вращения.

При ледовом плавании сопротивление движению судна постоянно меняется, и момент гребного винта значительно изменяется, часто он может меняться до швартовного. В случаях плавания во льдах при наличии мелкобитого льда с мокрым снегом (шуги) момент сопротивления может оказаться больше моментов, соответствующих швартовному режиму.

Также значительно возрастает нагрузка первичных двигателей при работе судна на мелководье. В режимах, когда происходит взаимодействие винта со льдом длительностью около 10 с и более, возникает дополнительный момент, который может достигать двукратного номинального значения и более. В таких режимах может произойти поломка винта вследствие заклинивания винта. Из этого следует, что механическая характеристика привода винта должна учитывать повышение момента вращения, которое способствовало бы исключению заклинивания винта, а также работу первичных двигателей без перегрузки. Кроме того механическая характеристика должна обеспечивать поддержание постоянства и использование полной мощности первичных двигателей при значительном изменении момента сопротивления.

Также необходимо учитывать высокую скорость наброса дополнительного момента при взаимодействии винта со льдом. В некоторых случаях увеличение момента сопротивления до максимальной величины, которая превышает номинальную более чем в два раза, происходит за очень малое время, равное 0,05 с. Элементы электропривода должны выдерживать такую высокую динамику увеличения момента сопротивления, а система регулирования должна ограничивать параметры во избежание выхода из строя отдельных элементов и систем защиты. Одним из важнейших критериев при выборе энергетической установки судна является надежность и эффективность работы гребной установки в режимах взаимодействия винта со льдом.

Также одними из важнейших являются частичные режимы [2]. Гребная электрическая установка ледокола может долгое время функционировать в частичных режимах. Применяются различные меры по предотвращению заклинивания винта в этих режимах. Во-первых, применяется поддержание постоянной мощности в диапазоне изменения характеристик винта, как при полной мощности. Во-вторых, увеличение автономности плавания судна также положительно влияет на характеристики гребного винта. В таких целях применяются частичные режимы, т. е. работа с уменьшением количества первичных двигателей или с уменьшением мощности. В длительных по времени режимах работы ледокольных судов (в таких режимах энергетическая установка работает при нагрузке до 50% номинальной. С этой целью для увеличения автономности плавания ледоколов необходимо, чтобы энергетическая установка имела высокие показатели коэффициента полезного действия не только в режимах полной мощности, но и в широком диапазоне частичных уровней мощности. Такие меры могут применяться для продления сроков между двумя бункеровками или (для атомоходов) перезарядками активной зоны, осуществление которых значительно повышает эксплуатационные расходы. В качестве примера на рис. 1 представлена схема ГЭУ с асинхронным ГЭД, регулируемым по системе вентильного каскада.

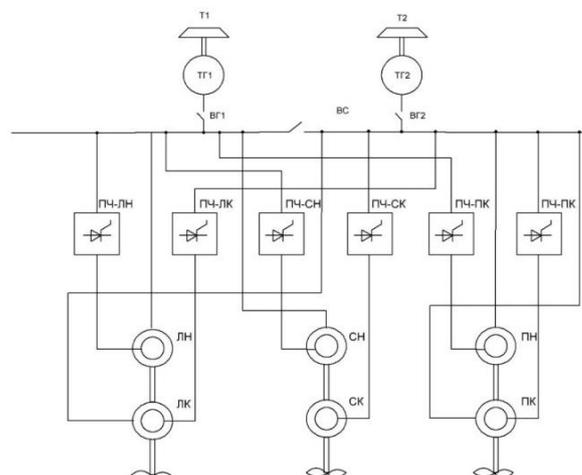


Рис. 1. Схема ГЭУ с асинхронным ГЭД, регулируемым по системе вентильного каскада

В данной схеме регулирование частоты вращения гребного электродвигателя осуществляется при помощи преобразователя частоты в цепи ротора двигателя. Реверсирование осуществляется с помощью контактного или бесконтактного реверсоров в цепи статора. Динамические свойства такой системы удовлетворительны, но многополосность и высокие массогабаритные показатели гребного электродвигателя делают эту систему малоприменимой для распространения на судах. Суммарная установленная мощность тиристорного преобразователя и переключателя велика. Преобразователь частоты в такой схеме должен быть рассчитан на полное напряжение и полный ток ротора, что делает суммарную установленную мощность полупроводникового преобразователя и переключателя слишком большой.

Вариантом вентильного каскада может выступить двойной машинно-вентильный каскад, который состоит из двух асинхронных двигателей и преобразователя частоты. Обмотка статора первого двигателя получает питание от генераторов, обмотки роторов соединены последовательно. Обмотка статора второго двигателя также получает питание от преобразователя частоты.

В этой схеме отсутствуют контактные кольца, и количество полюсов каждой машины может быть уменьшено, однако конструкция их усложняется, особенно у ледоколов, у которых для надежности целесообразно иметь по два двигателя на винт.

На рис. 2 представлена схема ГЭУ с преобразователем частоты.

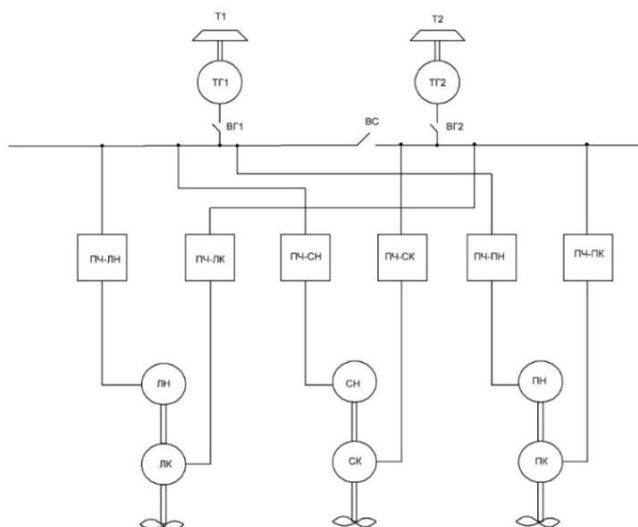


Рис. 2. Схема ГЭУ с преобразователем частоты

Гребной электродвигатель может быть выполнен с числом полюсов, наиболее выгодным для заданной частоты вращения. Регулирование частоты вращения и реверсирование двигателя осуществляются с помощью преобразователя частоты. Одним из главных преимуществ применения данной схемы является то, что частоты напряжения генератора и гребного электродвигателя могут быть выбраны независимо друг от друга. Наиболее целесообразным является диапазон частот генераторов от 100 до 200 Гц, а гребного электродвигателя около 15–25 Гц.

Как известно, возможно применение двух вариантов схем преобразователя частоты: преобразователя со звеном постоянного тока и непосредственного преобразователя.

В последней применяются импульсно-фазовое регулирование напряжения управляемого выпрямителя и широтно-импульсное регулирование в цепи постоянного или переменного тока.

В системе с синхронным турбогенератором, преобразователем частоты и синхронным двигателем, работающим в качестве вентильной или самоуправляемой синхронной машины, управление преобразователем частоты производится в зависимости от положения ротора или ЭДС синхронного двигателя. Возможно использование различных преобразователей частоты – непосредственных и со звеном постоянного тока.

В схемах с преобразователями частоты установленные мощности турбогенераторов и гребных электродвигателей несколько выше, чем в схеме с непосредственным питанием синхронного гребного электродвигателя от синхронного генератора. Это обусловлено, с одной стороны, потреблением реактивной мощности для коммутации тока в тиристорах, с другой стороны, влиянием добавочных потерь, вызываемых гармониками тока и напряжения на типовую мощность машин.

При больших мощностях целесообразно использовать НПЧ, выполненные по эквивалентным многофазным схемам на входе и выходе, особенно когда единичная мощность вентиля оказывается недостаточной для создания схем с минимальным числом параллельно и последовательно включенных элементов.

На рис. 3 приведены схемы включения НПЧ, выполненного по эквивалентной двенадцати-фазной схеме, на трехфазный (рис. 3, а) или двенадцати-фазный (рис. 3, б) ГЭД в ГЭУ с единой электростанцией.

При высоком входном напряжении целесообразно применение понижающих трансформаторов, исключающих последовательное соединение вентилялей.

При использовании схемы, приведенной на рис. 3, б, коэффициент нелинейных искажений кривой потребляемого тока снижается до 17–20%. Фазовый сдвиг обмотки ГЭД на 30 эл. град позволяет снизить модуляцию основной гармоники первичного тока более чем в два раза и повысить вдвое частоту модуляции.

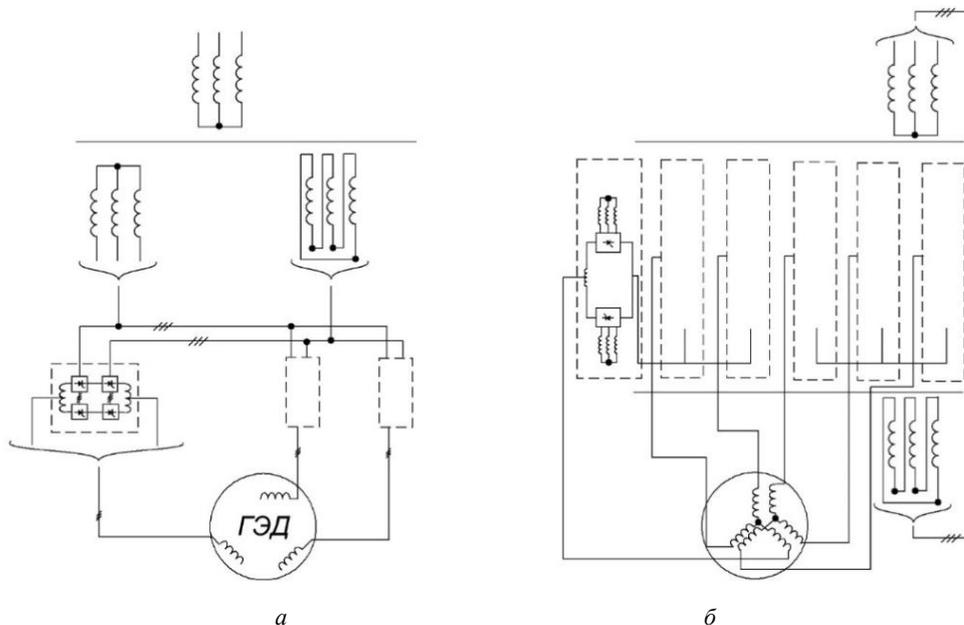


Рис. 3. Трансформаторные двенадцати-фазные мостовые схемы НПЧ

При дальнейшем увеличении мощности ГЭУ вместо каждого из мостов в схемах, показанных на рис. 3, целесообразно применять два трехфазных моста с поочередным управлением или схему, приведенную на рис. 3, что значительно улучшает энергетические характеристики на входе НПЧ. Для уменьшения этого влияния в преобразователях частоты применяются эквивалентные 12-фазные (12-импульсные) схемы, в машинах – демпферные обмотки и плетеные провода.

Представляют интерес системы электродвижения, в которых используются непосредственные преобразователи частоты с эквивалентными 12-фазными схемами обмоток синхронного генератора и гребного электродвигателя.

Применение двенадцати-фазного ГЭД обеспечивает надежную работу ГЭУ, так как при отключении нескольких фаз ГЭД продолжает работать с пониженной мощностью. В таком ГЭД отсутствуют паразитные от 5-й и 7-й гармоник, вызывающие наибольшие трудности при фильтрации (а также от гармоник, кратных трем), что улучшает механические характеристики и уменьшает электромагнитные шумы. Эти ГЭД имеют меньшие габариты системы управления и более высокий коэффициент мощности.

Типовая мощность синхронного турбогенератора должна быть выбрана с учетом эквивалентного коэффициента мощности и добавочных потерь. 12-импульсные схемы генератора и гребного электродвигателя определяют минимально необходимое число тиристоров – 144, а по мере роста мощности происходит увеличение кратной величины.

Современные тиристоры на ток 500, 800 и 1 000, а в рабочем напряжении до 2 500 В позволяют создать преобразователь частоты мощностью до 20 000 кВт (с учетом необходимых перегрузок). Управляемые выпрямители применяются также для возбуждения генераторов и двигателей, обеспечивая быстрое нарастание и гашение поля машин.

Предварительные расчеты показали, что габаритные размеры и масса основного силового оборудования гребных электрических установок двойного тока и переменного тока с преобразователем частоты для ледоколов мощностью 75 000 л. с. примерно одинаковы. Для ледоколов большей мощности оборудование гребных установок переменного тока имеет меньшие размеры и массу. Существенным преимуществом таких установок является отсутствие коллекторных машин.

В системах электродвижения с применением преобразователей частоты число генераторов может быть не связано с числом гребных электродвигателей. Также синхронные генераторы могут работать как на общие шины, так и на две системы шин для улучшения надежности. Регулирование частоты вращения гребного электродвигателя осуществляется при помощи преобразователя частоты.

Системы электродвижения переменного тока имеют множество преимуществ. Они позволяют осуществить отбор мощности от главных генераторов для питания бортовой сети судна. Целесообразным может оказаться применение комбинированной системы, в которой электростанция связана с шинами главных генераторов через преобразователь частоты со звеном постоянного тока. Такая схема позволит обеспечить взаимную работу и резервирование двух систем.

### Литература

1. *Акулов Ю.И.* Гребные электрические установки / Ю.И. Акулов. – 3-е изд. – М.: Транспорт, 1982. – С. 102–105.
2. *Марченко А.А.* Энергоэффективное нагружение асинхронных электродвигателей в процессе послеремонтных испытаний / А.А. Марченко, Н.Н. Портнягин // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – СПб.: ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова, 2014. – Вып. 6. – С. 76–84.

УДК 621.313

**И.И. Лебедев, А.А. Марченко**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: Lebedev@mail.ru*

### **МОДЕРНИЗАЦИЯ ГРЕБНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ**

В данной статье автор рассматривает возможность модернизации гребной электрической установки на постоянном токе. Для этого в статье приводится сравнение предлагаемой системы с существующими аналогами и выявление всех преимуществ и недостатков данных систем. Далее автором приводится структурная схема предлагаемой установки с подробным описанием.

**Ключевые слова:** электропривод, преобразователь частоты, постоянный ток, генератор.

**I.I. Lebedev, A.A. Marchenko**

*Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: Lebedev@mail.ru*

### **UPGRADE OF DC ROWING ELECTRIC PLANT**

In this article, the author considers the possibility of upgrading a DC rowing electric plant. For this purpose, the proposed system is compared with existing analogues; all advantages and disadvantages of the systems are depicted. The author also provides a structural diagram of the proposed unit with a detailed description.

**Key words:** electric drive, frequency converter, direct current, generator.

Применение системы генератор – двигатель обусловлено возможностью плавного регулирования частоты вращения гребных электродвигателей постоянного тока. Применение электродвигателей переменного тока в качестве гребных может быть возможно с применением полупроводниковых преобразователей частоты и напряжения. Первый способ может оказаться неоправданным, т. к. наряду с большим диапазоном регулирования и плавностью требует применения слишком сложных и дорогостоящих схем преобразователей частоты переменного тока. Регулирование скорости двигателей переменного тока при помощи изменения напряжения а стартере не обеспечивает нужного диапазона регулирования, поэтому данный способ не нашел широкого применения. Единственным возможным решением регулирования частоты электропривода гребных винтов является применение электродвигателей постоянного тока.

Наряду с преимуществами перед электроприводами переменного тока они имеют массу недостатков. Самый главный – это большие габариты [1]. Для изменения напряжения гребных электродвигателей при неизменной частоте вращения главных генераторов используются возбудители. Это генераторы постоянного тока, работающие на обмотки возбуждения гребных электродвигателей и главных генераторов. Кроме того имеются возбудители возбудителей, предназначенные для работы на обмотки возбуждения возбудителей генераторов. Данный способ наиболее оптимален, т. к. не требует применения дизелей для вращения возбудителей, их функцию выполняют асинхронные электродвигатели, но постоянство вращения приводных электродвигателей переменного тока вынуждает применять очередные возбудители.

С появлением полупроводниковых преобразователей напряжения стало возможно сокращение массогабаритов системы. Полупроводниковый преобразователь представляет собой управляемый трехфазный выпрямитель на управляемых вентилях. Управление тиристорами осуществ-

вляется полупроводниковой схемой управления. Трехфазное напряжение вспомогательных генераторов может служить первичной сетью преобразователя, синхронные генераторы выступают в данном случае в роле возбудителей.

Используя примерно те же принципы регулирования, что и в ГЭУ постоянного тока, в установках переменного-постоянного тока можно получить различные типы систем: обычные системы генератор – двигатель, системы постоянства мощности и системы неизменного тока.

Поскольку скорость вращения первичных двигателей в таких системах постоянна, возможно применение навешенных генераторов переменного тока для судовой сети, что позволяет создавать единую энергосистему [2].

Известна система двойного рода тока, состоящая из дизель-генераторов переменного тока, выпрямительных блоков, гребных и других исполнительных электродвигателей постоянного тока, соединенных последовательно в общий контур, а также навешенных на дизель-генераторные агрегаты синхронных генераторов судовой сети [3].

Имеются также проработки с применением управляемых выпрямительных блоков, состоящих из тиристоров. Такие системы позволяют использовать мощность генераторов как для движения судна, так и для питания судовых потребителей.

На рис. 1 приведена схема электроэнергетической установки западногерманского траулера с тиристорным управлением гребными электродвигателями постоянного тока. Два силовых управляемых блока включены на шины единой судовой электростанции переменного тока. Тиристоры включены по трехфазной мостовой схеме. В каждой фазе – по семь параллельных ветвей. Схема управления и регулирования осуществлена также на тиристорах. Она обеспечивает ограничение тока якоря, ослабление магнитного потока и изменение напряжения в заданных пределах.

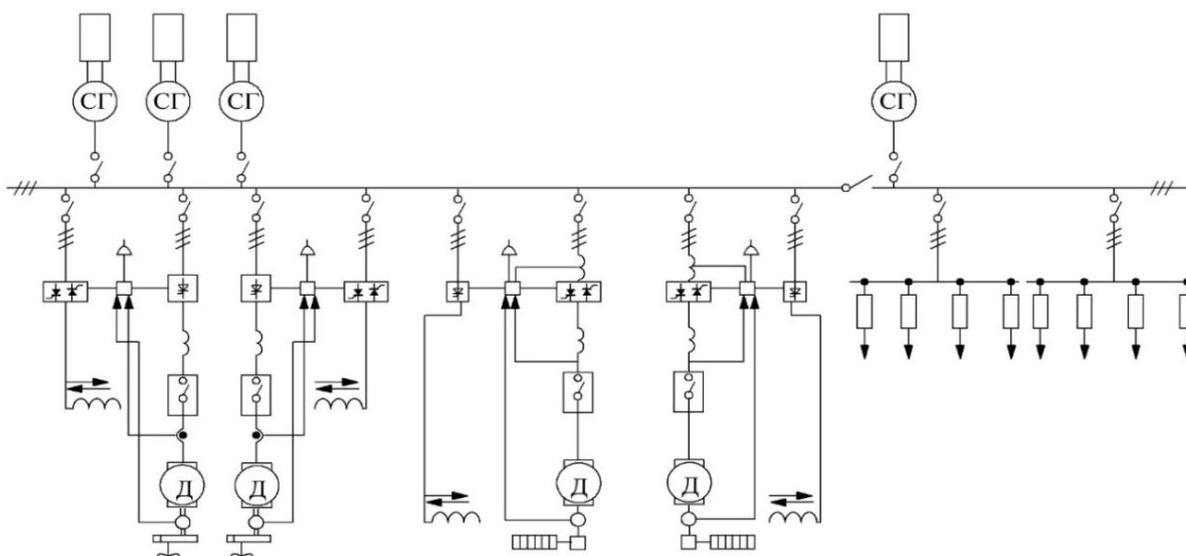


Рис. 1. Схема главного тока

Управляемый выпрямитель обеспечит контролируемое изменение напряжения на обмотке возбуждения главных генераторов, тем самым будет производиться управление частотой вращения гребными электродвигателями. Данная модернизация позволит отказаться от многих электрических машин, уменьшив массу системы и увеличив ее КПД.

После рассмотрения существенных недостатков представленных схем регулирования частоты гребных электродвигателей становятся очевидными пути модернизации системы. Основные недостатки связаны с большим количеством электрических машин в составе ГЭУ.

На рис. 2 представлена функциональная схема ГЭУ. В основе корректной работы гребной электрической установки лежит управление скоростью вращения гребного электродвигателя. Это осуществляется путем изменения напряжения на якоре двигателя различными включениями главных генераторов.

Также корректирующий сигнал подается на обмотку возбуждения якоря двигателя его возбудителями. Напряжение возбудителя изменяется при помощи переменного резистора в цепи возбуждения возбудителя. Целью модернизации является замена возбудителя двигателя на полупроводниковый регулятор напряжения.

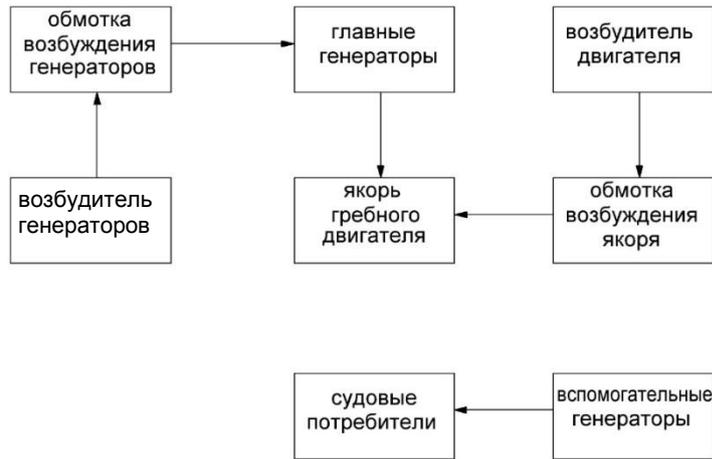


Рис. 2. Схема до модернизации

Частичная или полная замена этих элементов путем введения полупроводниковых элементов и микроконтроллеров может существенно улучшить систему. Для правильного проведения этапов модернизации электрической установки были сформированы некоторые требования:

1) функции модернизированной системы ГЭУ не должны отличаться от функций предшествующей системы, т. к. при проектировании судна были учтены все особенности условий плавания в ледовых водах;

2) модернизация должна проводиться при минимальных изменениях системы, но с применением самых современных устройств;

3) модернизация должна быть целесообразной.

Решением может оказаться применение полупроводниковых преобразователей напряжения на тиристорах в цепи возбуждения гребных электродвигателей. Введение полупроводниковых элементов позволит значительно уменьшить массогабаритные показатели путем замены электромашинных возбудителей. На рис. 3 представлена модернизированная схема гребной электрической установки. Главной частью модернизации являются полупроводниковый управляемый выпрямитель на тиристорах. Питание приходится от цепи переменного тока вспомогательных генераторов. Поочередное включение тиристорov обеспечивает изменение напряжения обмотки возбуждения гребных электродвигателей, что напрямую обеспечивает регулирование их скорости в заданном диапазоне.

На рис. 3 представлена принципиальная схема автоматического регулирования гребной электрической установки. Главным отличием является отсутствие возбудителей и обмоток управления.

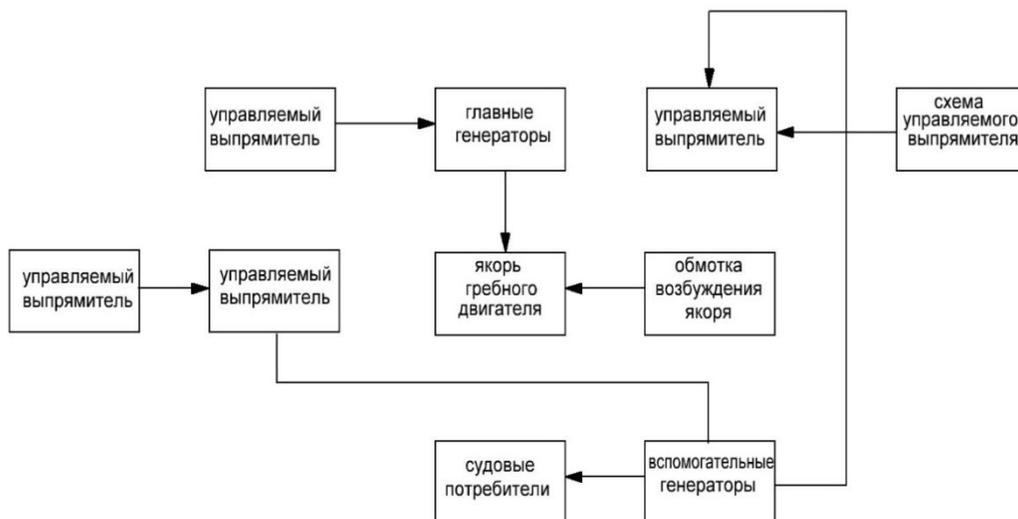


Рис. 3. Схема после модернизации

Таким образом, данная модернизация позволит отказаться от основного электрооборудования схем, представленных на рис. 2 и 3. Отпадает необходимость в магнитном усилителе для возбуждения возбуждателей гребных электродвигателей и самих возбуждателей гребных электродвигателей.

Для возбуждения генераторов целесообразно оставить возбуждители, т. к. для изменения напряжения обмотки возбуждения таких крупных электрических машин мощности электростанции может не хватить и потребуются замена и пересчет генераторов переменного тока, что нецелесообразно применять в рамках данного дипломного проекта.

Для выполнения первого сформулированного требования модернизации ГЭУ режимы судна не изменяются.

Сложность системы управления объяснялась проблемой в осуществлении обратной связи тока в цепи главного тока и ЭДС гребного электродвигателя. Для этих целей модернизированная схема содержит измерительный трансформатор тока, сигнал от которого поступает на микроконтроллер. Управляющий микроконтроллер осуществляет функции СИФУ для тиристорov. Схема преобразователя напряжения выполнена реверсивной. Это сделано для упрощения режима реверсирования гребного электродвигателя. Ограничения тока при противovключении осуществляются при помощи трансформатора обратной связи в цепи главного тока и управляющего микроконтроллера.

### Литература

1. *Голдберг О.Д.* Испытание электрических машин: Учеб. для вузов / О.Д. Голдберг. – 2-е изд. – М.: Высш. шк., 2000. – С. 164–166.
2. *Герман-Галкин С.Г.* Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: Учебное пособие / С.Г. Герман-Галкин. – СПб.: КОРОНА принт, 2001. – С. 233–239.
3. *Вольдек А.И.* Электрические машины: Учеб. для высш. техн. заведений / А.И. Вольдек. – 3-е изд. – Ленинград: Энергия, 1978. – С. 510–514.

УДК 621.313.333

**А.Н. Рак**

*Донецкий национальный технический университет,  
Донецк, 283000  
e-mail: lion15ua@rambler.ru*

## **ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПУСКА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ОТ ГЕНЕРАТОРОВ СОИЗМЕРИМОЙ МОЩНОСТИ СУДОВОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Увеличение мощности главных двигателей морских судов приводит к увеличению мощности судовых электростанций. Применение классов напряжения до 1 000 В приводит к увеличению массогабаритных показателей оборудования и увеличению токовых нагрузок. Следующим шагом к усовершенствованию судовых энергетических систем является переход к уровням напряжения выше 1 000 В. При этом важной остается проблема соблюдения показателей качества электрической энергии. Особое внимание здесь уделено пуску асинхронного электродвигателя подруливающего устройства как одного из наиболее мощных потребителей. Приведены методики, позволяющие определять параметры электропривода, параметры электродвигателя подруливающего устройства и показатели качества электрической энергии.

Статья будет полезна не только электромеханикам, но и другим специалистам, занимающимся эксплуатацией судового энергетического оборудования.

**Ключевые слова:** главный двигатель, судовая электростанция, показатели качества, асинхронный двигатель, электропривод, подруливающее устройство.

**A.N. Rak**

*Donetsk National Technical University,  
Donetsk, 283000  
e-mail: lion15ua@rambler.ru*

## **ON THE FEATURES OF STARTING HIGH-VOLTAGE ASYNCHRONOUS MOTORS FROM GENERATORS OF COMPARABLE POWER OF THE SHIP'S ELECTRIC POWER SYSTEM**

An increase in the power of the main engines of ships leads to an increase in the capacity of ship power plants. The use of voltage classes up to 1 000 V leads to an increase in the equipment's mass and dimensions and an increase in current loads. The next step to the improvement of ship power systems is the transition to voltage levels above 1 000 V. At the same time, the problem of compliance with the indicators of quality of electric energy remains important. Particular attention is paid to the starting of the induction motor thruster, as one of the most powerful consumers. Methods are given, which allow to determine the parameters of the electric drive, the parameters of the electric motor of the thruster and the quality indicators of electric energy.

The article will be useful not only for electricians, but also for other professionals involved in the operation of ship power equipment.

**Key words:** main engine, ship power station, quality indicators, asynchronous engine, electric drive, bow thruster.

Современные судовые электроэнергетические системы обладают высокой энергоэффективностью, но, к сожалению, ограниченной мощностью. При увеличении мощности главных двигателей, соответственно, будет увеличиваться и мощность генераторов судовых электростанций. При использовании на судах напряжения до 1 000 В это вызывает увеличение массогабаритных показателей электромеханического оборудования и токовых нагрузок. Поэтому во избежание этого на судах применяют электрические генераторы с напряжением выше 1 000 В, а именно 6 000 В (50 Гц) или 6 600 В (60 Гц). К показателям качества электрической энергии (напряжению и частоте тока) судовых электростанций в соответствии с [1]

предъявляются требования, представленные в табл. 1. Для приведения в действие различных механизмов на судах широкое распространение из-за целого ряда преимуществ: простоты конструкции и вследствие этого надежности – получили асинхронные машины. Одним из режимов, который может серьезно повлиять на работу всей электроэнергетической системы, и даже вызвать отключение некоторых потребителей, является режим пуска мощных потребителей. Об особенностях способов пуска асинхронных машин в сетях ограниченной мощности довольно подробно изложено в [2, 3]. Как показывает практика эксплуатации подруливающих устройств (ПРУ), оборудованных асинхронными машинами, они являются одними из мощных потребителей электрической энергии, хотя время их эксплуатации и ограничивается продолжительностью 30 мин [4].

Таблица 1

Допустимые отклонения параметров источников питания

Параметры	Отклонение от номинальных значений		
	Длительное, %	Кратковременное	
		%	Время, с
Напряжение (переменный ток)	+6...-10	±20	1,5
Частота	±5	±10	5

Цель работы – разработка методики по определению показателей качества электрической энергии судовой электроэнергетической системы при пуске мощных приемников электрической энергии.

Например, рассмотрим контейнеровоз «Mathilde Maersk» IMO № 9359052 контейнеро-местимостью 16 000 TEU. Паспортные данные генераторов, входящих в состав судовой электростанции, представлены в [5] и табл. 2.

Таблица 2

Паспортные данные генераторов

Генератор	Тип	S, кВА	n, об/мин	U, В	I, А	f, Гц	cos φ
ДГ (3)	«Siemens» 1DK4531-8BF05-Z	3 600	1 800	6 600	315,3	60	0,7
ТГ (1)	«Siemens» 1FJ4805-4SB62	7 000	1 800	6 600	613,1	60	0,86
ВГ (1)	«Siemens» 65L3710-8LG424 AW0	3 571	45–82	6 600	328,5	60	0,7
Аварийный	«CATERPILLAR» SR4	1 700	1 800	440	2 457	60	0,8

Технические характеристики ПРУ и его приводного двигателя представлены в табл. 3 и табл. 4 соответственно.

Таблица 3

Технические характеристики подруливающего устройства

Производитель	Тип	Диаметр винта, мм	P, кВт	n <sub>дв</sub> , об/мин	n <sub>в</sub> , об/мин
Rolls-Royce/ Kamewa	TT 2650 AUX CP*	2 650	2 200	892	204

\* Винт регулируемого шага.

Таблица 4

Технические характеристики приводного двигателя

Тип	U <sub>н</sub> , В	I <sub>н</sub> , А	I <sub>п</sub> , А	I <sub>о</sub> , А	cosφ	η, %	λ <sub>п</sub>	λ <sub>max</sub>	J <sub>дв</sub> , кг · м <sup>2</sup>
ABB AMB 560L8A VAMH	6 600	241	1 277,3	59	0,89	0,92	1,8	2,0	85,8

Динамические характеристики электропривода в соответствии с основным уравнением его движения определяются:

$$J_{\Sigma} \frac{dn}{9,55 \cdot dt} = M_{дв} - M_{с}, \quad (1)$$

где  $J_{\Sigma}$  – суммарный момент инерции системы, кг  $\text{м}^2$ ;

$\frac{dn}{dt}$  – изменение частоты вращения;

$M_{\text{ДВ}}$  – момент, который создается двигателем (пусковой момент), Н  $\cdot$  м;

$M_{\text{С}}$  – момент сопротивления, создаваемый механизмом, Н  $\cdot$  м.

Из уравнения (1), собственно, следует, что время пуска будет составлять:

$$dt = \frac{J_{\Sigma} \cdot dn}{9,55 \cdot (M_{\text{ДВ}} - M_{\text{С}})}. \quad (2)$$

Суммарный момент инерции, в свою очередь, определяется:

$$J_{\Sigma} = J_{\text{В}} + J_{\text{ДВ}}, \quad (3)$$

где  $J_{\text{В}}$  – момент инерции, создаваемый винтом, кг  $\cdot$  м $^2$ ;

$J_{\text{ДВ}}$  – момент инерции двигателя, кг  $\cdot$  м $^2$ .

Основное затруднение для использования выражения (3) составляет определение  $J_{\text{В}}$  и момента сопротивления, создаваемого механизмом  $M_{\text{С}}$ . Это объясняется тем, что во-первых, этим занимаются заводы – производители гребных винтов, а не специалисты по эксплуатации; во-вторых, в отечественной нормативно-технической документации, касающейся маркировки судовых винтов, например в [6], его значение не входит в паспортные данные винта, в отличие от иностранных фирм-производителей, например ФРГ.

Поэтому для определения  $J_{\text{В}}$  предлагается применить (4), приведенное в [7]:

$$J_{\text{В}} = 0,02 \cdot M \cdot D^2 \cdot \left( \frac{A}{A_{\text{Д}}} \right) \cdot \left( \left( \frac{A}{A_{\text{Д}}} \right) + 3 \right), \quad (4)$$

где  $M$  – масса винта, кг;

$D$  – диаметр винта, м;

$\left( \frac{A}{A_{\text{Д}}} \right)$  – дисковое отношение винта.

Информация о данных параметрах, в соответствии с [6], приводится в паспорте на винт и наносится на него ударным способом.

При отсутствии информации о массе винта ее значение ориентировочно можно определить, пользуясь выражением:

$$M = M_{\text{СТ}} + M_{\text{Л}}, \quad (5)$$

где  $M_{\text{СТ}}$  – масса ступицы винта, кг;

$M_{\text{Л}}$  – масса лопастей винта, кг.

Массу ступицы винта можно определить, пользуясь [8], где информация представляется в табличной форме. Нами в данной работе, для большего удобства, предлагается определять массу ступицы в зависимости от ее диаметра, используя аппроксимирующую зависимость (6), которая для диаметра винтов от 1,6...2,8 м представлена на рис. 1:

$$m = 1,937 \cdot 10^{-3} \cdot D^2 - 6,332 \cdot D + 5935. \quad (6)$$

Также массу ступицы можно определить, пользуясь зависимостью (7), представленной в [9, 10], но для этого необходимо иметь ее чертеж:

$$M_{\text{СТ}} = 780 \cdot \gamma \cdot (d_0^2 - d_{\text{К}}^2) \cdot l_0, \quad (7)$$

где  $d_0$  – средний диаметр ступицы винта, м;

$d_{\text{К}}$  – средний диаметр конусного отверстия, м (снимается с чертежа);

$l_0$  – длина ступицы, м.

Массу лопастей можно определить следующим образом:

$$M_{\text{Л}} = \gamma \cdot 10^{-3} \cdot (1,4 + 15,3 \cdot D) \cdot S, \quad (8)$$

где  $\gamma$  – удельный вес материала винта, кг/м $^3$ ;

$S$  – площадь спрямленной поверхности лопастей, м $^2$ .

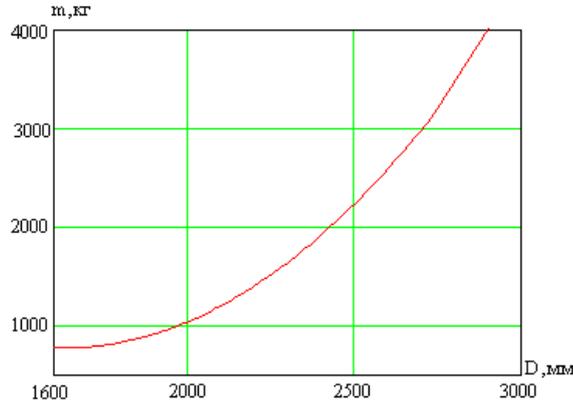


Рис. 1. Зависимость массы ступицы винта от его диаметра

Удельный вес материалов, применяемых для изготовления гребных винтов, приведен в табл. 5.

Таблица 5

Удельный вес материалов, применяемых для изготовления гребных винтов

Материал	Марка материала	$\gamma_m, \text{кг/м}^3$
Стали литейные	Сталь 25Л ГОСТ 977-88	7 850
	Сталь 30Л ГОСТ 977-88	
	Сталь 35Л ГОСТ 977-88	
Латуни	ЛМцЖ-55-3-1 ГОСТ 17711-72	8 600
	ЛАМцЖ-67-5-2-2 ГОСТ 17711-72	
Бронзы	БрАЖН-9-4-4 ГОСТ 614-97	8 450
	БрАЖН-9-3-3 ГОСТ 614-97	

Площадь спрямленной поверхности в свою очередь определяется:

$$S = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \left( \frac{A}{A_D} \right). \quad (9)$$

Если считать ПРУ осевым насосом [11], с основными свойствами которого можно ознакомиться в [12], то момент сопротивления (упор), который ним создается, можно определить в соответствии с (10), представленным в [13]:

$$M_c = \frac{N}{\omega} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\omega \cdot \eta}, \quad (10)$$

где  $\omega$  – угловая частота вращения винта, рад/с;

$\rho = 1\,025 \text{ кг/м}^3$  – удельный вес морской воды;

$\eta$  – КПД насоса;

$Q$  – подача (производительность),  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$H$  – напор, м.

Значения  $Q$ ,  $H$ ,  $\eta$  определяются по индивидуальным характеристикам насоса. Для нашего случая за прототип можно принять насос типа ОПВ-11-260. Его индивидуальные характеристики приведены в [14] и на рис. 2. Насос работает на сеть, напорная характеристика которой зависит от скорости движения жидкости в трубе и местных сопротивлений и определяется выражением:

$$H_c = \frac{\xi \cdot v^2}{2 \cdot g}, \quad (11)$$

где  $\xi = 0,6$  – коэффициент, учитывающий местные сопротивления, представлен в [15];

$v$  – скорость движения жидкости в ПРУ, м/с (для швартовного режима принимается  $v = 5$  м/с);

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения.

Значение скорости жидкости в трубе можно определить в соответствии с:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}, \quad (12)$$

где  $Q$  – расход жидкости, м<sup>3</sup>/с;

$D$  – диаметр трубы, м.

Длина трубы обычно принимается  $l = (2...3) \cdot D$  [16].

Подставим (12) в (11) и получим зависимость напора сети от расхода:

$$H_c = \frac{8 \cdot \xi \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g}. \quad (13)$$

Накладываем напорную характеристику на индивидуальную характеристику насоса (рис. 2) и таким образом получаем интересные нас параметры.

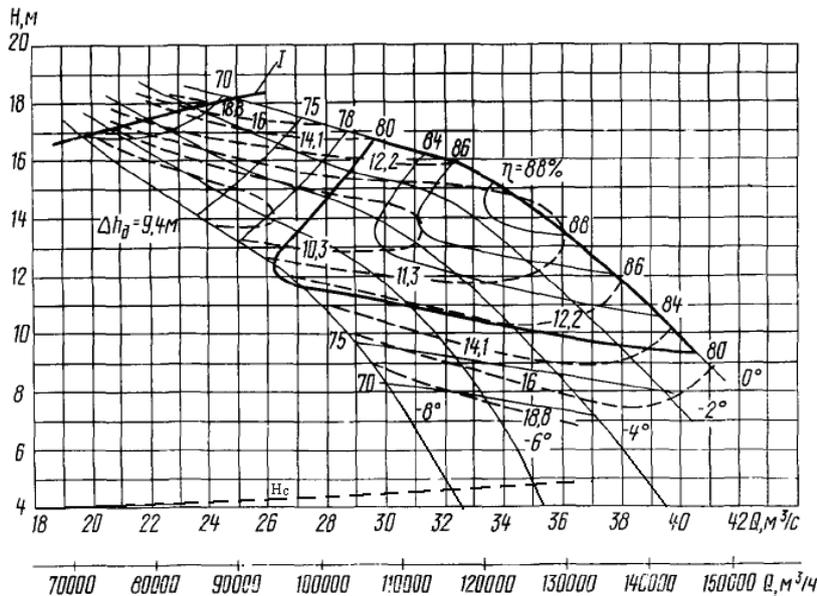


Рис. 2. Индивидуальные характеристики насоса и характеристика сети

Получив значения  $Q$ ,  $H$  и  $\eta$ , определяем также мощность двигателя, которая составляет 2 150 кВт.

В дальнейшем момент сопротивления (упор), создаваемый приводным двигателем, должен преодолеть момент сопротивления, создаваемый судном:

$$M_{суд} = F \cdot L, \quad (14)$$

где  $L$  – расстояние от центра приложения силы до центра трубы ПРУ (плечо), определяемое по чертежу судна, м;

$F$  – удельная тяга, кН (для контейнеровозов составляет 40–60 кН).

При этом обязательно должно выполняться условие  $M_c > M_{суд}$ . Центр приложения силы, как показывает практика и опыт эксплуатации крупнотоннажных судов, находится на расстоянии одной ширины судна от кормы. Ширина судна равна ширине судна по мидель-шпангоуту [17]. Для нашего случая эти величины составляют: длина судна 366,89 м, ширина судна по мидель-шпангоуту 42,8 м, расстояние от центра приложения силы до центра трубы ПРУ 284,1 м.

Поскольку приводной двигатель и винт имеют разные частоты вращения, то  $J_B$  и  $M_C$  механизма необходимо привести к валу двигателя.

Приведенные моменты инерции винта и сопротивления механизма определяются выражениями (15) и (16) соответственно:

$$J'_B = J_B \cdot \left( \frac{n_B}{n_{дв}} \right)^2, \quad (15)$$

$$M'_C = M_C \cdot \left( \frac{n_B}{n_{дв}} \right). \quad (16)$$

Из расчетов следует, что  $M'_C \approx 0,8 \cdot M_H$  (значение номинального момента двигателя).

Тогда уравнение (2) с учетом (15) и (16) примет вид:

$$dt = \frac{J_{\Sigma} \cdot dn}{9,55 \cdot (M_{дв} - M_{с})} = \frac{(J'_{в} + J_{дв}) \cdot dn}{9,55 \cdot (M_{дв} - M_{с})}. \quad (17)$$

Таким образом, получаем время пуска электрического привода ПРУ, которое составляет 1–1,2 с, что находится в допустимых пределах.

Теперь перейдем к определению снижения напряжения. Рассмотрим пуск асинхронного двигателя от дизельного генератора соизмеримой мощности.

Процесс изменения напряжения во время пуска двигателя происходит таким образом: в первый момент после включения двигателя напряжение на выводах генератора сразу уменьшается вследствие потерь напряжения в переходном реактивном сопротивлении генератора (сверх-переходными процессами в этом случае можно пренебречь, поскольку их продолжительность очень мала по сравнению с временем пуска двигателя).

При наличии автоматического регулирования возбуждения, когда имеет место увеличение тока возбуждения, напряжение генератора в установившемся режиме может быть выше начального значения напряжения генератора в момент пуска двигателя, а при определенном токе возбуждения напряжение в установившемся режиме может быть равно номинальному напряжению генератора.

Если пренебречь переходными процессами возбудителя, то изменение напряжения на генераторе от начального значения  $U_{н}$  до установившегося значения  $U_{уст}$  будет происходить практически по экспоненциальному закону [18]:

$$u = U_{уст} - (U_{уст} - U_{н}) \cdot e^{-\frac{t}{\tau_d}}, \quad (18)$$

где  $\tau_{do}$  – постоянная времени переходного процесса, с.

Начальное значение напряжения определяется по переходной ЭДС  $E'_q$  в момент включения двигателя:

$$U_{н} = \frac{E'_q \cdot X_{п}}{X'_d + X_{п}}, \quad (19)$$

где  $X'_d$  – индуктивное сопротивление по продольной оси, о. е.

Для заданного типа генератора, характеристики которого приведены в табл. 2, в соответствии с [5]  $\tau_{do} = 0,1426$  с;  $X'_d = 0,246$  о. е., рекомендованное значение  $E'_q = 1,05$  о. е. [18].

Установившееся напряжение можно определить аналитически или графически. Наиболее удобно и быстро установившееся напряжение определяется по кривым зависимостей напряжения генератора  $U_{Г}/U_{Г, ном}$  от условий пусковой мощности  $S_{п}/S_{Г, ном}$  ( $S_{п}$  определяется при номинальном напряжении генератора  $U_{Г, ном}$ ), построенным для случая чисто реактивной нагрузки и разных значениях тока возбуждения генератора, которые представлены в [18] и на (рис. 3). Коэффициент мощности начинает влиять на напряжение при различных значениях пусковой мощности только при небольших нагрузках и значениях  $\cos \varphi_{н} \geq 0,8$ . В практических расчетах влиянием активной нагрузки можно пренебречь. Влияние отношения короткого замыкания (ОКЗ) также сравнительно невелико, и потому с достаточной степенью точности можно пользоваться кривыми (рис. 3) для генераторов, которые имеют разные ОКЗ.

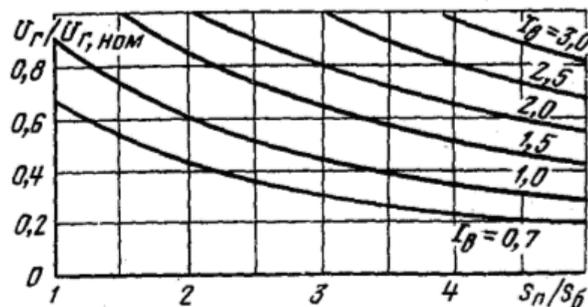


Рис. 3. Напряжение на зажимах генератора в зависимости от условий пусковой мощности в установившемся режиме

Если генератор не имеет другой нагрузки кроме запускаемого двигателя, то в этом случае напряжение должно выбираться только при условии возможности пуска двигателя при допустимом нагревании его обмоток пусковыми токами. Тогда значение переходного сопротивления определяется:

$$X_{\Pi} = \frac{S_{ГН}}{k_I \cdot S_{ДН}} \cdot \left( \frac{U_{ДФ}}{U_B} \right)^2 = \frac{S_{ГН} \cdot 10^3}{k_I \cdot \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_H} \cdot \left( \frac{U_{ДФ}}{U_B} \right)^2, \quad (20)$$

где  $k_I$  – кратность пускового тока двигателя;

$U_{ДФ}$  – фактическое значение напряжения на зажимах двигателя, В;

$U_B$  – базисное значение напряжения, В;

$U_H$  – номинальное значение напряжения двигателя, В;

$S_{ГН}$  – номинальное значение мощности генератора, кВА;

$S_{ДН}$  – полная номинальная мощность двигателя, кВА;

$I_H$  – номинальный ток двигателя, А.

Фактическое значение напряжения на зажимах двигателя определяется:

$$U_{ДФ} = U_B - \Delta U, \quad (21)$$

где  $\Delta U$  – потери напряжения в кабельной линии, соединяющей генератор и двигатель, В;

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_H \cdot (R_{Л} \cdot \cos \varphi_H + X_{Л} \cdot \sin \varphi_H), \quad (22)$$

где  $\cos \varphi_H$  – номинальное значение коэффициента мощности;

$R_{Л}$ ,  $X_{Л}$  – соответственно активная и реактивная составляющие сопротивления кабельной линии, Ом.

Их значения можно пересчитать по удельным значениям сопротивлений кабеля определенного сечения [19] и его длине. Сечение кабеля выбирается по токовой нагрузке двигателя.

Расчеты, выполненные по (18) с учетом (19)–(22), свидетельствуют, что снижение напряжения составит 19,5%. Таким образом, нормы, приведенные в [1], соблюдаются.

В случае, когда кроме запускаемого двигателя к шинам присоединены другие потребители, относительное значение пусковой мощности будет определяться таким образом:

$$S_{\Pi} = \frac{k_I \cdot \sqrt{3} \cdot U_H \cdot I_H \cdot \left( \frac{U_B}{U_{ДФ}} \right)^2 \cdot 10^{-3} + P_H \cdot \operatorname{tg} \varphi_H}{S_{ГН}} = \frac{k_I \cdot S_{ДН} + Q_H}{S_{ГН}}, \quad (23)$$

где  $P_H$  – значение активной мощности приемников, присоединенных к шинам, кВт;

$Q_H$  – значение реактивной мощности приемников, присоединенных к шинам, кВАр;  $\cos \varphi_H$  – значение коэффициента мощности приемников.

Для этого случая значение  $E'_q$  корректируется с учетом мощности этих приемников:

$$E'_q = 1 + X'_d \cdot \frac{P_H \cdot \operatorname{tg} \varphi_H}{S_{Г.НОМ}} = 1 + \frac{X'_d \cdot Q_H}{S_{Г.НОМ}}. \quad (24)$$

Значение активной (реактивной) мощности приемников, присоединенных к шинам, для соответствующего режима работы можно взять в таблице загрузок, которые приведены в [5].

Далее выполняем проверку способности автоматического регулятора напряжения (АРН) генератора по его статической характеристике (рис. 4).

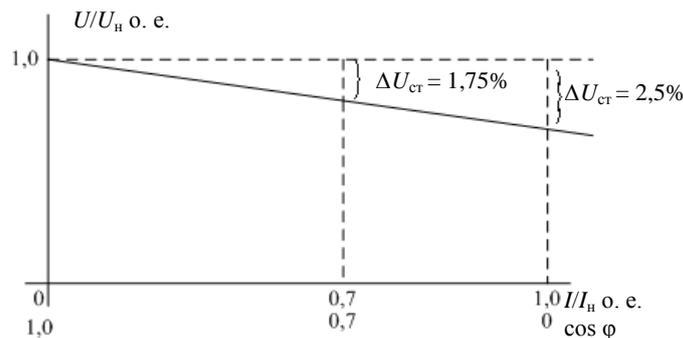


Рис. 4. Статическая характеристика синхронного генератора

Как показывают расчеты, АРН способен обеспечить регулирование напряжения в заданных пределах.

Суммируя вышеизложенное, можно сделать следующие выводы:

1. Разработанная выше методика позволяет оценить не только динамические характеристики электропривода, но и качественные показатели электроэнергетической системы судна в целом.
2. Определение качественных показателей электрической энергии (время пуска и снижение напряжения) попутно позволяет анализировать и решать целый ряд вопросов гидродинамического характера, например определение мощности электродвигателя подруливающего устройства.
3. Учет качественных показателей электрической энергии будет способствовать правильно-му выбору уставок пуско-защитной аппаратуры.
4. Отдельные положения разработанной методики, как показывает опыт, свидетельствуют о несовершенстве отечественной нормативно-технической базы в части отражения полноты и важности информации в технических характеристиках устройств.

### Литература

1. Правила классификации и постройки морских судов. Часть XI. Электрическое оборудование. НД № 2 – 020101 – 087. Российский морской регистр судоходства. Электронный аналог печатного издания, утвержденного 30.09.15. – Санкт-Петербург, 2016. – 130 с.
2. *Вольдек А.И.* Электрические машины: Учебник для студентов высш. техн. учебн. заведений / А.И. Вольдек. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Л.: Энергия, 1974. – 840 с.
3. *Костенко М.П.* Электрические машины. В 2 ч. Ч. 2. – Машины переменного тока: Учебник для студентов высш. техн. учеб. заведений / М.П. Костенко, Л.М. Пиотровский. – Изд. 3-е, перераб. – Л.: Энергия, 1973. – 648 с.
4. КНД 31.2.002.07-96. Правила технической эксплуатации морских и речных судов. Электрооборудование. Нормативный документ морского транспорта Украины.
5. 'M' class container ship. Operating manual lindø new building L. 216. m/s "Mathilde Maersk" / Odense Steel Shipyard Ltd. – 2008. – 561 с.
6. ГОСТ 8054-81. Межгосударственный стандарт. Винты гребные металлические. Общие технические условия.
7. *Миронов А.И.* Об одной из возможных причин динамической неустойчивости валопроводов судов / А.И. Миронов, А.Ю. Кукарина // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. – 2015. – № 3 [Электронный ресурс]. – URL: [vestnik.astu.org/content/userimages/file/sea\\_2015\\_3/08.pdf](http://vestnik.astu.org/content/userimages/file/sea_2015_3/08.pdf). (дата обращения: 10.03.2019).
8. СТ СЭВ 4337-83. Ступицы гребных винтов регулируемого шага. Типы, основные размеры и технические требования. Утвержден Постоянной Комиссией по сотрудничеству в области стандартизации. Дрезден, декабрь 1983 г. – 4 с.
9. *Басин А.М.* Руководство по расчету и проектированию гребных винтов судов внутреннего плавания / А.М. Басин. – Л.: Транспорт (Ленингр. отд-ние), 1977. – 268 с.
10. *Ваганов Г.И.* Тяга судов / Г.И. Ваганов, В.Ф. Воронин, В.К. Шанчурова. – М.: Транспорт, 1986. – 1999 с.
11. *Рак А.Н.* Расчет и выбор подруливающих устройств морских судов / А.Н. Рак, А.В. Корощенко, Г.А. Капанадзе // Proceedings of Azerbaijan State Marine Academy. – Baki, 2019. – № 2. – С. 94–101.
12. *Малюшенко В.В.* Энергетические насосы: Справочное пособие / В.В. Малюшенко, А.К. Михайлов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 200 с.
13. *Борисенко К.С.* Горная механика / К.С. Борисенко, А.Г. Боруменский, В.С. Дулин, Н.М. Русанов. – М.: Государственно-техническое издательство литературы по горному делу, 1962. – 408 с.
14. *Епишко М.А.* Осевые вертикальные насосы типов ОВ и ОПВ: Каталог / М.А. Епишко, М.И. Кузнецов. – Изд. второе, исправл. и доп. – М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1983. – 29 с.
15. *Шевцов С.П.* Исследование гидродинамических характеристик подруливающих устройств типа «винт в трубе». Уточнение методики проектирования этих устройств, включая установки большой мощности: Дис. ... канд. техн. наук / С.П. Шевцов. – Федеральное государственное унитарное предприятие Крыловский государственный научный центр. – Санкт-Петербург, 2014. – 139 с.

16. Wärtsilä – Encyclopedia of ship technology / Jan Babicz. – 2nd edition. – Helsinki: Wärtsilä corporation, 2015. – 662 p.

17. *Хойер Г.Х.* Управление крупнотоннажными судами при маневрировании / Генри Х. Хойер: Пер. с англ. Я.Н. Семенихина, Ю.М. Улькина, М.Н. Письменного. – М.: Транспорт, 2002. – 109 с.

18. *Сыромятников И.А.* Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей / И.А. Сыромятников; под ред. Л.Г. Мамиконянца. – 4-е изд., перераб и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 240 с.

19. *Неклепаев Б.Н.* Электрическая часть электростанций и подстанций: Справочные материалы для курсового и дипломного проектирования / Б.Н. Неклепаев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 605 с.

УДК 621.313.1

**А.Н. Рак<sup>1</sup>, В.Г. Черников<sup>1</sup>, Г.А Капанадзе<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Донецкий национальный технический университет,  
Донецк, 283000;*

<sup>2</sup>*Донецкий национальный университет,  
Донецк, 283000  
e-mail: lion15ua@rambler.ru*

### **РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАННЫХ СУДОВЫХ ПРОПУЛЬСИВНЫХ УСТАНОВОК**

Применение главных двигателей с электронным управлением, входящим в состав пропульсивного комплекса морских судов, позволяет оптимизировать не только рабочий процесс, но сократить выбросы NOx с отработанными газами до норм, установленных MARPOL 73/78, снизить удельный расход топлива. Установка синхронной машины в линию вала позволяет получить дополнительный источник электрической энергии или источник движения, повышает эффективность и надежность пропульсивной установки судна. Регулирование частоты вращения источника движения осуществляется от частотного преобразователя фирмы SIEMENS – Sinamics S120. Наличие преобразователя частоты с активным выпрямителем позволяет обеспечить работу источника движения на частотах вращения ниже, чем это установлено правилами Регистра.

**Ключевые слова:** главный двигатель, валогенератор, электродвигатель, электронное управление, дизельный генератор, удельный расход топлива, нагрузка, активный выпрямитель, преобразователь частоты, векторное управление.

**A.N. Rak<sup>1</sup>, V.G. Chernikov<sup>1</sup>, G.A. Kapanadze<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Donetsk National Technical University,  
Donetsk, 283000;*

<sup>2</sup>*Donetsk National University,  
Donetsk, 283000  
e-mail: lion15ua@rambler.ru*

### **ENHANCING FUNCTIONALITY AND EFFICIENCY OF COMBINED SHIP PROPULSION SYSTEMS**

The use of electronically controlled main engines, which are part of the propulsion complex of marine vessels, makes it possible to optimize not only the workflow, but also reduce NOx emissions with exhaust gases to the standards established by MARPOL 73/78, and reduce specific fuel consumption. Installing a synchronous machine in the shaft line allows you to get an additional source of electrical energy or a source of movement, increases the efficiency and reliability of the propulsion of the vessel. Regulation of the frequency of rotation of the source of movement is carried out from the frequency converter of the company SIEMENS – Sinamics S120. The presence of a frequency converter with an active rectifier allows the movement source to operate at rotational frequencies lower than that established by the Register rules.

**Key words:** main engine, shaft generator, electric motor, electronic control, diesel generator, specific fuel consumption, loading, active rectifier, frequency converter, vector control.

В настоящее время все морские суда, независимо от назначения и водоизмещения, имеют в своем составе пропульсивные установки (ПУ) и в большинстве случаев с двигателями внутреннего сгорания (ДВС). Но увеличение цен на дизельное топливо вызывает необходимость создания для них энергосберегающих технологий.

Большинство ведущих мировых компаний-производителей ДВС, таких как MAN B&W, WÄRTSILÄ-SULZER, МНІ и др., постоянно занимаются усовершенствованием не только конструкции, систем автоматизации и управления, а также повышением эффективности и экономич-

ности. Одной из главных задач является разработка способа оптимизации управления технологическими процессами ПУ, обеспечивающими улучшение эксплуатационных характеристик главных двигателей (ГД).

Дополнение VI к Конвенции MARPOL 73/78, вступившее в действие 19 мая 2005 г. и ограничивающее выбросы вредных веществ в окружающую среду (окислы азота и серы), фактически направлено на создание более экономичных, безопасных и экологически чистых двигателей. Практически это означает переход от двигателей с механическим приводом распределительного вала к двигателям с электронным управлением. Как правило, кроме ГД в состав современных ПУ входит и синхронная машина (СМ), установленная в линию гребного вала (рис. 1). Она может работать как в режиме генерирования электрической энергии (ВГ), так и в режиме двигателя (Д).

*Целью работы* является обоснование возможности функционирования комбинированной ПУ морских судов с помощью СМ при ее работе в режиме двигателя до достижения ГД минимальных устойчивых частот вращения, обеспечивающих их надежную и безаварийную эксплуатацию.

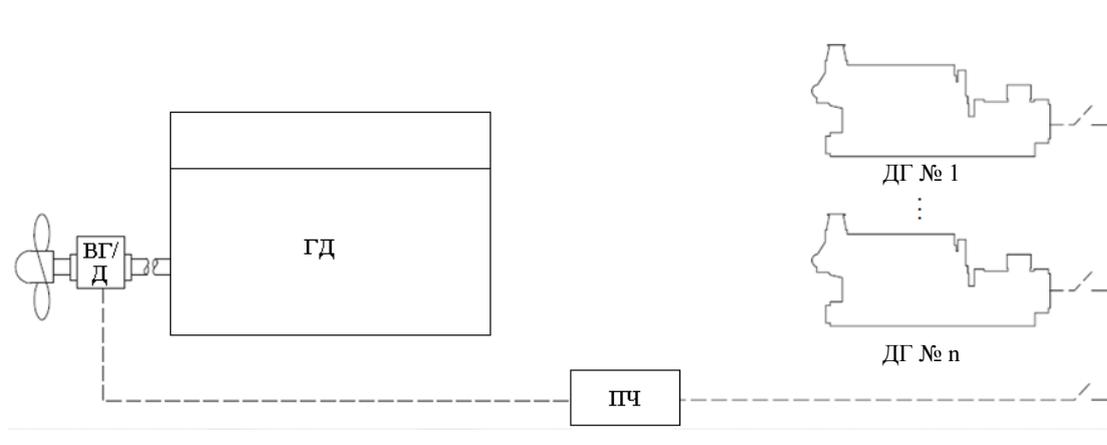


Рис. 1. Структурная схема комбинированной судовой пропульсивной установки

Рассмотрим работу ПУ на примере контейнеровоза «Mathilde Maersk» (IMO № 9359052) вместимостью 16 000 тыс. контейнеров, технические характеристики которого приведены в [1]. В качестве ГД на судне установлен малооборотный дизель (МОД) DOOSAN-WÄRTSILÄ-SULZER RT-flex96C с электронным управлением (ЭУ) номинальной мощностью 93 360 л. с. (68 640 кВт), частотой вращения 102 об/мин и номинальным моментом 7 603 850 Нм [2].

Как свидетельствует практика эксплуатации, ГД довольно часто работают в режимах с пониженной частотой вращения (прохождение каналов, плавание в тумане и др.). Естественно, что большое значение, с точки зрения обеспечения безопасности мореплавания, приобретает минимально устойчивая частота вращения ГД, работающего на винт. В соответствии с требованиями Регистра эта величина не должна быть ниже  $0,3n_{\text{ном}}$ . Чем меньше минимально устойчивая частота вращения, тем лучше маневренные свойства судна. На некоторых современных МОД она составляет  $(0,16 \div 0,18n_{\text{ном}})$  и даже  $0,05n_{\text{ном}}$  [3, 4]. Но это имеет и отрицательные последствия, о которых досконально изложено в [5].

Прежде чем перейти к детальному анализу, рассмотрим винтовые характеристики (рис. 2), которые представлены в [1]. Для судоводителей интерес представляют характеристики (1) и (2), а для судомехаников (3) и (4). На рис. 2 обозначены  $n_{\text{мин}} = 30$  об/мин – минимально допустимая частота вращения ГД в соответствии с требованиями Регистра;  $n_{\text{ном}} = 105$  об/мин – номинальная частота вращения;  $n_p = 90$  об/мин – рекомендованная частота вращения [7]. Как видим из рис. 2, при минимально допустимой частоте вращения  $n_{\text{мин}} = 30$  об/мин. Скорость судна составляет  $7 \div 8$  узлов при мощности  $N = 30\,000$  кВт.

Как указывалось выше, в линию вала установлен ВГ/Д, который в соответствии с [1] может работать в режиме генератора (РГО) при частоте вращения ГД в диапазоне 45–85 об/мин, и в режиме двигателя (РТД) с частотой вращения 40–90 об/мин. При работе ВГ/Д в режиме двигателя обеспечивается усиление работы ГД. Режимы работы ВГ/Д приведены на рис. 3.

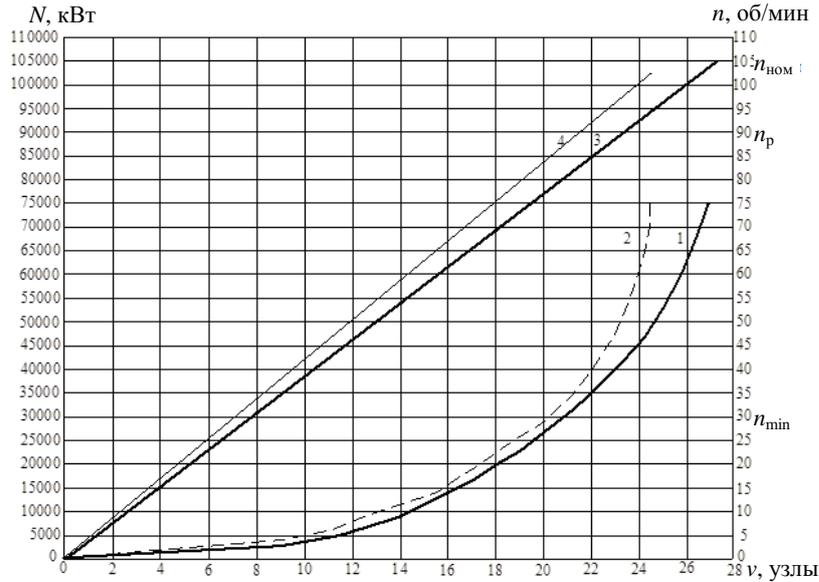


Рис. 2. Ветровые характеристики: 1 –  $N = f(v)$  в балласте с осадкой 6,0/9,9 м; 2 –  $N = f(v)$  при загрузке с осадкой 15,0/15,0 м; 3 –  $N = f(n)$  в балласте с осадкой 6,0/9,9 м; 4 –  $N = f(n)$  при загрузке с осадкой 15,0/15,0 м

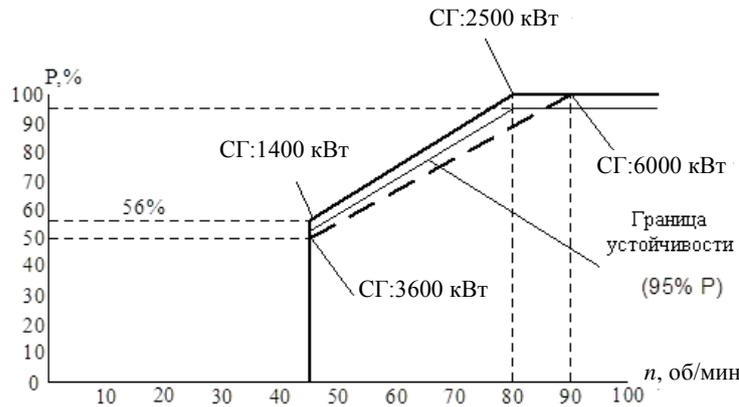


Рис. 3. Нагрузочные диаграммы работы синхронной машины в режиме генератора и двигателя

Анализ нагрузочных диаграмм работы ВГ/Д (рис. 3) показывает, что она эксплуатируется только в режимах, когда обеспечивается устойчивая частота вращения ГД.

В связи с этим для улучшения эксплуатационных характеристик ПУ предлагается вариант силовой схемы с активным выпрямителем, обеспечивающим движение энергии в обоих направлениях (рис. 4). Наличие преобразователя частоты с активным выпрямителем позволяет обеспечить работу ВГ/Д на частотах ниже, чем 30 об/мин, т. е. в режиме (РТН).

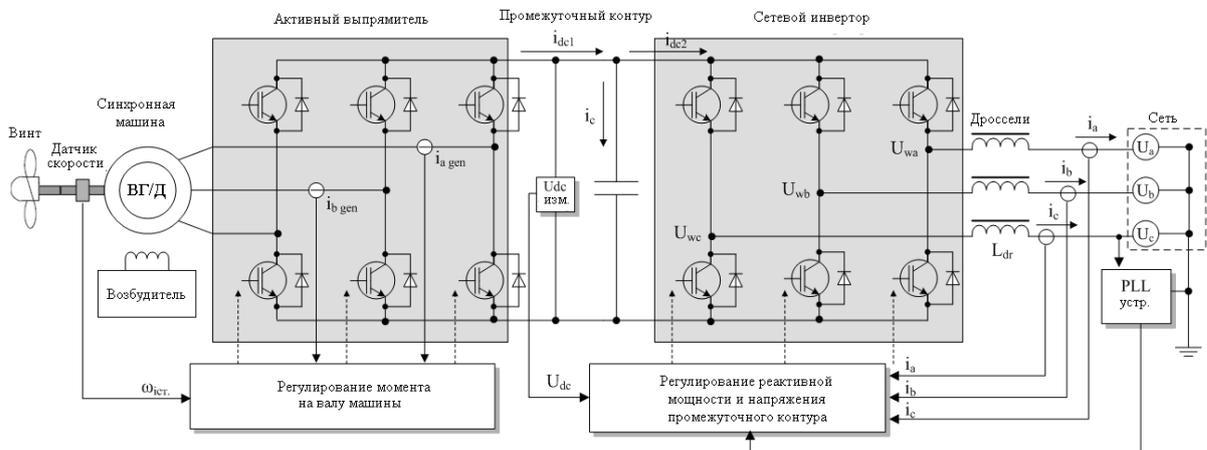


Рис. 4. Силовая схема для работы синхронного ВГ/Д с судовой сетью

Представленное выше схемное решение можно реализовать в преобразователях фирмы SIEMENS – Sinamics S120. Преимуществом такой схемы является возможность регулирования момента за счет применения принципов векторного регулирования. Основные уравнения явнополюсной ВГ/Д при работе с постоянным потоком, записанные для вращающейся системы координат  $d-q$ , ориентированной по потоку ротора, позволяют составить структурную схему машины, представленную на рис. 5.

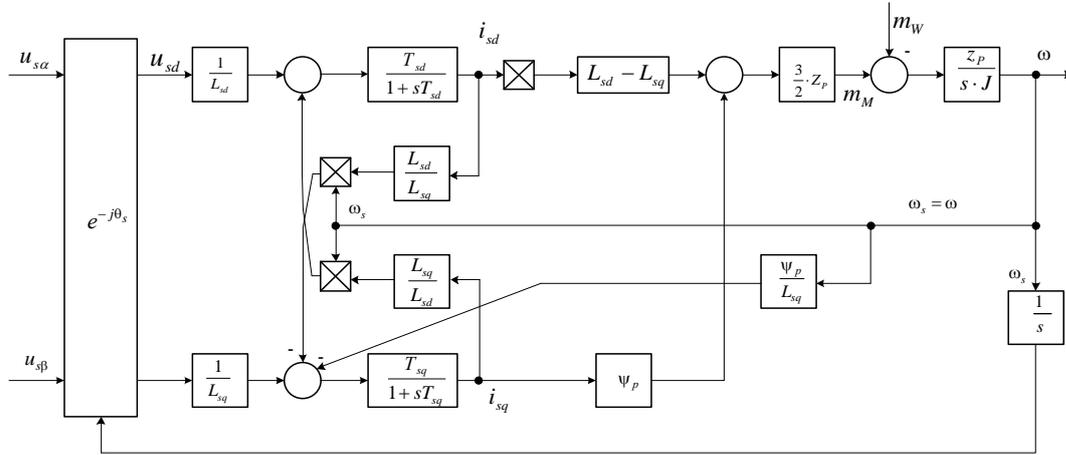


Рис. 5. Структурная схема синхронной машины в системе координат  $d-q$

Поскольку принципы векторного регулирования позволяют реализовать свободную ориентацию вектора тока статора во вращающейся системе координат  $d-q$ , значение электромагнитного момента можно определить в соответствии с выражением:

$$M_{\text{ВГ}} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot (\Psi_{sd} \cdot i_{sq} - \Psi_{sq} \cdot i_{sd}). \quad (1)$$

Для структурной схемы (рис. 5) в соответствии с (1):

$$M_{\text{ВГ}} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot (\Psi_p \cdot i_{sq} + i_{sd} \cdot i_{sq} \cdot (L_{sd} - L_{sq})), \quad (2)$$

где  $M_{\text{ВГ}}$  – момент на валу ВГ/Д,

$z_p$  – количество пар полюсов машины,

$\Psi_p$  – поток возбуждения,

$L_{sd}, L_{sq}$  – индуктивности статора по оси  $d$  и  $q$ ,

$i_{sd}, i_{sq}$  – проекции тока статора на оси  $d$  и  $q$  соответственно.

Только при строго перпендикулярном расположении тока статора по отношению к потоку проекции тока статора на ось  $d$   $i_{sd}$  равен нулю. Тогда момент ВГ/Д можно определить в соответствии с выражением:

$$M_{\text{ВГ}} = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \Psi_p \cdot i_{sq}, \quad (3)$$

т. е. для регулирования момента достаточным является влияние на проекцию тока статора на ось  $q$   $i_{sq}$ .

В таком случае система регулирования приобретает вид (рис. 6).

В такой системе регулирования полярность сигнала задания на момент будет определять режим работы ВГ/Д, т. е. при положительном задании ВГ/Д будет работать двигателем, при отрицательном – генератором. Быстродействие контуров тока обеспечивается ПИ-регуляторами совместно с блоком компенсации ЭДС. Процесс регулирования осуществляется во вращающейся системе координат  $d-q$ , ориентированной по потоку ротора. Необходимая ориентация вектора напряжения в пространстве обеспечивается модулятором, работающим на частоте модуляции – 8 кГц, при этом обеспечивается качественная форма тока ВГ/Д.

Таким образом, представленная система регулирования способна обеспечить все основные режимы ВГ/Д в составе с судовой ПУ.

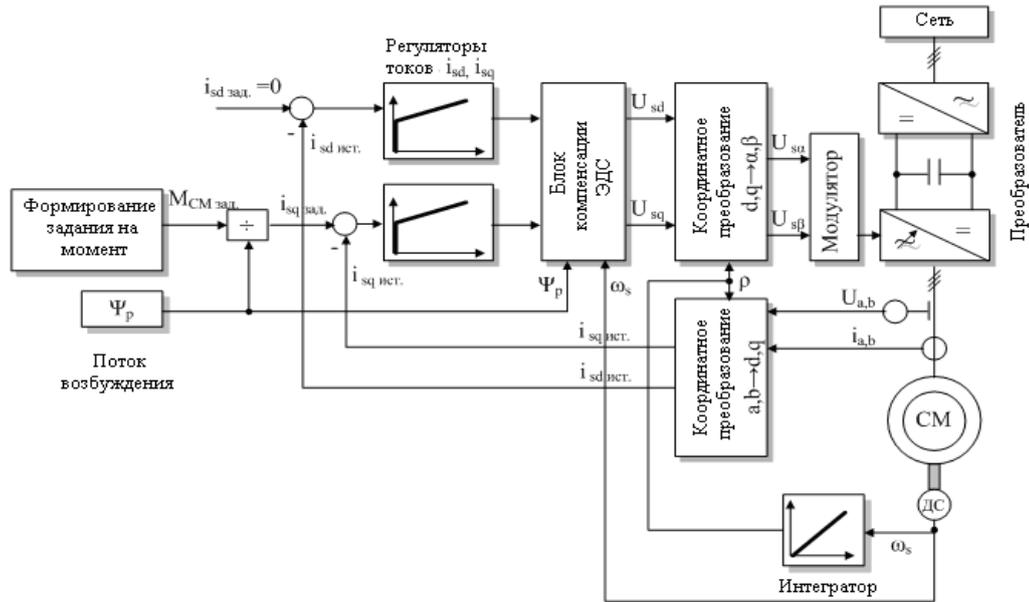


Рис.6. Структура системы регулирования момента синхронной машины

Схема системы регулирования и результаты ее моделирования в программной среде MathLAB (в относительных единицах) приведены на рис. 7 и рис. 8 соответственно.

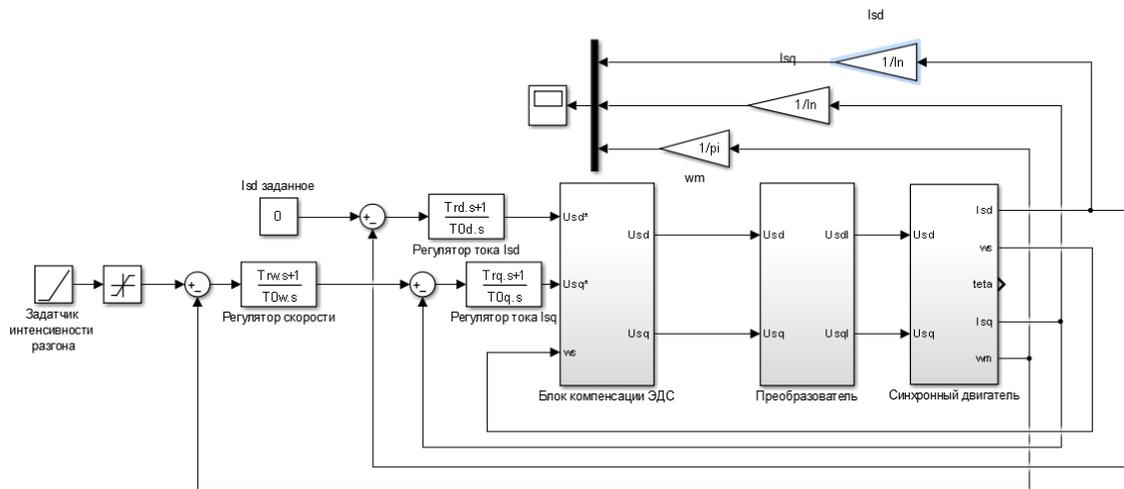


Рис. 7. Схема системы регулирования ВГ/Д

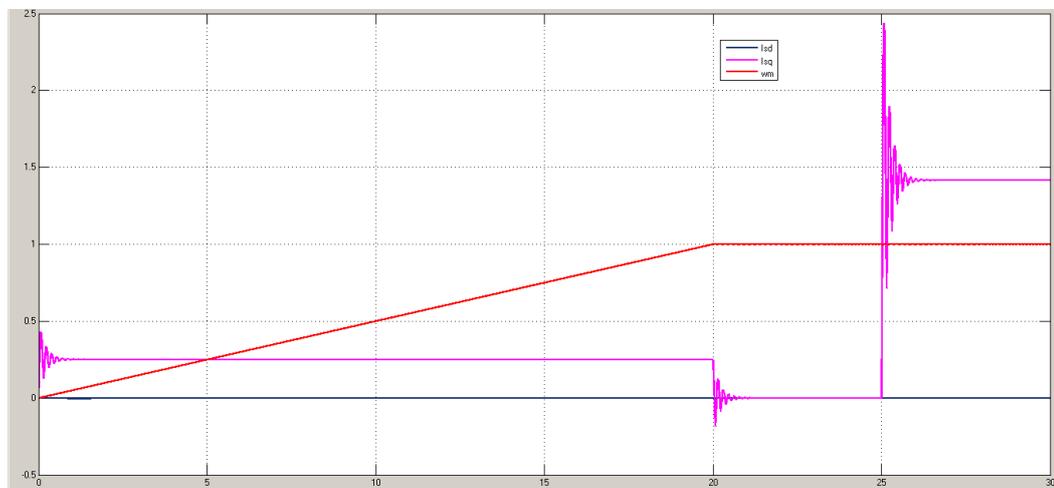


Рис. 8. Результаты моделирования системы регулирования ВГ/Д:

$i_{sd}$  – потокообразующая компонента тока статора;

$i_{sq}$  – моментобразующая компонента тока статора (пропорциональна моменту);  $\omega_m$  – частота вращения

Для определения мощности, потребляемой ВГ/Д, необходимо выполнить пересчет значений момента ГД, который для морских судов осуществляется в соответствии с соотношением (4), приведенным в [2]:

$$M_{Rx} = M_{R1} \cdot \left( \frac{n_{Rx}}{n_{R1}} \right)^2, \quad (4)$$

где  $M_{R1}$  – значение номинального момента;  
 $n_{R1}$  – номинальная частота вращения;  
 $n_{Rx}$  – частота вращения в заданном режиме.

Определение мощности, потребляемой двигателем для обеспечения движения судна, выполняется в соответствии с известным соотношением:

$$P = \frac{M_{Rx} \cdot n_{Rx}}{9,55}. \quad (5)$$

Из расчетов следует, что мощность будет составлять 5 МВт. Считаем, что для его питания будет достаточно мощности двух ДГ, включенных в параллельную работу. Паспортные данные генераторов, входящих в состав судовой электростанции, представлены в [1] и табл. 1.

Таблица 1

Паспортные данные генераторов

Генератор	Тип	Мощность, кВА	Частота вращения, об/мин	Напряжение, В	Ток, А	Частота, Гц	cos φ
ДГ (3)	«Siemens» 1DK4531-8BF05-Z	3 600	1 800	6 600	315,3	60	0,7
ТГ (1)	«Siemens» 1FJ4805-4SB62	7 000	1 800	6 600	613,1	60	0,86
ВГ (1)	«Siemens» 65L3710-8LG424 AW0	3 571	45-82	6 600	328,5	60	0,7
Аварийный	«CATERPILLAR» SR4	1 700	1 800	440	2 457	60	0,8

Анализ удельных затрат топлива (УЗТ) для ГД и дизельного генератора (ДГ), приведенные в [8] и на рис. 9, показывает, что затраты топлива для двух ДГ составляют 1,2 т. При работе ГД с частотой вращения  $n_{\min} = 30$  об/мин и  $N = 30\,000$  кВт затраты топлива составят 5,6 т.

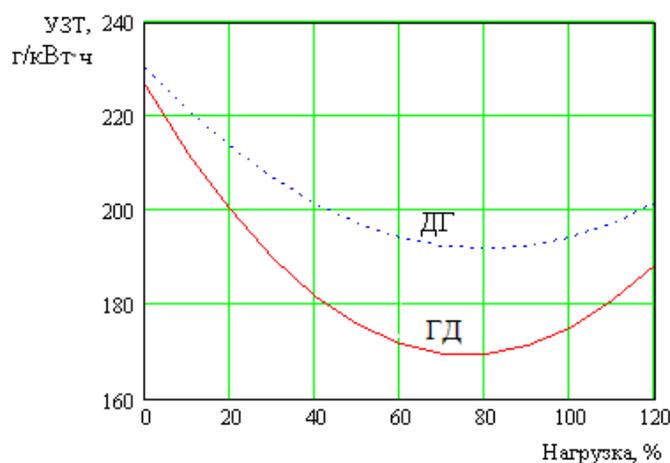


Рис. 9. Удельные затраты топлива для ГД и ДГ

Применение преобразователя частоты с активным выпрямителем позволяет повысить эффективность ПУ, обеспечив при этом более высокую маневренность судна и безопасность мореплавания. При этом предусматривается возможность противоаварийного управления, сокращаются затраты топлива, повышаются экономические показатели, обеспечиваются требования Конвенции MARPOL 73/78.

### Литература

1. 'M' class container ship. Operating manual lindø new building L. 216. m/s «Mathilde Maersk». – Odence Steel Shipyard Ltd., 2008. – 561 с.
2. SULZER RTA96C Marine Installation Manual [Electronic resource] / Issue May 2004. – URL: <https://ru.scribd.com/doc/11498707/RTFLEX96C>.
3. Дизели. Справочник / Под общ. ред. В.А. Ваншейдта, Н.Н. Иванченко, Л.К. Коллерова. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1977. – 480 с.
4. Marine Machinery & Engine 2013 Marine [Electronic resource]. – URL: [https://www.mhi-mme.com/cms\\_docs/products\\_en.pdf](https://www.mhi-mme.com/cms_docs/products_en.pdf) (дата обращения: 10.03.2019).
5. Судновий механік: Довідник / Авт.кол.: За ред. А.А. Фока, д-ра техн. наук, суднового старшого механіка. – У 3-х т. – Т. 1. – Одеса: Фенікс. 2008 – С. 714–715.
6. Техничко-экономические характеристики судов морского флота РД 31.03.01-90. – М.: Мортехинформреклама, 1992. – 232 с.
7. *Возницкий И.В.* Двигатели MAN B&W модельного ряда МС 50-98. Конструкция, эксплуатация, техническое обслуживание / И.В. Возницкий. – М.: Моркнига, 2008. – 264 с.
8. *Рак А.Н.* К вопросу настройки и эксплуатации дизелей с электронным управлением / А.Н. Рак, А.В. Корощенко, Г.А. Капанадзе // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Международной научно-практической конференции (17–19 октября 2018 г.). В 2 ч. / Отв. за вып. О.А. Белов. – Ч. 1. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2019. – С. 97–102.

УДК 621.313.333

**Э.Ф. Султанов, Э.М. Мамедов**

*Азербайджанская государственная морская академия,  
Баку, AZ1000  
e-mail: elshen\_sultanov@mail.ru; emilmammedoglu@gmail.com*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО ПУСКА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ БОЛЬШОЙ МОЩНОСТИ**

Рассмотрены существующие в настоящее время системы управления судовыми электроприводами и требования Международной морской организации, предъявляемые к указанным системам управления. С целью повышения надежности систем управления и снижения потерь электроэнергии представлена эффективность применения микропроцессорной установки для пуска электроприводов большой мощности.

**Ключевые слова:** судно, асинхронный, двигатель, микропроцессор, тиристор.

**E.F. Sultanov, E.M. Mamedov**

*Azerbaijan State Marine Academy,  
Baku, AZ1000  
e-mail: elshen\_sultanov@mail.ru; emilmammedoglu@gmail.com*

### **RESEARCH OF MICROPROCESSOR STARTUP OF ASYNCHRONOUS HIGH POWER MOTORS**

The article considers the current control systems for ship electric drives and the requirements of the International Maritime organization for these control systems. In order to improve the reliability of control systems and reduce power losses, the efficiency of using a microprocessor device for starting high-power motors is presented.

**Key words:** vessel, asynchronous, motor, microprocessor, thyristor.

Нормальная работа механизмов, применяемых на морских судах, зависит от приводящих их в движение электроприводов. Примером устройств, приводимых в движение с помощью электроприводов, могут служить рулевые устройства, грузоподъемные механизмы и судовые нагнетатели. На современном этапе развития возрастают требования к модернизации систем управления электроприводов на проектируемых и строящихся судах. В настоящее время на большинстве судов, находящихся в эксплуатации, долгосрочная работа релейно-контакторной аппаратуры, в т. ч. электромеханических и электромагнитных реле, кнопок управления, применяемых в схемах автоматического управления электроприводов, зависит от нагрузки и частоты включений. В процессе эксплуатации контактная аппаратура требует систематической настройки, а также имеет недостаточную надежность. Как известно, с ростом количества релейно-контактных систем в схемах управления снижается надежность работы схем. В качестве примера рассмотрим схему управления электроприводов пожарного насоса (рис. 1).

Как видно на схеме, пуск электродвигателя осуществляется последовательным включением в цепь статора сопротивлений (R).

Основной особенностью электроприводов судовых насосов является то, что эти электроприводы не реверсируются и не имеют режимов торможения, а их скорость практически не регулируется [1].

Замыканием двухполюсного выключателя  $QF$  на схему управления подается питание, получает питание катушка реле времени  $KT1$  и реле  $KV1$ , замыкая свои контакты в цепи, реле  $KT2$  вводит в работу систему. Запуск электродвигателя  $M1$  осуществляется нажатием кнопки  $1SB2$  местного поста управления или  $2SB2$  на пульте дистанционного управления, замыкается реле  $KV1$

и получает питание катушка линейного контактора *KM1*. Одновременно при замыкании реле *KV1* подключается реле времени *KT2*. Последовательно соединенные контакты контактора *KM1* и реле *KT2* шунтируют кнопки пуска, другой контакт *KM1* размыкает цепь реле времени *KT1*.

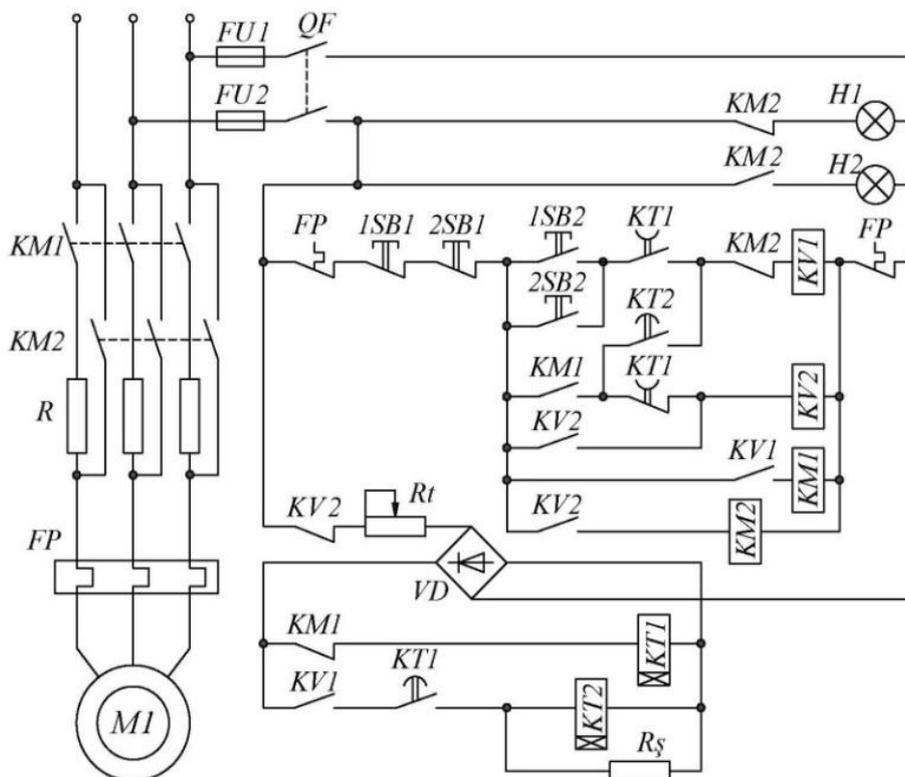


Рис. 1. Схема управления электроприводом пожарного насоса

При истечении выдержки времени реле *KT1* своим контактом замыкает цепь реле *KV2*, которое в свою очередь подает питание на катушку контактора *KM2*, который шунтирует пусковое сопротивление *R* в цепи электродвигателя. Один из контактов реле *KT1* в цепи управления размыкает цепь питания реле *KT2*. Реле *KT2* с малой задержкой размыкает цепь питания *KV1*, этим размыкая цепь катушки контактора *KM1*. Несмотря на то, что контакт линейного контактора *KM1* в цепи питания катушки *KT1* замкнут, указанное реле времени не срабатывает, ввиду того контакт реле *KV1* разрывает цепь выпрямителя *VD*, что приводит к размыканию цепи постоянного тока и разрыву цепи питания *KT1*. Следовательно, реле *KV2* остается включенным, благодаря тому, что оно имеет самоблокировку с помощью своего контакта. Таким образом, по окончании процесса пуска из всех электрических аппаратов остаются включенными только линейный контактор *KM2* и реле *KV2* [1].

Если в процессе пуска возникнет неисправность, не сработает линейный контактор *KM2* и одновременно контакт реле времени *KT2* отключится, и после этого контакт электромеханического реле *KV1*, разомкнувшись, приведет к разрыву цепи питания катушки контактора *KM1*, и двигатель не запустится. Таким образом, реле времени *KT2* препятствует тому, чтобы пусковые сопротивления долго оставались под напряжением.

Другой вид блокировки осуществляется последовательно соединенным в цепь пусковых кнопок контактом реле *KT1*. Пуск электродвигателя возможен только при замкнутом состоянии этого контакта. В рассматриваемом случае в результате самоблокировки реле *KV2* его контакт остается открытым. Для защиты от перегрузки электродвигателя на схеме предусмотрено тепловое реле *FP*. Индикация включения сопротивлений в цепь электродвигателя осуществляется лампами *H1* и *H2*. Остановка электродвигателя происходит нажатием кнопки *1SB1* на местном пульте управления или кнопки *2SB1* на дистанционном пульте управления [1].

В большинстве случаев для увеличения надежности автоматизированных электроприводов и снижения потерь энергии в релейно-контактной аппаратуре применяется бесконтактная аппаратура.

Для управления асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором рассмотрим схему, собранную на силовых тиристорах и подключенную в цепь статора (рис. 2).

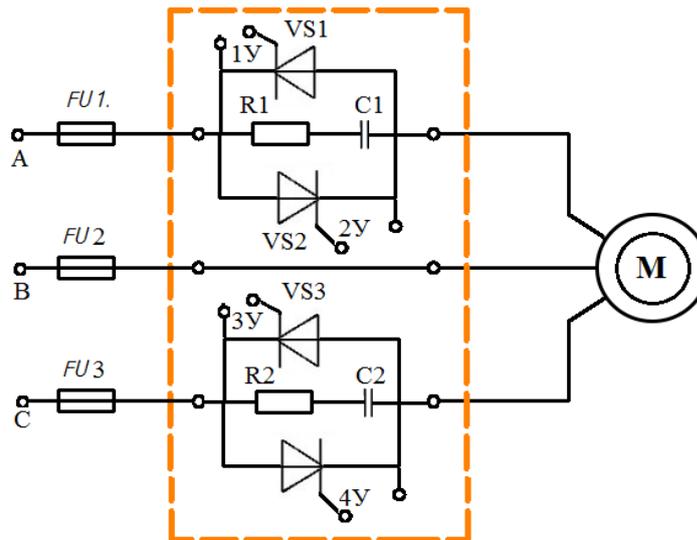


Рис. 2. Схема пуска асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором с помощью тиристоров

В процессе пуска электродвигателя угол открытия тиристора необходимо регулировать так, чтобы при изменении значения приложенного напряжения на входе статорной обмотки от 0 до номинального можно было регулировать значение тока, протекающего по статорной обмотке и создаваемого им момента. С помощью подключенной к фазам А и С статорной обмотки, встречно-параллельной группы тиристоров VS1–VS4, можно регулировать процесс пуска асинхронного короткозамкнутого электродвигателя. Смещение управляющего сигнала, подаваемого на управляющие электроды, относительно напряжения должно составлять  $60^\circ$ . Напряжение на зажимах статора снижают для возможности снижения пускового тока и момента двигателя. При шунтировании резисторов с помощью контактов в цепи управления к обмотке статора прикладывается полное напряжение. При нажатии соответствующей кнопки в цепи управления двигателем прекращается работа схемы релейного управления [2, 3].

Важнейшим достижением в области полупроводниковой техники является внедрение больших интегральных микросхем. Примером реализации указанных схем может служить микропроцессор. Одновременно с этим перед специалистами, занятыми в области разработки и проектирования автоматизированных электроприводов, управляемых с помощью микропроцессоров, ставятся важные задачи:

- Построение импульсной модели электропривода, выбор и исследование входных и выходных параметров.
- Разработка структуры системы, определение показателей оптимальности управления, синтез системы управления.
- Разработка и применение, реализуемых и функционально-эффективных алгоритмов.
- Построение системы диагностирования и обеспечение экспериментальной оценки ремонтнопригодности.

С применением программируемых микроконтроллеров предоставляется возможность создания связи с устройствами памяти и периферийными устройствами.

МикроЭВМ применены в управлении производственными процессами и транспорте, в том числе используются в системах управления преобразователями, а также широко применены в регулировании скорости вращения электроприводов [4].

Применение микропроцессорной техники в электроприводах обусловлено его непосредственно цифровым управлением. Следовательно, с помощью микроЭВМ осуществляется формирование и подача управляющих импульсов на тиристоры. Следует отметить, что скорость работы ЭВМ является одним из факторов, определяющих эффективность системы регулирования. Реализация алгоритма управления во многом зависит от качества программы управления. В свою очередь алгоритм управления разрабатывается благодаря использованию математической модели электропривода, чтобы модель соответствовала разрабатываемому алгоритму и сроку реализации. Одновременно учитываются особенности объекта, что способствует обеспечению требуемых качеств регулирования. Наиболее соответствующей в указанном отношении

является дискретная модель тиристорного электропривода. В преобразователе происходит квантование электромагнитных процессов в соответствии с интервалом дискретности регулирования, и управляющие импульсы подаются на тиристоры с ограниченным интервалом по времени. В связи с этим управляющее воздействие системы на объект целесообразно дискретизацией по времени. То есть синтез силовой части электропривода и законов регулирования возможно осуществить на базе дискретной модели электропривода. Исследование организованных микропроцессорных систем управления электроприводами и их разработка имеют важную степень значимости на пути дальнейшего развития. Прежде всего, это сводится к замене электронных, электрических и электромеханических блоков универсальными устройствами с условными и логическими функциями. Определяются различные алгоритмы управления электроприводом и рабочей машиной, с помощью программируемого микроконтроллера. В микропроцессорных системах управления электроприводами применены программируемые логические контроллеры высокой надежности, которые обеспечиваются специальными системами защиты памяти, защиты от помех и другими средствами [4].

В настоящее время автономные инверторы с ШИМ, применяемые в электроприводах мощностью 1–5 МВт, выполнены на запираемых тиристорах. На выходе автономного инвертора в виде импульсов, следующих с несущей частотой  $f$ , происходит формирование выходного напряжения. Период следования импульсов несущей частоты

$$T = \frac{1}{f}$$

является одинаковым для всех фаз. Амплитуда указанных импульсов имеет одинаковое значение с напряжением автономного инвертора или определенной ее части. Значение выходных напряжений регулируется относительной продолжительностью импульсов. Напряжение на выходе инвертора содержит большой диапазон гармоник. Основные параметры напряжения двигателя, работающего в установившемся режиме, – это амплитуда  $U_{1m}$  и частота  $f_1$  для первой гармоники. Как известно, высшие гармоники положительного действия не оказывают, увеличивая потери в двигателе, создают дополнительные пульсации, способствуют появлению емкостных токов, создают помехи и т. д. Напряжение выхода содержит гармоники высшего порядка с частотами

$$f_r = mf + n_r f_1,$$

где  $m = 1, 2, 3, \dots$  – целое положительное число;

$n_r$  – бесконечный ряд чисел.

В сравнении с амплитудным регулированием спектр высших гармоник выходного напряжения автономного инвертора с ШИМ перенесен в высокочастотную область, и благодаря индуктивности рассеяния двигателя высшие гармоники подавляются намного интенсивнее, чем основная.

Выводы:

1. Анализ пуска судовых электроприводов большой мощности современными методами показывает, что способы и средства регулирования не отвечают современным требованиям, при эксплуатации, релейно-контактная аппаратура требует систематического ухода, энергозатраты возрастают. С ростом количества релейно-контактная надежность работы системы снижается.

2. С целью повышения надежности и снижения энергопотерь в автоматических системах управления судовых электроприводов, рекомендуется применение в качестве силовых элементов, управляемых с помощью микроконтроллеров, тиристорных систем, подключенных к статорной цепи для управления асинхронным электродвигателем.

### Литература

1. Mehdiyev H.A, Həsənov Z.Ə, Şabanov T.H. Avtomatlaşdırılmış gəmi elektrik intiqalları. – Bakı: Nurlan, 2005. – 358 səh. (на азербайджанском языке).
2. Sultanov E.F. Elektron güc çeviricilərinin gəmilərdə tətbiqi, ADDA-nın mətbəəsi. – Bakı, 2015. – 100 səh. (на азербайджанском языке).
3. Файнштейн Б.Г. Микропроцессорные системы управления тиристорными электроприводами / Б.Г. Файнштейн, Э.Г. Файнштейн. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 240 с.
4. Лихошерст В.И. Полупроводниковые преобразователи электрической энергии с импульсным регулированием / В.И. Лихошерст. – Екатеринбург, УГТУ, 2000. – 116 с.

УДК 621.313

**А.Н Шереметьев, А.А. Марченко**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: Sheremetiev@yandex.ru*

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ ГРЕБНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ЧАСТОТЫ**

В данной статье авторы приводят результаты экспериментов по моделированию электропривода с частотным управлением. Данный эксперимент состоял из двух этапов. Первый этап включал построение модели с электронным преобразователем частоты. Второй этап включал построение модели с преобразователем на основе электрических машин. Далее проводилось сравнение полученных характеристик.

**Ключевые слова:** электропривод, преобразователь частоты, постоянный ток, напряжение.

**A.N. Sheremetev, A.A. Marchenko**

*Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: Sheremetiev@yandex.ru*

### **MODELLING OF THE ROWING ELECTRICAL UNIT WITH THE FREQUENCY CONVERTER**

In this article authors provide results of experiments on modeling an electric drive with frequency control. This experiment consisted of two stages. The first stage included creation of model with an electronic frequency converter. The second stage included the construction of a model with a converter based on electrical machines. Further comparison of the received characteristics was carried out.

**Key words:** electric drive, frequency converter, direct current, tension.

Совершенствование ледоколов происходило при высоком темпе роста мощности и медленном увеличении водоизмещения и главных размеров, что обеспечивало улучшение их проходимости во льдах и маневренности, а следовательно, и повышало эффективность работы. Поэтому большое значение имеет уменьшение массы и габаритов элементов энергетической установки. Снижение массы оборудования позволяет увеличить долю водоизмещения, отводимую под запасы топлива, что способствует повышению автономности плавания. Габариты оборудования установки существенным образом определяют размеры машинных отделений, которые, в свою очередь, определяют главные размещения судна, а тем самым его проходимость во льдах, маневренность и стоимость.

Таким образом, массогабаритные характеристики оборудования энергетической установки в некоторых случаях могут быть решающими при получении основных характеристик ледокола. Кроме того уменьшение габаритов оборудования машинной установки дает также большие возможности по обеспечению необходимой непотопляемости судна.

С учетом перечисленных выше требований производится сравнительный анализ энергетических установок и выбор оптимального варианта для конкретного судна.

В настоящее время наиболее оптимальным вариантом являются гребные электрические установки. Поэтому в ближайшие годы для ледоколов сохранится применение дизель (или турбо) электрических гребных установок на постоянном и переменном-постоянном токе с преобладанием последних.

Главным преимуществом двигателей постоянного тока является плавное регулирование частоты вращения. В свою очередь основным недостатком является сложность таких систем. Наиболее распространенные системы регулирования скорости электропривода выполнены по схеме генератор – двигатель. Роль преобразователя в данной схеме выполняет генератор, напряжение которого регулируется путем регулирования тока возбуждения. Такие системы имеют множество

недостатков, одним из которых является необходимость использования возбудителей генераторов и электромашинных усилителей, другими словами, дополнительных электрических машин.

Сегодня все большее распространение получают системы с применением переменного тока. Электроприводы переменного тока с плавным регулированием скорости применяются во всех отраслях. Системы на переменном токе, в основе которых частотное регулирование, имеют оптимальные характеристики регулирования скорости вращения. Построение таких систем возможно на основе электрических машин аналогично системе генератор – двигатель. Но более совершенной является система с применением электронных преобразователей. Нужно отметить, что тиристорные преобразователи частоты также имеют свои недостатки.

При использовании ПЧ структурная схема ГЭУ включает в себя генератор переменного тока, работающий с постоянной частотой вращения, преобразователь и синхронный или асинхронный короткозамкнутый гребной электродвигатель (рис. 1). Перспективным является построение таких ГЭУ с единой электростанцией.

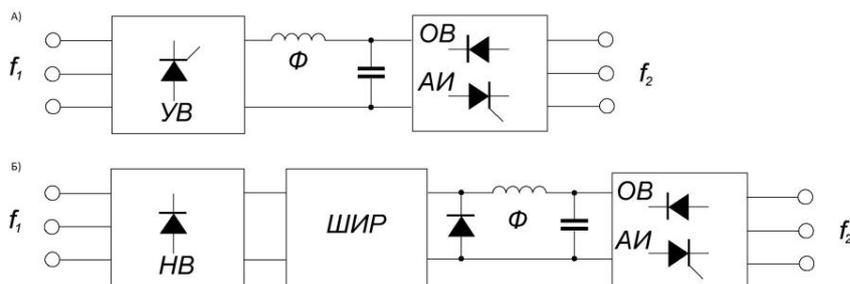


Рис. 1. Структурная схема ГЭУ с преобразователем частоты:  
 а – схема со звеном постоянного тока и управляемым выпрямителем;  
 б – схема с широтно-импульсным регулированием и неуправляемым выпрямителем

Для выявления недостатков и преимуществ представленной системы в данной статье была построена модель в программе Matlab [2]. На рис. 2 показана модель электропривода на переменном токе с частотным управлением скоростью асинхронного электродвигателя на основе инвертора тока.

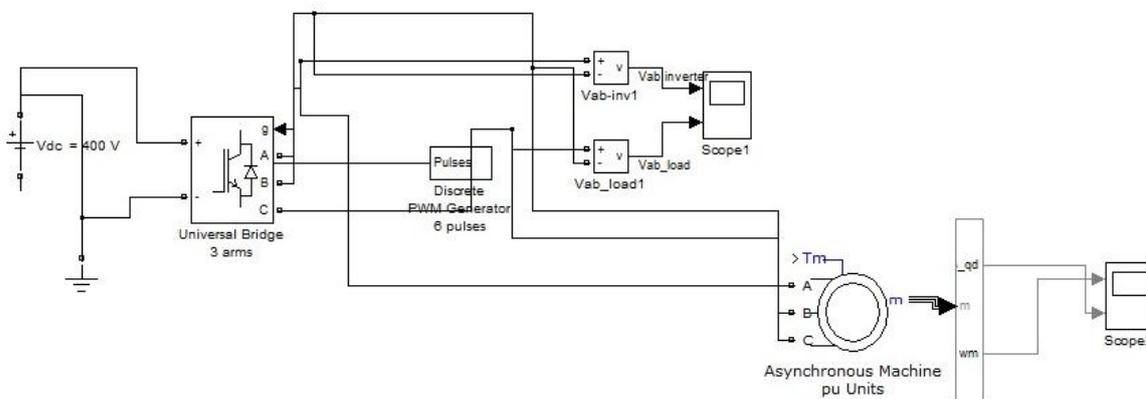


Рис. 2. Модель работы асинхронного двигателя через преобразователь частоты

Первой задачей для моделирования является проверка модели в номинальном режиме, так как параметры электрических машин известны только из паспортных данных машины. Параметры двигателей в динамических режимах неизвестны, поэтому настройка модели по ним невозможна.

Асинхронный двигатель прошел испытания при работе от преобразователя частоты в номинальном режиме. Полученные характеристики указывают на работу двигателя при номинальном напряжении и частоте.

После настройки модели в номинальном режиме проводилось уменьшение тока с целью определения частоты вращения двигателя. Уменьшение частоты тока на 20% привело к пропорциональному снижению вращения асинхронного двигателя. На рис. 3 представлено напряжение на инверторе, на рис. 4 представлена скорость электродвигателя при уменьшении частоты напряжения. Видно, что на рис. 7 присутствуют гармоники. Данная форма кривой напряжения указывает на некоторую погрешность, но в допустимых пределах. При снижении частоты питающего

напряжения скорость электродвигателя также снижается пропорционально, что говорит о корректной работе электродвигателя и преобразователя.

Далее проводилась настройка модели преобразователя частоты, выполненного на основе электрических машин, представленная на рис. 8.

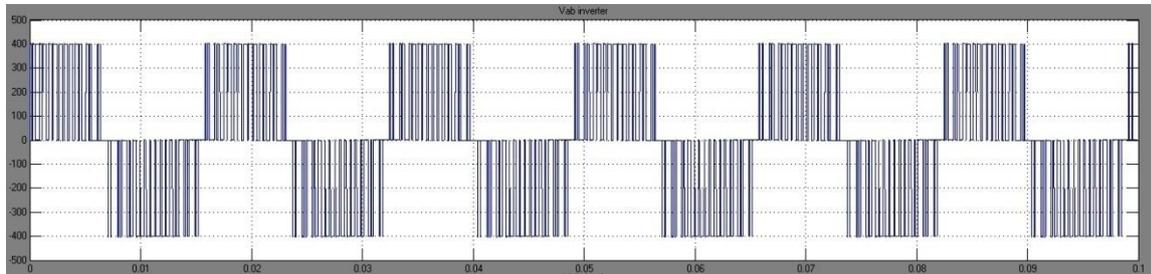


Рис. 3. Напряжение на инверторе

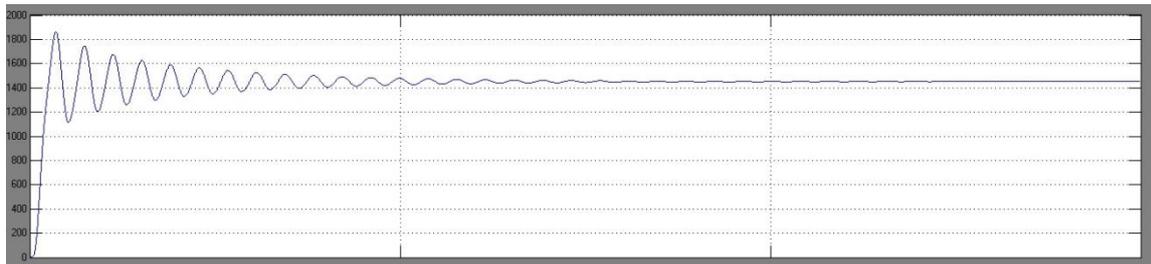


Рис. 4. Скорость электродвигателя

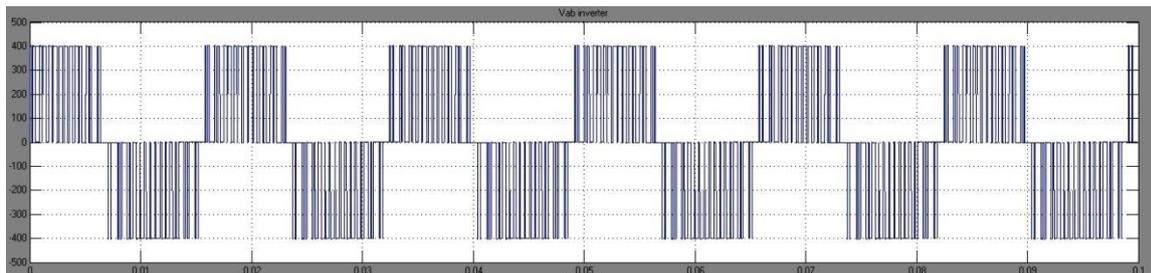


Рис. 5. Напряжение преобразователя

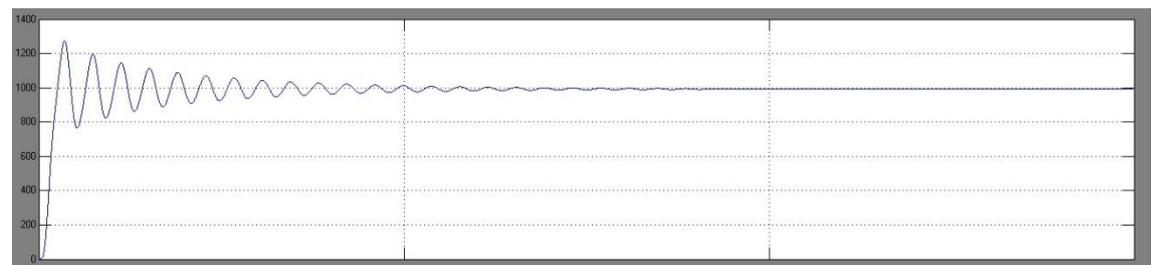


Рис. 6. Скорость электродвигателя при пониженной частоте

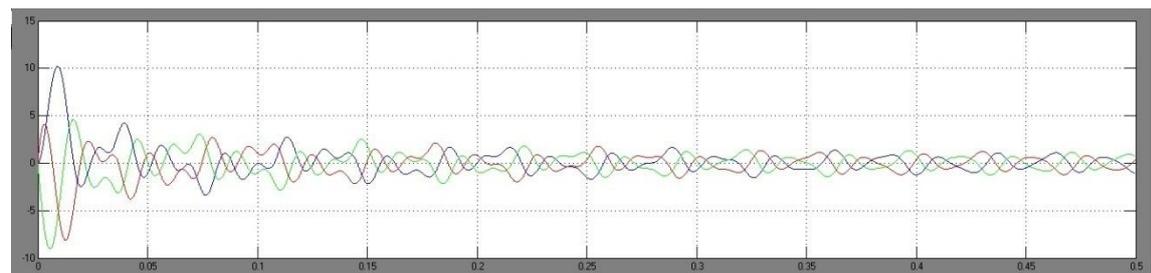


Рис. 7. Напряжение

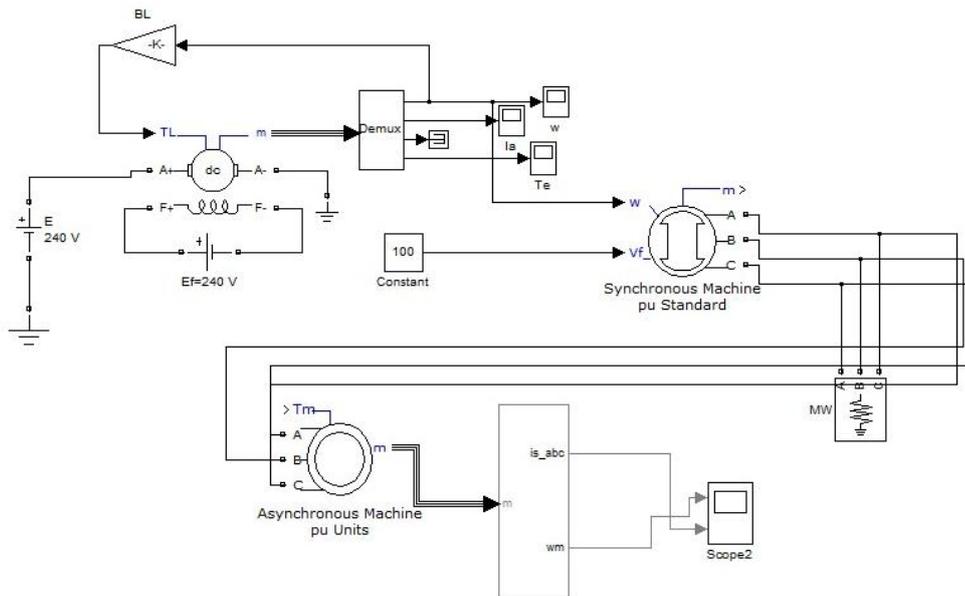


Рис. 8. Модель преобразователя на основе электрических машин

Изменение частоты напряжения задается частотой вращения синхронного генератора, в данной схеме он выполняет функции инвертора. Звено постоянного тока представляет собой электрический двигатель постоянного тока, механически соединенный с синхронным генератором.

При работе асинхронного электродвигателя от данного преобразователя частоты номинальный режим двигателя не вызывает сомнений (рис. 9). Для уменьшения частоты вращения асинхронного двигателя производилось уменьшение напряжения на якоре двигателя постоянного тока. Скорость вращения якоря уменьшалась и соответственно уменьшалась скорость вращения синхронного генератора. Частота напряжения синхронного генератора снижалась в заданных диапазонах. На рис. 10 видно, что пропорциональное снижение частоты тока генератора ведет к пропорциональному снижению частоты вращения асинхронного электродвигателя. Можно сделать вывод, что модель работает корректно.

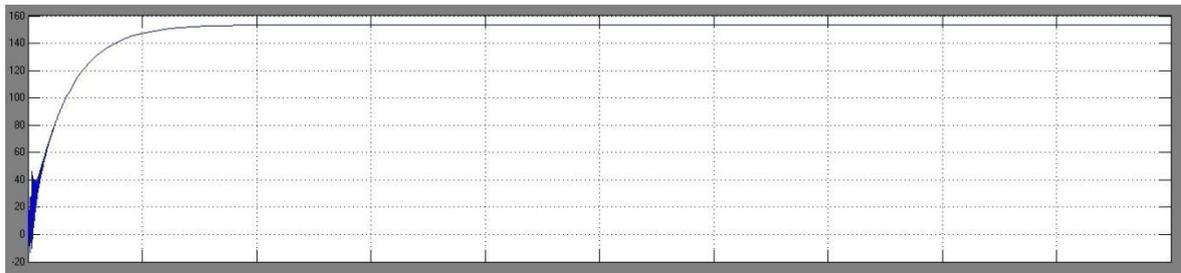


Рис. 9. Скорость асинхронного электродвигателя при номинальном напряжении двигателя постоянного тока

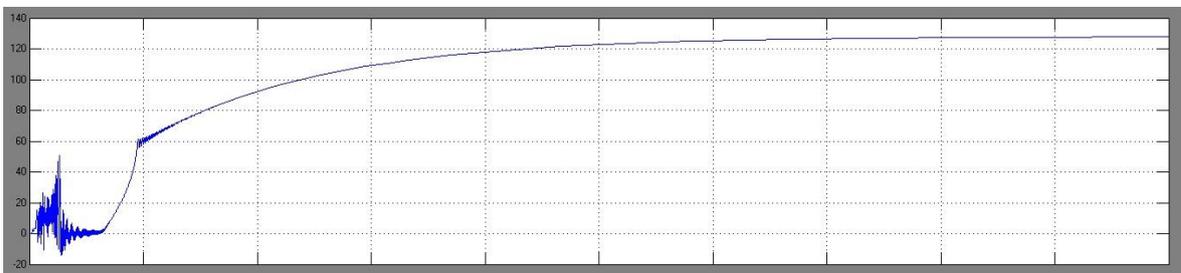


Рис. 10. Скорость асинхронного электродвигателя при пониженном напряжении двигателя постоянного тока

После проведения исследований на компьютерных моделях можно подвести итоги. Во-первых, оба рассмотренных способа регулирования частоты позволяют добиться плавного регулирования скорости в широком диапазоне. Во-вторых, частота вращения электродвигателя зависит от частоты тока линейно, т. е. изменение происходит пропорционально.

Система с использованием частотного преобразователя создает дополнительные гармоники. Это, в свою очередь, напрямую влияет на качество электрической энергии и работу всего электропривода в целом. Система на основе электрических машин не имеет этого недостатка и выходное напряжение имеет правильную синусоидальную форму [3]. Основным недостатком являются массогабаритные показатели системы, особенно это важно при работе в составе электроприводов на судах, а также электроприводов большой мощности.

### Литература

1. *Марченко А.А.* Энергоэффективное нагружение асинхронных электродвигателей в процессе послеремонтных испытаний / А.А. Марченко, Н.Н. Портнягин // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – СПб.: ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова. – 2014. – Вып.6. – С. 76–84.
2. *Черных И.В.* Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink / И.В. Черных. – М.: ДМК Пресс, СПб.: Питер, 2008. – 288 с.
3. *Марченко А.А.* Испытания асинхронного электродвигателя под номинальным током в режиме противовключения и понижения частоты напряжения / А.А. Марченко // Электротехнические и информационные комплексы и системы. – Уфа, 2014. – Т. 10, № 4. – С. 25–32.

УДК 620.91

**А.О. Шуваева<sup>1</sup>, С.Ю. Труднев<sup>2</sup>, Н.Н. Портнягин<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683980;*

<sup>3</sup>*Российский государственный университет нефти и газа  
(национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина,  
Москва, 119991  
e-mail: alena.kozyrkova@gmail.com*

### **АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ ЗНАЧЕНИЙ СКОРОСТИ ВЕТРА В ШЕЛЬФОВЫХ МОРЯХ РОССИИ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В СИСТЕМАХ АВТОНОМНОЙ КАТОДНОЙ ЗАЩИТЫ**

В статье рассматриваются альтернативные источники энергии для питания систем катодной защиты для нефте- и газопроводов. В частности, рассматривается источник альтернативной энергии – ветер. Показано, что этот вид возобновляемой энергии более перспективный и экономически выгодный, чем традиционные. Возможно его применение для катодной защиты с внешним источником тока.

**Ключевые слова:** коррозия, источник питания, ветроэнергетическая установка, катодная защита, силовой модуль.

**A.O. Shuvaeva<sup>1</sup>, S.Yu. Trudnev<sup>2</sup>, N.N. Portnyagin<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>*Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003;*

<sup>3</sup>*National University of Oil and Gas (National Research University) named after I.M. Gubkin,  
Moscow, 119991  
e-mail: alena.kozyrkova@gmail.com*

### **ANALYSIS OF STATISTICAL VALUES OF WIND SPEED IN THE SHELF SEAS OF RUSSIA AND ITS USE IN AUTONOMOUS CATHODIC PROTECTION SYSTEMS**

The article discusses alternative energy sources for supplying cathodic protection systems for oil and gas pipelines. In particular, the source of alternative energy is considered the wind. It is shown that this type of renewable energy is more promising and economically profitable than traditional ones. It can be used for cathodic protection with an external current source.

**Key words:** corrosion, power source, wind power installation, cathodic protection, power module.

На сегодняшний день основную роль в увеличении добычи нефти и газа, как правило, играет освоение новых морских нефтяных месторождений. Шельфы морей в среднем изучены всего на 7%, в то время как основные сухопутные нефтегазоносные регионы – более чем на 50%. Поэтому потенциал шельфовых запасов огромен. Также следует отметить, что в настоящее время больше трети добытой нефти и газа во всем мире поступает из морских источников.

При освоении и разработке новых морских нефтяных месторождений необходимо строительство эстакад, индивидуальных оснований, площадок под буровые установки и других сооружений. Металлические конструкции в морских условиях подвергаются постоянной интенсивной коррозии, что приводит к их разрушению, а это снижает как промышленную, так и пожарную безопасность платформы в целом. Применение возобновляемых источников энергии совместно с системой катодной защиты способно дать значительный экономический и экологический эффект. Увеличение срока между восстановительными мероприятиями путем совершенствования технической части автономного источника электрической энергии с внешним источником тока и самостоятельного контроля бесперебойной подачи для обеспечения работы устройства катодной защиты является актуальной проблемой.

Одним из оптимальных методов по увеличению эффективности защиты от коррозии является катодная электрохимическая защита нефтегазовых платформ. Это доказывают исследования, которые проводили такие деятели науки, как к. т. н. А.С. Наботова и к. т. н. В.З. Нгуен. Также научные школы под руководством А.А. Фатхуллина и С.Я. Дунаевского регулярно разрабатывают методы по совершенствованию систем катодной электрохимической защиты [1].

В рамках данной статьи были поставлены следующие задачи:

1. Проанализировать статистические значения скорости ветра в нефте- и газодобывающих районах.

2. Провести обзор существующих ветроэнергетических установок (ВЭУ), применяемых для питания систем катодной защиты с автономным источником питания, выявить достоинства и недостатки.

Катодная защита с внешним источником тока получила наибольшее распространение вследствие простоты монтажа и эксплуатации, высокой технологичности и невысокой стоимости. Обычно применяют автономные катодные станции, содержащие источники постоянного тока, такие как термоэлектрогенераторы, ветроэлектрогенераторы, турбоальтернаторы и фотоэлектрогенераторы.

Однако при использовании альтернативных источников электрической энергии в системах катодной защиты, в частности на морских нефтяных установках, существует значительный недостаток – ограниченная выходная мощность. Так, для обеспечения работы оборудования катодной защиты с минимальным значением потребляемой мощности 200 Вт необходим ветрогенератор с диаметром лопастей 3 м, при этом скорость ветра должна составлять не менее 4,5 м/с.

В климатических условиях территории Российской Федерации в зависимости от времени года и районов ветровая активность отличается в разы. На рис. 1 наглядно представлены районы нефте- и газодобычи России.



Рис. 1. Основные нефтяные и газовые бассейны

Рассмотрим ветряные характеристики, в частности скорость ветра для морей арктического региона России, где добывается более чем 90% всего отечественного газа и около 10% нефти. На рис. 1 видно, что большая часть нефтегазовых запасов находится в Баренцевом, Карском и Охотском морях. Ниже приведены графики зависимости средней скорости ветра от времени года для этих морей.

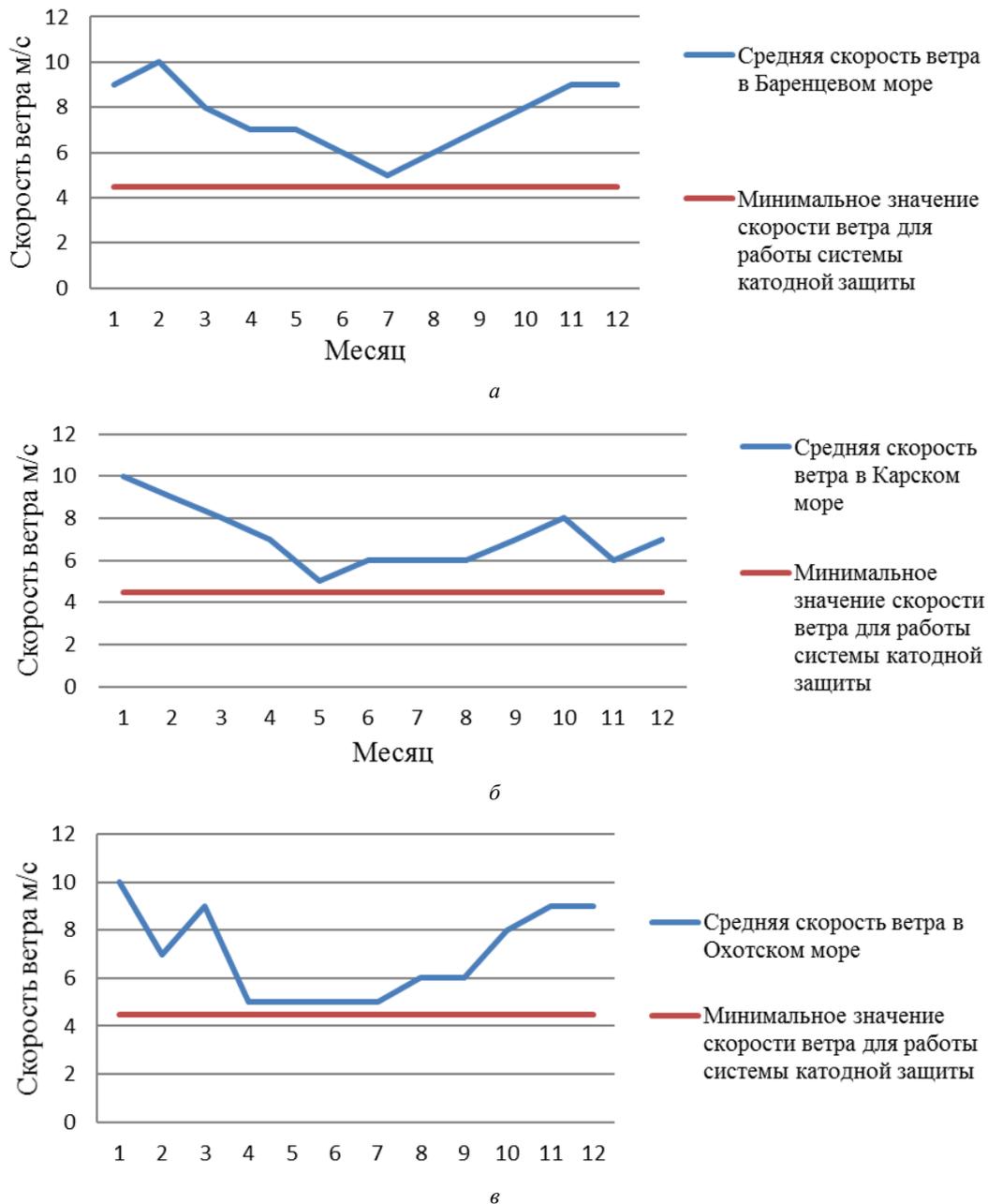


Рис. 2. Зависимость средней скорости ветра от времени года: а – в Баренцевом море; б – Карском море; в – Охотском море

Из этих графиков можно сделать вывод, что за наблюдаемый период времени средняя скорость ветра во всех морях не опускается ниже отметки минимального значения для эффективной работы системы катодной защиты. Но в весенне-летний период происходит достаточное снижение активности ветра. В таких условиях наиважнейшим фактором является энергоэффективность оборудования, работающего с альтернативным источником энергии.

На сегодняшний день все существующие системы катодной защиты работают на переменном токе 220 В. Для работы от постоянного тока необходимо применение дополнительных инверторных установок, что приводит к потере 15–20% мощности. С учетом КПД среднестатистических используемых станций катодной защиты порядка 80–85% общие потери могут составить до 40%.

Чтобы компенсировать эти потери необходимократно увеличивать габаритные размеры ветрогенераторных установок, что соответственно приводит к увеличению их стоимости. Это противоречит одной из основных задач – снижению затрат. Для решения этой проблемы необходимо применять станции катодной защиты напряжением питания 12–48 В постоянного тока, основными элементами которых являются силовые модули и модули управления [2].

Силовые модули катодной защиты включают в себя полупроводниковые устройства, применяемые для построения элементов электротехнических систем различного назначения: выпрямители, инверторы, преобразователи напряжения или преобразователи частоты. В свою очередь модули управления состоят из устройств, которые обеспечивают следующие параметры и режимы работы: управление и измерение выходного напряжения, выходного тока, защитного потенциала сооружения и мониторинг датчика коррозии [3]. Также данный модуль может быть использован для управления источниками питания любого типа, имеющими внешний аналоговый вход управления.

Итак, ветроэнергетические установки целесообразно применять для питания систем катодной защиты, расположенных в шельфовых морях России. Данный вывод можно сделать, исходя из данных анализа скорости ветра и его интенсивности в течение года.

### Литература

1. *Труднев С.Ю.* Исследование работы импульсного стабилизатора напряжения для питания катодной защиты морских платформ / С.Ю. Труднев, А.О. Шуваева // Вестн. Гос. ун-та морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова. – 2018. – № 4 (50). – С. 818–827.

2. *Dar M., Yusuf A.* Experimental study on innovative sections for cold formed steel beams // Steel and Composite Structures: AnInt'l Journal. – South Korea, 2015. – Vol. 19, № 6. – P. 545–554.

3. *Труднев С.Ю.* Разработка компьютерной модели параллельной работы генераторного агрегата и трехфазного безынерционного источника питания / С.Ю. Труднев // Вестник Гос. ун-та морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова. – 2015. – Вып. 2 (30). – С. 191–198.

УДК 621.395:613.16

**В.А. Ямщиков**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: vasya.yamshikov@gmail.com*

### **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ СОТОВОЙ ТЕЛЕФОНИИ**

В докладе рассматривается возможное влияние электромагнитного излучения мобильного телефона на биоэнергетические процессы в организме человека. Делается попытка определить параметры уровня воздействия сотового телефона на организм человека.

**Ключевые слова:** телефон, человек, организм, воздействие, излучение.

**V.A. Yamshnikov**

*Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: vasya.yamshikov@gmail.com*

### **ENVIRONMENTAL DANGER OF CELLULAR TELEPHONY**

The article discusses a possible impact of electromagnetic radiation of a mobile phone on the bioelectric processes on the human organism. An attempt to determine parameters of the level of cell phone impact on the human organism.

**Key words:** telephone, human, organism, impact, radiation.

Для передачи информации в мобильной телефонии используется электромагнитное излучение сверхвысоких частот. Для оценки энергетических параметров этого диапазона частот используется плотность потока мощности. Поскольку человеческий организм состоит из воды и разного рода солей, то электромагнитная энергия способна им поглощаться. Для оценки этой способности введен такой параметр, как удельный коэффициент поглощения (УКП). В иностранной литературе он обозначается как Specific Absorption Rate (SAR) и имеет размерность Вт/кг. Принято считать, что этот параметр не должен превышать 2 Вт/кг. В зависимости от ценового сегмента мобильные телефоны имеют УКП на уровне от 0,5 до 1 Вт/кг.

С начала массового использования мобильных телефонов стали фиксироваться случаи жалоб на неприятные ощущения в органах человека, вблизи которых находится телефон. Например, люди с заболеваниями сердечно-сосудистой системы начали обращаться в больницы с жалобами на появление болей в груди в то время, когда они носят телефон в нагрудном кармане. Данный факт заинтересовал ученых, которые начали проводить соответствующие исследования.

Обычно воздействие электромагнитного излучения телефона сводится к нагреву тканей человеческого организма. Практика показывает, что при обычной длительности разговора в пять минут происходит повышение температуры места, к которому был приложен телефон, в среднем на 1–2 градуса. Даже такое, казалось бы, незначительное изменение температуры вблизи головного мозга способно привести к тому, что будет нарушен весь режим работы организма человека. По мнению некоторых ученых, регулярное и длительное использование телефона способно спровоцировать развитие рака ротовой полости, головного мозга и околоушной железы.

На наш взгляд, при оценке воздействия электромагнитного поля на организм человека не следует учитывать только тепловые эффекты. Если исходить из скин-эффекта, то с учетом величины частоты электромагнитного телефона и состава плазмы человеческого тела, глубина проникновения в него невелика. И, следовательно, прогрев внутренних органов человека маловероятен. Вместе с тем нервная система человека генерирует собственное электромагнитное

поле. Если внешнее поле более мощное, нежели собственное поле человека, то функционирование нервной системы может быть нарушено.

Тогда становится понятным, почему наблюдения за экспериментальной группой добровольцев показало, что излучение сотового телефона способно привести к необратимым изменениям головного мозга (рис. 1).



Рис. 1. Излучение сотового телефона способно привести к раку головного мозга

Многие из тех, кто постоянно пользуется телефоном, начинают испытывать следующие ощущения:

- 1) головокружение;
- 2) проблемы со зрением;
- 3) невозможность сконцентрировать внимание;
- 4) нарушение координации.

В особо тяжелых случаях отмечается временное ухудшение памяти и признаки тошноты.

Сотовый телефон – это компактное устройство, которое при разговоре находится ушной раковины, т. е. источник электромагнитного излучения находится непосредственно у головного мозга. Известно, что с расстоянием интенсивность поля убывает, тогда одним из самых простых способов снижения влияния электромагнитного телефона на мозг является включение громкоговорителя. Безоговорочным плюсом данного способа является то, что телефон может находиться на определенном расстоянии от головы, что помогает снизить воздействие излучения на мозг и сетчатку глаза.

Снизить негативное влияние можно, приобретая мобильный телефон с низкой мощностью передатчика, что при нахождении в пределах города, где ретрансляторы мобильной связи установлены достаточно близко, позволяет обеспечивать устойчивую сотовую связь.

Особо следует обратить внимание на места хранения телефона. Не рекомендуется хранить их в карманах, расположенных:

- 1) на груди;
- 2) животе;
- 3) вблизи половых органов.

Следовательно, надо отказаться от ношения сотовых телефонов в карманах одежды и стараться убрать телефон в специальный чехол или рюкзак.

Сотовый телефон играет в жизни современного человека существенную роль, но для минимизации потерь здоровья необходимо выполнение простейших рекомендаций, озвученных в материале.

## Литература

1. Зайцева В. Уровень безопасности / В. Зайцева // Здоровье детей. – 2008. – № 1 [Электронный ресурс]. – URL: <https://zdd.1sept.ru/article.php?ID=200800105> (дата обращения: 02.10.2019).
2. Влияние мобильного телефона на организм человека [Электронный ресурс]. – URL: [http://studbooks.net/1417068/bzhd/vliyanie\\_mobilnogo\\_telefona\\_organizm\\_cheloveka](http://studbooks.net/1417068/bzhd/vliyanie_mobilnogo_telefona_organizm_cheloveka) (дата обращения: 02.10.2019).
3. Влияние сотового телефона на подростков [Электронный ресурс]. – URL: <https://edudocs.info/islledovatelskaya-rabota-studentov-uirs.html> (дата обращения: 02.10.2019).
4. Как электромагнитное излучение влияет на человека? [Электронный ресурс]. – URL: <https://otravilsya.com/izlucheniya/ehlektromagnitnye/kak-elektromagnitnoe-izluchenie-vliyaet-na-cheloveka> (дата обращения: 02.10.2019).

УДК 620.19:629.5.023

**Д.П. Ястребов, О.А. Белов, В.А. Швецов, А.П. Ушакевич, Г.В. Кузнецов**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: restart1101@mail.ru*

### **О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХЛОРСЕРЕБРЯНЫХ ЭЛЕКТРОДОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СИСТЕМ ПРОТЕКТОРНОЙ ЗАЩИТЫ СТАЛЬНОГО КОРПУСА СУДНА**

Коррозия – одна из причин износа судов, снижения их прочности и безопасности. Борьба с коррозией на флоте является приоритетной государственной задачей. Решение этой задачи невозможно без подготовки операторов и обмена опытом в области контроля работы систем защиты судов и кораблей от коррозии. В работе представлены результаты измерения потенциала корпуса катера РУМ 52-22 в заданной контрольной точке с помощью мультиметра MASTECHMY 62 и двух контрольных электродов. В качестве первого контрольного электрода использован электрод собственной конструкции, изготовленный из электроугольного изделия для электрических машин. Стандартный переносной хлорсеребряный электрод сравнения использовался в качестве второго электрода. Оба электрода были в эксплуатации в течение трех лет. Исследуемое судно находилось в длительном стояночном режиме. Контрольные измерения выполняли с 23.05.19 по 07.07.19 г., при этом контролировали потенциал корпуса трижды в день с помощью пяти параллельных измерений. Интервал времени между параллельными измерениями потенциала примерно 5 секунд. Измерения потенциала корпуса выполнял специально подготовленный оператор. Точность измерений оценивали с помощью коэффициента вариации. Анализ выполненных исследований показал, что точность результатов контроля протекторных систем защиты от коррозии судов и кораблей зависит от выбора типа контрольного электрода. Установлено, что на эффективность работы хлорсеребряного электрода сравнения сильное воздействие оказывает срок его эксплуатации. Результаты натуральных коррозионных исследований могут быть использованы экипажами судов для обоснования выбора контрольных электродов.

**Ключевые слова:** коррозия стальных корпусов судов и кораблей, контроль систем протекторной защиты, контрольные электроды, потенциал корпуса судна.

**D.P. Yastrebov, O.A. Belov, V.A. Shvetsov, A.P. Ushakevich, G.V. Kuznetsov**

*Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: restart1101@mail.ru*

### **ON THE EXPEDIENCY OF USING SILVER CHLORIDE ELECTRODES FOR MONITORING SYSTEMS OF PROTECTIVE PROTECTION OF THE STEEL HULL OF A SHIP**

Corrosion is one of the causes of wear and tear of ships, reducing their strength and safety. The fight against corrosion in the fleet is a priority state task. The solution of this problem is impossible without training of operators and exchange of experience in monitoring the operation of vessels and ship protection systems against corrosion. The paper presents the results of measuring the potential of the hull of the boat RUM 52-22 at a given control point using a multimeter MASTECHMY 62 and two control electrodes. As the first control electrode, an electrode of our own design, made of an electric carbon product for electric machines, was used. A standard portable silver chloride reference electrode was used as the second electrode. Both electrodes have been in operation for three years. The investigated vessel was in a long-term parking mode. Control measurements were performed from 23.05.19 to 07.07.19, while monitoring the potential of the body three times a day using five parallel measurements. The time interval between parallel potential measurements is approximately 5 seconds. The hull potential measurements were performed by a specially trained operator. The accuracy of the measurements was estimated using the coefficient of variation. Analysis of the research showed that the accuracy of testing results cathodic protection systems against corrosion of ships depends on the choice of the type of the control electrode. It is established that the efficiency of the silver chloride electrode has a very strong impact on its service life. The results of full-scale corrosion studies can be used by ship crews to justify the choice of control electrodes.

**Key words:** corrosion of steel hulls of ships, control of tread protection systems, control electrodes, ship's hull potential.

Коррозия – одна из главных причин износа судов и кораблей, снижения их прочности и безопасности [1, 2]. Борьба с коррозией на флоте является приоритетной государственной задачей [3–6]. Решение этой задачи невозможно без организации эффективной подготовки операторов, контролирующей работу систем защиты судов и кораблей от коррозии [7–13]. Подготовка операторов невозможна без обмена опытом в области защиты судов и кораблей от коррозии [2, 11–13].

*Цель статьи* – обмен опытом, необходимым для выбора электродов, используемых при контроле систем протекторной защиты стальных судов и кораблей.

Измеряли потенциал корпуса катера РУМ 52-22 в заданной контрольной точке [10] с помощью электроизмерительного прибора (мультиметр MASTECHMY62) и двух контрольных электродов. В качестве первого контрольного электрода использовали электрод собственной конструкции [14], изготовленный из электроугольного изделия для электрических машин. Данный электрод эксплуатировался в течение трех лет. В качестве второго электрода использовали переносной хлорсеребряный электрод сравнения (ХСЭ) [4–6]. Этот электрод также находился в эксплуатации в течение трех лет. Судно находилось в длительном стояночном режиме у причала № 1 морского рыбного порта г. Петропавловска-Камчатского. Схема соединения элементов контрольной электрической цепи приведена на рис. 1.

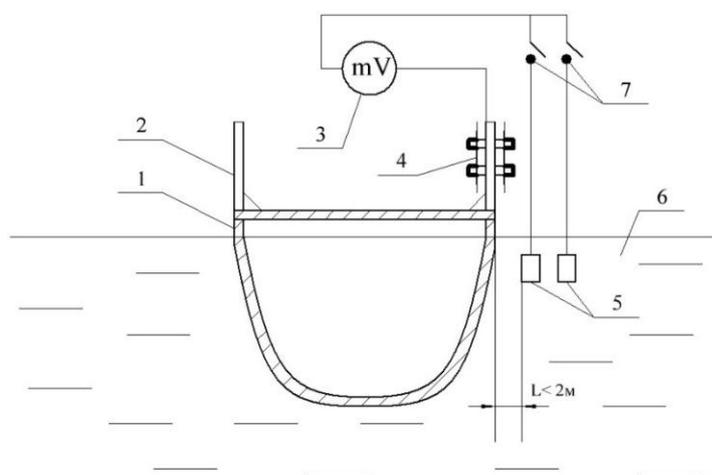


Рис. 1. Схема соединения элементов контрольной электрической цепи, используемой для измерения потенциала корпуса судна:

1 – корпус судна; 2 – фальшиборт судна; 3 – переносный мультиметр;  
4 – прижимной контакт; 5 – переносные электроды; 6 – морская вода; 7 – выключатели

Измерения выполняли в соответствии с рекомендациями [7–13]. Измерения выполняли в период времени с 23.05.19 по 07.07.19, при этом контроль потенциала корпуса выполняли три раза в день (9:00; 14:00; 19:00 ч) с помощью пяти параллельных измерений. Интервал времени между параллельными измерениями потенциала примерно 5 с. Все измерения потенциала корпуса выполнил специально подготовленный оператор [11–13]. Точность измерений оценивали с помощью коэффициента вариации  $V, \%$  [15].

Результаты натурных коррозионных исследований приведены на рис. 2.

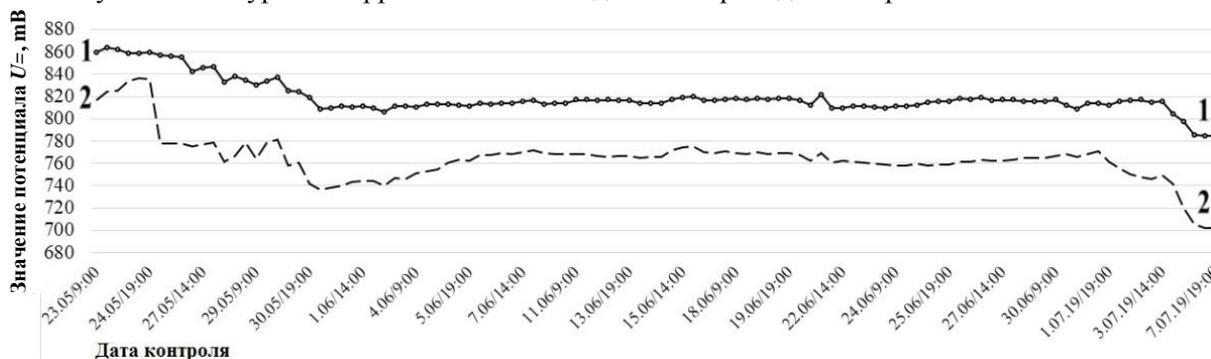


Рис. 2. Динамика изменений потенциала корпуса катера РУМ 52-22 в период с 23.05.19 по 7.07.19:

1 – значения потенциала корпуса судна, полученные с помощью электрода № 1;  
2 – значения потенциала корпуса судна, полученные с помощью электрода № 2

Из рис. 2 следует, что при использовании электрода № 1 значения потенциала корпуса, полученные с помощью данного электрода, изменились незначительно. При этом они соответствуют реальному состоянию системы протекторной защиты судна. Следует отметить, что результаты измерений потенциала корпуса катера РУМ 52-22, полученные в это же время с помощью ХСЭ, существенно различаются между собой. За время выполнения исследований результаты измерений потенциала, полученные с помощью ХСЭ, снизились от 837 до 702 мВ. В соответствии с этими результатами система протекторной защиты судна подлежит ремонту [4–6]. Таким образом, длительная эксплуатация ХСЭ привела к неадекватным результатам контроля защищенности корпуса судна от коррозии.

Из результатов выполненных исследований следует:

- а) точность результатов контроля протекторных систем защиты от коррозии судов и кораблей в первую очередь зависит от выбора типа контрольного электрода;
- б) на достоверность результатов измерений, полученных с помощью ХСЭ, оказывает влияние срок эксплуатации данного электрода;
- в) результаты натуральных коррозионных исследований могут быть использованы экипажами судов для обоснования выбора электродов для контроля систем протекторной защиты стальных судов и кораблей.

### Литература

1. *Зобочев Ю.Е.* Защита судов от коррозии и обрастания / Ю.Е. Зобочев, Э.В. Солинская. – М.: Транспорт, 1984. – 174 с.
2. *Швецов В.А.* Контроль систем протекторной защиты стальных судов и кораблей: Монография / В.А. Швецов, О.А. Белов, П.А. Белозеров, Д.В. Шунькин. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2016. – 109 с.
3. *Коробцов И.М.* Техническое обслуживание и ремонт флота / И.М. Коробцов. – М.: Транспорт, 1975. – 195 с.
4. РД 31.28.10-97 Комплексные методы защиты судовых конструкций от коррозии [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200049727> (дата обращения: 07.04.2017).
5. ГОСТ 9.056-75. Стальные корпуса кораблей и судов. Общие требования к электрохимической защите при долговременном стояночном режиме [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200015017> (дата обращения: 20.07.2015).
6. ГОСТ 26501-85. Корпуса морских судов. Общие требования к электрохимической защите. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 7 с.
7. *Белов О.А.* Обоснование оптимальной периодичности контроля работы протекторной защиты стальных корпусов судов / О.А. Белов, В.А. Швецов, Д.П. Ястребов // Эксплуатация морского транспорта. – 2017. – № 1 (82). – С. 41–48.
8. Внедрение усовершенствованного способа контроля систем протекторной защиты стальных корпусов судов камчатского флота / О.А. Белов, В.А. Швецов, Д.П. Ястребов и др. // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2017. – Вып. 39. – С. 6–11.
9. *Швецов В.А.* Обоснование возможности исключения внешнего осмотра систем протекторной защиты стальных корпусов судов / В.А. Швецов, О.А. Белов, О.А. Белавина, Д.П. Ястребов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2017. – Вып. 1. – С. 29–38.
10. Обоснование способа выбора контрольных точек для измерения защитного потенциала стальных корпусов кораблей и судов / П.А. Белозеров, В.А. Швецов, О.А. Белавина и др. // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2014. – Вып. 28. – С. 6–11.
11. Влияние квалификации оператора на результаты измерения защитного потенциала стальных корпусов кораблей и судов / В.А. Швецов, П.А. Белозеров, Н.В. Адельшина и др. // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2014. – Вып. 30. – С. 46–54.
12. Обоснование выбора необходимого числа параллельных измерений защитного потенциала стальных корпусов кораблей и судов в контрольной точке / В.А. Швецов, П.А. Белозеров, О.А. Белавина и др. // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2016. – Вып. 35. – С. 40–46.

13. Обоснование необходимости подготовки операторов для измерения потенциала стальных корпусов судов и кораблей / В.А. Швецов, О.А. Белов, П.А. Белозеров, О.А. Белавина и др. // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2016. – Вып. 37. – С. 19–24.

14. Пат. 153280 Российская Федерация, U1 МПК G01N 17/02 (2006.01). Устройство для измерения защитного потенциала стальных корпусов кораблей и судов / Швецов В.А., Белозёров П.А., Шунькин Д.В., Диденко А.А., Луценко А.А., Коростылёв Д.В., Белавина О.А. / заявитель и патентообладатель Камчатский государственный технический университет (RU). – № 2014142289/28; заявл. 20.10.2014. опубл. 10.07.2015, Бюл. № 19.

15. ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200089016> (дата обращения: 23.07.2019).

УДК 620.19:629.5.023

**Д.П. Ястребов, О.А. Белов, В.А. Швецов, О.А. Белавина, С.А. Зайцев**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: restart1101@mail.ru*

## **К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТАЛЬНЫХ ПЛАСТИН ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОТЕКТОРНОЙ ЗАЩИТЫ КОРПУСОВ СУДОВ И КОРАБЛЕЙ**

Коррозия – одна из главных причин износа судов и кораблей, снижения их прочности и безопасности. Борьба с коррозией на флоте является приоритетной государственной задачей. Решение этой задачи невозможно без совершенствования контроля работы систем защиты судов и кораблей от коррозии. Для этого необходим обмен опытом в области защиты судов и кораблей от коррозии. В работе представлены результаты измерения разности потенциала между корпусом МБ-105 и шлифованными стальными пластинами, изготовленными из судокорпусной стали производства России и Украины, выполненные с помощью мультиметра MASTECHMS 8261. Исследуемое судно находилось в длительном стояночном режиме. Измерения выполняли в период времени с 05.07.19 по 17.07.19, при этом контроль протекторной защиты корпуса судна выполняли один раз в день с помощью 15 параллельных измерений. Интервал времени между параллельными измерениями разности потенциалов примерно 5 секунд. Все контрольные измерения выполнил специально подготовленный оператор. Точность измерений оценивали на основании результатов оценки метрологических характеристик. Анализ выполненных исследований показал, что точность результатов контроля протекторной защиты корпуса судна в первую очередь зависит от состояния поверхности стальных пластин. Установлено, что дополнительные мероприятия по обработке стальных пластин вызывают у экипажа судна определенные трудности. В связи с чем данный вид контроля протекторной защиты корпуса судна не используется экипажами судов и кораблей.

**Ключевые слова:** коррозия стальных корпусов судов и кораблей, контроль систем протекторной защиты, контрольные стальные пластины, потенциал корпуса судна.

**D.P. Yastrebov, O.A. Belov, V.A. Shvetsov, O.A. Belavina, S.A. Zaitsev**

*Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: restart1101@mail.ru*

## **ON THE ISSUE OF USING STEEL PLATES TO CONTROL THE TREAD PROTECTION OF SHIP AND VESSELS HULLS**

Corrosion is one of the main reasons for the deterioration of ships and vessels, reducing their strength and safety. The fight against corrosion in the Navy is a priority state task. The solution to this problem is impossible without improving the control of the operation of ship and ship protection systems against corrosion. This requires the exchange of experience in the field of protection of ships and ships from corrosion. The paper presents the results of measuring the potential difference between the MB-105 hull and polished steel plates made of ship hull steel manufactured in Russia and Ukraine, made using the MASTECH MS 8261 multimeter. The vessel under study is in a long mooring mode. The measurements were carried out in the period from 07/05/19 to 07/17/19, while the tread protection of the hull was performed once a day, using 15 parallel measurements. The time interval between parallel measurements of the potential difference is approximately 5 seconds. All control measurements were performed by a specially trained operator. The accuracy of the measurements was evaluated based on the results of the assessment of metrological characteristics. An analysis of the studies performed that the accuracy of the results of the control of the tread protection of the hull primarily depends on the state of the surface of the steel plates. It has been established that additional measures for the processing of steel plates cause certain difficulties for the crew of the ship, and therefore this type of control of the tread protection of the hull is not used by crews of vessels and ships.

**Key words:** corrosion of steel hulls of vessels and ships, control of tread protection systems, control steel plates, ship's hull potential.

Коррозия – одна из главных причин износа судов и кораблей, снижения их прочности и безопасности [1, 2]. Борьба с коррозией на флоте является приоритетной государственной задачей [3–6]. Решение этой задачи невозможно без совершенствования контроля работы систем защиты судов и кораблей от коррозии [7–13]. Для этого необходим обмен опытом в области защиты судов и кораблей от коррозии [2, 11–13].

*Цель статьи* – обмен опытом, необходимым для контроля систем протекторной защиты стальных судов и кораблей.

Согласно рекомендации [3] измеряли разность потенциалов между корпусом судна МБ-105 (Малый Буксир проекта 714) и шлифованными стальными пластинами, изготовленными из судокорпусной стали производства России и Украины (Р-1, Р-2, У-1, У-2), с помощью электроизмерительного прибора (мультиметр MASTECHMS 8261). Судно находилось в длительном стояночном режиме у причала № 13 торгового порта в г. Петропавловске-Камчатском. Схема соединения элементов контрольной электрической цепи приведена на рис. 1.

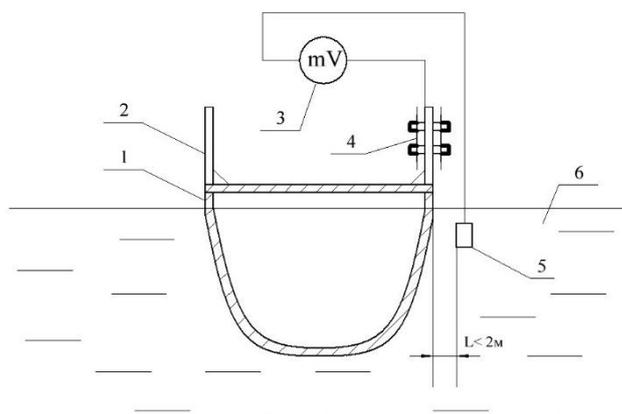


Рис. 1. Схема соединения элементов контрольной электрической цепи, используемой для измерения разности потенциалов: 1 – корпус судна; 2 – фальшборт судна; 3 – переносной милливольтметр; 4 – прижимной контакт; 5 – контрольная стальная пластина; 6 – морская вода

Измерения выполняли в соответствии с рекомендациями [7–13]. Перед измерением сухие шлифованные пластины различного производства погружали на метр в воду для измерения, после завершения измерения стальные пластины вынимали из воды [3]. Измерения выполняли в период времени с 05.07.19 по 17.07.19, при этом контроль разности потенциалов между корпусом судна и контрольными пластинами выполняли один раз в день с помощью 15 параллельных измерений. Интервал времени между параллельными измерениями разности потенциалов примерно 5 с. Все измерения выполнил специально подготовленный оператор [11–13]. Точность измерений оценивали на основании анализа метрологических характеристик [12, 15]. Результаты исследований приведены в таблице и на рис. 2.

Таблица

Результаты измерений разности потенциалов ( $=U$ ,  $mV$ ) между корпусом МБ-105 и шлифованными стальными пластинами, изготовленными из различной судокорпусной стали (Р-1, Р-2, У-1, У-2)

Дата выполнения контроля разности потенциалов	Разность потенциалов между корпусом и стальной пластиной	Интервал значения $C_{1-15}$	Среднее значение $C_c$	Дисперсия $S^2$	Средне-квадратич. отклонение $S$	Коэффициент вариации $V$ , %
1	2	3	4	5	6	7
5.07.19	Р-1	221–239	228,73	29,07	5,39	2,38
	Р-2	177–192	183,60	26,26	5,12	2,79
	У-1	213–215	214,00	0,43	0,65	0,31
	У-2	174–176	175,47	0,98	0,99	0,56
6.07.19	Р-1	199–204	201,33	3,10	1,76	0,87
	Р-2	174–175	174,67	0,24	0,49	0,28
	У-1	141–142	141,67	0,24	0,49	0,34
	У-2	146–147	146,87	0,12	0,35	0,24

1	2	3	4	5	6	7
7.07.19	P-1	211–212	211,20	0,17	0,41	0,20
	P-2	182–184	182,93	0,78	0,88	0,48
	У-1	157–160	158,29	1,30	1,14	0,75
	У-2	172–175	173,67	0,95	0,98	0,56
8.07.19	P-1	104–104	104,00	0,00	0,00	0,00
	P-2	119–119	119,00	0,00	0,00	0,00
	У-1	102–102	102,00	0,00	0,00	0,00
	У-2	88–88	88,00	0,00	0,00	0,00
9.07.19	P-1	118–118	118,00	0,00	0,00	0,00
	P-2	116–117	116,87	0,12	0,35	0,30
	У-1	111–111	111,00	0,00	0,00	0,00
	У-2	104–104	104,00	0,00	0,00	0,00
10.07.19	P-1	36–37	36,80	0,17	0,41	1,13
	P-2	74–75	74,27	0,21	0,46	0,62
	У-1	29–30	29,60	0,26	0,51	1,71
	У-2	80–80	80,00	0,00	0,00	0,00
16.07.19	P-1	10–36	26,80	60,74	7,79	29,08
	P-2	22–80	45,60	292,11	17,09	37,48
	У-1	26–59	37,20	195,03	13,97	37,54
	У-2	33–106	59,60	408,69	20,22	33,92
17.07.19	P-1	10–15	12,93	2,92	1,71	13,22
	P-2	16–20	17,73	1,92	1,39	7,82
	У-1	13–19	15,47	2,12	1,46	9,42
	У-2	44–49	46,60	2,54	1,59	3,42

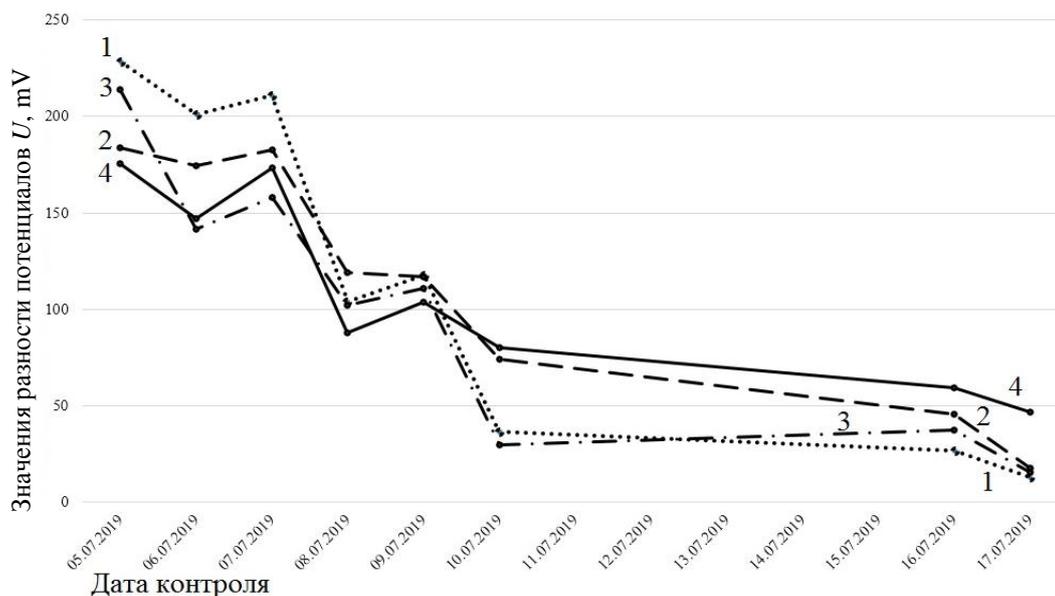


Рис. 2. Динамика изменений потенциалов между корпусом судна МБ-105 и контрольными пластинами в период с 05.07.19 по 17.07.19:

- 1 – значения разности потенциалов, полученные с помощью стальной пластины P-1;
- 2 – значения разности потенциалов, полученные с помощью стальной пластины P-2;
- 3 – значения разности потенциалов, полученные с помощью стальной пластины У-1;
- 4 – значения разности потенциалов, полученные с помощью стальной пластины У-2

Из таблицы и рис. 2 следует, что значения результатов измерения разности потенциалов между корпусом судна и контрольными пластинами, изготовленными из различной судокорпусной стали, изменились значительно. При этом они не соответствуют реальному состоянию системы протекторной защиты корпуса судна. За время выполнения исследования результаты измерения разности потенциалов, полученные с помощью шлифованных металлических пластин, изготовленных из стали российского производства (P-1, P-2) и украинского производства (У-1, У-2), изменились следующим образом. Разность потенциалов между корпусом МБ-105 и стальной пластиной P-1 снизилась на 218,80 мВ. Разность потенциалов между корпусом МБ-105 и стальной пластиной P-2 снизилась на 165,87 мВ. Разность потенциалов между корпусом МБ-105 и сталь-

ной пластиной У-1 снизилась на 198,53 мВ. Разность потенциалов между корпусом МБ-105 и стальной пластиной У-2 снизилась на 128,87 мВ. На основании этих результатов система протекторной защиты корпуса судна подлежит ремонту, однако этот вывод нельзя считать правильным. В результате 13-дневной эксплуатации контрольных стальных пластин, они подверглись коррозии, а т. к. поверхность пластин не очищалась от продуктов коррозии, то произошло существенное изменение результатов измерений.

Таким образом, установлено, что использование контрольных стальных пластин, изготовленных из судокорпусной стали, требует постоянной их обработки. В свою очередь дополнительные мероприятия по обработке стальных пластин вызывают у экипажей судов и кораблей определенные трудности, в связи с чем данный вид контроля разности потенциала корпуса не используется экипажами судов и кораблей.

Из результатов выполненных исследований следует:

а) точность результатов контроля протекторной защиты корпуса судна в первую очередь зависит от состояния поверхности контрольных стальных пластин, изготовленных из судокорпусной стали;

б) мероприятия по обработке стальных пластин, изготовленных из судокорпусной стали, вызывают у экипажа судна определенные трудности, в связи с чем данный вид контроля протекторной защиты корпуса судна не используется экипажами судов и кораблей.

### Литература

1. *Зобочев Ю.Е.* Защита судов от коррозии и обрастания / Ю.Е. Зобочев, Э.В. Солинская. – М.: Транспорт, 1984. – 174 с.
2. *Швецов В.А.* Контроль систем протекторной защиты стальных судов и кораблей: Монография / В.А. Швецов, О.А. Белов, П.А. Белозеров, Д.В. Шунькин. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2016. – 109 с.
3. *Коробцов И.М.* Техническое обслуживание и ремонт флота / И.М. Коробцов. – М.: Транспорт, 1975. – 195 с.
4. РД 31.28.10-97 Комплексные методы защиты судовых конструкций от коррозии [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200049727> (дата обращения: 07.04.2017).
5. ГОСТ 9.056-75. Стальные корпуса кораблей и судов. Общие требования к электрохимической защите при долговременном стояночном режиме [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200015017> (дата обращения: 20.07.2015).
6. ГОСТ 26501-85. Корпуса морских судов. Общие требования к электрохимической защите. М.: Изд-во стандартов, 1985. – 7 с.
7. *Белов О.А.* Обоснование оптимальной периодичности контроля работы протекторной защиты стальных корпусов судов / О.А. Белов, В.А. Швецов, Д.П. Ястребов // Эксплуатация морского транспорта. – 2017. – № 1 (82). – С. 41–48.
8. Внедрение усовершенствованного способа контроля систем протекторной защиты стальных корпусов судов камчатского флота / О.А. Белов, В.А. Швецов, Д.П. Ястребов и др. // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2017. – Вып. 39. – С. 6–11.
9. *Швецов В.А.* Обоснование возможности исключения внешнего осмотра систем протекторной защиты стальных корпусов судов / В.А. Швецов, О.А. Белов, О.А. Белавина, Д.П. Ястребов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2017. – Вып. 1. – С. 29–38.
10. Обоснование способа выбора контрольных точек для измерения защитного потенциала стальных корпусов кораблей и судов / П.А. Белозеров, В.А. Швецов, О.А. Белавина и др. // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2014. – Вып. 28. – С. 6–11.
11. Влияние квалификации оператора на результаты измерения защитного потенциала стальных корпусов кораблей и судов / В.А. Швецов, П.А. Белозеров, Н.В. Адельшина и др. // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2014. – Вып. 30. – С. 46–54.
12. Обоснование выбора необходимого числа параллельных измерений защитного потенциала стальных корпусов кораблей и судов в контрольной точке / В.А. Швецов, П.А. Белозеров, О.А. Белавина и др. // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2016. – Вып. 35. – С. 40–46.

13. Обоснование необходимости подготовки операторов для измерения потенциала стальных корпусов судов и кораблей / В.А. Швецов, О.А. Белов, П.А. Белозеров, О.А. Белавина и др. // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2016. – Вып. 37. – С. 19–24.

14. Пат. 153280 Российская Федерация, U1 МПК G01N 17/02 (2006.01). Устройство для измерения защитного потенциала стальных корпусов кораблей и судов / Швецов В.А., Белозёров П.А., Шунькин Д.В., Диденко А.А., Луценко А.А., Коростылёв Д.В., Белавина О.А. / заявитель и патентообладатель Камчатский государственный технический университет (RU). – № 2014142289/28; заявл. 20.10.2014. опубл. 10.07.2015, Бюл. № 19.

15. ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200089016> (дата обращения: 23.07.2019).

### СЕКЦИЯ 3. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

УДК 656.614.3

**Н.И. Белов, Э.М. Кариева**

*Пермский филиал Волжского университета водного транспорта,  
Пермь, 614060  
e-mail: elvirakarieva@ya.ru*

#### ВНЕДРЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МОРСКИЕ ГРУЗОПЕРЕВОЗКИ

В статье рассматривается актуальность применения морскими перевозчиками современных технологий, которые позволят им сосредоточиться на своем бизнесе, обеспечив максимальную безопасность судов. Основными драйверами для этого становится поиск дополнительной прибыли и обеспечение безопасности. И ключевым элементом трансформации являются цифровые сервисы и технологии.

**Ключевые слова:** морские перевозки, современные технологии, порт, диспетчерские службы порта.

**N.I. Belov, E.M. Karieva**

*Perm branch of Volga University of Water Transport,  
Perm, 614060  
e-mail: elvirakarieva@ya.ru*

#### INTEGRATION OF MODERN TECHNOLOGIES IN SEA CARGO TRANSPORTATION

The article discusses the relevance of the usage of modern technologies by sea carriers that will allow them to focus on their business, ensuring maximum safety of ships. The main drivers for this is the search for additional profits and security. The key element of transformation is digital services and technologies.

**Key words:** sea transportation, modern technologies, port, port dispatching services.

Традиционно на судах, которые занимаются морскими перевозками, применяют системы связи, работающие в УКВ-диапазоне. УКВ-радиостанции обеспечивают связь современного морского судна с оперативно-диспетчерской службой морского порта [11, с. 90].

Любой порт мира использует этот тип связи. Изначально основной системой для охраны человеческой жизни на море и обеспечения безопасности мореплавания морских судов была система связи ПВ/КВ. Она использовалась до середины 90-х годов прошлого века. Сейчас она устанавливается на всех морских судах как резервная система связи и используется только для передачи вызова бедствия и обеспечения аварийного обмена. Используется также спутниковая связь пятого поколения, которая работает по всему земному шару с помощью системы Inmarsat.

Но сегодня возникает необходимость в новых технологиях, которые могли бы обеспечить постоянную связь с каждым грузовым судном, чтобы передавать и получать серьезные массивы информации.

Кроме того растут требования к безопасности. В частности, одно из требований Международной морской организации (International Maritime Organization (ИМО)) заключается в постоянном обновлении навигационных карт. По новым правилам с 2018 г. независимо от порта приписки все суда, отправляющиеся в дальнее плавание, должны постоянно получать и использовать новые карты. В качестве основного стандарта ассоциацией рекомендуется электронно-картографическая навигационно-информационная система (ECDIS), и уже несколько лет все спускаемые на воду новые суда должны быть совместимы с ECDIS.

Эксперты отрасли считают, и мы с ними согласны, что эта задача может быть успешно решена только при наличии двухсторонних спутниковых систем связи. Сейчас активно развивается система спутниковой связи на базе оборудования VSAT и MiniVSAT. Она обеспечивает круглосуточную связь независимо от района нахождения морского судна либо корабля. В ней используется пакетная передача данных, что позволяет круглые сутки находиться судну в сети Интернет [3, с. 55].

Обеспечивается прием и передача различной информации, такой как сообщения электронной почты, графические файлы, файлы данных и различных приложений, таких как MS Office. Кроме того поддерживается передача потокового видео, что позволяет организовать на борту судна видеоконференции и круглые столы с руководством компании как на стоянке, так и в рейсе. Основным направлением развития технологий в морских перевозках станет спутниковая связь на базе терминалов VSAT. Но использоваться будут все системы связи: УКВ, ПВ/КВ.

Согласно изученной литературе [10, с. 134], современные морские перевозчики стремятся к упрощению и удешевлению процессов коммуникаций «на воде». Большинство игроков не хотят тратить ресурсы на управление инфраструктурой связи и желают получить готовую коммуникационную среду в виде сервиса. Использование автоматизированных модулей VSAT, а также подключение к единой среде передачи данных и голосовым сервисам позволяет им сфокусироваться на своем бизнесе, обеспечив максимальную безопасность судов и оптимизируя логистические бизнес-процессы.

К реализации проекта по созданию беспилотного судна присоединился Inmarsat – одна из ведущих мировых компаний в области спутниковой связи, а одно из ведущих мировых классификационных обществ – Регистр Ллойда – выпустило документ, позволяющий классифицировать морские суда по степени их автоматизации. При этом уровень автоматизации «AL 6» подразумевает «полностью автономное судно, не требующее вмешательства в ходе выполнения рейса». Таким образом, очевидно, что некоторые крупные международные компании считают проект судов-роботов практически реализуемым, и подготовка международного морского законодательства к введению таких судов в эксплуатацию идет параллельно с разработкой самих автономных судов. В то же время некоторые специалисты видят ряд проблем во внедрении роботизированных судов как с точки зрения законодательства, так и с точки зрения их фактической эффективности [1, с. 69].

По нашему мнению, несмотря на выгоду от постройки и эксплуатации роботизированных судов, в обозримом будущем не стоит ожидать полного исключения человеческого труда из морского судоходства. Наиболее вероятным видится следующий сценарий: судно-робот в порту отправления выводится из порта под контролем лоцмана и силами буксиров, где удаленно получает команду следовать по заданному маршруту. После прибытия в порт назначения судно останавливается, и робот готовится к принятию на борт лоцмана и буксировке к причалу. Лоцманское же сопровождение должно быть обеспечено такому судну при прохождении сложных проливов и каналов. Такая схема работы позволит полностью отказаться от офицеров-судоводителей. Гарантировать невмешательство в содержимое грузовых трюмов сможет их пломбировка (как это сейчас происходит с контейнерами), а для подписания грузовых документов соответствующая доверенность может быть выдана экспедитору или суперкарго. Таким образом, внедрение роботизированных судов возможно, и, более того, с дальнейшим развитием технологий также неизбежно, как и внедрение беспилотных автомобилей. Однако, как уже говорилось ранее, основным фактором, от которого будет зависеть сценарий и масштаб внедрения таких судов, является выгода их эксплуатации для судовладельцев.

Таким образом, при сегодняшнем технологическом уровне применение полностью роботизированных судов возможно в следующих обстоятельствах: 1) работа преимущественно с контейнеризированными грузами (как с не требующими особой подготовки трюмов суднами); 2) работа в умеренных климатических условиях (должна быть исключена возможность обмерзания судовых конструкций); 3) работа преимущественно на направлениях без проливов и узкостей. Всем этим требованиям удовлетворяет Транстихоокеанский грузопоток Азия – США, в меньшей степени США – Европа, Азия – Европа (не связанный с проходом Суэцким каналом). Работа роботизированных судов в проливах и узкостях возможна при условии, что при проходе их на борту будут присутствовать соответствующие специалисты (местные лоцманы или местный лоцман и квалифицированный судоводитель, представляющий судоходную компанию), которые смогут осуществить проводку судна в режиме ручного управления [9, с. 37].

Рассмотрим, как обстоит дело с технологиями на современном этапе в морских грузоперевозках за рубежом. К примеру, Китай внедряет передовые инновации в морские грузоперевозки. Уже в самое ближайшее время морские грузоперевозки начнет первое в мире смарт-судно, оно было спроектировано в Шанхайском торговом и научно-исследовательском институте торгового транспорта и построено компанией «Huangpu Wenchong Shipbuilding Co» в Гуанчжоу. Китайское общество судовой классификации уже выдало ему сертификат, и его приняла государственная многопрофильная корпорация «China Merchants Group». Компания называет его первым в мире интеллектуальным кораблем, потому что это первое мореплавательное транспортное средство, получившее название «кибербезопасный», «кибер-исполнитель» и «киберподдерживающий» смарт-корабль, принятый британским обществом морской классификации Lloyd's Register.

«I-Dolphin» (такое название получило первое в мире интеллектуальное судно) имеет инновационную навигационную систему, которая в режиме реального времени проводит сбор и анализ данных как о состоянии самого судна, так и окружающей морской среды. На основе обобщенной информации навигационная система разрабатывает оптимальный маршрут, который обеспечит максимальную экономию топлива и времени. Кроме того это позволяет снизить нагрузку на экипаж корабля, повысить эффективность перевозки и избежать форс-мажорных ситуаций.

Длина судна составляет 179 м, ширина – 32 м, грузоподъемность – 38,8 тыс. т. «I-Dolphin» будет выполнять морские грузоперевозки из Китая в Австралию, доставляя соль и уголь.

Китай настойчиво внедряет передовые инновационные технологии в речные и морские грузоперевозки. В ноябре на воду был спущен первый в мире саморазгружающийся электрический сухогруз. Его полное водоизмещение – 2,2 тыс. т, длина – 70,5 м, ширина – 13,9 м, осадка – 3,3 м, расчетная высота борта составляет 4,5 м. В экипаж входит всего 6 человек.

Судно приводится в движение двумя электродвигателями, мощность каждого – 169 кВт. Для запитывания электродвигателей на борту установлен литиевый аккумулятор емкостью 2 400 кВт/ч. Его заряда хватает, чтобы обеспечить автономное плавание дальностью 80 км со скоростью 8 миль в час. Аккумуляторная батарея содержит 1 000 литиево-ионных пачек, которые могут дополняться дополнительными батареями, если груз тяжелее или должен быть доставлен на большее расстояние. Полное время зарядки аккумулятора – 2 ч, это как раз тот срок, который необходим для проведения полной загрузки/разгрузки корабля. Судно спроектировано для выполнения речных перевозок грузов [5, с. 88].

Таким образом, внедрение морской судоходной компанией робототехники для замены человеческого труда на собственных морских судах делает такую компанию более конкурентоспособной, чем компании-конкуренты при прочих равных условиях. Однако при анализе данного вопроса необходимо учитывать такие факторы, как противодействие профсоюзов, а также растущее население стран Азии, что способно привести к появлению значительного числа обученных и «дешевых» работников морской индустрии, которые смогут существенно снизить уровень заработных плат в морской отрасли.

Создаваемая система информационного сопровождения контейнерных перевозок могла бы не только способствовать экспорту морских транспортных услуг России, но и органично интегрироваться в глобальную систему безопасности контейнерных перевозок.

Таким образом, процесс внедрения информационно-компьютерных технологий сегодня необходим и, более того, неизбежен, что обусловлено всевозрастающим объемом подлежащих обработке данных. Обычными, традиционными способами уже не удастся из этого потока извлечь всю полезную информацию и использовать ее для управления предприятием. Определяющим фактором в управлении становится скорость обработки данных и получения нужных сведений. Оборот информации все сильнее влияет на эффективность управления предприятием, его финансовые успехи. Более того, все чаще информацию называют «стратегическим сырьем». В развитых странах Запада расходы на информацию уже превышают расходы на энергетику. И при разумном подходе эти расходы дают положительный результат. Прежде всего, внедрение компьютерного учета и обработки данных существенно повышает производительность труда в сфере документооборота. Современные информационные технологии, построенные на основе использования концепций информационных хранилищ и интеллектуальной обработки данных, сегодня могут обеспечивать 100%-ную отдачу.

### Литература

1. *Алешин Л.И.* Информационные технологии / Л.И. Алешин. – М., 2014. – 384 с.
2. *Гохберг Г.С.* Информационные технологии / Г.С. Гохберг, А.В. Зафиевский, А.А. Короткин. – М.: Академия, 2014. – 208 с.
3. *Грабауров В.А.* Информационные технологии / В.А. Грабауров, С.В. Грабауров, В.Н. Гулин, В.В. Лабоцкий. – М.: Современная школа, 2013. – 432 с.
4. *Елочкин М.Е.* Информационные технологии / М.Е. Елочкин, Ю.С. Брановский, И.Д. Николаенко. – М.: Оникс, 2016. – 256 с.
5. Информатика. Информационные системы. Информационные технологии. Тестирование. Подготовка к Интернет-экзамену / Под ред. Г.Н. Хубаева. – М.: МарТ, Феникс, 2011. – 368 с.
6. Информационные технологии / Под ред. В.В. Трофимова. – М.: Юрайт, 2014. – 632 с.
7. *Коноплева И.А.* Информационные технологии / И.А. Коноплева, О.А. Хохлова, А.В. Денисов. – М.: ТК Велби, Проспект, 2016. – 304 с.
8. *Корнеев И.К.* Информационные технологии / И.К. Корнеев, Г.Н. Ксандопуло, В.А. Машурцев. – М.: ТК Велби, Проспект, 2015. – 224 с.
9. *Мельников В.П.* Информационные технологии / В.П. Мельников. – М.: Академия, 2015. – 432 с.
10. *Синаторов С.В.* Информационные технологии / С.В. Синаторов. – М.: Дашков и Ко, 2014. – 456 с.
11. *Советов Б.Я.* Информационные технологии / Б.Я. Советов, В.В. Цехановский. – М.: Высшая школа, 2015. – 264 с.

УДК 796:656.6

**М.Ю. Бобров, В.Д. Гуров**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: slavik.gurov.00@mail.ru*

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ДЛЯ ЭКИПАЖЕЙ СУДОВ**

Для эффективного выполнения поставленных задач и обеспечения качественной эксплуатации судовых технических средств необходимо поддержание хорошей физической формы моряка. Несмотря на ограниченные возможности занятия спортом в судовых условиях, для поддержания общей физической формы членов экипажа необходим специальный комплекс упражнений, который позволит морякам ощущать себя лучше, здоровее, выносливее и поможет быстрее акклиматизироваться к условиям эксплуатации судна в море.

**Ключевые слова:** физическая культура, физическая выносливость, спортивные упражнения, человеческий фактор, техническая эксплуатация, безопасность.

**M.Yu. Bobrov, V.D. Gurov**

*Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail:slavik.gurov.00@mail.ru*

## **ORGANIZATION OF PHYSICAL TRAINING FOR SHIP CREWS**

For the effective implementation of the tasks and ensuring the quality operation of the ship's technical equipment, it is necessary to maintain a good physical shape of the sailor. Despite the limited opportunities for playing sports in ship conditions, a special set of exercises is needed to maintain the general physical form of the crew members, which will allow sailors to feel better, healthier, more enduring, and will help them quickly acclimatize to the operating conditions of the vessel at sea.

**Key words:** physical culture, physical endurance, sports exercises, human factor, technical operation, safety.

Работа в море отнесена к одной из десяти самых опасных профессий в мире. Тщательное изучение потенциальных опасностей заставляет осознать, что безопасная эксплуатация судна и надежное функционирование судовых технических средств во многом зависят от так называемого человеческого фактора, который определяется в т. ч. психофизиологическим состоянием экипажа и способностью каждого моряка противостоять физическим и психологическим нагрузкам [1].

Обзор основных факторов снижения безопасности судна [2] показывает, что в общем алгоритме развития опасных ситуаций в судовых условиях человеческий фактор занимает центральную позицию [3], и при анализе надежности и безопасности эксплуатации судна необходимо учитывать его влияние [4]. А это значит, что физической подготовке экипажа должно уделяться соответствующее внимание.

Первый этап подготовки личного состава, в плане адаптации к физической нагрузке, начинается в профильных учебных заведениях на занятиях по физической культуре. Цель занятий – развить в будущих моряках такие физические качества, как сила, ловкость, быстрота, выносливость, командное чувство, умение быстро принимать правильные решения в сложных ситуациях. Ведь от состояния экипажа судна зависят выполнение тех или иных задач, предотвращение аварийных ситуаций на море, качественная эксплуатация технических средств и скорость принятия правильных решений в экстремальных ситуациях [5].

На занятиях по физической культуре курсанты и студенты осваивают и совершенствуют различные упражнения из таких видов спорта, как легкая атлетика, пауэрлифтинг, настольный теннис, футбол, волейбол, баскетбол, кроссфит и т. д. Активно применяется метод круговой тренировки [6].

Подобный организационный прием применения методов упражнения позволяет не только дифференцированно развить физические качества (силу, быстроту, выносливость), но и их комплексные формы проявления (силовую, скоростную, скоростно-силовую направленность). Необходимо во время занятий осуществлять медицинский контроль и самоконтроль физического состояния обучающихся.

На базе вуза студенты и курсанты проходят базовую физическую подготовку, необходимую для работы в море, выполнения поставленных перед ними задач, но, как показывает практика, дальнейшее совершенствование физической подготовки зависит от личных качеств моряка, организации на судах трудового процесса, оснащения судов необходимым минимумом спортивного оборудования, бережного отношения к здоровью членов экипажей руководства компании и капитанов судов.

Здоровье членов экипажа продолжает оставаться одним из основных вопросов судоходной отрасли. Многим морякам сложно поддерживать себя в хорошей физической форме и обеспечивать организм необходимыми физическими нагрузками, месяцами находясь в рейсе. Особенно если на борту нет спортивной каюты или хотя бы одного-двух тренажеров. Вместе с тем хорошая физическая подготовка имеет первостепенное значение, т. к. любая работа в море требует выносливости, и трудности, с которыми обычно сталкивается моряк, невозможно преодолеть без крепкого здоровья.

Руководству судоходных и рыбодобывающих компаний необходимо изыскивать возможность и средства для размещения на судах компаний хотя бы минимального количества спортивного инвентаря: скакалок, платформ Босу, минимального набора гантелей, боксерской груши, петель TRX, перекладины для подтягиваний, брусьев для отжиманий, фитнес-мультистанции, велотренажеров, эллипсоидов, беговых дорожек, степперов.

Именно поэтому работникам флота стоит обратить внимание на кроссфит (crossfit) – круговую тренировку (когда упражнения постоянно повторяются, как бы замыкаясь в цепочку), которая основывается на выполнении определенного комплекса упражнений за минимальное время. Преимущество кроссфита заключается в возможности заниматься им не только в спортзале, а практически где угодно, в т. ч. и на судне – для поддержания хорошей физической формы хватит и упражнений с собственным весом. Развитие фитнес-индустрии в последнее время позволяет заниматься физическими упражнениями в условиях стесненного пространства и ограниченного свободного времени. Наиболее подходящим для этого является комплекс упражнений, выполняемый с собственным весом, с так называемыми петлями TRX. В комплексе используются нагрузки, направленные на развитие сразу нескольких физических качеств, таких как сила, выносливость и ловкость. В связи с этим подготовку по системе кроссфит обычно делят на три составные части: тяжелая атлетика, гимнастика и кардио [7].

Организация физической подготовки для экипажей судов может строиться на следующем комплексе упражнений, специально разработанном для судовых условий:

1) разминка (легкий бег на месте 2–3 мин, наклоны головой, рывки руками, рывки руками с поворотом корпуса в правую и левую стороны, всевозможные наклоны корпуса, круговые движения корпуса и таза, махи ногами, легкие выпады на правую и левую ноги поочередно, отжимания от пола, легкие приседания);

2) прыжки на скакалке, 4 подхода по 1 мин;

3) подтягивания на перекладине, 4–5 подходов 10–12 повторений;

4) отжимания от пола или на брусьях, 4–5 подходов 10–15 повторений;

5) подъем ног в висе на перекладине, 4–5 подходов по 15–20 повторений;

6) упражнения с гантелями (жим гантелями, сидя на наклонной скамье, разведение гантелей, стоя через стороны, 4–5 подходов по 10–15 повторений);

7) заминка (всевозможные дыхательные упражнения, направленные на расслабление мышц, восстановление дыхания, упражнения из комплекса по йоге).

Во время выполнения упражнений необходимо следить за самочувствием, избегать перегрузок. Рекомендуется выполнять комплекс на свежем воздухе и при хорошей погоде. Не рекомендуется выполнять упражнения во время качки на море, после длительных и утомительных вахт и судовых работ. Во время стоянок в портах необходимо организовывать всевозможные спортивные состязания как между членами экипажа, так и с другими экипажами судов (футбол, бадминтон, теннис, волейбол, перетягивание каната) [8].

Российский профсоюз моряков отмечает, что помимо физической активности также рекомендуется соблюдать нормы питания: не переедать, стараться употреблять в пищу только полезные продукты. В рацион судов необходимо включать комплекс мультивитаминов и минералов, а также биологически активные добавки, позволяющие экипажам судов адаптироваться к неблагоприятным условиям и большим физическим и психологическим нагрузкам. Также необходимо организовывать комплекс восстановительных процедур (финская сауна, расслабляющий массаж, соляная комната). Необходим строгий медицинский контроль за членами экипажа (замеры артериального давления, прохождение медицинских комиссий, организация труда и отдыха экипажа судна).

Моряку, который вернулся домой, нужно восстановиться и почувствовать почву под ногами. В первые двое-трое суток после рейса врачи рекомендуют ограничивать длительность и интенсивность физических нагрузок, исключать другие факторы риска (переохлаждение, травмы, резкое изменение температур, пребывание на ветру, под палящим солнцем), не менять кардинально режим питания, не злоупотреблять алкоголем. Отлично помогает адаптироваться к новому режиму длительный сон – по 10–12 ч в сутки.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что только комплексный подход в оснащении судов спортивным инвентарем, бережное отношение к своему здоровью всех членов экипажа судна, отказ от вредных привычек, правильно организованный режим труда и отдыха, восстановление после длительных морских рейсов позволят человеку, работающему в сложных условиях моря, преодолеть трудности, сохранить здоровье и отличную физическую форму на долгие годы.

### Литература

1. Белов О.А. Оценка технической готовности системы с учетом влияния человеческого фактора / О.А. Белов // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2014. – № 30. – С. 11–16.

2. Белов О.А. Обзор основных факторов снижения безопасности сложных технических систем / О.А. Белов, А.И. Парфенкин // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2015. – № 35. – С. 11.

3. Белов О.А. Общий алгоритм развития опасных ситуаций в судовых условиях / О.А. Белов // Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы Восьмой всероссийской научно-практической конференции. – 2017. – С. 51–54.

4. Белов О.А. Методология анализа и контроля безопасности судна как сложной организационно-технической системы / О.А. Белов // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2015. – № 34. – С. 12–18.

5. Белов О.А. Моделирование процесса обучения курсантов для формирования навыков технической эксплуатации / О.А. Белов, Л.А. Толстова // Вестник государственного морского университета им. адмирала Ф.Ф. Ушакова. – 2016. – № 3 (16). – С. 78–81.

6. Кряж В.Н. Круговая тренировка в физическом воспитании студентов / В.Н. Кряж / Минск.: Высш. школа, 1982. – 120 с.

7. Решетнёва Г.А. Основы теории физической культуры / Г.А. Решетнёва. – Хабаровск, 2005. – С. 41–42.

8. Боген М.М. Обучение двигательным действиям / М.М. Боген. – М.: Физкультура и спорт, 1981. – 132 с.

УДК 620.172.2

**В.А. Витренко, Г.В. Сыровой, А.А. Афошин**

*Луганский национальный университет имени Владимира Даля,  
Луганск, 91034  
e-mail: 80508862369@mail.ru*

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ И ХАРАКТЕРА РАЗРУШЕНИЙ МОДЕЛЕЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПОЛОЖЕНИЯ В 3D-ПЕЧАТИ**

Приведены результаты экспериментальных исследований трубчатых моделей, полученных по технологии послойного наплавления при вертикальном и горизонтальном положениях печати. Исследовано влияние скорости изготовления модели на ее прочностные характеристики. Проведен анализ полученной прочности модели от характера разрушений при испытаниях.

**Ключевые слова:** 3D-печать, технология послойного наплавления, прочность детали из ABS- и PLA-пластиков.

**V.A. Vitrenko, G.V. Syrovoy, A.A. Afoshin**

*Lugansk Vladimir Dahl National University,  
Lugansk, 91034  
e-mail: 80508862369@mail.ru*

### **RESEARCH OF THE STRENGTH AND NATURE OF MODEL FAILURES OBTAINED BY CHANGING THE POSITION IN 3D PRINTING**

The results of experimental studies of tubular models obtained by the technology of layer-by-layer deposition at vertical and horizontal print positions are presented. The influence of the model manufacturing speed on its strength characteristics is investigated. The analysis of the obtained model strength from the nature of the damage during testing is carried out.

**Key words:** 3D printing, technology of layer-by-layer deposition, strength of a part from ABS and PLA plastics.

В настоящее время значительного прогресса достигли аддитивные системы, среди которых выделяются технологии формирования трехмерных объектов по их компьютерным образам, производящие модели из различных материалов. Они работают по послойному принципу построения физической модели [1].

При 3D-печати точность, качество поверхности и физико-механические свойства являются одними из важнейших факторов, на которые влияют параметры установки, послойное построение изделия, а также материал изделия [2].

Наиболее распространенными материалами для получения изделий методом технологии послойного наплавления (FDM / FFF) служат пластики [3]. Среди них наиболее востребованным материалом для 3D-печати моделей являются ABS- и PLA-пластики. Поэтому целью данной работы является исследование прочности и характера разрушения моделей, получаемых по технологии послойного наплавления в различных положениях при печати с использованием ABS и PLA-пластиков.

Для печати использовался 3D-принтер «TEVO Tarantula i3», обработка 3D-моделей для печати проводилась в программе «Simplify 3D» согласно [4], набор рабочих параметров и системных настроек, применяемых для построения модели, представлены в таблице ниже.

Для исследования были изготовлены, согласно [5], модели из ABS- и PLA-пластика с параметрами: наружный диаметр 20 мм, внутренний 18 мм, толщина стенки 1 мм и длина изделия 50 мм. Печать моделей проводилась как в вертикальном положении, так и в горизонтальном. Скорость печати выбиралась в интервале от 10 до 110 мм/с.

Параметры режима печати

Наименование параметра	Ед. изм.	Значение
Диаметр нити	мм	1,75
Диаметр сопла	мм	0,2
Скорость заполнения модели	мм/с	от 10 до 110
Плотность заполнения модели	%	100
Толщина стенок	мм	0,1
Сырье	–	ABS / PLA
Температура печати: – сопла – стола	°С	240 / 220 80 / 70
Время печати		от 23 ч 30 мин до 1 ч 57 мин
Количество слоев	шт.	от 183 224 до 183 716
Общий вес (модель + поддержки)	г	3,77
Расход нити	мм	1 252,6

Испытания образцов выполнялись на разрывной машине модели Р-0,5. Замеры проводились, согласно [6], результаты обрабатывали с помощью статистического метода средних величин, на основе которого были определены зависимости изменений прочности от скорости печати изделия. По результатам обработки замеров получен график зависимости прочности от скорости печати (рис. 1 и 2), а также продемонстрирован характер разрушения моделей с изменением положения при печати.

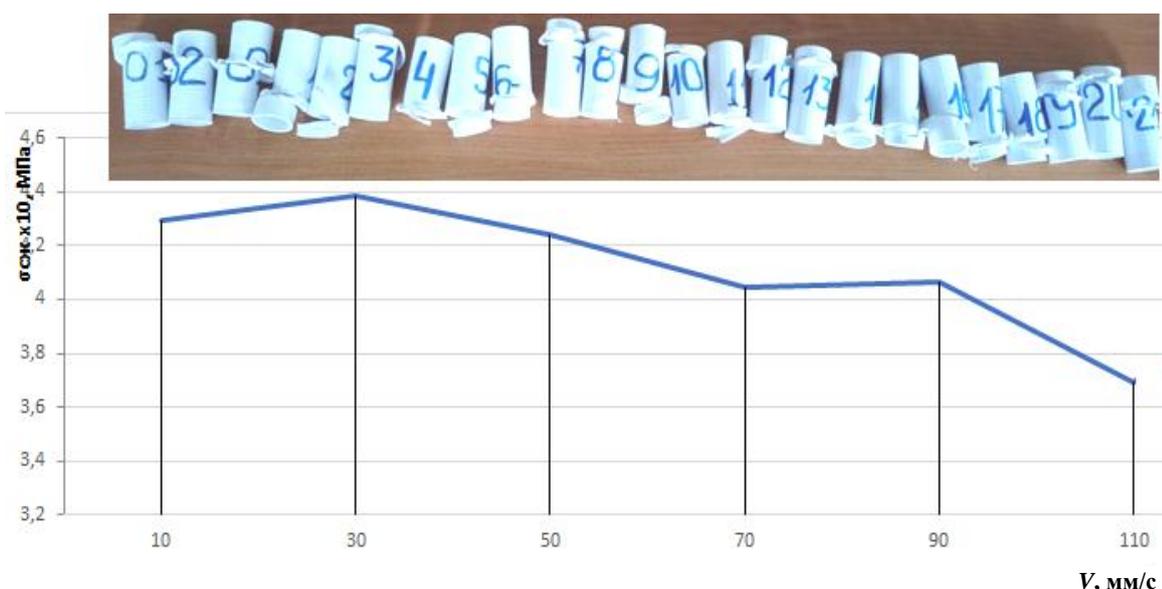


Рис. 1. График прочности и характер разрушения ABS-пластика в модели при вертикальной печати

На полученном графике (рис. 1) зависимости прочности от скорости печати деталей из ABS-пластика в вертикальном положении явно выделяются четыре области. В первую область для скорости от 10 до 30 мм/с попадают модели с наибольшей прочностью на сжатие 42,4–43,8 МПа. Во второй области прочность падает до значения 40,4 МПа. В третьей области при скорости печати от 70 до 90 мм/с модели имеют постоянную прочность 40,6 МПа, а начиная со скорости 100 мм/с наблюдается резкое снижение прочностных свойств. При этом во всех областях разрушение моделей происходило в горизонтальной плоскости по кольцу.

При скорости печати моделей от 70 до 90 мм/с в горизонтальном положении прочность повысилась до 41 МПа, а их разрушение происходило вдоль слоев пластика (рис. 2).



Рис. 2. Характер разрушения модели из ABS-пластика при горизонтальной печати

Для более прочного PLA-пластика модели изготавливались в диапазоне скоростей от 50 до 90 мм/с в вертикальном и горизонтальном положениях. Образцы были также разрушены и по результатам обработки замеров построен график прочности с фотографиями разрушения в крайних точках (рис. 3).

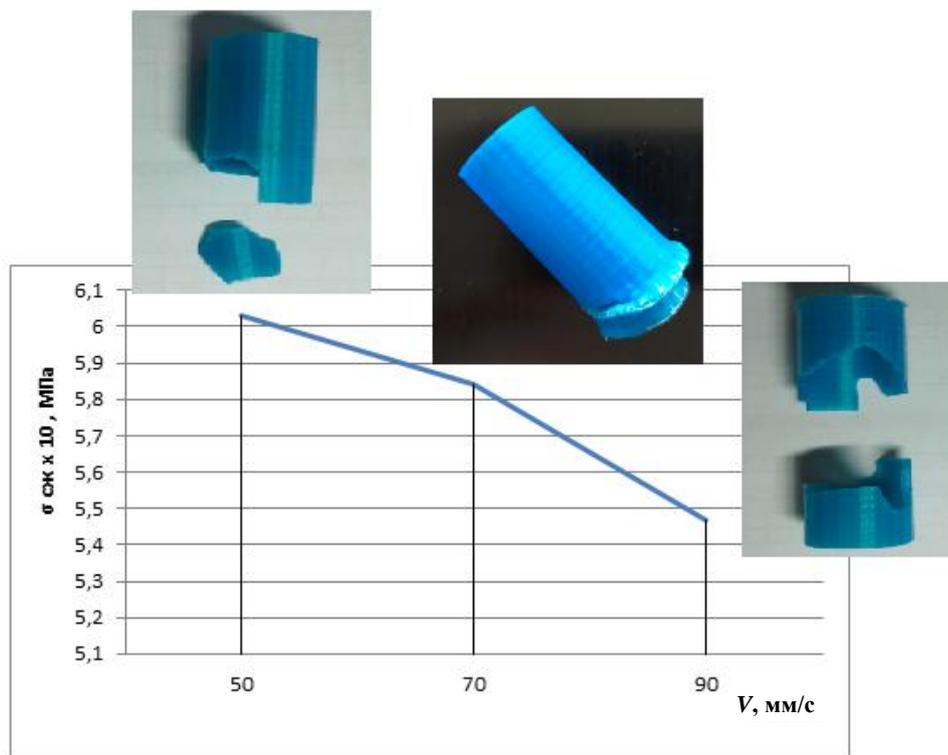


Рис. 3. График прочности и характер разрушения для модели из PLA-пластика при вертикальной печати

На графике видно, что прочность образцов из PLA-пластика при скоростях от 50 до 90 мм/с уменьшается с 60 МПа до 55 МПа, а разрушение моделей под нагрузкой имеет осколочный характер как при вертикальной печати (рис. 3), так и при горизонтальной (рис. 4).

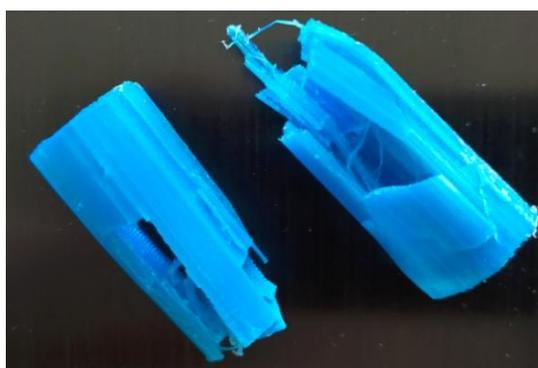


Рис. 4. Характер разрушения PLA-пластика в модели при горизонтальной печати

При горизонтальной печати из PLA-пластика прочность имела значение 61,7 МПа, т. е. возросла незначительно на 2,7%.

Выводы:

1. Установлено, что прочность и характер разрушения модели из полимерных пластиков зависит от ее положения при печати.
2. Увеличение прочности модели из пластика PLA приводит к осколочному разрушению, что значительно сужает область применения изделий, изготовленных из данного материала.
3. Для моделей, изготовленных при разных положениях печати, наилучшие результаты как по прочности, так и по характеру разрушения получаются при скорости 70 мм/с.

### Литература

1. Валетов В.А. Аддитивные технологии (состояние и перспективы): Учебное пособие / В.А. Валетов. – СПб.: Университет ИТМО, 2015. – 63 с.
2. Сыровой Г.В. Определение положения оправки на качество ее изготовления при 3-D печати / Г.В. Сыровой, А.А. Афошин // Вестник Луганского национального университета имени Владимира Даля. – 2019. – № 2 (20). – С. 158–161.
3. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям 32-2017. Производство полимеров, в том числе биоразлагаемых. – М.: Бюро НДТ, 2017. – 411 с.
4. ГОСТ 20999-83 Устройства числового программного управления для металлообрабатывающего оборудования. Кодирование информации управляющих программ.
5. ГОСТ 4651-2014 (ISO 604:2002) Пластмассы. Метод испытания на сжатие.
6. ГОСТ 33694-2015 Пластмассы. Определение линейных размеров образцов для испытания.

УДК 331.108.2:656.6

**Л.К. Круглова**

*Государственный университет морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова,  
Санкт-Петербург, 198035  
e-mail: lkkruglova@gmail.com*

**ЗНАЧЕНИЕ ГУМАНИТАРНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ПОДГОТОВКИ КАДРОВ  
В ОБЛАСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА  
В АСПЕКТЕ ГОСУДАРСТВЕННОЙ КУЛЬТУРНОЙ ПОЛИТИКИ**

В статье приводятся доказательства того, что положение документов «Основы государственной культурной политики» (2014 г.) и «Стратегия государственной культурной политики до 2030 года» (2016 г.) о формировании гармонично развитой личности как главной цели государственной культурной политики должно стать методологической базой решения проблем подготовки кадров в области технической эксплуатации водного транспорта. С этой целью дается определение концепта «гармонично развитая личность», рассматривается вопрос о специфике труда в области технической эксплуатации водного транспорта, проводится анализ содержания федерального государственного образовательного стандарта высшего образования и учебных планов по специальности 26.05.05 «Судовождение».

**Ключевые слова:** государственная культурная политика, гармонично развитая личность, существенные силы человека, техническая эксплуатация водного транспорта, подготовка кадров, федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования.

**L.K. Kruglova**

*Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,  
St. Petersburg, 198035  
e-mail: lkkruglova@gmail.com*

**THE IMPORTANCE OF THE HUMANITARIAN COMPONENT OF TRAINING  
IN THE FIELD OF TECHNICAL OPERATION OF WATER TRANSPORT  
IN THE ASPECT OF STATE CULTURAL POLICY**

The article provides evidence that the provision of the documents "Fundamentals of the state cultural policy" (2014) and "Strategy of the state cultural policy until 2030" (2016) on the formation of a harmoniously developed personality as the main goal of the state cultural policy should become a methodological basis for solving the problems of training in the field of technical operation of water transport. For this purpose the definition of the concept of "harmoniously developed personality" is given, the question of the specifics of work in the field of technical operation of water transport is considered, the content of the federal state educational standard of higher education and curricula in the specialty 26.05.05 "Navigation".

**Key words:** state cultural policy, harmoniously developed personality, essential human forces, technical operation of water transport, training of personnel, federal state standard of higher education.

В настоящее время государственная культурная политика в нашей стране определяется двумя документами: «Основы государственной культурной политики», утвержденные указом президента РФ 24.12.2014 г. и «Стратегия государственной культурной политики на период до 2030 года», утвержденная распоряжением Правительства РФ от 20.02.2016 г. № 326р. В обоих документах в качестве главных целей государственной культурной политики названы «*формирование гармонично развитой личности и укрепление единства российского общества посредством приоритетного культурного и гуманитарного развития*» [1].

Обращает на себя внимание, что в формулировке целей государственной культурной политики первым названо «формирование гармонично развитой личности» и таким образом вторая часть двуединой формулы – «укрепление единства российского общества» оказывается производной от первой. Таким образом, в обсуждаемых документах содержится четко выраженная

идея о том, что главным вектором процесса культурной консолидации российского общества, без которой невозможны ни экономическое развитие, ни политическая стабильность, является формирование гармонично развитой личности.

При этом в «Основах государственной культурной политики» среди субъектов государственной культурной политики названы образовательные организации [2, с. 4], а в «Стратегии государственной культурной политики на период до 2030 г.» специально подчеркивается, что в целях содействия формированию гармонично развитой личности, способной к активному участию в реализации государственной культурной политики, предлагается ... *«обеспечение соответствия общеобразовательных программ по ... гуманитарным дисциплинам в школе и в системе высшего образования положениям Основ государственной культурной политики и Стратегии»* [3, с. 31].

Вероятно, нет необходимости доказывать, что формулировка главной цели государственной культурной политики в том виде, как она дана в документах, о которых идет речь, имеет большое гуманитарное значение для всего российского общества.

Что касается замечаний о том, что среди субъектов государственной культурной политики важное место отводится образовательным учреждениям и в соответствии с этим должны быть выстроены образовательные программы, то можно и нужно рассматривать их как руководство к действию для всей системы образования.

Однако, как представляется, для системы подготовки специалистов в области технической эксплуатации водного транспорта указанные документы имеют особое значение, поскольку гармоничное развитие личности имеет для работников этой сферы не только общегуманитарный смысл, но и является необходимым условием формирования профессиональных компетенций.

Чтобы доказать это, надо рассмотреть две группы проблем: во-первых, что такое гармонично развитая личность и, во-вторых, в чем заключается специфика деятельности в области технической эксплуатации водного транспорта.

Решая первую проблему, нужно прежде всего определиться с пониманием того, что такое «гармония». При этом необходимо уйти от понимания гармонии как некой равновесности, одинаковости и рассматривать гармонию как структурное свойства объекта, признаками которого являются многообразие в единстве.

Совершенно очевидно, что такое понимание гармонии исключает отождествление смысла этого понятия со смыслом другого, весьма распространенного понятия – «разносторонность» – и, соответственно, возможность отождествления понятий «гармоничное развитие» и «всестороннее развитие», поскольку в последнем не предусматривается такой существенный компонент гармоничного развития, как наличие интегративной основы, т. е. единства разнообразных элементов.

В соответствии со сказанным выше, гармоничное развитие личности – это развитие сил и способностей человека в их разнообразии и единстве. В связи с этим возникает необходимость решения вопросов о том, что такое разнообразные силы и способности человека и на какой основе можно обеспечить их единство.

Представляется, что методологической основой, позволяющей дать убедительные ответы на эти вопросы, является идея о принципиальной двойственности человека. Плодотворность такого подхода продемонстрирована автором в решении как фундаментальных проблем культурологии [4], так и вопросов практического характера [5].

Так, человек представляет собой единство противоположных начал – телесного и духовного. Духовная ипостась человеческой сущности тоже внутренне противоречива: это знаменитое противостояние ума и сердца, рационального и эмоционального.

Другое проявление принципиальной двойственности человека – это его свойство быть источником активности, т. е. субъектом, и в то же время быть пластичным объектом внешних воздействий: воспринимать опыт предыдущих поколений, подчиняться определенным правилам, соответствовать определенным нормам.

Еще одно проявление принципиальной двойственности человека связано с противоречивым единством в человеке индивидуального, т. е. неповторимого, уникального и универсального, т. е. того, что не только свойственно всему человеческому роду но и, более того, роднит человека с универсумом – миром в целом.

Одно из самых драматичных проявлений принципиальной двойственности человека – это противоречивое единство в нем эгоиста и коллективиста, т. е. личного и общественного, что выражается в таких категориях как «мое, «мне» – с одной стороны, и «наше», «нам», – с другой, т. е. в чувстве хозяина и чувстве общности. Гармонизация личных и общественных интересов – это вообще одна из центральных задач культуры всех времен и всех народов.

И, наконец, еще одно проявление принципиальной двойственности человека, о которой нельзя не сказать, – это противоречивое единство в нем биологического и социального, или, точнее, социокультурного. Речь идет о том, что человек – по природе своей животное, но все природное в нем – и, в первую очередь, животные инстинкты окультурены, обработаны таким образом, чтобы он был в состоянии жить в обществе, а не в стаде или не в одиночку, как существуют те или иные виды животных.

Представляется, что интегративной основой единства разнообразных сущностных сил человека является творческая направленность всей его деятельности, то есть развитие такой сущностной силы человека как «субъектность» в наиболее позитивном ее проявлении – т. е. в творчестве, созидании. Это уточнение является необходимым, поскольку «субъектность» имеет и отрицательную ипостась – это разрушительная деятельность.

Итак, гармонично развитая личность – это личность, характеризующаяся интенсивным развитием разнообразных сущностных сил человека на интегративной основе творческого характера всей его деятельности.

Как выше говорилось, для людей, работающих на водном транспорте, проблема гармоничного развития имеет не только общегуманитарный, но и сугубо профессиональный смысл.

Это связано со спецификой условий труда в сфере технической эксплуатации водного транспорта. Люди, работающие здесь, во-первых, имеют дело с грозными природными стихиями: не только с водой, но и с воздухом, огнем и землей. Представители многих других профессий или контактируют с каждой из них в отдельности, или вообще не встречаются с ними. Во-вторых, работники водного транспорта имеют дело с чрезвычайно сложной техникой. И наконец, в-третьих, работники водного транспорта связаны между собой своеобразными формами организации труда.

В соответствии с этим, от людей, работающих на водном транспорте, требуется широкий спектр человеческих качеств, зачастую взаимоисключающих. Для конкретизации представлений о них как раз и может быть использована система категорий, на основе которых было определено содержание концепта «гармонично развитая личность».

Так, совершенно очевидно, что условия работы на водном транспорте предъявляют высокие требования как к физическому, так и к духовному развитию человека. В самых общих чертах под духовным развитием имеется в виду, во-первых, высокий уровень интеллекта, умение мыслить, анализировать обстановку, делать безошибочные выводы, а во-вторых, развитая эмоциональная сфера. Она является основой такой способности человека, как интуиция, без которой на транспорте вообще, и на водном транспорте особенно, делать нечего.

Не меньшее значение имеет и наличие таких свойств, как коллективизм, с одной стороны, и развитый личный интерес, с другой. В самом деле, понятия «команда», «экипаж», для водного транспорта – основополагающие. В то же время работа в условиях постоянной опасности невозможна без стимулирующего воздействия личного интереса, который питается не только соображениями экономического толка, но и такими, как романтика, стремление к самоутверждению нетривиальными средствами и т. п.

Противоречивое единство представляют собой и такие необходимые на водном транспорте человеческие качества, как высокий уровень дисциплины, умение следовать строгим правилам и предписаниям и в то же время способность проявлять инициативу, находчивость, действовать нестандартно, брать ответственность на себя.

Как выше уже говорилось, совокупность этих человеческих качеств обозначается категориями «субъектность» и «объектность».

Дополнить представление о человеческих качествах, необходимых для работников водного транспорта, можно и с помощью категорий «индивидуальное» – «универсальное».

Как известно, ближе всех подошел к тайне человеческой индивидуальности немецкий философ-просветитель Вильгельм фон Гумбольдт (1767–1835). Он полагал, что внутренней основой человеческой индивидуальности как раз и является развитие всех человеческих сил в их разнообразии и единстве. Высшая же форма проявления индивидуальности выражается, на взгляд Гумбольдта, в глубине и своеобразии способов укоренения человека в действительности [6].

Совершенно очевидно, что это имеет прямое отношение к пониманию специфики работы на водном транспорте, поскольку она, как показано выше, требует развития всех сущностных сил человека в их разнообразии и единстве, способствует глубокому укоренению человека к действительности, и, следовательно, требует развития человеческих качеств, обозначенных категориями «индивидуальное» – «универсальное».

Еще одно дополнение в спектр профессиональных качеств, необходимых работникам водного транспорта, можно сделать с помощью категорий «биологическое» – «социальное».

Так, работа в этой сфере, с одной стороны, требует наличия, постоянного поддержания и развития множества природных свойств, среди которых особое место занимают выносливость и быстрота реакции. А с другой стороны, именно в этой сфере существуют беспрецедентные по своей жесткости ограничения всех проявлений биологической природы человека. Это выражается в особом режиме труда, отдыха, приема пищи и т. д. и т. п.

Представляется, что все сказанное выше является убедительным доказательством того, что гармоничное развитие личности является необходимым условием формирования не только универсальных, но и профессиональных компетенций специалистов в области технической эксплуатации водного транспорта. Отсюда следует, что обязательным компонентом образовательных программ всех ступеней подготовки такого рода кадров должна стать мощная гуманитарная составляющая. Особое значение это имеет для системы высшего образования.

В связи с этим можно вспомнить, что в девяностые годы, то есть в первое десятилетие существования новой России, образовательные программы всех видов включали в себя несколько циклов, среди которых видное место занимал цикл гуманитарных и социально-экономических дисциплин. Для изучения дисциплин этого цикла отводилось определенное количество часов – свыше тысячи, кроме того, по этому циклу, так же, как и по другим, предусматривались курсы по выбору, для которых также отводилось определенное количество часов. В число обязательных дисциплин цикла ГСЭ включались философия, история, русский язык и культура речи, экономика, политология, социология, право, психология и педагогика, иностранный язык, физкультура. В этот список вошла и новая для того времени дисциплина – культурология.

В начале двухтысячных годов список обязательных дисциплин гуманитарного и социально-экономического цикла был сокращен, в нем остались только философия, история, иностранный язык и физкультура. Однако при этом на цикл отводилось прежнее, фиксированное количество часов. Это означало, что, если по решению ученого совета вуза из учебного плана изымались все необязательные дисциплины гуманитарного и социально-экономического цикла, то большее количество часов отводилось на обязательные дисциплины. Однако, как известно, в настоящее время все ограничения, касающиеся возможности сокращения часов на изучение дисциплин гуманитарного и социально-экономического цикла, сняты, и, к сожалению, во многих случаях составители учебных планов воспользовались этим, чтобы сократить изучение дисциплин этого цикла до недопустимого минимума. Это имеет и будет иметь в дальнейшем печальные последствия для подготовки кадров всех направлений и специальностей, а для транспортной сферы вообще, и водного транспорта в частности, в особенной мере.

Для прояснения ситуации обратимся к действующему федеральному государственному образовательному стандарту высшего образования – специалитет по специальности 26.05.05 «Судовождение». Зарегистрирован в Минюсте России 05.042018 № 50652. Согласно этому документу программа специалитета должна устанавливать следующие универсальные компетенции [7]:

Наименование категории (группы) универсальных компетенций	Код и наименование универсальной компетенции выпускника
Системное и критическое мышление	УК-1. Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
Разработка и реализация проектов	УК-2. Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
Командная работа и лидерство	УК-3. Способен организовывать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели
Коммуникация	УК-4. Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном(ых) языке(ах), для академического и профессионального взаимодействия
Межкультурное взаимодействие	УК-5. Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
Самоорганизация и саморазвитие (в том числе здоровьесбережение)	УК-6. Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки и образования в течение всей жизни
	УК-7. Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
Безопасность жизнедеятельности	УК-8. Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций

К этому нужно добавить, что в разделе «Общепрофессиональные компетенции» ФГОС предусматривает такую компетенцию, как ОПК-1 «Способен осуществлять профессиональную деятельность с учетом экономических, экологических, социальных и правовых отношений».

Представляется, что с некоторой натяжкой можно признать, что совокупность названных во ФГОС компетенций соответствует по своему содержанию смыслу концепта «гармонично развитая личность». При этом совершенно очевидным является то, что для достижения универсальных и общепрофессиональных компетенций, предусмотренных ФГОС, необходимо включить в учебные планы весь список гуманитарных и социально-экономических дисциплин, которые, как говорилось ранее, были в 90-е гг. включены в программы высшего образования в качестве обязательных. Однако в реальности этого не происходит. В некоторых вузах из учебных программ исключили все гуманитарные дисциплины, кроме философии и истории, которые по-прежнему являются обязательными. Однако при том незначительном количестве часов, которые отводятся на эти дисциплины, формирование только за их счет ряда универсальных и общепрофессиональных компетенций представляется проблематичным. В ряде других случаев некоторые гуманитарные дисциплины включаются в раздел «дисциплины по выбору». Что при этом получается, можно показать на примере дисциплины «Культурология». Как видно из приведенной выше таблицы, согласно ФГОС, программа специалитета по специальности 26.05.05 «Судовождение» должна устанавливать универсальную компетенцию. УК-5 – «Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия». Наименование категории (группы) универсальных компетенций – межкультурное взаимодействие.

Совершенно очевидно, что в наибольшей степени формированию этой компетенции, столь необходимой именно судоводителям, способствует преподавание такой дисциплины, как культурология. Однако в ряде вузов она вообще исключена из учебных планов, а в некоторых других отнесена к разделу «дисциплины по выбору». При этом получается, что в первом случае формирование компетенции УК-5 возможно только за счет философии, и, следовательно, оно весьма затруднено ввиду ограниченности количества учебного времени, отводимого на эту дисциплину.

А во втором случае некоторые студенты, выбравшие культурологию из блока «дисциплин по выбору», получают значительные преимущества в плане возможности формирования компетенции УК-5, и, соответственно, студенты, выбравшие другую дисциплину из этого блока, оказываются в этом отношении весьма ущемленными. Такое положение вряд ли можно считать нормальным.

Исходя из изложенного ранее, можно сделать следующие выводы:

1. Положение документов «Основы государственной культурной политики» (2014 г.) и «Стратегия государственной культурной политики до 2030 года» (2016 г.) о формировании гармонично развитой личности как главной цели государственной культурной политики должны стать методологической базой решения проблем подготовки кадров в области технической эксплуатации водного транспорта.

2. Для формирования универсальных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций необходимо включение в учебные планы подготовки кадров в области технической эксплуатации водного транспорта следующих дисциплин гуманитарного и социально-экономического цикла: философия, история, иностранный язык, физкультура, русский язык и культура речи, психология, экономика, право, социология, политология, культурология.

3. Исключение названных выше дисциплин или включение их в раздел «дисциплины по выбору» имеет своим следствием ограничение возможностей формирования полного спектра компетенций специалистов в области технической эксплуатации водного транспорта.

## Литература

1. Указ Президента РФ от 24 декабря 2014 г. № 808 «Об утверждении Основ государственной культурной политики» [Электронный ресурс]. – URL: <http://base.garant.ru>.
2. Основы государственной культурной политики. – С. 4 [Электронный ресурс]. – URL: <http://base.garant.ru>.
3. Стратегия государственной культурной политики на период до 2030 г. – С. 31 [Электронный ресурс]. – URL: <http://base.garant.ru>.
4. Круглова Л.К. Человек и культура. – М.; СПб.: Центр гуманитарных инициатив, 2017. – 397 с.

5. *Круглова Л.К.* Избранное: Антропологический принцип в культурологии: теория и практика. – М.; СПб.: Центр гуманитарных инициатив, 2018 – 448 с.

6. *Круглова Л.К.* В. Гумбольдт и антропологический принцип в культурологии // *Круглова Л.К.* Избранное: Антропологический принцип в культурологии: теория и практика. – М.; СПб.; Центр гуманитарных инициатив, 2017. – С. 350–354.

7. Приказ Министерства образования и науки РФ от 15 марта 2018 г. № 191 «Об утверждении федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – специалитет по специальности 26.05.05 Судовождение» (Зарегистрировано в Минюсте России 05.04.2018 № 50652) [Электронный ресурс]. – URL: <https://base.garant.ru/71917998/3dedff066f52bdf3275cd1e645436692/>

УДК 331.108.2:656.6

**Е.Ю. Кунц<sup>1</sup>, А.Н. Полетайкин<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики,  
Новосибирск, 630102*

*e-mail: zentcova@sibsutis.ru;*

<sup>2</sup>*Кубанский государственный университет,  
Краснодар, 350040*

*e-mail: alex.poletaykin@gmail.com*

### **ОРГАНИЗАЦИЯ ЦИФРОВОГО ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА**

В статье представлено решение актуальной в сфере высшего образования задачи организации цифрового фонда оценочных средств (ФОС) по направлению подготовки. Представлена схема организации ФОС, которая включает три уровня организации: планирование, разработку и реализацию. Основным компонентом цифрового ФОС обозначена дескрипторная модель компетенций. Дескрипторная модель на уровне планирования структурирует компетенции в виде наборов индикаторов достижения компетенций, а также дескрипторов оценивания их выраженности. На уровне разработки дескрипторы обретают логическую структуру, выражающую критерии оценивания выраженности индикаторов и организуются в виде нечеткой дескрипторной модели. На уровне реализации ФОС дескрипторная модель осуществляет объективное оценивание сформированности компетенций.

**Ключевые слова:** компетентностная модель, индикатор достижения компетенций, дескрипторная модель, фонд оценочных средств, уровень организации.

**E.Yu. Kunts<sup>1</sup>, A.N. Poletajkin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Siberian State University of Telecommunications and Information Science,  
Novosibirsk, 630102*

*e-mail: zentcova@sibsutis.ru;*

<sup>2</sup>*Kuban State University,*

*Krasnodar, 350040*

*e-mail: alex.poletaykin@gmail.com*

### **ORGANIZATION OF THE DIGITAL ASSESSMENT FUND FOR THE TRAINING OF WATER TRANSPORT SPECIALISTS**

The article presents a solution to the urgent task of organizing a digital fund of assessment tools in the field of study in higher education. The scheme described in the article includes three levels of organization: planning, development and implementation. The main component of the digital fund of assessment tools is the descriptor model of competencies. The descriptor model at the planning level structures competencies in the form of sets of indicators of achievement of competencies, as well as descriptors for rating their importance. At the development level, descriptors acquire a logical structure that expresses criteria for assessing the importance of indicators and are organized as a fuzzy descriptor model. At the level of implementation of the fund of assessment tools, the descriptor model implements an objective assessment of the competencies formation.

**Key words:** competency model, indicator of achievement of competencies, descriptor model, fund of assessment tools, level of organization.

Проблема повышения качества образования на протяжении долгого времени остается одной из актуальных и трудно решаемых не только в России, но и во всем мире. Решение ее тесно связано с модернизацией содержания, оптимизацией и цифровизацией образования. Все большую важность обретают задачи всестороннего обеспечения высокого уровня подготовки, в первую очередь, посредством качественной организации основных профессиональных образовательных

программ (ОПОП). При этом качество в отношении образования будем понимать в соответствии с п. 29 ст. 2 федерального закона «Об образовании в Российской Федерации» от 29.12.2012 г. № 273-ФЗ [1] как комплексную характеристику образовательной деятельности и подготовки обучающегося, выражающую степень их соответствия федеральным государственным образовательным стандартам (ФГОС), а также потребностям физических или юридических лиц, в интересах которых она осуществляется, в т. ч. степень достижения планируемых результатов ОПОП. Поэтому важным направлением исследований выступает рационализация решений по структуре и ресурсам ОПОП и объективизация оценивания результатов. Усложнение этих задач в связи с развивающейся функционалистской парадигмой высшего образования (ВО) и сопутствующего ей компетентностного подхода обязывает многоаспектно рассматривать цикл ВО с широким применением математических средств и информационных технологий.

Отдельного внимания заслуживает проблематика оценивания результатов обучения (РО), которая в последние годы активно разрабатывается, как в России (А.В. Хуторской, О.Е. Пермяков, С.В. Минькова, В.П. Беспалько, И.Д. Рудинский и др.), так и за рубежом (W. Nutmacher, J. Wilkerson и др.). Ни у кого из них нет сомнений в возможности измерения РО через сформированность компетенций. Однако если при проектировании ОПОП влияние субъективности не является очевидным, то при оценивании ее освоения фактор субъективизма становится критическим, так как результат оценивания непосредственно наблюдаем и используется, зачастую в неизменном виде, в задачах управления развитием образовательных и трудовых ресурсов. К тому же в задаче оценивания имеет место множественная нечеткость, обусловленная влиянием человеческого фактора как на процедуру, так и на результат оценивания. Поэтому решение задачи оценивания РО с необходимостью влечет разработку методик и информационных технологий на основе методов и алгоритмов искусственного интеллекта, позволяющих эффективно обработать и учесть указанную нечеткость. Создание такого комплекса может выступить хорошей базой для формирования цифрового фонда оценочных средств (ФОС), что является распространенной и востребованной в вузах задачей в связи с уверенным курсом современного образования на цифровизацию.

Данное исследование направлено на организацию образовательной деятельности (ОД) в части отдельно взятой ОПОП. Данная деятельность является комплексной [2], и поэтому для ее исследования необходим комплексный организационный подход. Под организацией ФОС будем понимать ОД, направленную на создание строгой внутренней упорядоченности, согласованности планомерного взаимодействия более или менее дифференцированных и автономных компонентов ФОС. Это предполагает унификацию и конкретизацию (в смысле детерминации компонентов ОПОП и связей между ними) процедур создания и использования для минимизации неопределенности в этих процедурах и максимально полной их цифровизации.

Организация цифрового ФОС имеет целью повышение эффективности процедур разработки и использования ФОС для оценивания РО в контексте максимальной унификации и оперативности выполнения указанных процедур, а также минимизации субъективизма процедуры оценивания.

ФОС должен быть организован в следующих контекстах:

- изучения отдельных учебных дисциплин (УД);
- формирования отдельных компетенций и их кластеров;
- освоения отдельных трудовых функций (ТФ) и обобщенных трудовых функций (ОТФ).

Для того чтобы решить эту задачу, важно понять, какие имеются принципы организации ФОС, какие требования (и кем) предъявляются к ФОС, какие есть критерии определения качества ФОС, какие условия предъявляются к использованию ФОС, есть ли какие-то директивно устанавливаемые нормы по организации ФОС, каков элементный состав ФОС?

Обязательные по ФГОС условиями реализации ОПОП включают в себя материально-техническую базу, учебно-методическую базу, наличие нормативных документов, библиотеки, а также требования к кадровому составу. Формирование этих компонентов находится в зоне ответственности органов управления, а их использование – в зоне ответственности ППС.

Процесс формирования учебных планов в связи с введением новых ФГОС ВО 3++ претерпел существенные изменения. Требования стандарта разделены на формальные и содержательные. Формальные требования описывают требования к объему (часы, недели), к абсолютной и относительной трудоемкости, к структуре учебного плана (циклы, разделы, обязательные УД).

Появилось понятие ИДК, определяемое во ФГОС как комплекс характеристик, уточняющих и раскрывающих формулировку компетенции в виде ЗУН или (и) конкретных действий, выполняемых выпускником, освоившим данную компетенцию, которые должны быть измеряемы с помощью средств, доступных в образовательном процессе. Из данного определения следует, что ИДК является агрегатной составляющей компетенции.

Учебный план по стандартам нового поколения состоит из УД, закрепленных за семестром и циклом (или разделом) ОПОП. Но в отличие от стандарта второго поколения, где основным условием разработки учебного плана было удовлетворение формальным требованиям, основной задачей при построении учебного плана в соответствии с ФГОС является получение компетенций, которые представлены через ЗУН. А учитывая, что во ФГОС 3++ профессиональные компетенции (ПК) формируются на основе профессиональных стандартов (ПС), соответствующих профессиональной деятельности выпускников, а также анализа требований к ПК, предъявляемых на рынке труда, процесс формирования учебного плана значительно усложняется. Возникают новые предварительные процессы, например технология разработки ИДК и построения дескрипторных моделей (ДМ) компетенций.

Технология разработки ИДК и построения ДМ при формировании ОПОП определяет технологию анализа соответствующей профессиональной области, выбора результатов обучения и их интеграции в ИДК, а также разработки дескрипторов оценивания выраженности ИДК. Разработка ИДК осуществляется ответственными за ОПОП, исходя из формулировок ПК и поставленных им в соответствие ТФ и УД, и с учетом выбранных типов задач профессиональной деятельности. Состав ПС и типы задач профессиональной деятельности зафиксированы в учебном плане ОПОП. Детально алгоритм разработки ИДК рассмотрен в [3]. Систематизированные ИДК являются исходным материалом для распределения ИДК по УД.

Пример ИДК: *Знает методы принятия решений и умеет их применять; умеет принимать конкретные решения для повышения эффективности процедур анализа проблем в отрасли водного транспорта.*

Пример дескриптора уровня «Высокий»: *Демонстрирует глубокие знания методов принятия решений, способен дать исчерпывающие объяснения по технологии принятия решений. Уверенно и профессионально принимает конкретные обоснованные решения, позволяющие выработать высокоэффективные процедуры анализа проблем.*

Пример дескриптора уровня «Средний»: *Демонстрирует достаточные знания методов принятия решений, способен в достаточной степени объяснить технологию принятия решений. Принимает конкретные, но недостаточно аргументированные решения. Эффективность решений достаточна.*

Пример дескриптора уровня «Низкий (пороговый)»: *Знания поверхностные и фрагментарные, способен в общем объяснить технологию принятия решений. Принимает решения неуверенно, приводятся минимально необходимые обоснования, эффективность решений сомнительна.*

Разработка дескрипторов оценивания выраженности ИДК осуществляется ППС, ответственными за отдельные УД, исходя из формулировок ИДК и составляющих их ЗУН. Дескрипторы разрабатываются для всех категорий компетенций. Число дескрипторов, разрабатываемых для одного ИДК, соответствуют числу уровней их выраженности (как правило, их 3). Совокупность дескрипторов ИДК образуют его дескрипторную модель.

Дескриптор описывает некоторую активность, которую проявляет испытуемый в отношении объектов контроля, определяемых результатами обучения. Для выражения степени активности в описании дескриптора могут быть внесены эпитеты – качественные прилагательные, задающие дифференциацию проявления ИДК по уровням на основе суждений проверяющего. Универсальная формула дескриптора:

$$\text{Дескриптор} = [\text{Эпитет}] + \text{Активность} + \text{Объект контроля}. \quad (1)$$

Алгоритм разработки дескрипторов для данного ИДК:

1. Выполняется анализ формулировок ИДК и образующих его РО, а также соответствующих им проверяющих заданий. При этом выявляются множества объектов контроля и активностей по отношению к объектам контроля.

2. Для каждого уровня выраженности индикатора строится соответствующее описание активности(ей), реализуемых в отношении объекта(ов) контроля. При необходимости в описания вводятся уточняющие эпитеты.

3. Для ИДК, разработанных горизонтальным способом, могут быть применены шаблоны.

Дескрипторная модель компетенции представляет собой совокупность дескрипторов всех ИДК ее достижения, которые включаются в паспорт компетенции и могут использоваться для оценивания ее сформированности.

Пример дескрипторной модели представлен в таблице. Дескрипторная модель ИДК, отнесенных к определенным УД, наряду с контрольными заданиями включаются в ОС этих УД и встраиваются в модель оценивания освоения УД. Полностью методика описана в [3].

Таблица

Структура дескрипторной модели оценивания примерного ИДК

Активность	Компоненты ИДК		Уровень выраженности
	Объект контроля	Эпитеты	
Знает	Методы принятия решений	Глубоко	Высокий
		Достаточно	Средний
		Поверхностно, фрагментарно	Низкий
Умеет применять	Методы принятия решений	Уверенно, профессионально	Высокий
		Уверенно	Средний
		Неуверенно, с мелкими ошибками и недочетами	Низкий
Способен объяснить	Технология принятия решений	Исчерпывающе	Высокий
		Достаточно	Средний
		В общих чертах	Низкий
Умеет принимать решения	Принятые решения	Конкретные, обоснованные	Высокий
		Конкретные, недостаточно аргументированные	Средний
		Неуверенно, минимально необходимые обоснования	Низкий
Повышение эффективности	Процедуры анализа проблем в отрасли	Высоко	Высокий
		Достаточно	Средний
		Сомнительно	Низкий

Проведение испытания для определения выраженности ИДК заключается в том, что эксперт (ППС) выдает задание испытуемому и контролирует его выполнение. Процедура оценивания выраженности ИДК требует от эксперта осмысления решений испытуемого и ввод в систему оценочных суждений в первичном нечетком виде, а в перспективе позволит производить оценивание автоматически без участия эксперта. Подробно процедура оценивания выраженности ИДК рассмотрена в [4].

Схема разработанной модели организации ФОС показана на рис. 1. На схеме выделяется три этапа: планирование, разработка и реализация ФОС. Планирование ФОС проходит в условиях влияния требований внешней среды и формирует системно-деятельностную образовательную модель, которая состоит из блоков: «Органы управления: ректорат, учебный отдел, деканаты», «Профессорско-преподавательский состав» и «Студенты».

Важным компонентом этапа планирования ФОС является Блок «Федеральные государственные образовательные стандарты (ФГОС)», который определяется блоками «Требования контрольно-надзорных и других органов государственной власти» и «Требования работодателей к выпускникам образовательных организаций». Вторым определяющим компонентом этапа планирования выступает блок «Профессиональные стандарты (ПС)», который определяется блоком «Требования работодателей к выпускникам образовательных организаций» и является проводником блока «Тренды рынка труда» внешней среды.

Блок «ФГОС» непосредственно связан с блоком «Органы управления: ректорат, учебный отдел, деканаты» и блоком «Профессорско-преподавательский состав (ППС)». Блок «Материально-техническая база и информационное обеспечение» связан с блоками «Органы управления» и «ППС», а также блоком «ФГОС», чем обеспечивается соответствие ФОС требованиям внешней среды. Блок «Учебно-методическая база» формируется с помощью блоков «Органы управления (ректорат, учебный отдел, деканаты)», и «ППС», а используется блоком «Студенты». Основную стадию планирования ФОС выражает блок «Формирование состава и структуры образовательной программы. Планирование состава компетенций и оценочных средств дисциплин». Все вышеперечисленные блоки формируют этот блок, в том числе блок «Профессиональные стандарты (ПС)», определяющий профессионализацию ОПОП.

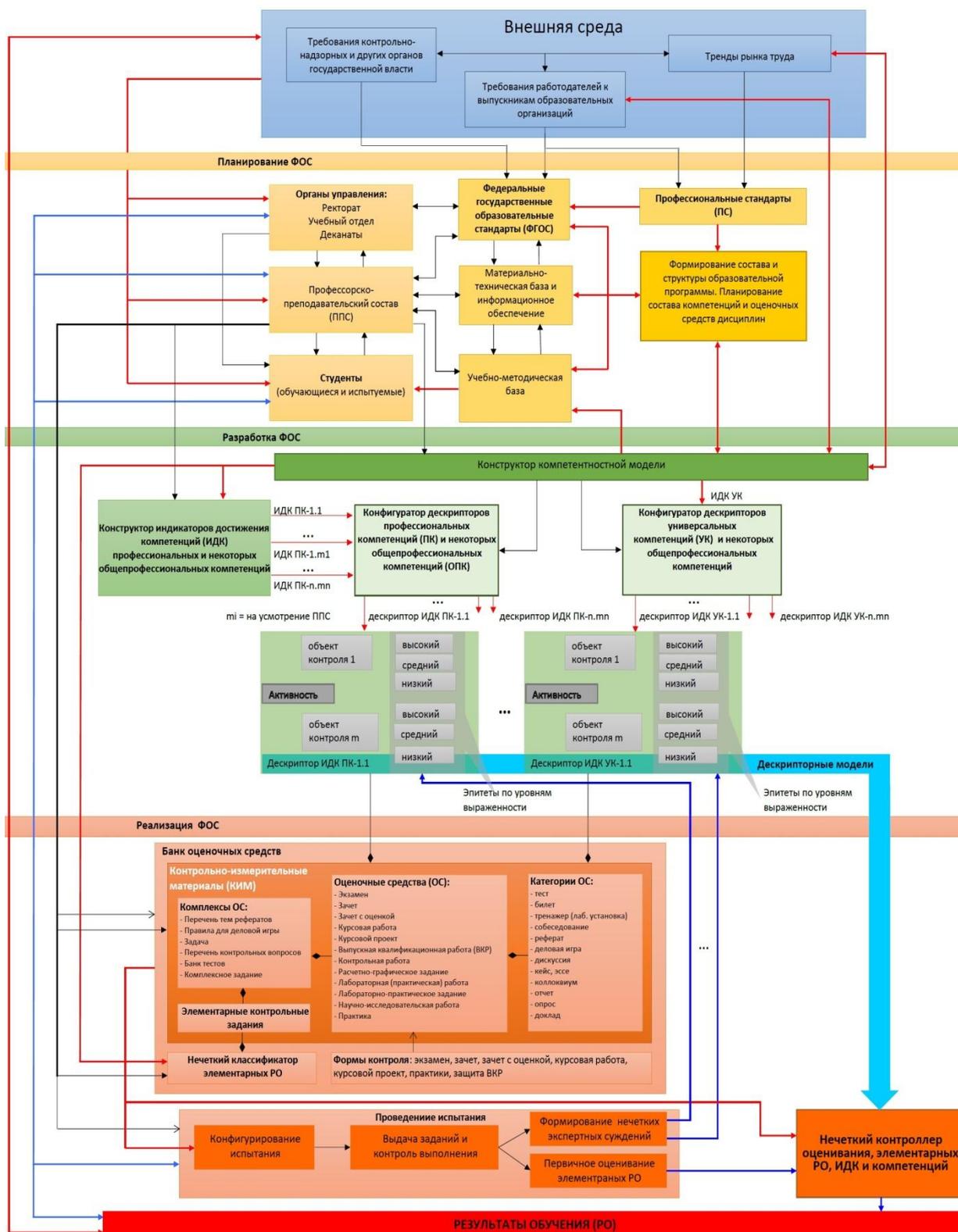


Рис. 1. Структурная схема модели организации ФОС

Разработка ФОС предполагает конструирование блоком «Разработка компетентностной модели» профессиональных и общепрофессиональных компетенций. Компетенции конструируются во взаимодействии с блоками внешней среды и создании учебных планов под управлением ППС. Результатные компетенции встраиваются в учебно-методический комплекс дисциплин, представленный блоками «Учебно-методическая база» и «Материально-техническая база и информационное обеспечение», а также поступают в блок «Конструктор индикаторов достижения профессиональных компетенций (ПК) и некоторых общепрофессиональных компетенций

(ОПК)». Блок осуществляет конструирование ИДК под управлением ППС. ППС задают число ИДК  $mi$ , индивидуальное для каждой  $i$ -й компетенции, исходя из числа учебных дисциплин, формирующих ПК/ОПК. ИДК обрабатываются блоком «Конфигуратор дескрипторов ПК и некоторых ОПК», формируя на выходе дескрипторы соответствующих ИДК. Дескрипторы универсальных компетенций формируются отдельно блоком «Конфигуратор дескрипторов универсальных компетенций (УК) и некоторых ОПК». Оба вида дескрипторов представлены на схеме типовыми комплексными блоками. Каждый дескриптор строится по формуле (1) и оценивается уровнями выраженности ИДК: «Высокий», «Средний», «Низкий» при опосредованном управлении ППС через блок «Конфигуратор КМ».

Реализация ФОС предполагает организацию банка оценочных средств, который представлен одноименным комплексным блоком. Он включает блоки «Формы контроля» и «Контрольно-измерительные материалы (КИМ)». Блок «КИМ» в свою очередь включает блоки «Комплексы ОС», «Оценочные средства», «Категории ОС» и «Элементарные контрольные задания», между которыми установлены отношения композиции. Кроме того с блоком «ОС» установлены отношения типа «Использование» с блоком «Формы контроля», а блок «КИМ» связан с блоками дескрипторов отношением типа «Часть-целое», символизируя таким образом включение дескрипторов в состав КИМ посредством внешнего дополнения. Входящий в банк ОС блок «Нечеткий классификатор элементарных РО», как и формирование КИМ, находится под непосредственным управлением ППС. Банк ОС в целом используется им при решении других задач образовательного процесса, в т. ч. задачи проведения испытания. Данная задача представлена одноименным комплексным блоком, который включает последовательную цепь блоков «Конфигурирование испытания», «Выдача заданий и контроль выполнения» и параллельные блоки «Первичное оценивание элементарных РО» и «Формирование нечетких экспертных суждений». Здесь оценочные средства поступают на вход блока «Конфигурирование испытания». Студенты принимают участие в ходе испытания. ППС контролирует испытание на всех его стадиях, завершая его формированием первичных оценок элементарных РО и экспертных суждений. Последние поступают в блоки дескрипторов ИДК, формируя актуализированные ДМ, которые, наряду с первичными оценками элементарных РО, поступают в блок «Нечеткий контроллер оценивания элементарных РО, ИДК и компетенций», который также получает на вход оценочные средства из банка. Нечеткий контроллер формирует оценки выраженности ИДК и сформированности компетенций, которые представлены блоком «Результаты обучения (РО)». Этот блок связан управляющими связями с блоками «Органы управления», «ППС» и «Студенты», а также с блоками внешней среды, отражая, таким образом, обратную связь по направлению к вышестоящим контрольно-надзорным органам.

Построенная модель организации ФОС позволяет реализовать автоматизированный режим разработки оценочных средств определения выраженности ИДК, а также процедуру оценивания этой выраженности. Получена новая модель, учитывающая неопределенность материалов и процедур ФОС и объективизирующая процедуру оценивания. Модель может быть реализована в любой образовательной организации для организации ФОС по любому направлению подготовки, для которой разработаны ФГОС ВО 3++.

## Литература

1. Федеральный закон от 29 декабря 2012 г. № 273-ФЗ «Об образовании в Российской Федерации» [Электронный ресурс]. – URL: <http://273-фз.рф/zakonodatelstvo/federalnyy-zakon-ot-29-dekabrya-2012-g-no-273-fz-ob-obrazovanii-v-rf> (дата обращения: 20.07.2019).
2. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами / Д.А. Новиков. – 3-е изд. – М.: Физматлит, 2012. – 604 с.
3. Кулешова Н.В. Методика разработки индикаторов достижения профессиональных компетенций и построения дескрипторной модели компетенций / Н.В. Кулешова, А.Н. Полетайкин // Качество высшего и среднего профессионального образования в условиях перехода на федеральные государственные образовательные стандарты нового поколения: Материалы IX науч.-метод. конф. – Новосибирск: СибГУТИ, 2019. – С. 112–118.
4. Полетайкин А.Н. Нечеткая дескрипторная модель оценивания выраженности индикаторов достижения компетенций / А.Н. Полетайкин, В.В. Подколзин, Н.В. Кулешова, Е.Ю. Кунц // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2019. – № 3 (47). – С. 55–69.

УДК 004.9:621

**В.В. Непомилуев, А.Н. Семенов**

*Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева,  
Рыбинск, 152934  
e-mail: vvvvnn@yandex.ru*

### **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА СБОРКИ КАК СПОСОБ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕГО КАЧЕСТВА**

Рассмотрены возможности повышения качества сборки изделий машиностроения на основе метода индивидуального подбора деталей и компьютерного моделирования технологического процесса сборки.

**Ключевые слова:** сборка, процесс, подбор деталей, качество, технология, компьютерное моделирование.

**V.V. Nepomiluev, A.N. Semenov**

*P.A. Solovyov Rybinsk State Aviation Technical University,  
Rybinsk, 152934  
e-mail: vvvvnn@yandex.ru*

### **COMPUTER SIMULATION OF THE ASSEMBLY PROCESS AS A WAY TO ENSURE ITS QUALITY**

The possibilities of improving the quality of assembling engineering products based on the method of individual selection of parts and computer simulation of the assembly process are considered.

**Key words:** assembly, process, selection of parts, quality, technology, computer simulation..

Сборка является заключительным этапом технологического процесса изготовления, именно при сборке окончательно формируется качество любого изделия.

Себестоимость машины в значительной мере зависит от себестоимости сборочных работ: в машиностроении она может доходить до половины общей себестоимости изготовления изделия, что обусловлено преимущественным использованием на сборке ручного труда рабочих высокой квалификации. Относительная трудоемкость сборочных работ за последние полвека неуклонно растет в связи с тем, что технологии изготовления деталей совершенствуются значительно более быстрыми темпами, чем технология сборки изделий.

При создании машины возникает задача трансформации требований к качеству машины в требования к качеству деталей. При этом учитываются следующие факторы:

– эксплуатационные показатели обычно не могут напрямую задаваться как требования к качеству деталей, поскольку они проявляются только в процессе работы готовой машины, а при изготовлении деталей их невозможно ни обеспечить, ни проконтролировать. Например, вибрационные характеристики гибкого ротора газотурбинного двигателя (ГТД) определяют действительная форма его оси, распределение локальных дисбалансов, расположение главных центральных осей инерции деталей относительно оси ротора и другие параметры. Однако конструктор, формулируя требования к выходным параметрам качества сборки, и технолог, разрабатывая технологический процесс сборки спроектированного конструктором ротора, вынуждены задавать традиционные, в достаточной степени обеспеченные технологически и метрологически параметры качества, например, величины биений контрольных поверхностей или суммарного технологического дисбаланса. Эти параметры не характеризуют однозначно качества собираемого гибкого ротора, но широко применяются в производстве, поскольку использование конструкторских показателей в технологическом процессе неудобно, а часто и вообще невозможно из-за практически непреодолимых трудностей при их достижении и контроле с помощью существующих технологий;

– показателями качества деталей назначаются параметры, которые достаточно легко контролировать и которые более-менее тесно связаны с требуемыми эксплуатационными показателями. Так, вместо требуемой при эксплуатации износостойкости поверхности задаются параметры ее шероховатости и твердости. Используемые для оценки параметры обычно неоднозначны и не характеризуют требуемое свойство полностью, допуская различные неравноценные варианты;

– на показатели качества деталей задаются независимые допуски, поскольку отсутствуют информационные связи между технологическими процессами изготовления деталей, соединяемых в процессе сборки в одном узле;

– используемые в настоящее время технологии сборки являются, как правило, неуправляемыми в отношении процесса суммирования погрешностей и не учитывают индивидуальных особенностей каждой конкретной детали.

Отмеченные выше факторы приводят к тому, что для обеспечения эксплуатационных показателей машины требования к качеству деталей существенно, иногда до предела завышаются. В большинстве случаев современные технологические процессы и оборудование позволяют изготавливать такие детали. Однако существуют изделия, при изготовлении которых традиционный подход чрезмерно затратен, а в целом ряде случаев использование традиционных технологий уже вообще не позволяет получить приемлемый результат даже при очень больших материальных затратах. Основные проблемы возникают при изготовлении так называемых высокотехнологичных изделий, создание которых связано с использованием затратных способов – многочисленных переборок, доработок и конструктивных уточнений.

Например, в современных ГТД для обеспечения их вибростойкости предъявляются очень жесткие требования к точности сборки роторов, которые приводят к необходимости уменьшения до предела допусков на размеры, макро- и микрогеометрические параметры изготавливаемых деталей. Однако, несмотря на то, что наиболее ответственные детали ГТД уже сейчас изготавливаются фактически с максимально достижимой в серийном и даже единичном производстве точностью, требуемая точность сборки достигается методами неполной взаимозаменяемости, а также осуществляемых вручную пригонки, попарного или индивидуального подбора деталей. При этом количество нуждающихся в доработке изделий может достигать 20–80%, что вынуждает производить многочисленные повторные сборки, подбирая эмпирическим путем детали или пригоняя их.

Так, при изготовлении ротора смешанной барабанно-дисковой конструкции (рис. 1), в котором детали роторного пакета последовательно базируются и крепятся друг к другу (что приводит к последовательному же суммированию их погрешностей), для использования метода полной взаимозаменяемости необходимо обеспечить допуски на радиальные и осевые биения деталей порядка 1 мкм, что практически невозможно в настоящее время.

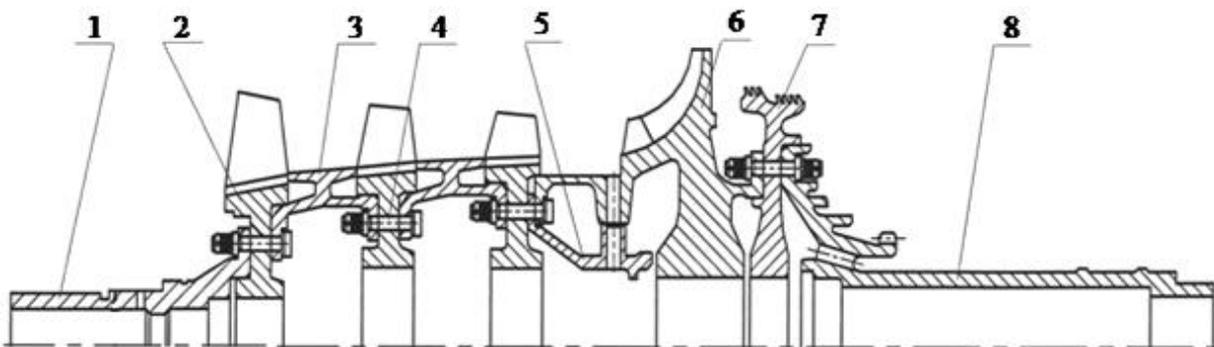


Рис. 1. Ротор компрессора газогенератора ГТД:

1 – цапфа передняя; 2 – диск; 3 – проставка; 4 – болт призонный;  
5 – коллектор; 6 – крыльчатка центробежной ступени; 7 – диск-лабиринт; 8 – цапфа задняя

Поэтому с целью компенсации погрешностей изготовления деталей производится так называемая технологическая сборка, в процессе которой контролируются осевые и радиальные биения и при их несоответствии заданным осуществляется разворот сопрягаемых деталей вокруг формируемой оси вращения (это допускается конструкцией узла) для достижения заданного уровня биений. Применение метода компенсации погрешностей позволяет значительно снизить

технологический дисбаланс ротора за счет взаимной компенсации векторов технологических дисбалансов отдельных деталей.

Тем не менее опыт показывает, что даже в этом случае на заключительных этапах сборки и балансировки часто выявляются роторы со значительными отклонениями биений и дисбалансов от допустимых. Поэтому многие роторы перебирают несколько (до 7–8 и даже более) раз, несколько раз балансируют, производят доработку деталей, а в некоторых случаях приходится проводить раскомплектацию ротора. Причину выхода контролируемых параметров за пределы допусков установить достаточно трудно, поскольку на качество сборки ротора влияет множество ненормируемых факторов, в частности, отмеченные выше: действительная форма его оси, распределение локальных дисбалансов, расположение главных центральных осей инерции деталей относительно оси ротора.

Более того, при использовании эмпирического подбора деталей вручную трудоемкость этого метода чрезмерно высока и требует применения высококвалифицированного труда, этот процесс практически невозможно автоматизировать. Проблема сильно осложняется еще и тем, что результат сборки нельзя заранее предсказать даже в том случае, если известны действительные размеры всех деталей. Поэтому в большинстве случаев выходные параметры процесса сборки достаточно надежно могут быть проконтролированы только лишь на полностью собранном узле или даже готовом изделии в процессе его испытания. Так, если балансировка гибкого ротора производится не на рабочих частотах, то полная характеристика его уравновешенности выявляется уже только при испытании полностью собранного двигателя. В случае появления недопустимой вибрации необходимо разобрать последовательно сначала двигатель, а затем и ротор, развернуть его детали друг относительно друга, снова собрать и отбалансировать сначала ротор, а после и весь двигатель. И даже осуществление всех этих чрезвычайно трудоемких процессов отнюдь не гарантирует, что при работе перебранного таким образом двигателя снова не возникнут вибрации.

Это вынуждает искать новые способы решения задачи обеспечения качества работы машин.

Технологический процесс сборки, как и любой другой производственный процесс, всегда характеризуется расходом ресурсов – материалов, трудовых ресурсов, энергии, информации. Поэтому основным требованием к нему, при заданных ограничениях по производительности, качеству и срокам выполнения, является минимальный расход всех этих ресурсов. Информационный ресурс, обеспечивая решение какой-либо проблемы, может выступать в качестве реальной альтернативы материальному или трудовому ресурсу, что приводит к их экономии. Более того, поскольку стоимость информационного ресурса быстро и постоянно уменьшается в связи с непрерывным совершенствованием средств для получения и обработки информации (измерительной и вычислительной техники), а стоимость материального, трудового и энергетического постоянно растет, задача использования в максимальной степени информационного ресурса является актуальной.

Традиционно такие потери информации компенсируются завышением требований к качеству создаваемого изделия и отдельных его деталей, что вызывает дополнительные затраты всех ресурсов. По мере повышения требований к качеству машин значимость потерь информации резко возрастает и становится недопустимой.

Компьютерное моделирование технологического процесса сборки основано на построении и использовании математических моделей. Математическая модель выступает как инструмент познания, с помощью которого можно изучать интересующий объект. Основное требование, предъявляемое к моделям – это их адекватность реальным процессам, которые замещает модель.

Простейшей математической моделью процесса сборки является классическая сборочная размерная цепь, включающая в себя составляющие и замыкающие звенья. Такая модель позволяет эффективно реализовать метод индивидуального подбора деталей.

Метод индивидуального подбора деталей основан на предваряющем сборку рассмотрении всех или некоторой части возможных вариантов сочетания собираемых деталей и выборе лучшего из них для практической реализации. Однако непосредственное применение такого способа при сборке реального изделия, когда количество возможных вариантов соединения деталей может превышать десятки миллионов, невозможно. Выход в автоматизации процесса индивидуального подбора деталей с помощью компьютера и превращение метода индивидуального подбора в компьютерную технологию [1].

Индивидуальный подбор деталей может осуществляться по различным алгоритмам, существенно различающимся по трудоемкости их осуществления. Исследования показывают [2], что самый простой алгоритм подбора – путем упорядочения массивов действительных размеров деталей обладает соизмеримыми возможностями по сравнению с другими, гораздо более сложными алгоритмами.

Сущность алгоритма заключается в следующем. Величины действительных размеров собираемых деталей, находящихся в данный момент на сборочном складе, вносятся в базу данных компьютера. Имеющиеся в базе данных значения размеров деталей  $A_{1i}$  и  $A_{2j}$  упорядочиваются по убыванию. Затем столбцы упорядоченных таким образом значений  $A_{1i}$  и  $A_{2j}$  почленно вычитаются, образуя замыкающее звено  $A_{\Delta k}$ , т. е:

$$A_{\Delta k} = A_{1i} - A_{2j}. \quad (1)$$

Такое моделирование производилось для следующих случаев:

- 1) для размерной цепи, состоящей из четырех составляющих и одного замыкающего звена (схема приведена на рис. 2);
- 2) для оценки полученных результатов было проведено сравнение с методом полной взаимозаменяемости (расчет по методу полной взаимозаменяемости [2]).

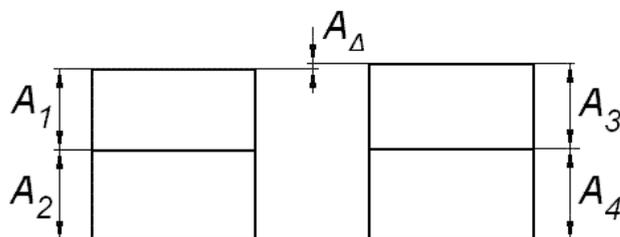


Рис. 2. Схема размерной цепи из четырех составляющих звеньев

Во всех случаях рассматривалось по 100 деталей. Рассчитанные значения стандартных отклонений  $\sigma$  и величин полей рассеяния замыкающего звена  $\omega A_{\Delta}$  представлены в таблице.

Таблица

Стандартные отклонения и величины полей рассеяния замыкающего звена

Без подбора		С подбором
Расчет по методу полной взаимозаменяемости	По результатам моделирования	
$\omega A_{\Delta} = 2$	$\sigma = 0,269$ $\omega A_{\Delta} = 1,614$	$\sigma = 0,025$ $\omega A_{\Delta} = 0,15$
$\omega A_{\Delta} = 4$	$\sigma = 0,358$ $\omega A_{\Delta} = 2,148$	$\sigma = 0,044$ $\omega A_{\Delta} = 0,264$

Анализ полученных результатов показывает, что разброс качества собранного изделия для ограниченной выборки в 100 шт. сокращается в 6–12 раз, а по сравнению с теоретическими расчетами – в 13–15 раз.

Таким образом, самым существенным преимуществом данного способа является возможность резкого роста качества изготавливаемого изделия без повышения требований к его деталям и без риска получения дефектного изделия при физическом осуществлении процесса сборки (поскольку при компьютерном моделировании процесс сборки носит виртуальный характер). Более того, по мере роста количества звеньев в размерной цепи преимущества этого метода растут.

Гораздо большие возможности дает использование адекватной математической модели (или набора математических моделей) собранного изделия, учитывающей все наиболее существенные свойства и процессы, характерные для данного конкретного экземпляра какого-либо реального изделия. Таким образом, внутри компьютера создается виртуальное изделие.

Виртуальность изделия заключается в программном моделировании необходимых для его функционирования операций. В самом простейшем случае это виртуальное изделие может быть предназначено, например, для определения выходных геометрических (распределение эксцентриситетов ротора) или физических (распределение дисбалансов ротора) характеристик сборки соответствующего реального изделия в данном конкретном варианте комплектации его деталей. Однако наличие в компьютере виртуального изделия позволяет ставить, быстро и эффективно

решать и значительно более сложные и интересные в практическом и теоретическом отношении задачи. Так, с полученным виртуальным изделием в компьютерной среде виртуальной реальности в принципе можно очень быстро и с небольшими затратами производить те же самые действия, что и с реальным, физически существующим изделием, например, виртуальные балансировку, испытание, эксплуатацию. Это позволяет оценивать качество сборки изделия при данном конкретном варианте его комплектации по тем критериям, которые однозначно характеризуют его, но не могут быть обеспечены при использовании традиционной технологии сборки. Тем самым можно избежать потерь информации, что приводит к экономии ресурсов.

Технология виртуальной сборки может быть составной частью виртуального производства изделия, начинающегося виртуальным изготовлением деталей и завершающегося виртуальным испытанием и виртуальной эксплуатацией изделия на различных режимах. Такая технология дает возможность:

- оценивать качество сборки изделия не только с помощью традиционных показателей, но и использовать гораздо более надежные и информативные эксплуатационные показатели, тесно связанные со служебным назначением изделия и не обеспечиваемые при обычно используемой технологии сборки;

- оценивать качество самой конструкции изделия, исследуя ее поведение на различных режимах с учетом специфических погрешностей, возникающих на всех этапах ее изготовления;

- обоснованно формулировать требования к качеству изготовления деталей;

- выбирать наилучший из возможных вариант комплектации собираемого изделия;

- в необходимых случаях производить целенаправленную доработку деталей перед сборкой.

Таким образом, компьютерное моделирование процесса сборки и использование технологии виртуальной реальности позволяют быстро и эффективно решать самые сложные и актуальные вопросы современной технологии машиностроения на всех стадиях создания нового изделия.

### Литература

1. *Непомилуев В.В.* Разработка технологических основ обеспечения качества сборки высокоточных узлов газотурбинных двигателей: Дис. ... д-ра техн. наук / В.В. Непомилуев. – Рыбинск: РГАТА, 2000. – 356 с.

2. *Безъязычный В.Ф.* Обеспечение качества изделий при сборке: Научно-производственное изд. / В.Ф. Безъязычный, В.В. Непомилуев, А.Н. Семенов. – М.: Издат. дом «Спектр», 2011. – 210 с.

УДК 004.9

**А.Н. Полетайкин**

*Кубанский государственный университет,  
Краснодар, 350040  
e-mail: alex.poletaykin@gmail.com*

## **КОМПЬЮТЕРНАЯ СИСТЕМА СОСТАВЛЕНИЯ ТУРИСТИЧЕСКИХ МАРШРУТОВ МЕТОДОМ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ**

В работе рассмотрена разработка компьютеризированной системы оптимизации туристических маршрутов по принципу задачи коммивояжера. Рассмотрена модель предметной области. Представлены проектные решения по созданию системы. В основу алгоритма поиска оптимальных маршрутов положен аппарат генетических алгоритмов. Формальное рассмотрение маршрутов выполнено с точки зрения программы пребывания туристов в разрезе значений атрибутов, входящих в программу мероприятий. Исходными данными выступают предпочтения клиентов относительно программы пребывания в зоне отдыха. Результатом моделирования является выборка наилучших решений, удовлетворяющих запросам клиента. Работа представляет научный и исследовательский интерес с точки зрения применения многопараметрической оптимизации методом генетических алгоритмов для решения задач построения маршрутов и планирования мероприятий.

**Ключевые слова:** туристический маршрут, программа пребывания, компьютерная система, многокритериальная оптимизация, генетический алгоритм.

**A.N. Poletajkin**

*Kuban State University,  
Krasnodar, 350040  
e-mail: alex.poletaykin@gmail.com*

## **COMPUTER SYSTEM FOR COMPILING TOURIST ROUTES BY METHOD OF GENETIC ALGORITHMS**

The paper considers the development of a computerized system for optimizing tourist routes on the basis of the travelling salesman problem. The domain model is considered. Design solutions for creating a system are presented. The algorithm for finding optimal routes is based on the apparatus of genetic algorithms. The formal examination of the routes was carried out from the point of view of the tourist stay program in the context of the attribute values included in the program of events. The initial data are the preferences of clients regarding the program of stay in the recreation area. The result of the simulation is a selection of the best solutions that satisfy customer needs. The work is of scientific and research interest from the point of view of the application of multi-parameter optimization by the method of genetic algorithms for solving problems of building routes and planning events.

**Key words:** tourist route, stayprogram, computer system, multi-criteria optimization, genetic algorithm.

Постоянное совершенствование инструментария планирования деятельности человека с необходимостью требует применения методов математического моделирования. Сама постановка вопроса о математическом моделировании какого-либо объекта предполагает некоторый план действий. Его можно условно разбить на три этапа: 1) модель, 2) алгоритм, 3) программа. Постоянное совершенствование этой триады и ее воплощение в современных автоматизированных системах может быть определено как методологический императив. Лишь его выполнение позволяет получать адекватные и эффективные математические модели реальных объектов, процессов, теорий [1].

Рассмотрим применение математического моделирования к выработке оптимальных решений по пребыванию туристов в зоне отдыха.

*Основные понятия и определения.*

Туристическое агентство – посредническое коммерческое учреждение, которое занимается организацией туристических поездок из исходного пункта в некоторую зону отдыха на некоторый период времени, обеспечивает юридическую поддержку на всех этапах организации.

Зона отдыха (ЗО) – географическая местность, представленная туристской картой, которая отображает пункты пребывания и другие объекты, представляющие интерес для туризма (транспортные каналы, архитектурные и исторические памятники, заповедники, гостиницы, пляжи, клубы и др.) на фоне общегеографических элементов (населенных пунктов, дорог, рек и т. п.). Обычно сопровождаются текстом, фотографиями, рисунками и указателями.

Программа пребывания (ПРП) – комплекс мероприятий, последовательно распределенных по времени, которые должны быть выполнены клиентом, отправляющимся в поездку по ЗО.

Пункт пребывания (ПП) – географическая точка внутри ЗО, для которой характерен определенный комплекс мероприятий с определенными атрибутами.

Мероприятием считается любая последовательность действий клиента от момента отправления в туристическую поездку до момента прибытия в конечный пункт, регламентируемых туристическим агентством. Некоторые последовательности действий группируются в объекты.

Рассмотрим задачу формирования программы пребывания туриста в некоторой ЗО, представленной туристской картой, которая отображает пункты пребывания и другие объекты, представляющие интерес для туризма (транспортные каналы, архитектурные и исторические памятники, заповедники, гостиницы, пляжи, клубы и др.) на фоне общегеографических элементов (населенных пунктов, дорог, рек и т. п.).

Мероприятием будем считать любую последовательность действий клиента от момента отправления в туристическую поездку до момента прибытия в конечный пункт, регламентируемых туристическим агентством. Некоторые последовательности действий группируются в объекты.

Мероприятия характеризуются следующими атрибутами:

- классность ( $Q$ ) – представляется категориально;
- стоимость ( $C$ ) – представляется фактически в у. е.;
- безопасность ( $P$ ) – представляется категориально;
- временные затраты ( $T$ ) – представляется фактически в 10-минутках;
- энергетические затраты ( $E$ ) – в смысле расходования физической, психической и ментальной энергии человека – представляется категориально.

Категориальное описание осуществляется при помощи процедуры классификации по видам типовых объектов ЗО:

- транспортный канал доставки в ЗО;
- транспортный канал внутри ЗО;
- отели;
- питание;
- пляжи;
- объекты развлечений;
- достопримечательности.

Для каждого мероприятия каждый атрибут характеризуется некоторой относительной оценкой актуальности, варьирующейся от 0 до 10 баллов как абсолютная неактуальность и наивысшая актуальность соответственно, а также их реальными оценками согласно принятому прецеденту. Перечень типичных мероприятий с указанием относительной актуальности каждого из атрибутов представлен в табл. 1.

Таблица 1

**Перечень типичных мероприятий в туристической поездке**

Мероприятие	Актуальность атрибута (0...10)				
	$Q$	$C$	$P$	$T$	$E$
Перемещение в/из ЗО	9	9	9	6	7
Перемещение между пунктами внутри ЗО	7	9	9	8	8
Проживание в отеле	8	8	7	0	6
Питание	7	8	0	4	7
Развлечения	9	6	3	7	8
Отдых на пляже	7	7	3	5	7
Осмотр достопримечательностей	5	8	4	7	8
Досуг	0	0	1	1	0

Каждая зона отдыха предусматривает набор программ пребывания в ЗО. Типовая программа предусматривает маршрут – определенную последовательность ПП, каждый из которых может быть поочередно посещен один раз с временными задержками на мероприятия, характерными для данного ПП. При планировании программы пребывания в некоторой ЗО используется туристская карта данной ЗО, отражающая рабочее пространство для планирования, и может быть представлена в виде ориентированного взвешенного графа, где вершинами являются пункты пребывания, а веса отражают характер перемещения из одного ПП в другой. Ввиду того, что перемещения чаще всего могут производиться в обоих направлениях, общее рабочее пространство маршрутов можно представить в виде квадратной симметричной матрицы  $\|W_N\|$  размерности  $N$ , а пространство перемещений – в виде матрицы  $\|R_N\|$ , где  $N$  – количество ПП в данной ЗО. Пример туристской карты типичной курортной ЗО представлен на рис. 1.

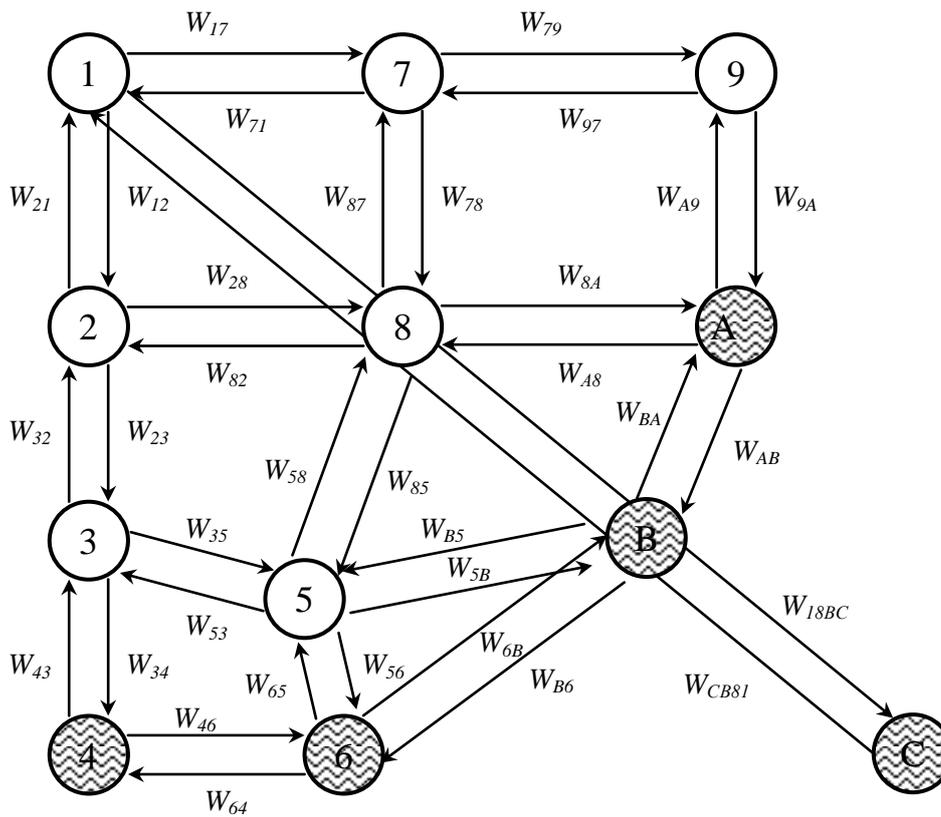


Рис. 1. Туристская карта типичной зоны отдыха (волнистой заливкой обозначены пункты пребывания, прилегающие к морю)

Входной информацией для планирования является анкета клиента. Анкета представляет собой набор формальных вопросов по существу желаемого путешествия (место, стоимость, временные ограничения и т. п.), и психологических тестов, при помощи которых производится диагностика психического состояния клиента в отношении категориально представленных атрибутов  $Q$ ,  $P$  и  $E$ . Расшифровка анкеты клиента представлена в табл. 2.

Таблица 2

Расшифровка типичной анкеты клиента

Примерная стоимость, у. е.	10 000–12 000
Ограничения по времени, мин · 10	2 880–3 600
Уровень классности, согласно КТ Q	Выше среднего
Уровень безопасности, согласно КТ P	Выше средней
Уровень энергетических затрат, согласно КТ E	Средние

Таким образом, суть планирования программы пребывания заключается в обработке клиентского запроса и такому подбору маршрута, при котором найденная программа даст максимальное соответствие с клиентским запросом при максимальном количестве посещаемых пунктов

пребывания. Структурная схема разрабатываемой системы представляет собой схему типичной компьютеризированной системы (КС) и представлена на рис. 2.

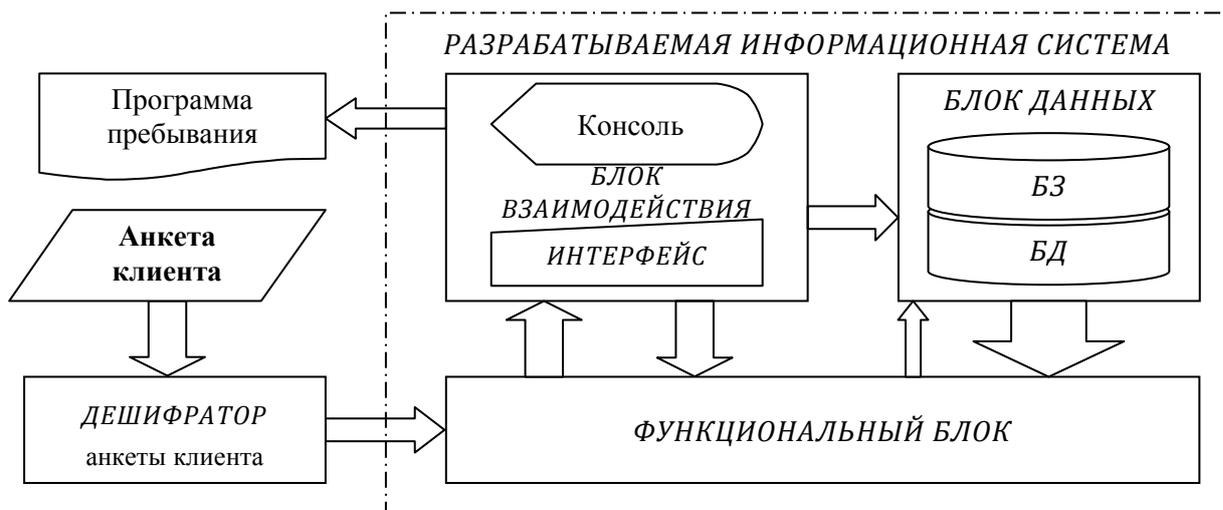


Рис. 2. Структурная схема системы

Разрабатываемая КС является частью системы туристического бизнеса, в связи с чем входная и выходная информация носит прикладной коммерческий характер и представлена входной расшифровкой запроса клиента и выходной оптимальной программой пребывания в данной зоне отдыха. В системе можно укрупненно выделить три основных блока (рис. 2).

**Блок данных.** Выделенный блок данных представлен в виде базы данных (БД), физически расположенной на жестком носителе информации, логика и семантика которой соответствуют решаемой задаче. Ввиду оптимизационного характера задачи, где в качестве параметров оптимизации выступают невербальные знания о потребностях человека, возникает необходимость надстройки более структурированной концептуально-функциональной модели данных – базы знаний (БЗ) системы.

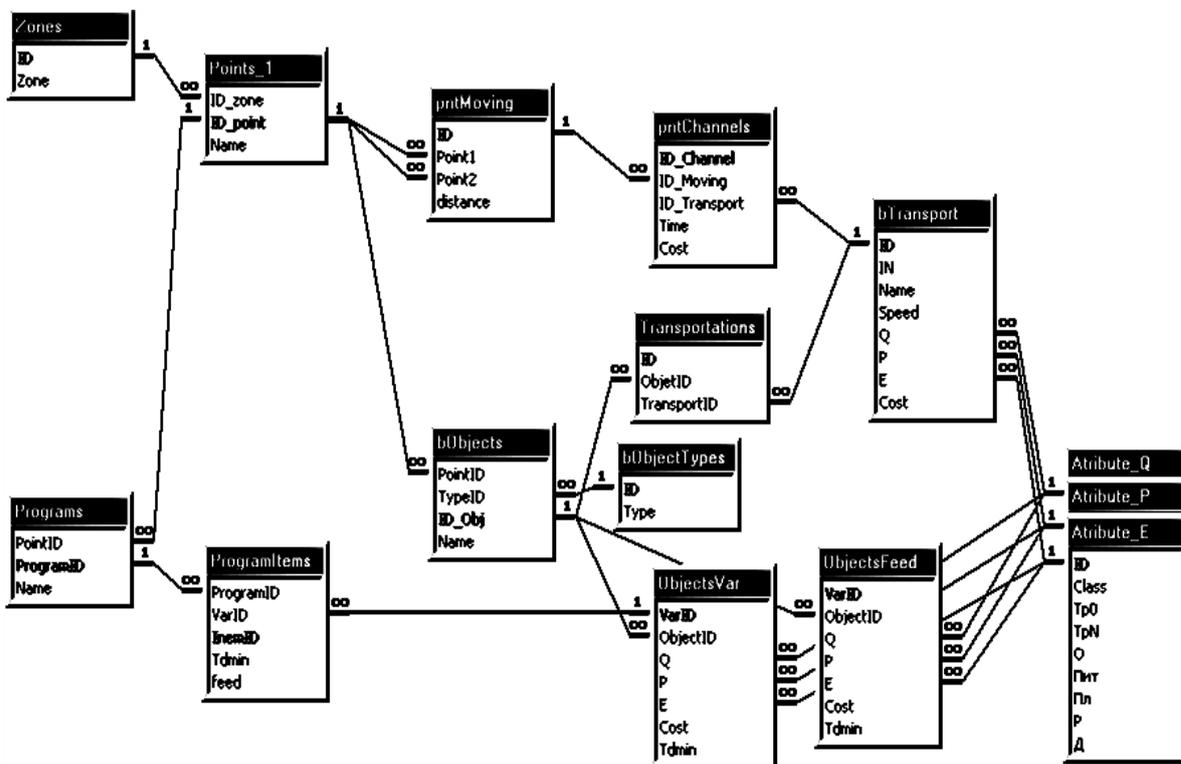


Рис. 3. Структура базы данных системы

*Функциональный блок.* Разрабатываемая КС предусматривает моделирование динамических эволюционных процессов на основе генетических алгоритмов (ГА) по классической схеме. Применение классического ГА к задаче поиска оптимального маршрута рассмотрено в [2]. Общее полиномиальное представление оптимизируемой целевой функции (ЦФ) выглядит следующим образом:

$$F = \{S, C, Q, P, E, T\}, \quad (1)$$

где имеет место следующий генотип:

$S$  – порядковое представление перемещения по маршруту ( $n = N, k = 4$ );

$C$  – стоимость: 1..65536 ( $k = 16$ ), у. е.;

$Q$  – категория классности ( $n = 1..5, k = 8$ );

$P$  – категория безопасности ( $n = 1..5, k = 8$ );

$E$  – категория энергозатрат ( $n = 1..5, k = 8$ );

$T$  – интервал времени: 1..65536 ( $k = 16$ ), 10-мин. (соотв. 1,5 г.). Качественные параметры  $Q, P, E$  кодируются 8-разрядными двоичными кодами.

Формальная запись ЦФ представляет собой классическую сумму квадратов разностей с учетом точности кодирования, которую предполагается устремить к минимуму, достигая, таким образом, качественного решения в соответствии с клиентским запросом:

$$F^* = \sum_N K_E (par_{зад} - par_{рез})^2 \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $par_{зад}$  – параметрическая расшифровка клиентского запроса;

$par_{рез}$  – выделенные параметры из очередного решения ГА;

$K_E$  – коэффициент, определяющийся точностью генетического кодирования параметра как величина, обратно пропорциональная количеству кодируемых разрядов;

$N$  – количество используемых качественных параметров.

*Блок взаимодействия с человеком.* Данный блок представляет собой аппаратно-программный комплекс целенаправленного взаимодействия человека с машиной; аппаратная часть блока обычно представлена консолью ввода-вывода; программная часть реализована в виде интерфейса пользователя в прикладном варианте решения задачи, и интерфейсных средств визуального контроля реализации алгоритма решения задачи и вычислительных процессов (модифицируемость и прозрачность системы) в рамках научно-исследовательского характера работы.

В статье исследовано применение ГА к решению задач нелинейного многопараметрического программирования. Разработан математический аппарат, позволяющий применить ГА к разработке программы поиска оптимальных туристических маршрутов и планирования программы пребывания в туристической зоне. Гибкость методов ГА позволяет получить приемлемые результаты за короткое время.

Разработанная программа представляет собой модуль для предоставления возможных маршрутов на выбор туриста. Для более гибкого представления данных о предлагаемой зоне отдыха можно реализовать такие возможности: выбор конкретных городов для путешествия (или исключением нежелательных), описание пунктов пребывания и программ отдыха еще до поиска решения. В общем, обеспечить большую интерактивность интерфейса. Также в работе не рассмотрены вопросы учета итоговых результатов и окончательного формирования выходных документов. Такие функции можно реализовать в иных системах комплексного программного пакета.

## Литература

1. Канев В.С. Адекватность и эффективность математического моделирования / В.С. Канев // Материалы XI Международной Азиатской Школы-семинара «Проблемы оптимизации сложных систем», г. Чолпон-Ата, Кыргызская республика, 27.06–7.08.2015 г. – Т. 1. – С. 327–332.

2. Полетайкин А.Н. Генетический алгоритм построения оптимального маршрута автомобиля по принципу задачи коммивояжера / А.Н. Полетайкин // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Международной научно-технической конференции (17–19 октября 2018 г.). В 2 ч. / Отв. за вып. О.А. Белов. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2019. – Ч. 2. – С. 44–47.

УДК 539.3:629.01

**С.Н. Царенко**

*Донецкий национальный технический университет,  
Донецк, 283001  
e-mail: tzarenko@rambler.ru*

### **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ СТЕРЖНЕВОЙ КОНСТРУКЦИИ НА ПЛАВУЧЕЙ ПЛАТФОРМЕ**

В работе рассмотрено построение математической модели динамики стержневой конструкции на платформе. Стержневая конструкция рассматривается как упругий стержень с переменной изгибной жесткостью и линейной плотностью. Платформа рассматривается как жесткая инертная плита на упругом основании. Математическая модель динамического изгиба стержня представлена дифференциальным уравнением четвертого порядка с переменными коэффициентами в частных производных. Решение уравнения получено методом Фурье. Выполнено исследование влияния параметров механической системы на значение первой собственной частоты колебания. Получены расчетные зависимости для определения динамических прогибов, углов поворота и изгибающих моментов при импульсном воздействии на конструкцию. Приводится сравнение результатов расчета по предложенной модели с моделью малых колебаний системы твердых тел.

**Ключевые слова:** плавучая платформа, стержень переменного сечения, собственные колебания, метод Фурье, функции Бесселя.

**S.N. Tsarenko**

*Donetsk National Technical University,  
Donetsk, 283001  
e-mail: tzarenko@rambler.ru*

### **MATHEMATICAL MODELING OF ROD STRUCTURE DYNAMICS ON A FLOATING PLATFORM**

The problem of construction of mathematical models of rod structure dynamics on the platform is described in the article. The rod structure is considered as an elastic rod with variable bending stiffness and distributed mass. The platform is considered as a hard inert plate on an elastic base. The mathematical model of the dynamic bending of the rod is a differential equation with variable coefficients in partial derivatives. The solution of the equation by the Fourier method is obtained. Investigation of the influence on the mechanical parameters of the system the value of the first natural frequency of oscillation is satisfied. Dependencies for determining dynamic displacements, rotation angles, and bending moments under pulsed action on the structure are obtained. The equation for calculating the results of the model with the model of small oscillations of solids system is represented.

**Key words:** floating platform, rod of variable cross section, natural vibrations, Fourier method, Bessel functions.

Многие промышленные длинномерные стержневые сооружения и конструкции морского базирования устанавливаются на плавучих платформах и судах, к таким объектам можно отнести: морские буровые платформы, плавучие ветровые электростанции, плавкраны и т. п. В отличие от стационарных наземных сооружений данные объекты подвергаются более разнообразным и интенсивным динамическим воздействиям [1–3]. Вопросам динамики сооружений в целом и их отдельных конструктивных элементов посвящены как экспериментальные работы [4], так и теоретические исследования с применением средств моделирования на базе МКЭ [5] и классических методов математической физики [6–8].

Применение разных методов решения задач динамики имеет свои особенности, так при использовании МКЭ возникает проблема верификации результатов расчета, которая в основном решается за счет сопоставления с результатами, полученными альтернативными методами исследования. В работах [6–8], несмотря на то, что в предложенных моделях учитываются переменные жесткость и линейная плотность стержня, а также неупругие свойства материала, интегрирование дифференциального уравнения изогнутой оси выполняется численно, это затрудняет возможность оценить влияние отдельных параметров конструкции на динамические характеристики модели. Кроме того непосредственно для динамического расчета в [6, 8] использована упрощенная модель в одномодовом приближении без анализа степени влияния остальных собственных форм.

Разработка модели для исследования динамических процессов в конструкциях на плавучей платформе на основе аналитического решения уравнения изгиба упругого стержня позволяет проанализировать влияние параметров модели на динамические характеристики объекта, обосновать выбор упрощенных моделей, верифицировать результаты расчетов в программных комплексах на базе МКЭ.

Рассматривается упругий стержень (рис. 1) с переменной по длине линейной плотностью  $m$  и изгибной жесткостью  $EJ$ :

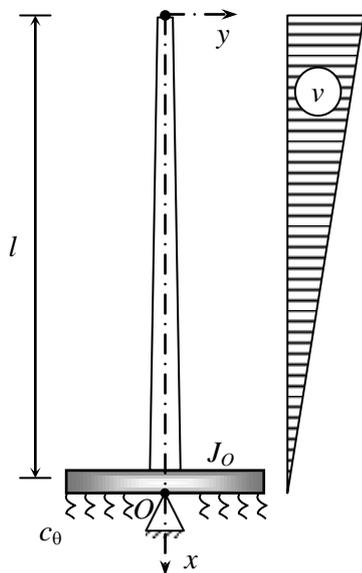


Рис. 1. Расчетная схема стержневой конструкции на плавучей платформе

$$m = \gamma F_2 z^\nu; EJ = EJ_2 z^{\nu+2}, z = (1-k)\frac{x}{l} + k, k = \frac{h_1}{h_2}, \quad (1)$$

где  $\gamma$  – плотность материала,

$E$  – модуль упругости,

$F_2$  и  $J_2$  – площадь поперечного сечения и момент инерции площади нижнего основания стержня,

$h_1$  и  $h_2$  – радиусы инерции торцевых сечений,

$l$  – длина стержня.

Показатель степени  $\nu$  зависит от типа конструкции. Стержень с принятыми параметрами может моделировать конструкции решетчатых башен  $\nu = 0$ , а также пирамидальные и конические стержни полого сечения –  $\nu = 1$  и сплошного сечения –  $\nu = 2$ . Стержень жестко соединен с инертной плитой, которая расположена на упругом основании и может поворачиваться в плоскости  $xu$  относительно центра  $O$ . В результате монтажной операции или технологического воздействия сечения стержня получают импульс в виде линейно-распределенной по длине скорости (рис. 1). Для исследования поперечных колебаний стержня  $y(x, t)$ , если выбрать систему координат со стороны меньшего основания, нужно решить граничную задачу [9]:

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left( EJ(x) \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right) + m(x) \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0, \quad (2)$$

$$EJ(x) y''(x, t) \Big|_{x=0} = 0; \left( EJ(x) y''(x, t) \right)' \Big|_{x=0} = 0; y(l, t) = 0, \quad (3)$$

$$EJ(x) y''(x, t) \Big|_{x=l} = -c_0 \theta - J_0 \ddot{\theta}, \quad (4)$$

с начальными условиями:

$$y(x, 0) = 0; \dot{y}(x, 0) = \dot{\theta}_0 l \left( 1 - \frac{x}{l} \right), \quad (5)$$

где  $c_0$  – жесткость упругого поворота,

$J_0$  – момент инерции массы плиты относительно центра  $O$ ,

$\theta$  – угол поворота плиты с учетом жесткой состыковки стержня с плитой  $\theta = y' \Big|_{x=l}$ ,

$\dot{\theta}_0$  – начальная угловая скорость поворота плиты.

Уравнение (2) для принятых физико-механических характеристик стержня (1) приводится к виду

$$z^{v+2}y'''' + 2(v+2)z^{v+1}y''' + (v+2)(v+1)z^v y'' = -\frac{\gamma F_2 l^4}{EJ_2(1-k)^4} z^v \ddot{y}, \quad (6)$$

здесь и далее штрихом обозначена производная по  $z$ . Решение уравнения (6) методом Фурье можно представить через начальные параметры в виде [10]:

$$y(\zeta, t) = \zeta^{-v} \sum_{n=1}^{\infty} \left[ y_{0n} \zeta^v A_{\lambda\zeta} + u_{0n} \zeta^{v+1} \frac{2l}{\lambda_n(1-k)} \left( C_{\lambda\zeta} + \frac{2(v+1)}{\lambda_n \zeta_0} B_{\lambda\zeta} \right) + \frac{M_{0n}}{EJ_2} \zeta_0^{-v-2} \left( \frac{2l}{\lambda_n(1-k)} \right)^2 B_{\lambda\zeta} + \frac{Q_{0n}}{EJ_2} \zeta_0^{-v-1} \left( \frac{2l}{\lambda_n(1-k)} \right)^3 D_{\lambda\zeta} \right] \sin(\omega_n t + \mu_n), \quad (7)$$

где  $\zeta = \sqrt{z}$ ,  $\zeta_0 = \sqrt{k}$ ,  $y_{0n}$ ,  $u_{0n}$ ,  $M_{0n}$ ,  $Q_{0n}$  – прогиб, угол поворота, изгибающий момент, поперечная сила в начале отсчета для  $n$ -й формы колебаний соответственно,

$$\lambda_n = \sqrt[4]{\frac{16\omega_n^2 l^4 \gamma F_2}{(1-k)^4 EJ_2}} - \text{собственные значения,}$$

$\omega_n$ ,  $\mu_n$  – собственная частота и фаза  $n$ -й формы колебаний,

$A_{\lambda\zeta}$ ,  $B_{\lambda\zeta}$ ,  $C_{\lambda\zeta}$ ,  $D_{\lambda\zeta}$  – аналог функций Крылова для неоднородной балки [10]:

$$A_{\lambda\zeta} = \frac{1}{4} \lambda_n \zeta_0 \left[ 2(I_v(\lambda_n \zeta) K_{v+1}(\lambda_n \zeta_0) + K_v(\lambda_n \zeta) I_{v+1}(\lambda_n \zeta_0)) - \pi(J_v(\lambda_n \zeta) Y_{v+1}(\lambda_n \zeta_0) - Y_v(\lambda_n \zeta) J_{v+1}(\lambda_n \zeta_0)) \right];$$

$$B_{\lambda\zeta} = \frac{1}{4} \lambda_n \zeta_0 \left[ 2(I_v(\lambda_n \zeta) K_{v+1}(\lambda_n \zeta_0) + K_v(\lambda_n \zeta) I_{v+1}(\lambda_n \zeta_0)) + \pi(J_v(\lambda_n \zeta) Y_{v+1}(\lambda_n \zeta_0) - Y_v(\lambda_n \zeta) J_{v+1}(\lambda_n \zeta_0)) \right];$$

$$C_{\lambda\zeta} = \frac{1}{4} \lambda_n \zeta_0 \left[ 2(I_v(\lambda_n \zeta) K_v(\lambda_n \zeta_0) - K_v(\lambda_n \zeta) I_v(\lambda_n \zeta_0)) - \pi(J_v(\lambda_n \zeta) Y_v(\lambda_n \zeta_0) - Y_v(\lambda_n \zeta) J_v(\lambda_n \zeta_0)) \right];$$

$$D_{\lambda\zeta} = \frac{1}{4} \lambda_n \zeta_0 \left[ 2(I_v(\lambda_n \zeta) K_v(\lambda_n \zeta_0) - K_v(\lambda_n \zeta) I_v(\lambda_n \zeta_0)) + \pi(J_v(\lambda_n \zeta) Y_v(\lambda_n \zeta_0) - Y_v(\lambda_n \zeta) J_v(\lambda_n \zeta_0)) \right],$$

здесь  $J_v(z)$  и  $Y_v(z)$  – функции Бесселя,  $I_v(z)$  и  $K_v(z)$  – модифицированные функции Бесселя.

Из первых двух граничных условий (3) следует  $M_{0n} = 0$ ,  $Q_{0n} = 0$ , удовлетворив третье условие (3), получим выражение для собственных функций:

$$y_{0n} Z_n = y_{0n} \zeta^{-v} \zeta_0^v \left( A_{\lambda\zeta} - \alpha_n \left( C_{\lambda\zeta} + \frac{2(v+1)}{\lambda_n \zeta_0} B_{\lambda\zeta} \right) \right), \quad (8)$$

где

$$\alpha_n = \frac{\lambda_n \zeta_0 A_{\lambda\zeta}}{\lambda_n \zeta_0 C_{\lambda\zeta} + 2(v+1) B_{\lambda\zeta}}.$$

Соответствующие производные собственной функции для определения углов поворота, изгибающих моментов и поперечных сил будут иметь вид:

$$Z_n' = \frac{\lambda_n}{2} \zeta^{-v-1} \zeta_0^v \left( \tilde{A}_{\lambda\zeta} - \alpha_n \left( \tilde{C}_{\lambda\zeta} + \frac{2(v+1)}{\lambda_n \zeta_0} \tilde{B}_{\lambda\zeta} \right) \right); \quad (9)$$

$$z^{v+2} Z_n'' = \frac{\lambda_n^2}{4} \zeta^{v+2} \zeta_0^v \left( B_{\lambda\zeta} - \frac{2(v+1)}{\lambda_n \zeta} \tilde{A}_{\lambda\zeta} - \alpha_n \left( D_{\lambda\zeta} + \frac{2(v+1)}{\lambda_n \zeta_0} A_{\lambda\zeta} - \frac{2(v+1)}{\lambda_n \zeta} \left( \tilde{C}_{\lambda\zeta} + \frac{2(v+1)}{\lambda_n \zeta_0} \tilde{B}_{\lambda\zeta} \right) \right) \right); \quad (10)$$

$$(z^{v+2} Z_n'')' = \frac{\lambda_n^3}{8} \zeta^{v+1} \zeta_0^v \left( \tilde{B}_{\lambda\zeta} - \alpha_n \left( \tilde{D}_{\lambda\zeta} + \frac{2(v+1)}{\lambda_n \zeta_0} \tilde{A}_{\lambda\zeta} \right) \right). \quad (11)$$

Определение функций  $\tilde{A}_{\lambda\zeta}$ ,  $\tilde{B}_{\lambda\zeta}$ ,  $\tilde{C}_{\lambda\zeta}$ ,  $\tilde{D}_{\lambda\zeta}$  дано в работе [10], между данными функциями и представленными ранее выполняются следующие соотношения:

$$(\zeta^{-v} A_{\lambda\zeta})' = \frac{\lambda_n}{2} \zeta^{-v-1} \tilde{A}_{\lambda\zeta}; (\zeta^{-v} B_{\lambda\zeta})' = \frac{\lambda_n}{2} \zeta^{-v-1} \tilde{B}_{\lambda\zeta}; (\zeta^{-v} C_{\lambda\zeta})' = \frac{\lambda_n}{2} \zeta^{-v-1} \tilde{C}_{\lambda\zeta}; (\zeta^{-v} D_{\lambda\zeta})' = \frac{\lambda_n}{2} \zeta^{-v-1} \tilde{D}_{\lambda\zeta}.$$

Анализ влияния параметров конструкции на частотные характеристики. Из условия (4) следует частотное уравнение:

$$\left( z^{v+2} Z_n'' + \left( \chi \frac{\lambda_n}{2(1-k)} - \xi \frac{\lambda_n^5 (1-k)^3}{96} \right) Z_n' \right) \Big|_{z=1} = 0, \quad (12)$$

здесь введены следующие обозначения:  $\chi = \frac{c_\theta l}{EJ_2}$  – относительная жесткость упругого поворота,

$\xi = \frac{3J_o}{\gamma F_2 l^3}$  – относительный момент инерции массы плиты.

Введем обозначение  $\tilde{\lambda}_n = \lambda_n (1-k)/2$ , тогда зависимость для нахождения собственных частот можно привести к виду, аналогичному случаю однородных стержней:

$$\omega_n = \frac{\tilde{\lambda}_n^2}{l^2} \sqrt{\frac{EJ_2}{\gamma F_2}}.$$

Если рассматривать стержень и плиту как систему твердых тел, совершающих малые колебания относительно центра  $O$ , то уравнение движения такой системы будет

$$\left( J_o + \frac{\gamma F_2 l^3}{(1-k)^3} \int_k^l z^v (1-z)^2 dz \right) \ddot{\theta} + c_\theta \theta = 0. \quad (13)$$

Используя ранее принятые обозначения, уравнение (13) приводится к виду

$$\ddot{\theta} + \frac{\tilde{\lambda}^4 EJ_2}{l^4 \gamma F_2} \theta = 0, \quad (14)$$

где  $\tilde{\lambda} = \sqrt[4]{\frac{3\chi(1-k)^3(v+1)(v+2)(v+3)}{\xi(1-k)^3(v+1)(v+2)(v+3) + 3((1-k^{v+1})(v+2)(v+3) - 2(1-k^{v+2})(v+1)(v+3) + (1-k^{v+3})(v+1)(v+2))}}$ . (15)

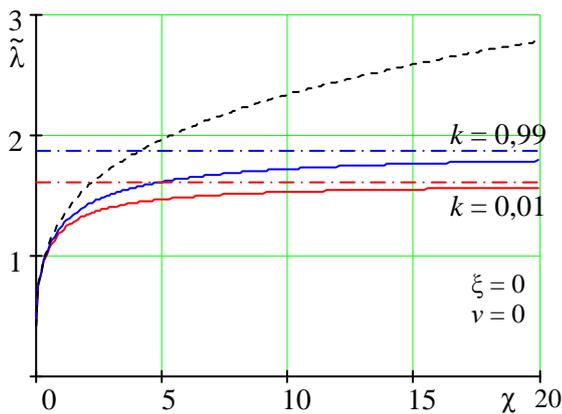


Рис. 2. Зависимость собственного числа  $\tilde{\lambda}$  от параметра относительной жесткости  $\chi$

На графике рис. 2 представлены зависимости первого собственного числа  $\tilde{\lambda}_1$  от относительной жесткости  $\chi$  для упругих стержней, моделирующих конструкции решетчатых башен ( $v = 0$ ) с параметрами поперечного размера  $k = 0,01$  и  $k = 0,99$ , найденные численно из решения уравнения (12) без учета локальной инерционной нагрузки ( $\xi = 0$ ). Пунктиром показаны значения  $\tilde{\lambda}$  по зависимости (15), штрихпунктирными линиями показаны значения первого собственного числа для соответствующих консольных конструкций с жесткой заделкой [10]:  $\tilde{\lambda}_1 = 1,873$  ( $k = 0,99$ ),  $\tilde{\lambda}_1 = 1,604$  ( $k = 0,01$ ). Из анализа полученных зависимостей следует, что при  $\chi < 0,5$  значения  $\tilde{\lambda}_1$

при любом значении  $k$  отличаются от  $\tilde{\lambda}$  не более чем на 5%, таким образом, для описания динамики конструкции подойдет модель (14). При значениях  $\chi > 25$  можно использовать модель консоли с жесткой заделкой. Наличие инерционной нагрузки  $\xi$  приводит к уменьшению расхождения значений первого собственного числа  $\tilde{\lambda}_1$  из уравнения (12) и  $\tilde{\lambda}$  по формуле (15).

Исследование параметров динамического изгиба конструкции. Из первого начального условия (5) получим  $\mu_n = 0$ , из второго начального условия (5) следует зависимость:

$$\frac{1}{l^2} \sqrt{\frac{EJ_2}{\gamma F_2}} \sum_{n=1}^{\infty} y_{0n} \tilde{\lambda}_n^2 Z_n(z) = \frac{\dot{\theta}_0 l}{(1-k)} (1-z). \quad (16)$$

Прогибы  $y_{0n}$  ищем с учетом свойства ортогональности функции  $Z_n$  с функцией  $\bar{Z}_m$  ( $m \neq n$ ), которая в случае наличия локальной моментной инерционной нагрузки будет принимать вид [9]:

$$\bar{Z}_m(z) = z^v Z_m(z) - \frac{1}{3} (1-k)^3 \xi (Z'_m(z) \delta(z-1))',$$

где  $\delta(z)$  – дельта-функция Дирака.

Помножив обе части равенства (16) на функцию  $\bar{Z}_m$  и проинтегрировав по длине, а также учитывая граничное условие (4), получим выражение для определения прогибов  $y_{0n}$ :

$$y_{0n} = -\frac{64 \dot{\theta}_0 l^3 \chi Z'_n(1)}{(1-k)^4 \lambda_n^6 \Delta_n^2} \sqrt{\frac{\gamma F_2}{EJ_2}},$$

где  $\Delta_n^2$  – квадрат нормы собственных функций для рассматриваемых граничных условий определяется зависимостью [9]:

$$\Delta_n^2 = \left( \frac{8(v+1)}{\lambda_n^4} Z'_n Z''_n + \frac{8}{\lambda_n^4} (z^{v+2} Z''_n)^2 - \frac{16}{\lambda_n^4} Z'_n (z^{v+2} Z''_n)' + \xi \frac{(1-k)^3}{3} (Z'_n)^2 \right) \Big|_{z=1} - \left( \frac{1}{2} z^{v+1} Z_n^2 \right) \Big|_{z=k}.$$

Выражения для прогибов углов поворота и изгибающих моментов примут вид:

$$y(\zeta, \tau) = -y_A \chi (1-k)^2 \zeta^{-v} \zeta_0^v \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Z'_n(1)}{\tilde{\lambda}_n^6 \Delta_n^2} \left( A_{\lambda \zeta} - \alpha_n \left( C_{\lambda \zeta} + \frac{2(v+1)}{\lambda_n \zeta_0} B_{\lambda \zeta} \right) \right) \sin \tilde{\lambda}_n^2 \tau; \quad (17)$$

$$u(\zeta, \tau) = -u_A \chi (1-k)^2 \zeta^{-v-1} \zeta_0^v \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Z'_n(1)}{\tilde{\lambda}_n^5 \Delta_n^2} \left( \tilde{A}_{\lambda \zeta} - \alpha_n \left( \tilde{C}_{\lambda \zeta} + \frac{2(v+1)}{\lambda_n \zeta_0} \tilde{B}_{\lambda \zeta} \right) \right) \sin \tilde{\lambda}_n^2 \tau; \quad (18)$$

$$M(\zeta, \tau) = -M_A \chi (1-k)^2 \zeta^{v+2} \zeta_0^v \sum_{n=1}^{\infty} \frac{Z'_n(1)}{\tilde{\lambda}_n^4 \Delta_n^2} \left( B_{\lambda \zeta} - \frac{2(v+1)}{\lambda_n \zeta} \tilde{A}_{\lambda \zeta} - \alpha_n \left( D_{\lambda \zeta} + \frac{2(v+1)}{\lambda_n \zeta_0} A_{\lambda \zeta} - \frac{2(v+1)}{\lambda_n \zeta} \left( \tilde{C}_{\lambda \zeta} + \frac{2(v+1)}{\lambda_n \zeta_0} \tilde{B}_{\lambda \zeta} \right) \right) \right) \sin \tilde{\lambda}_n^2 \tau, \quad (19)$$

здесь введены следующие обозначения  $\tau = \frac{t}{l^2} \sqrt{\frac{EJ_2}{\gamma F_2}}$  – безразмерное время, все размерные величины

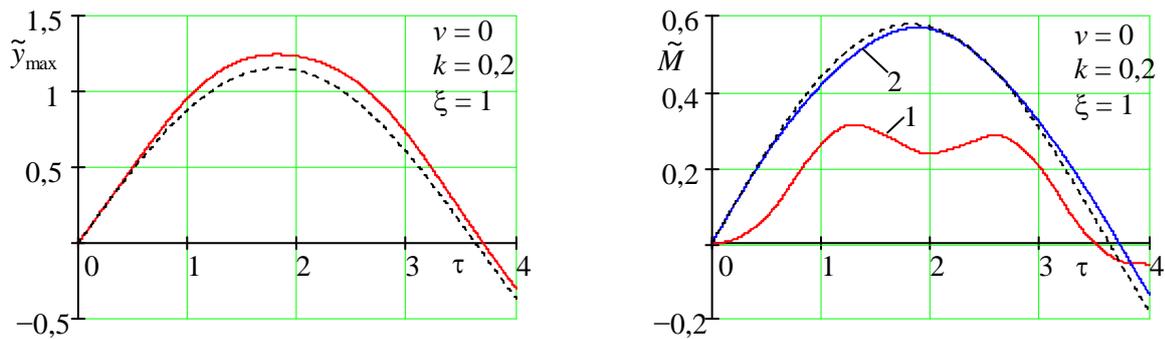
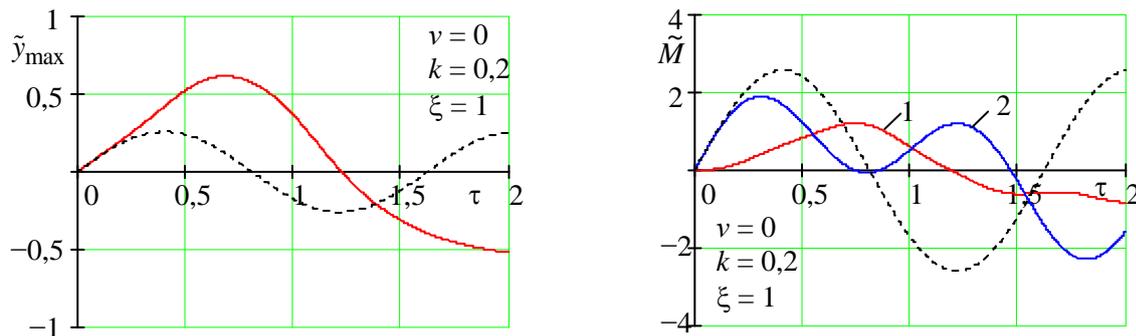
в выражениях (17–19) приведены к параметрам  $y_A = \dot{\theta}_0 l^3 \sqrt{\frac{\gamma F_2}{EJ_2}}$ ;  $u_A = \dot{\theta}_0 l^2 \sqrt{\frac{\gamma F_2}{EJ_2}}$ ;

$$M_A = \dot{\theta}_0 l \sqrt{EJ_2 \gamma F_2}.$$

Если рассматривать модель колебания твердых тел, то решение уравнения (13) для начальных условий (5) будет иметь вид

$$\theta(\tau) = -\frac{u_A}{\tilde{\lambda}^2} \sin \tilde{\lambda}^2 \tau. \quad (20)$$

На графиках рис. 3 и 4 представлены зависимости безразмерного прогиба верхнего торца конструкции  $\tilde{y}_{\max}(\tau) = y(\zeta_0, \tau) / y_A$  и моментов: 1 – изгибающий момент в нижнем основании стержня  $\tilde{M}(\tau) = M(1, \tau) / M_A$ , 2 – восстанавливающий момент на упругой опоре  $\tilde{M}(\tau) = u(1, \tau) c_0 / M_A$ , пунктирными линиями обозначены зависимости по функции (20) –  $\tilde{y}_{\max}(\tau) = \theta(\tau) l / y_A$ ,  $\tilde{M}(\tau) = \theta(\tau) c_0 / M_A$ .

Рис. 3. Безразмерные прогибы и моменты при относительной жесткости  $\chi = 0,5$ Рис. 4. Безразмерные прогибы и моменты при относительной жесткости  $\chi = 10$ 

Как видно из графиков рис. 3, при небольшой относительной жесткости  $\chi$  и наличии локальной инерционной нагрузки  $\xi$  определяющее влияние на НДС конструкции оказывает 1-я форма колебаний, следовательно, применение упрощенной одномодовой модели в этом случае является обоснованным. При значительной относительной жесткости  $\chi$  (рис. 4) существенно различаются не только амплитудные значения параметров НДС двух моделей, но также и периоды колебаний.

Результаты, полученные с использованием разработанной математической модели НДС стержневой конструкции при импульсном воздействии, можно использовать:

- для оценочного определения параметров НДС некоторых конструкций;
- при исследовании влияния физико-механических параметров на амплитудно-частотные характеристики конструкции;
- в проверке адекватности тестовых примеров в программных комплексах имитационного моделирования;
- для обоснования выбора упрощенных моделей и методов расчета.

В качестве перспективного направления можно рассматривать применение разработанной методики для решения задач динамики стержневых конструкций на подвижной платформе при собственных и вынужденных колебаниях в результате приложения нагрузок, в том числе периодических, а также при движении платформы по заданному закону.

### Литература

1. Халфин И.Ш. Воздействие волн на морские нефтегазопромысловые сооружения / И.Ш. Халфин. – М.: Недра, 1990. – 312 с.
2. Правила классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок и морских стационарных платформ. – СПб.: ФАУ «Российский морской регистр судоходства», 2014. – 484 с.
3. Савинов В.Н. Океанотехника: Учеб. пособие / В.Н. Савинов. – Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2017. – 276 с.
4. Платонов В.Г. Экспериментальное изучение поведения морской плавучей ветровой электростанции на интенсивном волнении / В.Г. Платонов, М.С. Труб // Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. – 2009. – № 48 (332). – С. 59–64.

5. *Крыжевич Г.Б.* Анализ собственных частот и форм колебаний самоподъемных плавучих буровых установок с учетом упругих свойств грунта / Г.Б. Крыжевич, Т.Р. Рыбалко // Морские интеллектуальные технологии. – 2018. – Т. 1, № 4 (42). – С. 25–31.

6. *Товстик П.Е.* Математические модели динамики морских стационарных платформ. Одиночная консоль // П.Е. Товстик, В.А. Шеховцов // Вестник СПбГУ. Сер. 1. – 2005. – Вып. 2. – С. 129–143.

7. *Товстик П.Е.* Морская стационарная платформа под действием ледовой нагрузки // П.Е. Товстик, В.А. Шеховцов, А.С. Шеховцов // Вестник СПбГУ. Сер. 1. – 2012. – Вып. 1. – С. 107–116.

8. *Товстик П.Е.* О влиянии формы спектральной плотности случайного волнения на колебания морской стационарной платформы // П.Е. Товстик, Т.М. Товстик, В.А. Шеховцов // Вестник СПбГУ. Сер. 1. – 2012. – Вып. 2. – С. 61–68.

9. *Улитин Г.М.* Изгибные колебания стержня с переменной жесткостью и распределенной массой / Г.М. Улитин, С.Н. Царенко // Прикладная математика и механика. – 2015. – Т. 79, вып. 6. – С. 817–823.

10. *Царенко С.Н.* Динамика изгибных колебаний конструкций с осевой неоднородностью геометрических характеристик / С.Н. Царенко // Строительная механика и расчет сооружений. – 2018. – № 3 (278). – С. 48–54.

УДК 519.6

**А.П. Шурыгина, Л.С. Скорюпина**

*Пермский филиал Волжского государственного университета водного транспорта,  
Пермь, 614060  
e-mail: schurigina59anyta@gmail.com*

### **ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ НА ТЕРМИНАЛЬНОМ КОМПЛЕКСЕ**

В данной статье выявляется проблема внедрения новых автоматизированных информационных систем в складах. Проанализированы для сравнения две системы. Особое внимание уделено рассмотрению их положительных и отрицательных качеств.

**Ключевые слова:** информационные системы, терминальный комплекс, склады, WMS, оптимизация, автоматизация.

**A.P. Shurygina, L.S. Skoryupina**

*Perm branch of Volga State University of Water Transport,  
Perm, 614060  
e-mail: schurigina59anyta@gmail.com*

### **IMPLEMENTATION OF NEW INFORMATION SYSTEMS AT THE TERMINAL COMPLEX**

This article identifies the problem of introduction new automated information systems in warehouses. Two systems are analyzed for comparison. Particular attention is paid to the consideration of their positive and negative qualities.

**Key words:** information systems, terminal complex, warehouses, WMS, optimization, automation.

Переход к рыночным отношениям в экономике, а также научно-технический прогресс ускорили темпы внедрения новейших достижений в области информатизации во все сферы социально-экономической жизни. Термин «информатизация» впервые появился при создании локальных многотерминальных информационно-вычислительных систем и сетей массового обслуживания [1].

Внедрение автоматизированных систем в деятельность предприятия является актуальным, в этой связи актуальна и цель нашего исследования, а именно, выявление преимуществ внедрения новых автоматизированных систем. Объектом исследования являются склады, терминальные комплексы. Предметом исследования – информационные системы.

В соответствии с поставленной целью были выявлены следующие задачи исследования:

- 1) изучить теорию по проблеме исследования;
- 2) изучить и сравнить некоторые из существующих автоматизированных систем управления;
- 3) рассмотреть их недостатки и преимущества;
- 4) выявить существующие проблемы внедрения на терминальном комплексе.

На сегодняшний день на всех терминальных комплексах и складах внедрены те или иные информационные системы. Многие из применяемых систем устарели, поэтому необходимо выявить причины, по которым новые автоматизированные системы управления не внедрены.

Терминальный комплекс – это многомашинная система, предназначенная для организации массового доступа пользователей к электронно-вычислительным ресурсам, которые могут работать в автоматическом режиме обмена данными, используя различные каналы связи [2].

Как известно, в состав транспортного терминала входят здания, сооружения, территории, объединенные в единое целое для организации взаимодействия разных видов транспорта, выполнения погрузочно-разгрузочных операций и складирования.

О.Б. Маликов дает следующее определение термину склад – это здание, сооружение и различные устройства, предназначенные для приема, размещения и хранения поступающих товаров, где выполняются работы по приему, отправке, хранению, упаковке, выпуску товаров [2].

Обработка данных о грузе может осуществляться уже в процессе складирования. Поэтому современная организация работы и современные технологии необходимы для эффективной работы складов тех предприятий, которые стремятся превзойти конкурентов.

Основной составляющей оптимизации работы склада является автоматизация бизнес-процессов. Однако автоматизированные складские системы следует внедрять только после использования более упрощенных логистических решений, иначе они не принесут должного экономического эффекта. Склады должны быть подготовлены к компьютеризации, а компания должна иметь необходимые инструменты для полной интеграции программного обеспечения.

Современные задачи склада предполагают внедрение автоматизированной системы управления, такой как Warehouse Management System (далее WMS) [3].

Формирование требований к автоматизированной системе управления складом осуществляется на основе логистической модели склада и включает в себя определение следующих позиций:

- требования описания продукта и требования к упаковке;
- функциональное требование;
- требования к поддержке системной документации, аналитических запросов и отчетов;
- требования к интерфейсу обмена данными / синхронизации с другими информационными системами в рамках общей схемы.

Итоговым документом является документ, содержащий подробное описание необходимых параметров системы управления для конкретного склада, товарных категорий в заданной цепочке товарных потоков в конкретной бизнес-схеме.

На этапе внедрения автоматизированная система управления складом сталкивается с рядом проблем:

- неточное представление руководством текущих бизнес-процессов;
- персонал не готов работать с новыми технологиями;
- переход от оптимизации к автоматизации;
- небольшой бюджет;
- нехватка времени.

Проведем анализ двух систем «IC» и «Logistics Vision Suite» (далее – «LVS»).

Система «IC» обеспечивает полный контроль, учет и анализ складской деятельности. Комплексная автоматизация позволяет снизить затраты за счет оптимизации складских операций и запасов, получать своевременную информацию о состоянии склада и выполненных работах, анализировать и прогнозировать складскую деятельность, автоматизировать заказ товаров, управлять персоналом.

Преимуществами системы «IC» можно назвать следующие:

- система настраивается на бизнес-процессы посредством описания бизнес-логики, без перепрограммирования;
- позволяет уменьшить издержки за счет оптимизации складских операций и товарных запасов;
- позволяет анализировать и прогнозировать складскую деятельность;
- без перепрограммирования; учтены особенности обработки и хранения разнотипных товаров.

К недостаткам следует отнести:

- большие капиталовложения в дополнительное оборудование;
- редкое обновление программы;
- специализация на ответственном хранении товаров.

Система управления складом «LVS» – это передовой пакет программных продуктов класса Supply Chain Execution. «LVS» – это мощное, современное решение, предназначенное в первую очередь для автоматизации логистических бизнес-процессов крупных и средних предприятий и ориентированное на содействие развитию бизнеса компаний, работающих в различных сегментах бизнеса. Опишем преимущества и недостатки каждой системы.

Преимуществами системы «LVS» можно назвать:

- быстрое внедрение системы на 3PL-складах и легкая адаптация;
- снижение эксплуатационных расходов;
- широкая функциональность;
- точность сбора данных в режиме реального времени;
- проведение непрерывной инвентаризации без остановки работы склада.

К недостаткам следует отнести:

- отсутствие функции приема заказов по интернет-каналам;

- риск проникновения в документацию;
- недостаточно рациональное использование площадей;
- неэффективный контроль над работой персонала.

Далее проведем сравнительный анализ двух систем «1С» и «Logistics Vision Suite». Опишем преимущества и недостатки систем в сравнении (табл. 1 и 2).

Таблица 1

**Преимущества систем «1С», «LVS»**

Преимущества системы	1С	LVS
Система настраивается на бизнес-процессы посредством описания бизнес-логики, без перепрограммирования	+	
Быстрое внедрение системы на 3PL-складах и легкая адаптация	+	+
Позволяет уменьшить издержки за счет оптимизации складских операций и товарных запасов	+	
Снижение эксплуатационных расходов		+
Позволяет анализировать и прогнозировать складскую деятельность	+	
Широкая функциональность		+
Точность сбора данных в режиме реального времени		+
Учтены особенности обработки и хранения разнотипных товаров	+	
Проведение непрерывной инвентаризации без остановки работы склада		+
ИТОГО	5	5

Таблица 2

**Недостатки систем «1С», «LVS»**

Недостатки системы	1С	LVS
Большие капиталовложения в дополнительное оборудование	+	
Отсутствие функции приема заказов по интернет-каналам		+
Редкое обновление программы	+	
Риск проникновения в документацию		+
Специализация на ответственном хранении товаров	+	
Недостаточно рациональное использование площадей		+
Неэффективный контроль над работой персонала		+
ИТОГО	3	4

В результате сравнения двух систем было установлено, что использование системы «1С» имеет меньше недостатков, чем система «LVS». Применение на предприятиях системы «1С» позволяет представить в формализованном виде, пригодном для практического использования, всех данных о предприятии в целом.

Таким образом, можем сделать вывод, что автоматизация и компьютеризация склада вне зависимости от используемой автоматизированной системы управления дает ряд преимуществ:

- оперативное предоставление информации о предполагаемом прибытии товара;
- рациональное использование всего помещения;
- отслеживание качества и количества товара;
- определение направления его движения;
- эффективный и автоматизированный рабочий процесс;
- увеличение количества операций;
- выполнение функций распределительного центра;
- обновление систем внутреннего контроля (ICS); снижение издержек на отопление и освещение автоматизированных складов (ведь в них нет людей);
- размещение информации о получении товара всем подразделениям предприятия за счет интеграции WMS с ERP.

**Литература**

1. Лавриков И.Н. Транспортная логистика: Учебное пособие / И.Н. Лавриков, Н.В. Пеньшин. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. – 92 с.
2. Маликов О.Б. Складская и транспортная логистика в цепях поставок: Учебное пособие. – СПб.: Питер, 2019. – 400 с.
3. WMS системы управления складом. WMS система – что это? [Электронный ресурс]. – URL: <https://fb.ru/article/161588/wms-sistemyi-upravleniya-skladom-wms-sistema---chto-eto> (дата обращения: 15.09.2019).

## СЕКЦИЯ 4. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 622.013

**И.Р. Абрахимов, Е.А. Степанова**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: mirid@autorambler.ru; len\_sta@rambler.ru*

### ПОИСК НЕФТЯНЫХ ЛОВУШЕК

Затронут вопрос происхождения нефтепродуктов и образования нефтяных ловушек. Рассмотрены способы поиска нефтяных ловушек и методы бурения. Приведены преимущества и недостатки каждого способа.

**Ключевые слова:** нефть, газ, нефтяные ловушки, электроразведка, гравиразведка, магниторазведка, сейсморазведка, бурение.

**I.R. Abrakhimov, E.A. Stepanova**

*Kamchatsky State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: len\_sta@rambler.ru; mirid@autorambler.ru*

### SEARCH FOR OIL TRAPS

The question of the origin of oil products and the formation of oil traps was touched upon. The methods of searching for oil traps and drilling methods are considered. The advantages and disadvantages of each method are given.

**Key words:** oil, gas, oil traps, electrical exploration, gravity exploration, magnetic exploration, seismic exploration, drilling.

В современных условиях нефтедобычи большое значение приобретают поиски и разведка скоплений нефти и газа. Поэтому определение основных направлений поисков и разведки таких скоплений является одной из актуальных задач, стоящих перед нефтегазовой отраслью. Рассмотрим разные методы поиска и добычи нефтепродуктов.

Большая часть нефти и газа добывается из-под соляных куполов, зачастую имеющих грибовидную форму. Соляные купола проникающего типа образовались благодаря пластическому движению соли вверх, сквозь более плотные осадочные породы под действием силы плавучести из-за разницы в плотности пород [1]. Окружающие соляной купол пласты (песчаники, глины и карбонаты) при поднятии соли изменяли свою форму, образуя стратиграфические и структурные ловушки. Такие ловушки образуются на флангах и под выступом соляного купола в песчаниках, подвергшихся сбросам и образованию складчатости по мере поднятия соли вверх. Так как соль непроницаема для нефти и газа, то соль хорошо экранирует залежи нефти и газов.

Нефть, газ и вода медленно мигрируют сквозь проницаемые породы под действием силы тяжести и давления. Когда на пути движения углеводородов возникает непроницаемый барьер миграция заканчивается и происходит накопление нефти и газа. Такой барьер на пути миграции называется ловушкой. Так как флюиды неоднородны и имеют разную плотность, то газ поднимается вверх, вода опускается вниз, а нефть занимает положение между ними. Ловушки подразделяются на структурные и стратиграфические [2]. Структурные ловушки – следствие местных деформаций, таких как складчатость или сбросы пород. Примерами структурных барьеров являются антиклинальные ловушки, сбросовые ловушки, а также ловушки, приуроченные к соляным куполам (рис. 1).

Стратиграфические ловушки образовались под действием геологических процессов, непохожих на структурные деформации, они обусловлены характеристиками пород. Примерами таких ловушек являются остатки древнего известняка или доломитовый коралловый риф, погребенный под непроницаемыми осадочными породами (рис. 2).

Примером стратиграфической ловушки другого типа является русло палеореки, заполненное песком с примесью ила. Литология осадочных слоев может изменяться в боковом простирании, такие слои могут сходиться на нет, проявляясь в других местах в качестве совершенно другой породы. Эти превращения могут привести к снижению пористости и проницаемости в широтном направлении, в результате этого создается ловушка [3]. Несогласное залегание – другой вид стратиграфической ловушки. Несогласное залегание находится при подъеме, наклоне или эрозии свиты горных пород, содержащей будущие пласты-коллекторы, с последующим их погребением под осадочным слоем, образующим непроницаемый барьер. Несогласное залегание является собой перерыв временной геологической шкалы (рис. 3).

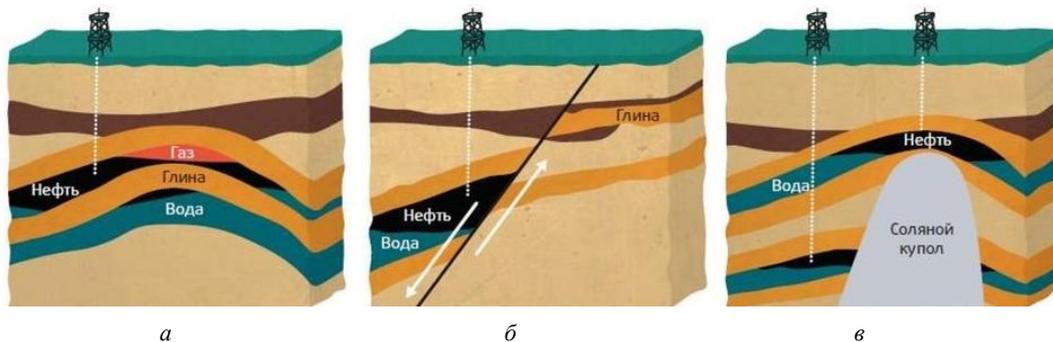


Рис. 1. Структурные ловушки:  
а – антиклиналь; б – тектоническая экранированная ловушка; в – соляной купол [2]

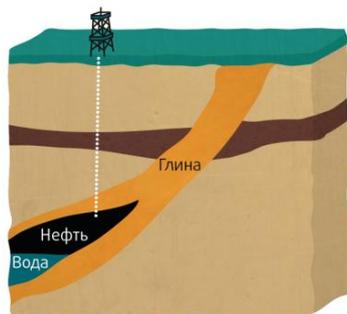


Рис. 2. Стратиграфическая ловушка:  
биогенный риф, залегающий в глине [2]

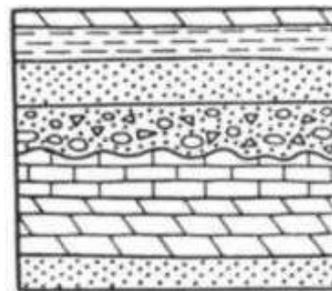


Рис. 3. Ловушка, обусловленная  
несогласным залеганием пластов [3]

Для обеспечения рационального распределения ресурсов и снижения затрат нефтепоисковые работы проводят по принципу от общего к частному. Сначала выявляют крупный нефтеперспективный район и, постепенно сужая площадь поисков, выявляют в этом районе наиболее перспективные точки для бурения поисковых скважин.

Основная цель поисковых работ – выявление в нефтеперспективном районе геологических структур, способных накапливать и удерживать нефть. Такие структуры, называемые ловушками, могут иметь различные конфигурации, но всех их объединяет наличие проницаемой горной породы, ограниченной непроницаемой толщей пород.

Методы поисков нефтяных месторождений подразделяют на геологические, геофизические, геохимические.

Геологические методы направлены на изучение поверхностных данных. Для этого изучаются и описываются горные породы, выходящие на поверхность земли. С этой целью находят места обнажения горных пород или бурят небольшие шурфы, чтобы узнать, что за породы залегают под современным поверхностным слоем осадочного материала. Также изучаются фотографии, сделанные с большой высоты (с самолета или из космоса). На таких снимках часто можно выявить поверхностные признаки глубинных структур, благоприятных для нефтегазоаккумуляции. По полученным данным составляется геологическая карта, представляющая собой проекцию выходов горных пород на поверхность.

Использование таких полученных данных, к сожалению, не дает гарантированного и окончательного результата в виде точной информации о нахождении в недрах нефтегазовых залежей. Поэтому обязательно следует использовать дополнительные инструменты поиска. В качестве таких инструментов выступают различные геофизические методы [4].

Геофизические исследования представляют собой методы изучения земных недр с помощью физических явлений. К таким исследованиям относятся электроразведка, гравиразведка, магниторазведка, сейсморазведка.

Электроразведка основана на изучении параметров постоянного или переменного электромагнитного поля. Поскольку разные породы и насыщающие их флюиды по-разному проводят электрический ток, изучая изменения электромагнитного поля, можно сделать определенные выводы о характере залегающих пород. Высокое электросопротивление является косвенным признаком наличия нефти или газа.

Гравиразведка основана на изучении изменения гравитационного поля. Плотные горные породы могут влиять на гравитационное поле. Даже самые незначительные изменения в гравитационном поле могут указать на типы горных пород и насыщающие их флюиды, которые залегают глубоко в недрах Земли.

Магниторазведка изучает изменения магнитного поля. Осадочные породы, насыщенные нефтью, не обладают магнитными свойствами, в то время как магматические и метаморфические породы, не содержащие нефть, ими обладают. Таким образом, магниторазведка также может подсказать типы пород, залегающих в недрах. Однако наличие ловушки еще не означает присутствия нефтяной или газовой залежи.

Для месторождений, находящихся на поздней стадии разработки, особенно важно увеличение выработки запасов. Эта задача может успешно решаться с помощью бурения боковых стволов из существующего фонда скважин.

Сейсмические исследования являются одним из наиболее эффективных методов поиска нефтяных месторождений. Основаны они на исследовании распространения упругих колебаний в толще горных пород. Общий план исследований таков: на поверхности (или вблизи нее) создаются звуковые колебания, которые распространяется в глубь земли расширяющейся сферой, на границах горных пород происходят различные эффекты преломления, отражения упругих волн, которые засекают на поверхности земли специальными приборами. Полученные данные записывают, анализируют и структурируют. В итоге получается довольно точное изображение геологической структуры в районе исследования [5].

Звуковые (упругие) волны, с помощью которых получают данные о глубинном строении земной коры, могут быть сгенерированы различными способами. При проведении исследований на суше производят подрыв небольших зарядов или используют специальные виброгенераторы. На море, чтобы не причинить вред морским обитателям, чаще всего применяют пневмопушку.

С развитием компьютерных технологий появилась возможность анализировать огромные массивы данных, благодаря чему стала развиваться трехмерная 3D-сейсмика. Объемное изображение, получаемое в результате 3D-сейсмики, гораздо информативнее, чем плоское, изображение, которое получают при 2D-сейсмике. Трехмерная сейсмика позволяет не только выявить перспективную геологическую структуру и оценить ее размер, но и помогает определить наиболее целесообразные точки для бурения скважин.

Вскрытие потенциального пласта-коллектора бурением является единственным методом подтверждения нефтегазоносности пласта.

Метод ударно-канатного бурения известен давно, применяется он и сейчас для разработки неглубоких скважин [6]. Установка ударно-канатного бурения состоит из подвешенной на тросе тяжелой ударной штанги с долотом на конце. Бурение осуществляется путем периодического подъема и сброса ударной штанги, к концу которой присоединено долото. Сила для разрушения породы появляется за счет конвертации потенциальной энергии в кинематическую. При бурении этим способом жидкости в скважине нет, за исключением некоторого количества воды на забое. После проходки нескольких футов штанга и долото поднимается из скважины, чтобы убрать шлам желонкой. Ударно-канатный метод весьма легок в технологическом процессе, однако пригоден лишь для бурения неглубоких скважин. Скорость проходки мала из-за низкой эффективности долота и необходимости частого подъема инструмента для очистки скважины от шлама.



Рис. 4. Оборудование роторного бурения

ми скважины), захватывая за собой шлам. Дойдя до поверхности, буровой раствор очищается, из него удаляется шлам, затем он снова поступает в скважину. Циркуляция бурового раствора позволила нарастить скорость роторного бурения, чего так не хватало ударно-канатному бурению, за счет изъятия шлама без лишних спуско-подъемных операций.

### Литература

1. Миграция нефти и образование нефтяных ловушек [Электронный ресурс]. – URL: <https://lektsii.org/10-18428.html> (дата обращения: 09.09.2019).
2. Бакиров А.А. Теоретические основы и методы поисков и разведки скоплений нефти газа. В 2 т. Кн. 1. Теоретические основы прогнозирования нефтегазоспособности недр / А.А. Бакиров, Э.А. Бакиров. – М.: Недра, 2012. – 320 с.
3. Энергия недр [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2015-july-august-projects/1108606/> (дата обращения: 09.09.2019).
4. Геологическое картирование. Согласно и несогласное залегание пород [Электронный ресурс]. – URL: <https://studfiles.net/preview/5775067/page:21/> (дата обращения: 09.09.2019).
5. Грабчак Л.Г. Горноразведочные работы / Л.Г. Грабчак, Ш.Б. Багдасаров, С.В. Иляхин и др. – М.: Высшая школа, 2003. – 123 с.
6. Желтов Ю.П. Разработка нефтяных месторождений: Учеб. для вузов / Ю.П. Желтов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1998. – 365 с.
7. Вадецкий Ю.В. Бурение нефтяных и газовых скважин / Ю.В. Вадецкий. – М.: Академия, 2003. – 352 с.

УДК 628.171.033:656.6

**В.Д. Гуров**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: slavik.gurov.00@mail.ru*

## **О СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ СНАБЖЕНИЯ ПИТЬЕВОЙ ВОДОЙ ЭКИПАЖЕЙ СУДОВ**

Эффективное выполнение поставленных задач и обеспечение безопасности мореплавания зависит не только от технического состояния судна, но и от психофизиологического состояния каждого члена экипажа. Организм человека в условиях эксплуатации судна в море испытывает воздействие различных негативных факторов. Эти факторы ухудшают общее самочувствие, снижают работоспособность, а также способствуют снижению иммунитета организма и развитию целого ряда профессиональных заболеваний. Употребление качественной питьевой воды, обогащенной молекулярным водородом, обеспечивает устойчивость организма к внешним воздействиям и создает дополнительные условия для безопасной эксплуатации судна.

**Ключевые слова:** техническая эксплуатация, безопасность мореплавания, система водоснабжения, молекулярный водород.

**V.D. Gurov**

*Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: slavik.gurov.00@mail.ru*

## **IMPROVEMENT OF DRINKING WATER SUPPLY TECHNOLOGIES FOR SHIP AND VESSELS CREWS**

The effective implementation of the task and ensuring the safety of navigation depends not only on the technical condition of the vessel, but also on the psychophysiological state of each crew member. The human body under the conditions of operation of the vessel at sea is affected by various negative factors. These factors worsen overall well-being, reduce performance, and also contribute to a decrease in the body's immunity and the development of a number of occupational diseases. The use of high-quality drinking water enriched with molecular hydrogen ensures the body's resistance and creates additional conditions for the safe operations of the vessel.

**Key words:** technical operation, safety of navigation, water supply system, molecular hydrogen.

Эксплуатация флота связана с длительным нахождением судов в море. В период плавания экипаж испытывает воздействие различных внешних факторов, которые существенно влияют на общее самочувствие, работоспособность и развитие профессиональных заболеваний у членов экипажа. В результате неблагоприятного воздействия на организм накапливается усталость, изменяется психофизиологическое состояние организма, что в свою очередь приводит к проявлению так называемого человеческого фактора [1–3]. В результате ухудшается качество эксплуатации технических средств, возрастает вероятность отказов и аварий, снижается безопасность плавания и надежность технических средств [4–6].

Анализ, проведенный в источнике [7], показывает, что при длительном нахождении человека на судне в море организм испытывает стресс, что ведет к развитию оксидативного стресса. Оксидативный стресс – это процесс повреждения клетки в результате окисления, который ведет к изменению физиологических процессов в организме, снижению иммунитета, повышению утомляемости, к постепенному развитию различных заболеваний, например сахарного диабета, сердечной недостаточности, гипертонии и т. д.

Современные исследования [8] показывают: для того чтобы поддерживать и улучшить функции организма, необходим молекулярный водород. Молекулярный водород  $H_2$  – антиоксидант, единственный в своем роде, который может проникать через гематоэнцефалический барьер. Он связывает и выводит из организма свободные радикалы, которые окисляют организм и ухудшают самочувствие человека. Несмотря на то, что витамин С тоже является антиоксидантом, он слишком велик, чтобы проникать в митохондрии. Молекулярный водород благодаря своему маленькому размеру может проникать внутрь клетки, нейтрализуя гидроксильные радикалы, обращая их в воду. Молекулярный водород  $H_2$  – это два водородных атома, которые могут нейтрализовать два гидроксильных радикала и образовать две молекулы воды или соединиться с одним атомом кислорода и образовать воду.

Научно доказано [9], что водород, растворенный в воде, обладает многочисленными уникальными качествами и свойствами. Антиоксидантные свойства молекулярного водорода обеспечивают уникальную биодоступность и избирательность действия. Он ликвидирует в организме только вредные радикалы, не затрагивая при этом важные и полезные. В результате нормализуется холестерин, артериальное давление, улучшается энергетический метаболизм организма человека, предотвращает появление преждевременной усталости и помогает организму быстро восстанавливаться. Кроме того улучшается качество питьевой воды, она приобретает мягкий и освежающий вкус.

Вода, обогащенная молекулярным водородом, производится с помощью специальных водородных генераторов. Принцип действия такого генератора основан на соединении заранее заготовленных компонентов-газов, которые хранятся в баллонах внутри ячейки (рис. 1).

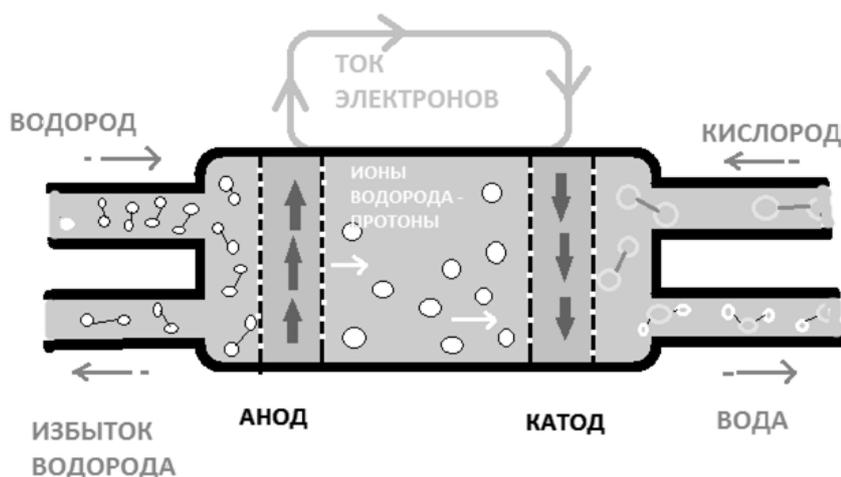


Рис. 1. Принцип действия элементарного водородного генератора

Основной частью установки является протонно-обменная мембрана, которая пропускает только ионы водорода, образующиеся на аноде ячейки. Мембрана должна быть влагоустойчивой и непроницаемой для остальных веществ. В процессе работы установки ионы водорода диффундируют сквозь мембрану и взаимодействуют с молекулами кислорода, образуя при этом воду. Вода приобретает уникальные свойства и может использоваться в пищу. Кроме того в результате молекулярного взаимодействия создается электродвижущая сила, которую можно использовать в качестве источника электрической энергии.

При длительном нахождении судна в море единственным источником питьевой воды для экипажа является опреснительная установка. Несмотря на определенные требования по показателям к питьевой воде, вкусовые и полезные свойства такой воды не обеспечивают нормальные условия существования экипажа.

В качестве решения данной проблемы предлагается использовать на судах специальные водородные генераторы для обогащения обычной воды молекулярным водородом. Подключение данных генераторов к системе судового водоснабжения позволит обеспечить экипаж судна качественной пресной водой, обладающей уникальными свойствами. Возможно рассмотрение нескольких вариантов использования водородных генераторов как в качестве автономного элемента системы питьевого водоснабжения, так и в составе опреснительной установки.

С экономической точки зрения такое совершенствование технологии снабжения питьевой водой экипажей судов является целесообразным, поскольку наряду с сохранением здоровья, работоспособности и физической выносливости экипажа появляется дополнительный источник электроэнергии, который можно использовать, в том числе, для аварийного электропитания.

Таким образом, совершенствование технологии водоснабжения экипажей судов и повышение качества питьевой воды на судне является актуальной задачей, требующей разработки и внедрения инновационных технических решений.

### Литература

1. Белов О.А. Оценка технической готовности системы с учетом влияния человеческого фактора / О.А. Белов // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2014. – № 30. – С. 11–16.

2. Белов О.А. Оценка безопасности эксплуатации судовых энергетических установок / О.А. Белов // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2017. – № 42. – С. 6–10.

3. Белов О.А. Обзор основных факторов снижения безопасности сложных технических систем / О.А. Белов, А.И. Парфенкин // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2015. – № 35. – С. 11.

4. Белов О.А. Методология анализа и контроля безопасности судна как сложной организационно-технической системы / О.А. Белов // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2015. – № 34. – С. 12–18.

5. Белов О.А. Анализ расчетно-аналитических методов прикладных задач технической безопасности / О.А. Белов, А.А. Марченко, С.Ю. Труднев // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2015. – № 4. – С. 7–15.

6. Белов О.А. Общий алгоритм развития опасных ситуаций в судовых условиях / О.А. Белов // Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы Восьмой всероссийской научно-практической конференции. – 2017. – С. 51–54.

7. Окислительный стресс. Проксиданты и антиоксиданты / Е.Б. Меньщикова, В.З. Ланкин, Н.К. Зенков и др. – М.: Фирма «Слово», 2006. – 556 с.

8. Hou Z. Hydrogen-rich saline protects against oxidative damage and cognitive deficits after mild traumatic brain injury / Hou Z., Luo W., Sun X., Hao S., Zhang Y., Xu F., Wang Z., Liu B. // BrainResBull. – 2012. – № 88. – P. 560–565.

9. Ohsawa I. Hydrogen acts as a therapeutic antioxidant by selectively reducing cytotoxic oxygen radicals / Ohsawa I., Ishikawa M., Takahashi K., Watanabe M., Nishimaki K., Yamagata K., Katsura K., Katayama Y., Asoh S., Ohta S. // NatMed. – 2007. – № 13. – P. 688–694.

УДК 622.625.6

**В.О. Гутаревич, Е.Л. Игнаткина**

*Донецкий национальный технический университет,  
Донецк, 283001  
e-mail: sel\_post@mail.ru*

## **ПОПЕРЕЧНЫЕ КОЛЕБАНИЯ МОНОРЕЛЬСА ВО ВРЕМЯ ТОРМОЖЕНИЯ ПОДВЕСНОЙ МОНОРЕЛЬСОВОЙ ДОРОГИ**

В работе рассмотрены поперечные колебания монорельса, возникающие во время торможения подвижного состава подвесной монорельсовой дороги. Разработана математическая модель поперечных колебаний монорельса с учетом усилий, возникающих во время пуска и торможения подвижного состава.

**Ключевые слова:** математическая модель, поперечные колебания, подвесная монорельсовая дорога.

**V.O. Gutarevich, E.L. Ignatkina**

*Donetsk National Technical University,  
Donetsk, 283001  
e-mail: sel\_post@mail.ru*

## **MONORAIL TRANSVERSE VIBRATIONS DURING THE BRAKING OF THE SUSPENDED MONORAIL ROAD**

The article considers transverse vibrations of the monorail, which occur during braking of rolling stock of suspended monorail road. A mathematical model of transverse vibrations of the monorail is developed, with taking into account forces arising during starting and braking of the rolling stock.

**Key words:** mathematical model, transverse oscillations, suspended monorail.

Во время пуска и торможения подвижного состава подвесной дороги монорельсовый путь нагружается не только поперечными, но и продольными нагрузками. Поперечные нагрузки обусловлены воздействием сил тяжести, сил инерции и вызывают изгиб монорельса, а продольные – главным образом, тяговыми, тормозными усилиями и приводят к растяжению или сжатию монорельса.

Теория движения подвижного состава по напочвенному рельсовому пути разработана достаточно полно [1–5]. Параметры монорельсового и рельсового транспорта существенно отличаются по расположению центра тяжести подвижного состава, видам крепления опор и соединений отрезков, ширине рельсовой и колесной колеи. Процесс взаимодействия подвижного состава с подвесным монорельсом имеет свою специфику [6–8]. Особенно эта специфика проявляется для динамических расчетов подвесного монорельсового транспорта. На основании этого тема работы актуальна.

Цель исследований заключается в установлении влияния на поперечные колебания монорельса действия продольных сил, возникающих во время пуска и торможения подвижного состава подвесной монорельсовой дороги.

Рассмотрим поперечные колебания монорельса, испытывающего растягивающее усилие. На основании [9, 10] уравнение поперечных колебаний монорельса имеет вид:

$$EJ \frac{\partial^4 z}{\partial x^4} - P_p \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + \rho_j L \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} = 0, \quad (1)$$

где  $z$  – поперечное перемещение монорельса в точке  $x$ ;

$E$  – модуль упругости материала, из которого изготовлен монорельс;

$j$  – момент инерции поперечного сечения монорельса относительно его продольной оси;

$P_p$  – растягивающее усилие, действующее на монорельс;  
 $\rho_\gamma, L$  – погонная масса и длина монорельса соответственно.  
 Решение этого уравнения найдем в виде

$$z(x, t) = C e^{i(n_p x + \omega t)}.$$

Характеристическое уравнение, соответствующее выражению (1), будет

$$EJn_p^4 + P_p n_p^4 - \rho_\gamma L \omega^2 = 0, \quad (2)$$

где корни этого уравнения равны:

$$n_{p1,2} = \pm \sqrt{\frac{\sqrt{P_p^2 + 4EJ\rho_\gamma\omega^2} - P_p}{2EJ}} = \pm k_p;$$

$$n_{p3,4} = \pm \sqrt{\frac{\sqrt{P_p^2 + 4EJ\rho_\gamma\omega^2} + P_p}{2EJ}} i = \pm K_p i.$$

На основании этого получим частное решение уравнения (1):

$$z(x, t) = (C_{p1} e^{ik_p x} + C_{p2} e^{-ik_p x} + C_{p3} e^{K_p x} + C_{p4} e^{-K_p x}) e^{i\omega t}.$$

Представим полученное частное решение с использованием новых постоянных интегрирования:

$$z(x, t) = (A_p \cosh K_p x + B_p \sinh K_p x + C_p \cos k_p x + D_p \sin k_p x) \sin(\omega t + \mu_{n_p}). \quad (3)$$

С учетом того, что сумма частных решений (3) определяет общее решение уравнения (1), получим

$$z(x, t) = \sum_{n_p} (A_{n_p} \cosh K_{n_p} x + B_{n_p} \sinh K_{n_p} x + C_{n_p} \cos k_{n_p} x + D_{n_p} \sin k_{n_p} x) \sin(\omega t + \mu_{n_p}), \quad (4)$$

где  $n_p$  – номер гармоники для каждой главной формы колебаний монорельса.

С использованием зависимостей Журавского  $M = EJ \frac{\partial^2 z}{\partial x^2}$ ,  $Q = \frac{dM}{dx}$  и начальных условий  $z(0) = z_0$ ,  $z'(0) = z'_0$ ,  $M(0) = M_0$ ,  $Q(0) = P_0$  получаем выражения, учитывающие растягивающее усилие  $P_p$  в монорельсе:

$$z(x) = z_0 A_{k_0 x} + \frac{z'_0 B_{k_0 x}}{k_0} + \frac{M_0 C_{k_0 x}}{k_0^2 EJ} + \frac{P_0 D_{k_0 x}}{k_0^3 EJ};$$

$$z'(x) = z'_0 A_{k_0 x} + \frac{M_0 B_{k_0 x}^*}{k_0 EJ} + \frac{P_0 C_{k_0 x}}{k_0^2 EJ} + z_0 k_0 D_{k_0 x};$$

$$M(x) = M_0 A_{k_0 x}^* + \frac{P_0 B_{k_0 x}^*}{k_0 EJ} + z_0 k_0^2 EJC_{k_0 x} + z'_0 k_0 EJD_{k_0 x};$$

$$Q(x) = P_0 A_{k_0 x}^* + z_0 k_0^3 EJB_{k_0 x}^* + z'_0 k_0^2 EJC_{k_0 x} + M_0 k_0 EJD_{k_0 x}^*,$$

где  $k_0$  – волновые числа колебаний монорельса, возникающих без действия продольной силы, равные

$$k_0 = \sqrt[4]{\frac{\rho_\gamma L \omega^2}{EJ}}.$$

Входящие в эти выражения обобщенные динамические функции [11] равны:

$$\begin{aligned}
 A_{k_0x} &= \frac{k_p^2 \cosh K_p x + K_p^2 \cos k_p x}{k_p^2 + K_p^2}; & A_{k_0x}^* &= \frac{K_p^2 \cosh K_p x + k_p^2 \cos k_p x}{k_p^2 + K_p^2}; \\
 B_{k_0x} &= \frac{k_p^3 \sinh K_p x + K_p^3 \sin k_p x}{k_0(k_p^2 + K_p^2)}; & B_{k_0x}^* &= k_0 \frac{K_p \sinh K_p x + k_p \sin k_p x}{k_p^2 + K_p^2}; \\
 C_{k_0x} &= k_0^2 \frac{\cosh K_p x - \cos k_p x}{k_p^2 + K_p^2}; & C_{k_0x}^* &= \frac{K_p^4 \cosh K_p x - k_p^4 \cos k_p x}{k_0^2(k_p^2 + K_p^2)}; \\
 D_{k_0x} &= k_0 \frac{k_p \sinh K_p x - K_p \sin k_p x}{k_p^2 + K_p^2}; & D_{k_0x}^* &= \frac{K_p^3 \sinh K_p x - k_p^3 \sin k_p x}{k_0(k_p^2 + K_p^2)}.
 \end{aligned}$$

Если на монорельс действует сжимающая сила  $P_p$ , то корни характеристического уравнения (2) будут  $n_{p1,2} = \pm k_p i$  и  $n_{p3,4} = \pm K_p$ , а уравнение изогнутой оси монорельса принимает вид:

$$z(x) = A_p \cosh k_p x + B_p \sin k_p x + C_p \cosh K_p x + D_p \sin K_p x.$$

При сжимающей продольной силе обобщенные динамические функции аналогично [11] будут:

$$\begin{aligned}
 A_{k_0x} &= \frac{K_p^2 \cosh k_p x + k_p^2 \cos K_p x}{k_p^2 + K_p^2}; & \frac{dA_{k_0x}}{dx} &= k_0 D_{k_0x}; \\
 A_{k_0x}^* &= \frac{k_p^2 \cosh k_p x + K_p^2 \cos K_p x}{k_p^2 + K_p^2}; & \frac{dA_{k_0x}^*}{dx} &= k_0 D_{k_0x}^*; \\
 B_{k_0x} &= \frac{K_p^3 \sinh k_p x + k_p^3 \sin K_p x}{k_0(k_p^2 + K_p^2)}; & \frac{dB_{k_0x}}{dx} &= k_0 A_{k_0x}; \\
 B_{k_0x}^* &= k_0 \frac{k_p \sinh k_p x + K_p \sin K_p x}{k_p^2 + K_p^2}; & \frac{dB_{k_0x}^*}{dx} &= k_0 A_{k_0x}^*; \\
 C_{k_0x} &= k_0^2 \frac{\cosh k_p x - \cos K_p x}{k_p^2 + K_p^2}; & \frac{dC_{k_0x}}{dx} &= k_0 B_{k_0x}^*; & C_{k_0x}^* &= \frac{k_p^4 \cosh k_p x - K_p^4 \cos K_p x}{k_0^2(k_p^2 + K_p^2)}; \\
 D_{k_0x} &= k_0 \frac{K_p \sinh k_p x - k_p \sin K_p x}{k_p^2 + K_p^2}; & \frac{dD_{k_0x}}{dx} &= k_0 C_{k_0x}; & D_{k_0x}^* &= \frac{k_p^3 \sinh k_p x - K_p^3 \sin K_p x}{k_0(k_p^2 + K_p^2)}; & \frac{dD_{k_0x}^*}{dx} &= k_0 C_{k_0x}^*.
 \end{aligned}$$

Для граничных условий, когда все начальные параметры равны  $z_0$ , выражение (4) принимает вид:

$$z(x, t) = \sum_{n_p}^{\infty} z_0 Z_{n_p}(x) \sin(\omega_{n_p} t + \mu_{n_p}),$$

где  $Z_{n_p}(x)$  – собственные функции, определяющие относительные перемещения продольной оси монорельса при  $z_0 = 1$ .

Полученные математические зависимости поперечных колебаний монорельса, учитывающие действие продольных сил, позволяют исследовать колебательные процессы, протекающие во время пуска и торможения подвижного состава. Указанные зависимости могут быть использованы для обоснования параметров тормозных систем и режимов работы подвесных монорельсовых дорог.

### Литература

1. Блохин Е.П. Динамика поезда (нестационарные продольные колебания): Монография / Е.П. Блохин, Л.А. Манашкин. – М.: Транспорт, 1982. – 222 с.

2. *Вершинский С.В.* Динамика вагона / С.В. Вершинский, В.Н. Данилов, В.Д. Хусидов; ред. С.В. Вершинский. – М.: Транспорт, 1991. – 360 с.
3. *Губачева Л.О.* Моделювання динамічних процесів транспортних засобів / Л.О. Губачева. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2009. – 119 с.
4. *Лазарян В.А.* Устойчивость движения рельсовых экипажей / В.А. Лазарян, Л.А. Длугач, М.Л. Коротенко. – К.: Наук. думка, 1972. – 193 с.
5. *Шахтарь П.С.* Рудничные локомотивы: динамика и расчет / П.С. Шахтарь. – М.: Недра, 1982. – 296 с.
6. *Игнаткина Е.Л.* Динамические характеристики подвесного пути монорельсовой дороги / Е.Л. Игнаткина // Вестник Донецкого национального технического университета. – 2016. – № 6 (6). – С. 3–6.
7. *Gutarevych V.* Research of Regularities of Suspended Mine Monorail Motion / V. Gutarevych // Mechanical Testing and Diagnosis. – 2014. – Vol. 1 (IV). – P. 12–17.
8. *Gutarevych V.O.* Mathematical Modeling of End Carriage Motion on the Overhead Monorail / V.O. Gutarevych // Metallurgical and Mining Industry. – 2014. – № 5. – P. 52–56.
9. *Тимошенко С.П.* Колебания в инженерном деле / С.П. Тимошенко. – М.: Наука, 1967. – 444 с.
10. *Шевченко Ф.Л.* Динамика упругих стержневых систем / Ф.Л. Шевченко. – Донецк: Лебедь, 1999. – 268 с.
11. *Шевченко Ф.Л.* Будівельна механіка. Спеціальний курс. Динаміка пружних стержньових систем / Ф.Л. Шевченко. – Донецьк: РІА ДонНТУ, 2000. – 292 с.

УДК 378.14:664.95

**А.А. Ефимов, М.В. Ефимова**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: efimoff-a@mail.ru*

### **ОПЕРАЦИОННЫЙ ПУЛЬТ УПРАВЛЕНИЯ ТРЕНАЖЕРНЫМ КОМПЛЕКСОМ «ТЕХНОЛОГИЯ РЫБНЫХ ПРОДУКТОВ»**

Наличие очень большого количества самых разнообразных технологий переработки водного сырья, в том числе безотходных и комплексных, не дает возможности выбрать самую оптимальную для каждого конкретного вида сырья в зависимости от его сезона вылова, качества, структурно-механических свойств, химического состава. Особо сложной задачей представляется при изменчивости этих характеристик внутри одного биологического вида объектов промысла. В условиях рыночной экономики увеличилась доля малых, «узкопрофильных» рыбообрабатывающих предприятий. Это не дает возможности обучающимся закрепить полученные теоретические знания в периоды прохождения производственной практики, что в итоге ведет к сужению профессионального и тем более творческого мышления. Следовательно, решить создавшуюся проблему можно с помощью виртуальной отработки навыков.

В статье приводится описание пульта управления разработанного тренажерного комплекса «Технология рыбных продуктов», предназначенного для практической подготовки технологов рыбной отрасли.

**Ключевые слова:** тренажерный комплекс, технология рыбных продуктов, пульт управления.

**A.A. Efimov, M.V. Efimova**

*Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: efimoff-a@mail.ru*

### **OPERATING CONTROL PANEL FOR THE TRAINING COMPLEX "FISH PRODUCTS TECHNOLOGY"**

The presence of a very large number of a wide variety of technologies for processing water raw materials, including waste-free and complex, does not make it possible to choose the most optimal for each specific type of raw materials, depending on its catch season, quality, structural and mechanical properties, chemical composition. A particularly difficult task is the variability of these characteristics within a single species of fishery objects. In a market economy, the share of small, "narrow-profile" fish processing enterprises has increased. This does not allow students to consolidate their theoretical knowledge during the periods of practical training, which ultimately leads to a narrowing of professional and, moreover, creative thinking. Therefore, it is possible to solve the created problem by means of virtual skills training.

The article describes the developed training complex "Fish products technology" for the use in the training of technologists of the fishing industry.

**Key words:** trainig complex, fish products technology, control panel.

Освоение и внедрение новейших технологий переработки гидробионтов невозможно без квалифицированного кадрового состава предприятий. Существующая в настоящее время лабораторная база вузов рыбной отрасли в целом позволяет готовить современных специалистов-технологов. В то же время тренажерные формы подготовки применяются не в полной мере.

В системе подготовки кадров рыбной промышленности в настоящее время используется тренажерная техника, разработанная различными специализированными фирмами для специалистов морского профиля, однако для технологов рыбных продуктов такие разработки не проводились, и готовых программных тренажерных комплексов на сегодняшний день не существует.

Наличие очень большого количества самых разнообразных технологий переработки водного сырья, в том числе безотходных и комплексных, не дает возможности выбрать самую оптимальную для каждого конкретного вида сырья в зависимости от его сезона вылова, качества, структурно-механических свойств, химического состава. Особо сложной задачей представляется при изменчивости этих характеристик внутри одного биологического вида объектов промысла. В условиях рыночной экономики увеличилась доля малых, «узкопрофильных» рыбообработывающих предприятий. Это не дает возможности обучающимся закрепить полученные теоретические знания в периоды прохождения производственной практики, что в итоге ведет к сужению профессионального и тем более творческого мышления. Следовательно, решить создавшуюся проблему можно с помощью виртуальной отработки навыков.

Нами разработан компьютерный тренажер «Технология рыбных продуктов», который предназначен для решения такой важной задачи, как подготовка обучающихся в высших учебных заведениях по направлению «Продукты питания животного происхождения» (направленность «Технология рыбы и рыбных продуктов») уровней бакалавриата и магистратуры, квалифицированному ведению технологических процессов переработки водного сырья на основе знания физико-химических, биохимических, микробиологических, гистологических изменений, происходящих в сырье, полуфабрикате и готовой продукции на всех стадиях создания и существования продукции.

Внедрение тренажера в учебный процесс обеспечит усиление фундаментальной и специальной подготовки технологов, соответствующих современным требованиям.

Программный комплекс тренажера моделирует процесс производства мороженой продукции в судовых условиях на БАТМ проекта 1288, производства рыбных консервов, продукции холодного копчения на действующих предприятиях Камчатского края – ПАО «Океанрыбфлот», Рыболовецком колхозе имени В.И. Ленина – с возможностью интерактивного взаимодействия с моделью и поиска оптимальных решений.

Рабочее пространство тренажера состоит из общих панелей и панелей подсистем производства продукции. Панели подсистем производства продукции создаются и включаются в рабочее пространство после выбора варианта продукции и режима работы.

Данные о сырьевой базе, которую может использовать тренажер, содержатся в электронной библиотеке, предназначенной для информационного обеспечения работы моделей технологических процессов обработки водного сырья. База данных включает в себя информационные материалы по основным объектам сырьевой базы в районах промысла, прилегающих к Камчатке, по их технико-химическим характеристикам. В базе содержится информация по 17 видам промысловых объектов, таких как горбуша, камбала желтобрюхая, камбала желтоперая, камбала северная двухлинейная (белобрюхая), кета, кижуч, краб камчатский, минтай тихоокеанский, навага тихоокеанская, нерка, окунь тихоокеанский морской, палтус тихоокеанский черный, палтус тихоокеанский белокорый, сельдь тихоокеанская, терпуг северный одноперый, треска тихоокеанская, чавыча. Характеристика каждого объекта включает сведения о размерно-массовом составе, химическом составе, физических свойствах, районе и периоде промысла, периоде нереста.

Взаимодействие программы, модели с базой данных организовано на технологии dbGo.NET. Используется провайдер данных Microsoft Jet 4.0 OLE DB, платформы .NET Framework. Основными компонентами системы взаимодействия являются следующие:

- база данных – файл базы данных;
- связь – компоненты, обеспечивающие связь с данными;
- адаптеры – компоненты, формирующие запрос к драйверу ODBC для получения и модификации данных;
- набор данных – компонент, обеспечивающий виртуальное хранение данных;
- визуализация – компоненты, обеспечивающие визуальное представление данных.

Операционный пульт, главная операционная панель, состоит из взаимосвязанных панелей управления, объединенных между собой логикой программы. Часть панелей, обеспечивающих базовые функции программы, обращение к которым происходит часто, создаются при старте программы и визуализированы постоянно. Часть панелей, обеспечивающих взаимодействие с оператором на отдельных этапах, создается и визуализируется динамически, программным путем в процессе взаимодействия с оператором.

В состав операционного пульта входят:

- панель управления загрузкой исходной информации из базы данных;
- панель управления технологическим процессом;

- панель управления параметрами технологических процессов;
- панель индикации исходных данных;
- мнемосхема технологического процесса;
- мнемосхема процесса замораживания;
- панель индикации блока температурных параметров, процесса замораживания;
- панель индикации блока биохимических и физических параметров процесса замораживания;
- панель индикации параметров процесса холодильного хранения;
- панель анализа результатов;
- панель выбора режима работы тренажера;
- панель выбора вида сырья;
- панель выбора периода лова;
- панель выбора района лова.

Панели управления, мнемосхемы и диаграммы скомпонованы в главный операционный пульт. Для демонстрационной версии процесса производства мороженой продукции он имеет вид, представленный на рис. 1.

Управление тренажером заключается в имитации действий сменного мастера при работе на прототипе выбранной линии.

Необходимо расставить обслуживающий персонал по рабочим местам в зависимости от вида сырья, готовой продукции, конкретной ситуации. При отсутствии работника на некритическом для процесса рабочем месте никаких информационных сообщений не выводится. Однако, как и в реальной ситуации, изменяются параметры технологического процесса, и изменяются показатели качества готовой продукции или характеристики производственного процесса.

Для выработки определенного вида продукции необходимо запустить линию – включить, активировать технологическое оборудование в определенной последовательности. При отсутствии необходимого оборудования, недостаточном количестве обслуживающего персонала, неправильно выбранной подаче сырья произойдет аварийная остановка линии с выдачей соответствующего диагностического сообщения. Для возобновления работы необходимо последовательными включениями оборудования и изменением расстановки работников последовательно разгрузить аварийный участок.

Панель управления загрузкой исходной информации из базы данных предназначена для загрузки основной информации из базы данных, необходимой для задания начальных условий, параметров модели (рис. 2).

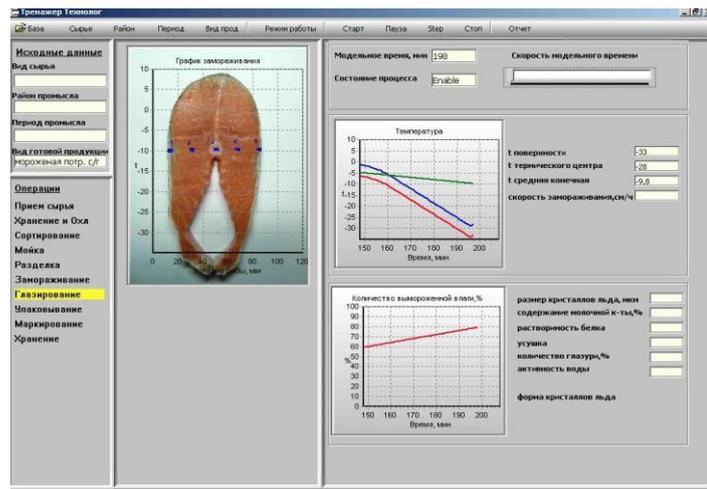


Рис. 1. Операционный пульт процесса замораживания

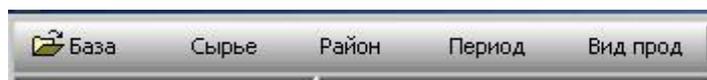


Рис. 2. Панель управления загрузкой

Кнопка «База» обеспечивает выбор базы данных. При нажатии выводится стандартный диалог выбора файла. После выбора файла происходит формирование строки соединения, подключение программы к источнику данных, создается виртуальный набор записей.

Кнопка «Сырье» обеспечивает выбор вида сырья. При нажатии создается и выводится на монитор панель выбора сырья (рис. 3). При выборе в списке вида сырья его наименование отображается на соответствующем элементе панели индикации исходных данных.

Кнопка «Район» обеспечивает выбор района промысла. При нажатии создается и выводится на монитор панель выбора района лова (рис. 4). При выборе в списке района лова его наименование отображается на соответствующем элементе панели индикации исходных данных.

Кнопка «Период» обеспечивает выбор периода промысла. При нажатии создается и выводится на монитор панель выбора периода промысла (рис. 5). При выборе в списке периода промысла его наименование отображается на соответствующем элементе панели индикации исходных данных.

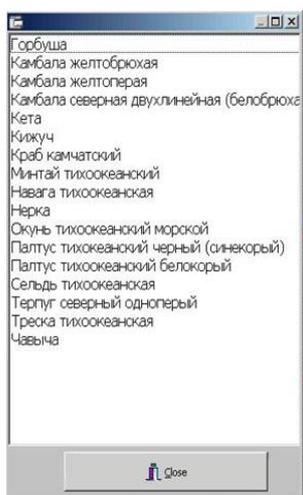


Рис. 3. Панель выбора сырья

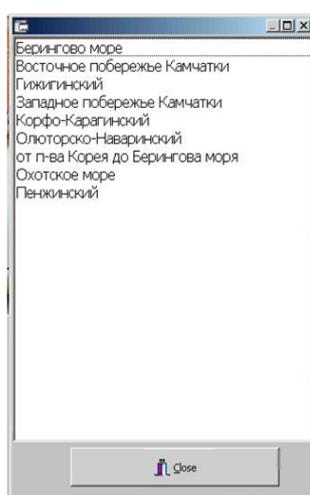


Рис. 4. Панель выбора района промысла



Рис. 5. Панель выбора периода промысла

Кнопка «Вид продукции» обеспечивает выбор вида продукции. При нажатии создается и выводится на монитор панель выбора вида продукции.

При выборе в списке вида продукции ее наименование отображается на соответствующем элементе панели индикации исходных данных, визуализируется технологическая схема на мнемосхеме технологического процесса, создается и выводится панель управления параметрами процесса. В состав панели управления параметрами процесса входят следующие группы элементов управления: задержка до обработки, вид охлаждения, параметры охлаждения, параметры мойки, способ замораживания, хладагент, время замораживания, параметры глазирование.

В состав каждого из перечисленных элементов управления, в свою очередь, входят дополнительные элементы управления, касающиеся конкретного выбранного элемента. Так, например, в состав группы элементов управления «Задержка до обработки» входят: индикатор температуры, регулятор температуры; в состав группы элементов управления «Вид охлаждения» входит группа переключателей вида охлаждения и вида охлаждающей среды: лед, льдоводяная смесь, вода, без охлаждения, с применением антисептика, в модифицированной атмосфере.

При выделении переключателей модель процесса корректируется в соответствии с заданным вариантом. На мнемосхеме отображается технологическая схема процесса производства продукции. Активная в данный промежуток времени технологическая операция подсвечивается желтым цветом. При нажатии на название операции активизируется соответствующая панель.

При нажатии на кнопку «Режим работы» создается панель выбора режима работы тренажера. Предусмотрены три варианта режима работы: «демонстрационный», «рабочий», «обучение». В демонстрационном варианте без участия оператора производится комплекс действий по подготовке линии к работе: включение необходимого оборудования, загрузка сырья, расстановка обслуживающего персонала на рабочих местах, проведение основных действий по нормальному проведению рабочей смены. В режиме «обучение» при ошибке оператора происходит остановка процесса, фиксация ошибки и вывод соответствующего сообщения. Дальнейшая работа невозможна без исправления ошибки. В режиме «рабочий» все необходимые действия должен осуществлять оператор. Кнопка «Загрузка тренажера» применяется для сохранения выбранного варианта в панели исходных данных, загрузки из базы данных выбранной модели предприятия, активизации процесса работы линии.

При использовании режима «рабочий» необходимо произвести загрузку сырья. Количество сырья оператор должен предварительно рассчитать, используя нормативные документы. Загрузка производится с панели управления линией.

Панель управления технологическим процессом содержит кнопки «Старт», «Пауза», «Step», «Стоп». При нажатии на кнопку «Старт» активизируется программный таймер, и начинается

выполнение загруженного процесса. При нажатии на кнопку «Пауза» деактивируется программный таймер, выполнение процесса приостанавливается. При нажатии на кнопку «Step» происходит пошаговое выполнение процесса. При нажатии на кнопку «Стоп» происходит остановка процесса и сброс всех загруженных параметров.

Панель управления временем процесса содержит элементы индикации и регулирования модельного времени.

Панель индикации блока температурных параметров процесса замораживания содержит элементы управления: температура поверхности рыбы, температура в термическом центре рыбы, средняя конечная температура рыбы, скорость замораживания, диаграмма замораживания.

Панель индикации блока биохимических и физических параметров процесса замораживания содержит элементы управления – индикаторы биофизических изменений, изменений кристаллической структуры льда, физических изменений, технологические параметры в процессе замораживания: размер кристаллов льда, содержание молочной кислоты, растворимость белка, усушка, количество глазури, активность воды, форма кристаллов льда, диаграмма количества вымороженной воды.

При нажатии на панели инструментов кнопки «Отчет» создается панель показателей качества продукции. Панель содержит индикаторы качества: содержание азота летучих оснований, значения кислотного и перекисного чисел жира рыбы, растворимость белка, количество глазури, консистенция мышечной ткани, состояние поверхности. Индикаторы сведены в две группы: для продукции, соответствующей требованиям стандарта, и для продукции, произведенной в смоделированных условиях. Для оценки и анализа результатов проведения процесса в составе панели имеются соответствующие элементы индикации.

По достижении значения модельного времени продолжительности рабочей смены, принятого с учетом смещения графика производственного процесса и индивидуального для различных типов производства, происходит остановка процесса.

Оператор должен организовать процесс таким образом, чтобы за время рабочей смены выпустить заданное количество продукции стандартного качества, не допустить аварийных ситуаций, брака.

Итоговые результаты работы, прогона модели выводятся нажатием кнопки главного меню «Результаты работы». Панель «Результаты работы» предназначена для нередатируемого отображения комплекса следующих параметров: исходные данные, выпуск продукции в килограммах или тубах, расход сырья по норме в килограммах, расход сырья фактический в килограммах, расход сырья на кормовую продукцию в килограммах, баланс сырья в килограммах, плановый выпуск продукции, отклонение фактического выпуска от планового, замечания по качеству готовой продукции. При отклонении значений в отрицательную сторону соответствующее поле таблицы подсвечивается красным цветом, при положительном балансе – зеленым цветом. Отрицательные результаты, подсвеченные красным цветом, свидетельствуют о неправильных действиях оператора и необходимости повторного прогона модели.

Таким образом, разработанный тренажер «Технология рыбных продуктов» позволяет обучающимся отработать процесс управления выбранными технологическими процессами на модели цеха конкретного существующего предприятия Камчатского края, что обеспечит достаточно быструю адаптацию будущих дипломированных технологов на производстве. Тренажерная подготовка предусматривает применение обучающимися глубоких знаний биохимии, микробиологии, гистологии, аналитической химии, физики, технологии, технологического оборудования, навыков пользования нормативными и техническими документами, что обеспечит закрепление обучающимися полученных ранее знаний и умений по дисциплинам, определяющим направленность (профиль) направления подготовки «Технология рыбы и рыбных продуктов».

УДК 664.5:594.124

**П.В. Ипаткин, В.А. Иодис**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: iodisva@mail.ru*

### **ПОЛУЧЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ДОБАВОК ИЗ СТВОРОК МИДИИ ТИХООКЕАНСКОЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХОЛОДИЛЬНОГО ПОТЕНЦИАЛА ТВЕРДОЙ УГЛЕКИСЛОТЫ**

В статье проведен анализ способов получения биологически активных добавок из створок моллюсков, растительного и натурального сырья. На основании анализа способов с выявлением их недостатков разработан способ получения биологически активных добавок из створок мидии тихоокеанской. В разработанном способе для дробления створок и их быстрого охлаждения используется твердый диоксид углерода. Способ позволяет существенно упростить технологический процесс, снизить эксплуатационные затраты.

**Ключевые слова:** мидия тихоокеанская, твердый диоксид углерода, биологически активная добавка.

**P.V. Ipatkin, V.A. Iodis**

*Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: iodisva@mail.ru*

### **OBTAINING BIOLOGICALLY ACTIVE ADDITIVES FROM THE LEAVES OF PACIFIC MUSSEL USING THE REFRIGERATING POTENTIAL OF SOLID CARBON DIOXIDE**

The article analyzes methods for producing biologically active additives from the leaves of mollusks, vegetable and natural materials. Based on the analysis of the methods with the identification of their disadvantages, a method for producing biologically active additives from the leaves of the pacific mussel has been developed. In the developed method, solid carbon dioxide is used to crush the leaves and quickly cool them. The method can significantly simplify the technological process, reduce operating costs.

**Key words:** a pacific mussel, solid carbon dioxide, biologically active additive.

Перспективными способами получения биологически активных добавок (БАД) из объектов нерыбного промысла – мидии тихоокеанской – являются способы получения кормовых добавок, биокорректоров, БАД дроблением створок до мелкодисперсного состояния, затем обработкой кислотами, использованием высоких и сверхнизких температур [1].

Известен способ производства кормовой добавки из мидий, заключающийся в промывке мидий, удалении песка, измельчении на шаровой мельнице до получения пастообразной массы, которая подвергалась частичному гидролизу соляной кислотой. В результате наблюдался химический распад солей створок мидии до свободных минеральных веществ, растворимых в жидкой части пищевой кормовой добавки и доступных для усвоения организмом [2].

Недостатками способа являются химическая вредность и экологическая опасность процесса производства, а гидролизат нуждается в последующей очистке с использованием сложной аппаратуры.

Известен способ получения корма для птиц из слоя ракушек с водорослями, отбираемых при механической очистке от подводной части корпусов судов. Процесс включает мойку в барабанных рыбомоечных машинах с температурой воды 50÷55°C, стечку на решетчатых транспортерах в течение 10÷15 мин, направление в сушильный барабан, где проводят сушку раковин при тем-

пературе  $75\div 85^{\circ}\text{C}$ . Высушенные ракушки с содержанием влаги не более  $1\div 8\%$  направляются в вальцевую дробилку, которая обеспечивает размельчение сырья с диаметром частиц не более 3 мм. Размельченный ракушечник перед затариванием в мешки проходит через магнитный сепаратор для извлечения и удаления металлопримесей [3].

Недостатками данного способа являются тепловая обработка сырья при сушке, распад минеральных веществ в процессе дробления, вследствие разогрева массы, сложность удаления металлопримесей.

Известен способ производства корма для коров, в котором створки мидии измельчают до состояния крупки и подвергают частичному гидролизу 36% соляной кислотой в пропорции 1 : 1. Гидролиз проводят при температуре  $18\div 20^{\circ}\text{C}$ . В результате гидролиза большая часть (77,6%) кальция углекислого, содержащегося в створках, превращается в кальций хлорид, который легко усваивается организмом. Непрореагировавшая часть кальция углекислого (22,4%) вступает в реакцию с кислотами желудочного сока и используется организмом [4].

Недостатками способа являются вредность и экологическая опасность процесса производства, а гидролизат нуждается в последующей очистке с использованием сложной аппаратуры.

Известен способ получения биологически активной добавки к пище из растительного сырья (травы и/или листья деревьев, и/или листья кустарниковых), включающий сушку сырья с помощью ИК-излучения, охлаждение высушенного сырья по всей его массе до температуры не выше минус  $80^{\circ}\text{C}$  хладагентом, с последующим его измельчением при данной температуре в среде хладагента. Перед сушкой осуществляют предварительное удаление влаги с поверхности сырья, а сушку осуществляют с помощью ИК-излучения при атмосферном давлении в две стадии, при этом первую стадию осуществляют при температуре не выше  $90^{\circ}\text{C}$  в течение не более 4 ч, а вторую при температуре не выше  $60^{\circ}\text{C}$  в течение не более 2 ч [5]. Недостатками способа являются энергозатраты, высокая температура двухстадийной сушки сырья.

Известен способ получения биокорректоров из натурального сырья, осуществляемый следующим образом. Предварительно высушенное натуральное сырье путем сублимационной сушки до влажности не более 20% направляют в закрытую емкость, в которую подают хладагент, и выдерживают сырье не более 20 мин, при достижении во всей его массе температуры  $-196^{\circ}\text{C}$ . Затем охлажденное сырье помещают в измельчитель молоткового типа, в котором его измельчают в течение не более 5 мин до размера частиц не более 50 мкм. После чего готовый продукт упаковывают. В качестве натурального сырья используют сырье растительного происхождения, в частности овощное и/или ягодное, и/или фруктовое, и/или бахчевое, и/или зерновые, и/или их зародыши, и/или водоросли, и/или растительное лекарственное сырье, и/или скорлупу орехов, и/или грибы, так и сырье животного происхождения, такое как скорлупа яиц, в частности куриных, и/или раков, и/или рептилий, и/или раковин моллюсков, и/или объекты, извлекаемые из раковин некоторых моллюсков (жемчуг), и/или кожу животных [6].

Данный способ предполагает высокий расход довольно дорогостоящего хладагента – жидкого азота вследствие непосредственного погружения натурального сырья в жидкий азот в емкости закрытого типа, а не орошения наружной поверхности жидким азотом. Реализация данного способа требует повышенных энергозатрат за счет его низкой эффективности с точки зрения производительности труда. Кроме этого применение сублимационной сушки существенно увеличивает продолжительность технологического процесса.

Предлагается разработать способ получения кальция из створок мидии тихоокеанской, позволяющего получать биокорректоры, в частности БАД, обладающие высочайшей биологической активностью, при минимальном расходе хладагента, электроэнергии и непродолжительном по времени процессе получения готового продукта.

Разработанный способ получения БАД из створок мидии тихоокеанской включает следующие технологические операции:

1) конвекционную сушку раковин до содержания влаги не более  $6\div 8\%$ ;

2) укладывание створок раковин в первый отсек экспериментальной установки (см. рис.), в которой происходит измельчение диоксидом углерода путем дросселирования жидкой углекислоты на створки при давлении  $12\div 14$  атм. Поток сдросселированной углекислоты под давлением с хлопьями «сухого льда» разбивает створки раковин, одновременно резко понижая их температуру до  $-60\div 70^{\circ}\text{C}$ . Диаметр полученных на данной стадии частиц не превышал  $5\div 8$  мм;

3) измельчение полученных частиц с температурой до  $-60\div 70^{\circ}\text{C}$  в шнековой дробилке до частиц диаметром  $2\div 3$  мм;

4) измельчение частиц с использованием измельчителя с лопастным ножом до размера частиц 600–800 мкм.

Техническими результатами разрабатываемого способа являются:

– повышение биологической активности получаемых БАД из створок мидии тихоокеанской, вследствие их высокой удельной поверхности, что положительно влияет на скорость протекания биохимических реакций в организме человека, а также более низкая агрегация, карамелизация и слеживаемость частиц;

– упрощение технологического процесса, снижение его эксплуатационных затрат.

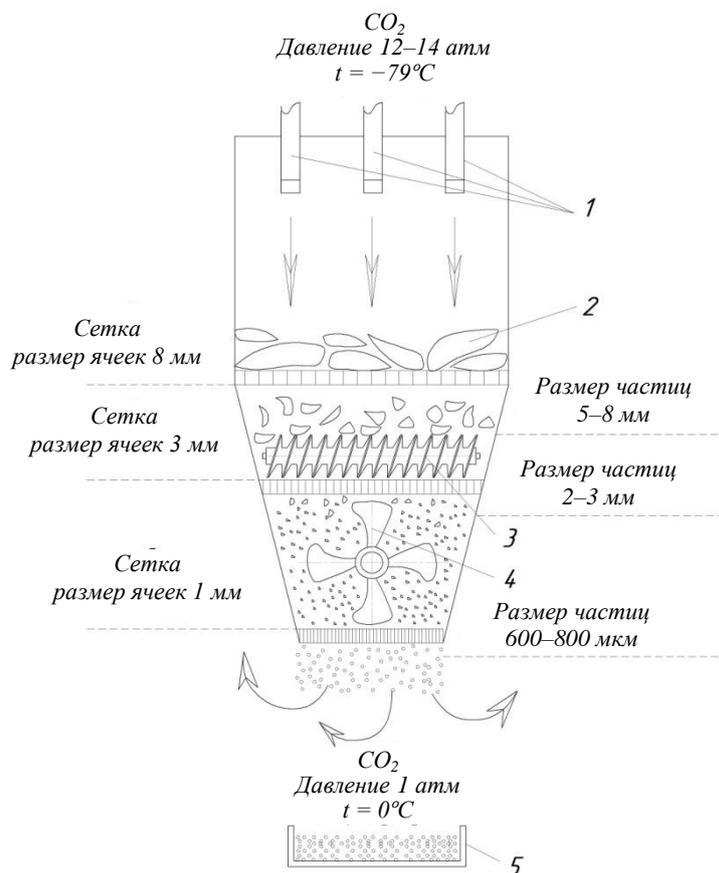


Рис. Принципиальная схема экспериментальной установки:  
1 – дрессели подачи  $CO_2$ ; 2 – раковины мидии тихоокеанской; 3 – шнековая дробилка;  
4 – измельчитель с лопастным ножом; 5 – емкость для хранения БАД

## Литература

1. Иодис В.А. Разработка технологии низкотемпературной обработки мидии тихоокеанской (*Mytilus trossulus*) жидким азотом: Дис. ... канд. техн. наук / В.А. Иодис; Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет. – Петропавловск-Камчатский, 2009. – 171 с.
2. Способ производства кормовой добавки из мидий: Авторское свидетельство СССР № 935062 / В.М. Ковбасенко, Ю.Б. Крук, А.Е. Пайдай, В.А. Семенец. – 1982. – Бюл. № 22.
3. Алексанян Р.П. Способ приготовления корма для птиц / Р.П. Алексанян // Авторское свидетельство СССР № 1561945. – 1990. – Бюл. № 17.
4. Кормовая добавка для коров / В.М. Ковбасенко, В.С. Барабаш, С.Я. Гуркало // Авторское свидетельство СССР № 1479050. – 1991. – Бюл. № 3.
5. Способ получения биологически активной добавки к пище из растительного сырья (варианты): Пат. РФ № 2176894 / А.Е. Груздева, Е.В. Потемкина, Н.В. Гришатов. – 2001.
6. Груздева А.Е. Способ получения биокорректоров из натурального сырья: Пат. РФ № 239929. / А.Е. Груздева. – 2010.

УДК 621.644

**А.А. Косимхужаев, Г.И. Захаров, В.А. Цветков, Л.С. Скорюпина**

*Пермский филиал Волжского государственного университета водного транспорта,  
Пермь, 614060  
e-mail: superamir@live.ru*

### **АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ И БЕЗОПАСНОСТИ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА**

В работе выполнен анализ работы и изучены требования к безопасности трубопроводного транспорта. Выделены основные факторы, влияющие на работу и безопасность при эксплуатации трубопроводного транспорта. Предложены меры для достижения наибольшей эффективности и уменьшения рисков аварийных ситуаций.

**Ключевые слова:** трубопровод, безопасность при эксплуатации, риски аварийных ситуаций.

**A.A. Kosimkhuzhayev, G.I. Zakharov, V.A. Tstvetkov, L.S. Skoryupina**

*Perm branch of Volga State University of Water Transport,  
Perm, 614060  
e-mail: superamir@live.ru*

### **ANALYSIS OF PIPELINE TRANSPORT PERFORMANCE AND SAFETY INDICATORS**

In the article the analysis of work is carried out. Requirements to safety of pipeline transport are studied. The main factors affecting the operation and safety of pipeline transport are identified. Measures to achieve the greatest efficiency and reduce the risks of emergency situations are proposed.

**Key words:** pipeline, safety during operation, risks of emergencies.

Трубопроводный транспорт России имеет более чем вековую историю. У истоков создания трубопроводного транспорта был Д.И. Менделеев, считавший, что только строительство трубопроводов обеспечит надежную основу развития нефтяной промышленности и выведет российскую нефть на мировой рынок. И он оказался прав [1].

Если мы посмотрим на график, составленный Росстатом, мы увидим, что на грузооборот трубопроводного транспорта на сегодняшний день приходится наибольшая доля (рис. 1).



Рис. 1. Грузооборот по видам транспорта

Объем перевозок сырой нефти, природного и попутного газа в основе своей приходится на трубопроводный транспорт.

Проведя анализ развития нефтепроводов и газопроводов России, приходим к выводу, что последние тридцать лет развитие шло большими темпами (табл. 1 и 2).

Таблица 1

**Показатели деятельности по нефтепроводам России**

Показатели	1990 г.	1995 г.	2000 г.	2005 г.	2010 г.	2016 г.	2017 г.
Эксплуатационная длина, тыс. км	68	64	63	65	65	74	71
Объем перекачки, млн т	558	309	318	482	524	578	579
Грузооборот, млрд т·км	1 240	68	745	1 156	1 123	1 268	1 308

Таблица 2

**Показатели деятельности по газопроводам России**

Показатели	1990 г.	1995 г.	2000 г.	2005 г.	2010 г.	2016 г.	2017 г.
Эксплуатационная длина, тыс. км	144	148	152	160	168	178	179
Объем перекачки, млн т	543	474	511	565	537	493	509
Грузооборот, млрд т·км	1 335	1 231	1 171	1 317	1 259	1 176	1 181

Как видно из табл. 1 и 2, повышение объема грузооборота происходило как благодаря увеличению эксплуатационной длины, так и давлению в трубопроводах.

На сегодняшний день наиболее важной является организация безопасности на трубопроводе [2]. Существуют специальные руководства по обеспечению требований промышленной безопасности, предупреждению аварий, инцидентов, случаев производственного травматизма при проектировании, устройстве, изготовлении, испытаниях, монтаже, эксплуатации, экспертизе промышленной безопасности стальных трубопроводов, предназначенных для транспортирования в пределах промышленных предприятий химической, нефтехимической, нефтяной, нефтеперерабатывающей, газовой и других смежных отраслей промышленности газообразных, парообразных и жидких сред.

Трубопроводы должны всегда находиться в исправном состоянии и подвергаться освидетельствованию в установленные сроки. Необходимо фиксировать все полученные при эксплуатации нарушения в эксплуатационных журналах.

Для сотрудников, работающих с трубопроводом, не составляет труда заметить мельчайшие изменения, т. к. на протяжении большей части трубопровода они укомплектованы «Инфразвуковой системой мониторинга трубопроводов» (далее ИСМТ) [3].

К основным функциям и характеристикам ИСМТ можно отнести:

– Обнаружение утечек. Регистрация чувствительности для трубопроводов с жидкими продуктами 3,3 л/мин (0,02%) при отверстии с диаметром 1 мм, время обнаружения от 1 до 6 мин. Регистрируются утечки через протяженные отводы с малым диаметром, а также утечки с предельно низкой интенсивностью, не вызывающие падение давления в трубопроводе по данным системы телемеханики. Низкая вероятность ложных срабатываний обеспечивается на всех режимах работы трубопровода.

– Локация внутритрубных устройств. Режим непрерывный; точность  $\pm 50$  м при остановке и  $\pm 100$  м при движении.

– Регистрация механических воздействий.

– Охрана оборудования линейной части.

– Инфразвуковая дефектоскопия внутренней поверхности трубопровода (без дефектоскопа). Диагностируются с точностью  $\pm 10$  см следующие дефекты: вмятины, расслоения металла, посторонние предметы, твердые отложения, контроль арматуры и сварных швов.

– Видеонаблюдение. Используются видеокамеры с инфракрасной подсветкой для дневного и ночного наблюдения.

– Измерение расхода, давления, температуры, контроль загазованности крановых узлов.

– Контроль и управление запорной арматуры.

– Самодиагностика собственных модулей.

Таким образом, основным требованием, влияющим на работу и безопасность трубопроводного транспорта, является надежность трубопровода вне зависимости от действующих на него нагрузок. Данный фактор должен быть учтен с учетом всех условий на этапе проектирования.

В результате анализа показателей работы трубопроводного транспорта выявлены факторы, влияющие на улучшение качества работы и безопасности трубопроводной системы [3]:

- обеспечение всей длины трубопроводов инфразвуковой системой мониторинга, что позволит быстро реагировать на изменения в системе;
- замена старых участков сети для использования трубы большего давления с целью увеличения грузооборота;
- повышение квалификации рабочего персонала, что уменьшит вероятность аварийных ситуаций;
- использование беспилотных летательных аппаратов для мониторинга системы трубопроводов.

Таким образом, для обеспечения работоспособности и безопасности трубопровод должен быть:

- правильно спроектирован, т. е. должны быть учтены все возможные условия, влияющие на его работу. Правильно подобран маршрут, придерживающийся кратчайшей геодезической линии между начальными и конечными пунктами;
- качественно должны быть изготовлены все детали трубопровода из материалов, предусмотренных проектом, и соблюдены технические условия при изготовлении;
- должны быть выполнены монтажные работы в соответствии с проектом и соблюдением заданной технологии и технических условий на монтаж;
- необходимо постоянное и систематическое наблюдение эксплуатационного персонала за работой трубопроводов без нарушения режима эксплуатации и превышения проектных параметров, указанных в инструкциях по эксплуатации данных трубопроводов.

### Литература

1. *Гамзаев Б.А.* Состояние и особенности развития трубопроводного транспорта России на современном этапе [Электронный ресурс] / Б.А. Гамзаев // Молодой ученый. – 2019. – № 3. – С. 155–159. – URL: <https://moluch.ru/archive/241/55717/> (дата обращения: 13.09.2019).

2. *Кудияров С.* Шанс не узнать страну [Электронный ресурс] / С. Кудияров // Эксперт. – № 4 (1104). – 21.01.2019. – URL: <https://expert.ru/expert/2019/04/shans-ne-uznat-stranu/media/323322> (дата обращения: 13.09.2019).

3. Программа стратегического развития ОАО «АК «Транснефть» на период до 2020 года: Утверждено решением совета директоров ОАО «АК «Транснефть» (протокол № 2 от 31.01.2012) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.transneft.ru/files/2012-03/2JQvOV0j7cuBsm6.pdf> (дата обращения: 13.09.2019).

УДК 628.12:621.65

**А.П. Лебедева<sup>1</sup>, Г.О. Заляева<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Дальневосточный государственный университет путей сообщения,  
Хабаровск, 680021;*

<sup>2</sup>*Санкт-Петербургский «Техникум Автосервис» (МЦПК),  
Санкт-Петербург, 196233  
e-mail: wellsalena@mail.ru; galinazalyaeva@mail.ru*

### **ВЫБОР КРИТЕРИЯ ПОДОБИЯ ПРИ РАСЧЕТЕ СТУПЕНИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО ПОГРУЖНОГО НАСОСА**

Приведена апробация методики определения основных конструктивных размеров рабочего колеса центробежного погружного насоса по приведенной подаче. Даны расчетные зависимости, установлены основные показатели работы.

**Ключевые слова:** система водоснабжения, центробежный погружной насос, критерии подобия, проточная часть рабочего колеса, осевой направляющий аппарат, приведенная подача, коэффициент быстроходности.

**A.P. Lebedeva<sup>1</sup>, G.O. Zalyaeva<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Railway Engineering University,  
Khabarovsk, 680021;*

<sup>2</sup>*St. Petersburg "Technical school "Car service" (MTsPK),  
St. Petersburg, 196233  
e-mail: wellsalena@mail.ru; galinazalyaeva@mail.ru*

### **SELECTION OF SIMILARITY CRITERION FOR CALCULATION OF CENTRIFUGAL SUBMERSIBLE PUMP STAGE**

An approbation of the method for determining the main design dimensions of the impeller of a centrifugal submersible pump based on the given feed is given. The calculated dependences are given, the main performance indicators are established.

**Key words:** water supply system, centrifugal submersible pump, similarity criteria, the flow part of the impeller, axial guide device, reduced feed, a coefficient of rapidity.

Объектом исследования является выбор критерия подобия при расчете проточной части рабочего колеса центробежного погружного насоса и определение основных конструктивных размеров колеса при использовании приведенной подачи в качестве базового параметра.

Цель работы – изучение возможности применения данной методики расчета для всех погружных центробежных многоступенчатых насосов с осевым направляющим аппаратом.

Задача исследования заключалась в адаптации приведенной подачи как критерия подобия для расчета погружных насосов, предназначенных для небольших напоров.

При проектировании проточной части погружных центробежных насосов очень актуальной является проблема выбора критерия подобия, т. к. широко используемый в теории гидромашин критерий – коэффициент быстроходности  $n_s$  не совсем удобен в силу ряда причин. Как правило, исходными данными являются требуемый напор, подача, частота вращения электродвигателя и внешний диаметр ступени, обусловленный диаметром скважины [2].

Однако при использовании для расчета коэффициента быстроходности необходимо знать не только общий напор, а и напор, развиваемый одной ступенью, величина которой обычно не известна.

Скорости вращения вала и внешний диаметр ступени у погружных центробежных насосов изменяются незначительно. Согласно [1] эти изменения не превышают 5–10% для частоты

вращения и 1,5–2 раза для диаметров, в отличие от подач номинальные значения которых могут отличаться в 10–20 раз.

Поэтому, используя формулу подобия

$$\frac{Q}{nD^3} = \text{const}$$

и приняв за основной линейный размер ступени наибольший наружный диаметр рабочего колеса, получаем:

$$\frac{Q}{nD_{2\max}^3} = \text{const.}$$

Записав данное уравнение для подобных насосов и приняв один из них за приведенный, получаем:

$$\frac{Q_{\text{прив}}}{n_{\text{прив}} \cdot D_{2\max \text{ прив}}^3} = \frac{Q}{n \cdot D_{2\max}^3}.$$

Отсюда следует:

$$Q_{\text{прив}} = \frac{n_{\text{прив}}}{n} \left( \frac{D_{2\max \text{ прив}}}{D_{2\max}} \right)^3 \cdot Q = \text{const.}$$

Приведенная подача служит критерием для определения конструктивных и рабочих параметров ступеней погружных центробежных насосов, т. е. приведенные к одному диаметру ( $D_{2\max \text{ прив}}$ ) и одной скорости вращения ( $n_{\text{прив}}$ ), они будут иметь одинаковую приведенную подачу.

При выполнении расчета учтены рекомендации, изложенные в [1, 2, 5].

Расчет ведется с применением систем экспериментальных данных коэффициентов, когда в качестве основного критерия выбора приведена подача.

Наибольший диаметр рабочего колеса:

$$D_{2\max} = D_{\text{вн. ст}} - 2s,$$

где  $s$  – радиальный зазор между внутренней стенкой корпуса ступени  $D_{\text{вн. ст}}$  и наибольшим внешним диаметром рабочего колеса  $D_{2\max}$ . Для ступеней погружных насосов в целях получения максимального возможного напора ступени этот зазор целесообразно выбирать в пределах  $s = 2 \div 3$  мм. Меньшие значения нужно выбирать для ступеней меньшего диаметра, большие для ступеней большего диаметра.

Приведенная подача ступени:

$$Q_{\text{прив}} = \frac{2800}{n} \left( \frac{90}{D_{2\max}} \right)^3 \cdot Q,$$

где 2 800 – приведенная скорость вращения единичного насоса, об/мин;

90 – наибольший диаметр рабочего колеса единичного насоса, мм;

$Q$  – подача насоса, принимается по выбранным параметрам принятого насоса [5];

$n$  – частота вращения вала насоса;

$D_{2\max}$  – наибольший внешний диаметр рабочего колеса, мм.

Приведенная подача рассчитываемой ступени должна находиться в пределах  $1,0 < Q_{\text{прив}} < 9,0$  л/с.

Если условие выполняется, то определяются размеры вала по внутреннему диаметру шлицев без учета влияния концентрации напряжения на изгиб:

$$d_{\text{вн}} = \sqrt[3]{\frac{M_{\text{кр max}}}{0,196\tau_{\text{кр}}}},$$

где  $M_{\text{кр max}} = 955,5 \frac{N_{\text{max}}}{n} \cdot \kappa H \cdot \text{см}$ ;  $N_{\text{max}}$  – приводная (паспортная) мощность двигателя;

$n$  – частота оборотов вала двигателя,  $\text{мин}^{-1}$ .

Допустимое касательное напряжение при кручении принимают с коэффициентом запаса

$$\eta = 1,4 - 1,6 \cdot [\tau_T] = \frac{\tau_T}{\eta} = \frac{\sigma_T}{2\eta}.$$

После проведенного расчета  $d_{вн}$  принимают размер вала из ряда: 17; 20; 22; 25; 28 мм, с учетом концентрации напряжений [4]. Геометрические характеристики шлицевого соединения назначаются по ГОСТу 1139-80.

Диаметр втулки при входе в рабочее колесо:

$$d_{вт} = K_{дв} \cdot D_{2max},$$

где  $K_{дв}$  – коэффициент, соответствующий  $Q_{прив}$ .

После определения диаметра втулки проверяется возможность размещения вала насоса. При этом должно быть соблюдено условие:

$$d_{вт} = d_{в} + 2\delta_{вт},$$

где  $d_{вт}$  – диаметр втулки;

$d_{в}$  – диаметр вала насоса;

$\delta_{вт}$  – толщина стенки втулки (для погружных центробежных насосов можно принять  $\delta_{вт} = 2-4$  мм).

Наибольший диаметр входных кромок лопастей (рис. 1):

$$D_{1max} = \frac{D_{2max}}{K_{D1max}},$$

где  $K_{D1max}$  – коэффициент, соответствующий  $Q_{прив}$ , определяется по кривым зависимости расчетных величин ступеней с осевым направляющим аппаратом от приведенной подачи  $Q_{прив}$ :

$$D_{1max} = \frac{100}{2,7} = 37,04 \text{ мм.}$$

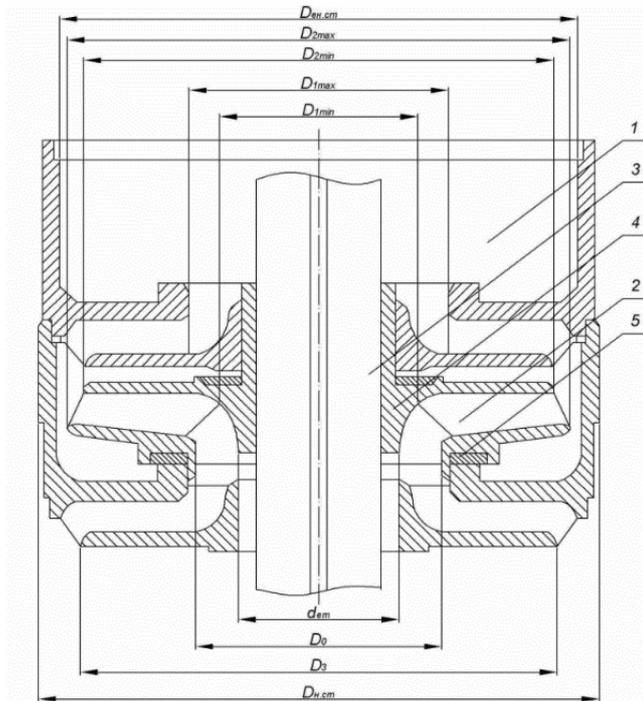


Рис. 1. Геометрические параметры рабочего колеса:  
1 – корпус; 2 – рабочее колесо; 3 – вал; 4 – втулка; 5 – сальник

Диаметр входа в рабочее колесо:

$$D_o = K_{D_o} \cdot D_{1max},$$

где  $K_{D_{1max}}$  – коэффициент, соответствующий  $Q_{прив}$  (рис. 2).

Наименьший диаметр входных кромок лопастей рабочего колеса:

$$D_{2\min} = \sqrt{D_{\text{вн. ст}}^2 - \frac{1}{0,785} \left( \frac{D_{2\max}}{90} \right)^2 \cdot F'_{\text{прив}}},$$

где  $F'_{\text{прив}}$  – приведенная площадь соответствует  $Q_{\text{прив}}$  (рис. 3).

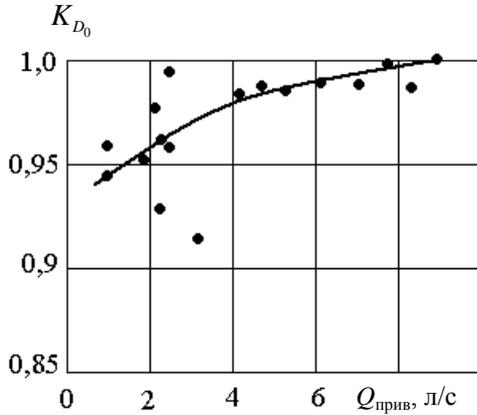


Рис. 2. Кривая зависимости коэффициента диаметра входа в рабочее колесо от приведенной подачи  $Q_{\text{прив}}$

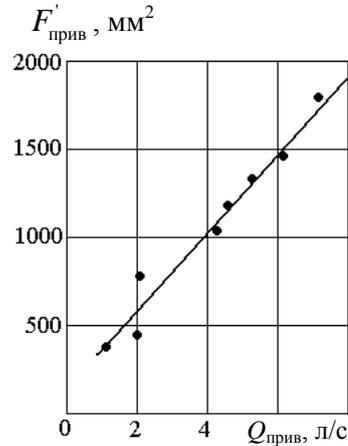


Рис. 3. Кривая зависимости площади от приведенной подачи  $Q_{\text{прив}}$

Наименьший диаметр входных кромок лопастей:

$$D_{1\min} = \frac{D_{2\max}}{K_{D_{1\min}}},$$

где  $K_{D_{1\min}}$  – коэффициент, соответствующий  $Q_{\text{прив}}$ , определяется по кривым зависимости расчетных величин ступеней с осевым направляющим аппаратом от приведенной подачи  $Q_{\text{прив}}$ .

Высота канала на выходе из рабочего колеса:

$$b_2 = K_{b_2} \cdot D_{2\max},$$

где  $K_{b_2}$  – коэффициент, соответствующий  $Q_{\text{прив}}$  (рис. 4).

Высота канала на входе в рабочее колесо:

$$b_1 = K_{b_1} \cdot D_{2\max},$$

где  $K_{b_1}$  – коэффициент, соответствующий  $Q_{\text{прив}}$  (рис. 5).

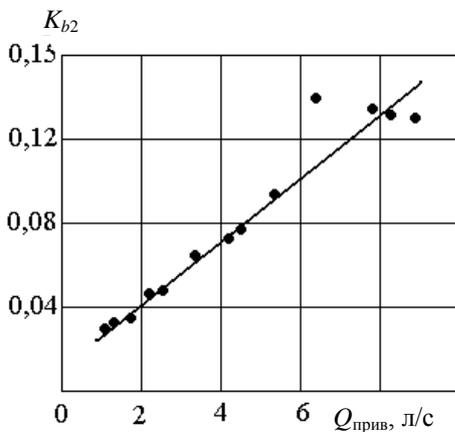


Рис. 4. Кривая зависимости коэффициента  $K_{b_2}$  от приведенной подачи  $Q_{\text{прив}}$

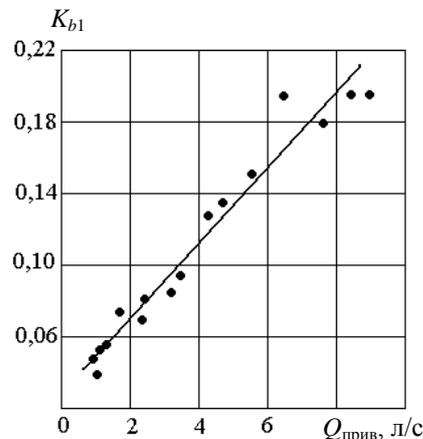


Рис. 5. Кривая зависимости коэффициента  $K_{b_1}$  от приведенной подачи  $Q_{\text{прив}}$

Напор ступени по коэффициенту окружной скорости:

$$H_{\text{ступени}} = \left( \frac{\pi \cdot n \cdot D_{2\text{max}}}{K_{v2\text{окр}} \cdot 60} \right)^2 \cdot \frac{1}{2g},$$

где  $K_{v2\text{окр}}$  – коэффициент, соответствующий  $Q_{\text{прив}}$  (рис. 3 и 6).

Действительная высота ступени:

$$l_{\text{прив}} = \frac{90}{D_{2\text{max}}} \cdot l.$$

Отсюда:

$$l = \frac{l_{\text{прив}}}{\left( \frac{90}{D_{2\text{max}}} \right)},$$

где  $l_{\text{прив}}$  – приведенная высота ступени, зависящая от  $Q_{\text{прив}}$ .

Высота междулопаточных каналов направляющего аппарата:

$$b_{3\text{прив}} = \frac{90}{D_{2\text{max}}} \cdot b_3.$$

Отсюда:

$$b_3 = \frac{b_{3\text{прив}} \cdot D_{2\text{max}}}{90},$$

где  $b_{3\text{прив}}$  – приведенная высота междулопаточных каналов, зависящая от  $Q_{\text{прив}}$  (рис. 7).

Диаметр диафрагмы направляющего аппарата:

$$D_3 = \sqrt{D_{\text{вн. ст}}^2 - \frac{F_{\text{прив}}'' \cdot D_{2\text{max}}^2}{90^2 \cdot 0,785}},$$

где  $F_{\text{прив}}''$  – приведенная площадь, зависящая от  $Q_{\text{прив}}$  (рис. 3).

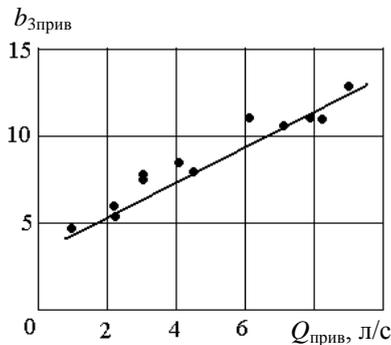


Рис. 6. Кривая зависимости приведенной высоты ступени от приведенной подачи  $Q_{\text{прив}}$

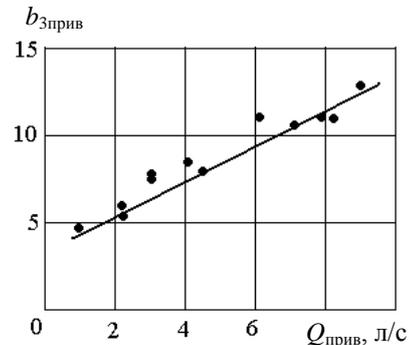


Рис. 7. Кривая зависимости приведенной высоты междулопаточных каналов от приведенной подачи  $Q_{\text{прив}}$

Угол входного конца средней линии профиля лопатки направляющего аппарата:

$$\text{tg}\alpha_3 = K \cdot K_{\text{СТ}_2} \cdot K_{v2\text{ок}},$$

где  $K$  – эмпирический коэффициент, принимают  $K = 1,4$ ;

$K_{\text{СТ}_2}$  – коэффициент меридианной скорости на выходе из колеса, принимается в зависимости от  $Q_{\text{прив}}$  (рис. 8);

$K_{v2\text{ок}}$  – коэффициент окружной скорости, принимается в зависимости от  $Q_{\text{прив}}$ .

Коэффициент полезного действия ступени центробежного насоса определяется в зависимости от  $Q_{\text{прив}}$  и  $\eta_{\text{ст}}$  (рис. 8).

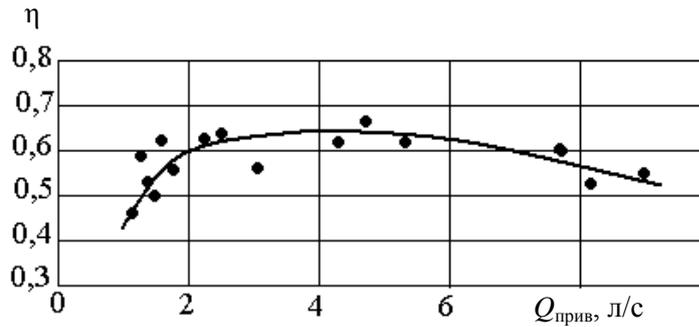


Рис. 8. Кривая зависимости КПД насоса от приведенной подачи  $Q_{\text{прив}}$

Полезную (гидравлическую) мощность насоса определяют по формуле:

$$N_{\text{пол}} = \frac{Q \cdot H \cdot \rho}{102},$$

где  $Q$  – подача насоса, м<sup>3</sup>/с;

$H$  – напор насоса, м;

$\rho$  – плотность перекачиваемой жидкости, кг/м<sup>3</sup>.

Расчетное число ступеней в насосе:

$$Z = \frac{H}{H_{\text{ступени}}},$$

где  $H_{\text{ступени}}$  – напор ступени, м.

Коэффициент полезного действия насоса определяется по формуле:

$$\eta_n = \frac{\eta_{\text{ст}}}{1 - 0,0124 \left( \frac{\eta_{\text{ст}} \cdot Z}{N_{\text{пол}}} \right)}.$$

В данной работе рассмотрена возможность использования в расчетах проточной части рабочего колеса приведенной подачи как критерия подобия центробежных погружных насосов с осевым направляющим аппаратом, предназначенных для небольших напоров и подач. Расчеты показали, что полученные результаты дают хорошую сходимость по большинству показателей. Приведенная методика может быть использована в учебном процессе.

### Литература

1. Гроховский Д.В. Основы проектирования центробежных многоступенчатых насосов / Д.В. Гроховский. – СПб.: Нестор-История, 2013. – 236 с.
2. Богданов А.А. Погружные центробежные электронасосы для добычи нефти (Расчет и конструкция) / А.А. Богданов. – М.: Недра, 1968. – 272 с.
3. Шашин В.М. Гидромеханика / В.М. Шашин. – М.: Высшая школа, 1990 – 384 с.
4. Ухин Б.В. Гидравлические машины. Насосы, вентиляторы, компрессоры и гидропривод / Б.В. Ухин. – М.: Высшее образование, 2011. – 319 с.
- 5 Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры / В.М. Черкасский. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 416 с.

УДК 621.867.2

**Т.П. Мищенко**

*Донецкий национальный технический университет,  
Донецк, 283000  
e-mail: mtpgzt12015@yandex.ru*

## **МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ТЯГОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА**

Рассмотрены и проанализированы современные и существующие методы и средства контроля, оценки и диагностирования оборудования ленточного конвейера (ЛК), направленные на предупреждение возникновения аварийных ситуаций.

**Ключевые слова:** ленточный конвейер, аварийная ситуация, контроль, техническое состояние, оборудование, тяговые параметры, нагрев, методика, показатели.

**T.P. Mishhenko**

*Donetsk National Technical University,  
Donetsk, 283000  
e-mail: mtpgzt12015@yandex.ru*

## **METHODS AND MEANS OF CONTROL OF TRACTION PARAMETERS OF BELT CONVEYOR**

Modern and existing methods and tools for monitoring, evaluating and diagnosing conveyor belt equipment (CB) aimed at preventing the occurrence of emergency situations are considered and analyzed.

**Key words:** belt conveyor, emergency, control, technical condition, equipment, traction parameters, heating, methods, indicators.

При непосредственном осуществлении погрузочно-разгрузочных операций для перемещения различных насыпных грузов непрерывным потоком в качестве перегрузочного оборудования используются ленточные конвейеры. Благодаря своим достоинствам конвейеры ленточного типа нашли свое применение в самых разных промышленных областях. В процессе их эксплуатации для предупреждения нагрева ленты на приводном барабане и предотвращения возникновения пожароопасных аварийных ситуаций применяются различные методы и средства контроля, оценки и диагностики, рациональный выбор которых затрудняется по причине отсутствия системы их классификации по критериям надежности, безопасности, доступности, информативности, экономичности и т. д. Актуальной проблемой в этом случае является анализ современных существующих и перспективных методов и средств контроля предупреждения возможности нагрева ленты на приводном барабане ЛК.

Основное технологическое оборудование ЛК состоит из конвейерной ленты 1, приводного барабана 2, натяжного барабана 3, роликоопор 4 и 5, рамы 6 (рис. 1) [1].

Контроль тяговых параметров данного оборудования позволяет предупреждать возникновение и развитие аварийных ситуаций, сокращать количество внеплановых остановок оборудования, исключать возгорания ленты и футеровки барабана. А также дает возможность избежать многочисленных человеческих и множественных материальных жертв и повышать производительность и коэффициент использования оборудования ЛК.

Наиболее полно и доступно тяговые расчеты ЛК представлены в [2, 3]. Исследования влияния одних параметров на другие исследованы в [4], методики тяговых расчетов и их теоретические и стендовые исследования приведены в [5–7]; алгоритмы исследования возможности уси-

ления противоаварийной устойчивости узлов ЛК в [8]. Обзор современных методов и средств контроля безопасной эксплуатации оборудования ЛК для предотвращения пожароопасных ситуаций приведены в работах [9, 10].

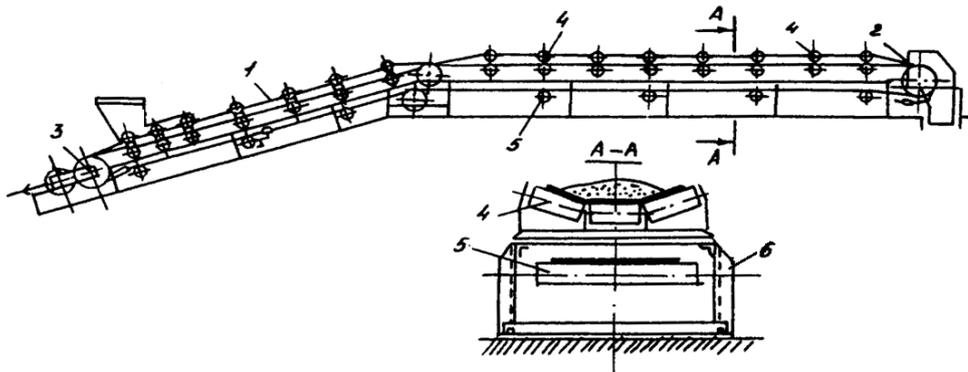


Рис. 1. Схема ленточного конвейера

Целью данного исследования является анализ основных существующих современных методов и средств контроля тяговых параметров основного оборудования ЛК для предупреждения нагрева ленты на приводном барабане.

Для определения основных параметров ЛК, к которым относятся производительность, ширина и скорость движения ленты, условия и режимы работы оборудования, выбор и распределение роликоспор, угол наклона, длина проекции трассы, мощность двигателя, проводится тяговый расчет согласно методике [1, 2]. Расчеты обязательно должны соответствовать нормам и выполняться с высокой точностью, чтобы результаты можно было применить в проектировании и эксплуатации оборудования, а также впоследствии не возникали незапланированные простои и пожароопасные ситуации. Для этого необходим постоянный контроль и усовершенствование систем расчета тяговых параметров оборудования ЛК.

Конструкторско-технологическим институтом вычислительной техники СО РАН (КТИ ВТ СО РАН) была поставлена задача по созданию автоматизированной системы контроля и управления ленточными конвейерами (АСКУ ЛК), удовлетворяющей требованиям высокой надежности при работе в опасных условиях, решения всех задач оперативного комплексного управления конвейерами, гибкости при настройке и конфигурировании на объекте, открытости для развития и подключения других систем и оборудования, простоты и эффективности в обслуживании. Базовым и основным элементом является программное обеспечение (ПО АСКУ ЛК), которое распределено по двум уровням (рис. 2) [11]. Верхний – функционирует на оборудовании программ интерфейса, базы данных и драйверов, буферных программ; а нижний управляет работой микропроцессорных устройств.

В результате внедрения АСКУ ЛК персонал объекта получает уникальные возможности в эксплуатации системы для определения конкретного типа и местоположения неисправности, что укорачивает время на поиск и устранение ее; контроля пробуксовки ленты конвейера; измерения температуры двигателя; конфигурирования системы под конкретный объект управления, в т. ч. путем подключения нового оборудования сторонних производителей; управления всей системой конвейеров из диспетчерской. На шахте «Сибиргинская» ОАО «Южный Кузбасс» успешно функционирует данная АСКУ ЛК и за время эксплуатации сбоев и зависаний в системе не было.

Ю.Д. Тарасов внес большой вклад в разработку методик определения и контроля тяговых параметров ЛК с помощью множества своих теоретических исследований, в т. ч. на лабораторных стендах и патентованных ленточных конвейерах. Использование его исследований может обеспечить повышение технико-экономических показателей и предотвратить возникновение пробуксовки ленты на приводном барабане в частности [12].

Важная роль для проектирования любого оборудования принадлежит подготовке и использованию точно подобранных исходных данных. Методики подготовки данных для приводов ЛК постоянно обновляются и расширяются, в результате получают высокие моменты и низкую частоту вращения, возможности повышения технического уровня приводов с использованием современных конструкций приводной техники [13]. Метод расчета путем суммирования всех сил сопротивления движению позволяет учесть влияние на результирующую силу сопротивления

движения всех факторов, от которых зависит эта сила [14]. Постоянно уточняется постановка тягового расчета применительно к различным конструкциям ЛК.

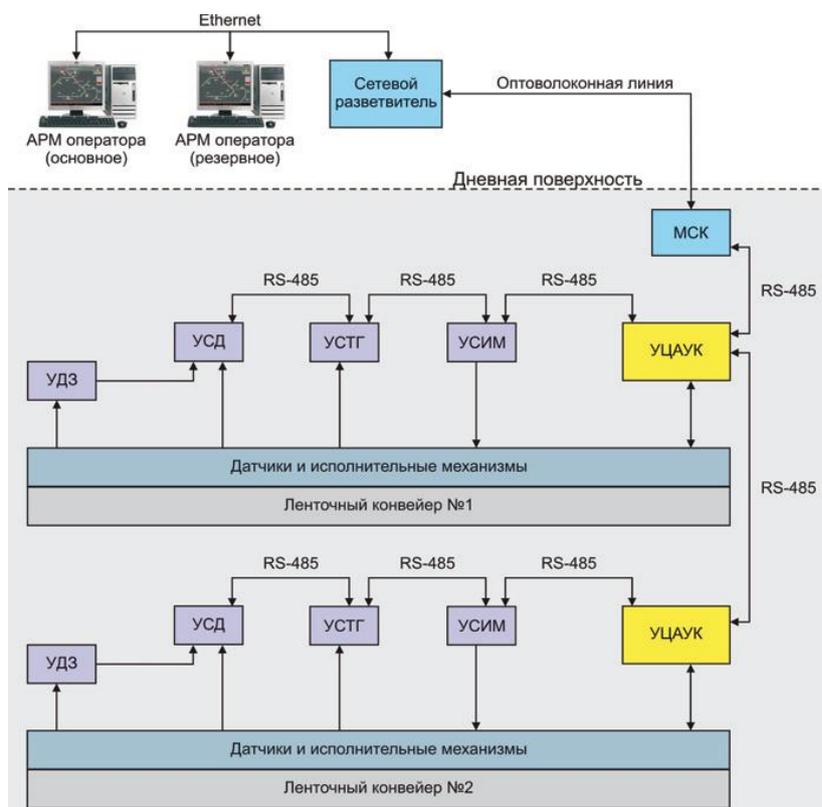


Рис. 2. Пример схемы АСКУ ЛК с двумя ленточными конвейерами

Сравнительный анализ систем управления подвесными конвейерами представлен в таблице [15].

Таблица

**Системы управления подвесными конвейерами**

Способ управления	Достоинства	Недостатки
Прямой пуск	Простота и дешевизна	Большие динамические перенапряжения и значительные механические Невозможность регулирования скорости удара
Реостатное управление	Более плавный пуск с ограничением ускорения и максимального момента двигателя	Значительные колебания момента Механические характеристики достаточно мягкие Плавность пуска обеспечивается только за счет увеличения числа пусковых ступеней Громоздкость коммутирующей аппаратуры
Фазовое управление	Жесткие механические характеристики привода Возможность пуска конвейера с заданным ограниченным ускорением	Ограниченный диапазон регулирования скорости
Частотное управление	Широкий диапазон регулирования Потенциал энергосбережения Высокие динамические свойства Минимальные добавочные потери	Достаточно сложная система управления

Для решения задач проектирования применяют численные методы поиска оптимальных решений [16]. Одной из разновидностей таких методов является ЛП-поиск – метод исследования пространственных параметров. Планируемый ЛП рекомендуется использовать прежде всего на предварительных этапах анализа и синтеза технического устройства. Условия работы требуют использования сложных конструкций, поэтому в тяговом расчете очень важен учет дополнительных сопротивлений. При этом решается задача рационального подбора такого сочетания параметров, когда определяемые значения характеристик работы ЛК наименьшим образом отклонялись от необходимых значений, указанных в паспорте оборудования.

Применение метода математического моделирования при проектировании ленточных конвейеров может быть более обосновано при использовании критериального подхода [17]. Для выбора оптимальных геометрических и физических параметров найдены безразмерные критерии подобия для аналитического решения дифференциального уравнения с граничными условиями.

Широко разрабатываются алгоритмы для тягового расчета ЛК для различных особенностей эксплуатации оборудования [18]. Например, при различной задаваемой форме трассы (рис. 3). Преимуществом данного метода является использование новейших информационных технологий.

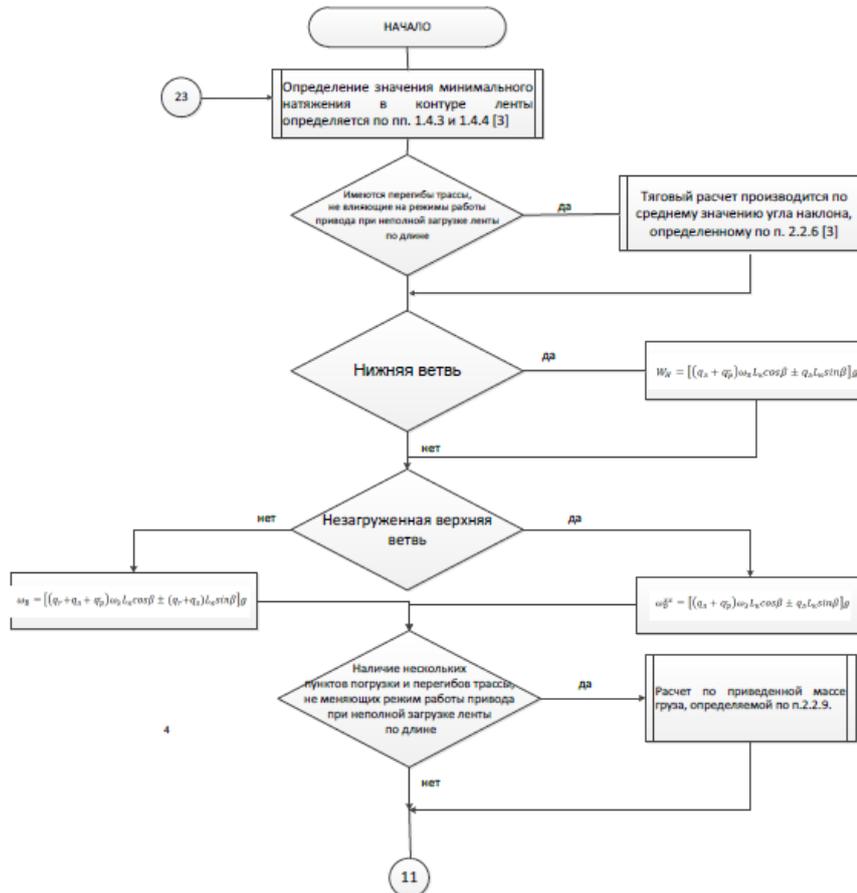


Рис. 3. Алгоритм определения характеристик для тягового расчета конвейеров

Для контроля и оценки тяговых параметров ЛК используется автоматизация процесса анализа и расчета характеристик конвейерного оборудования [19]. Компания ООО «Катен» разрабатывает программный комплекс «КАДПИ» с целью повышения надежности работы шахтного оборудования за счет создания интегрированной информационной системы сбора, обработки и анализа информации, позволяющей принимать эффективные решения в управлении и своевременно предотвращать возникновение аварийных ситуаций и оперативно реализовывать мероприятия по их ликвидации. Методы такого направления могут стать приоритетными при решении поставленной задачи.

Таким образом, развитие электронно-вычислительной и измерительной техники, программного обеспечения и компьютерных технологий позволяет решать на новом, качественном и количественном уровне задачи контроля тяговых параметров. Решение проблемы автоматизации процесса анализа и расчета тяговых характеристик конвейерного оборудования позволит не только повысить показатели производительности и коэффициент использования существующих и новых конвейерных установок, но и предупредить возникающие пожароопасные аварийные ситуации.

### Литература

1. Теоретические основы и расчеты транспорта энергоемких производств: Учеб. пособие для вузов / В.А. Будишевский и др.; под общ. ред. В.П. Кондрахина. – 2-е изд., перераб. – Донецк: ДонНТУ, 2017. – 216 с.

2. *Шахмейстер Л.Г.* Теория и расчет ленточных конвейеров / Л.Г. Шахмейстер, В.Г. Дмитриев. – М.: Машиностроение, 1978. – 392 с.
3. *Шахмейстер Л.Г.* Подземные конвейерные установки / Л.Г. Шахмейстер, Г.И. Солод; под ред. А.О. Спиваковского. – М.: Недра, 1976. – 432 с.
4. *Петров Д.И.* Влияние тягового фактора на некоторые параметры конвейера // Сборник материалов X Всерос. научно-практической конференции с международным участием «Россия молодая», г. Кемерово, 24–27 апр. 2018 г. – С. 10705-1-10705-4.
5. *Корнеев С.В.* Методика расчета шахтных ленточных конвейеров на основе компьютерного моделирования сопротивлений движению тягового органа / С.В. Корнеев, В.П. Долгих // Известия вузов. Горный журнал. – 2016. – № 3. – С. 81–88.
6. *Черненко В.Д.* Разработка методов расчета крутонаклонных конвейеров: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук 05.05.05 / Черненко Владимир Дмитриевич. – М., 1992. – 36 с.
7. *Кухар И.В.* Комплексное исследование лабораторного ленточного конвейера / И. В. Кухар, А.М. Меньшиков // Экологическое образование и природопользование в инновационном развитии региона: Сборник статей по материалам межрегиональной научно-практической конференции школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых, 22 апр. 2016 г., г. Красноярск. – 2016. – С. 129–132.
8. *Киктев Н.А.* Разработка алгоритма исследования возможности усиления противоаварийной устойчивости узлов ленточных конвейеров // Информационные технологии и системы управления. Технологический аудит и резервы производства. – 2014. – № 6/3 (20). – С. 48–50.
9. *Филиппов А.Д.* Обзор линейных пожарных извещателей для обеспечения пожарной безопасности на ставе ленточного конвейера // Сборник материалов VI Всероссийской 59-й научно-практической конференции молодых ученых с международным участием «Россия молодая», г. Кемерово, 22–25 апр. 2014 г. – С. 24.
10. *Николаев А.К.* Температурный контроль пробуксовки ленты на приводных барабанах конвейеров / А.К. Николаев, К.А. Васильев // Горное оборудование и электромеханика. – 2006. – № 3. – С. 30–33.
11. Автоматизированная система контроля и управления ленточными конвейерами на угольных шахтах / А.И. Благодарный и др. // Горная промышленность. – 2008. – № 5 (81). – С. 38–44.
12. *Тарасов Ю.Д.* Модернизация оборудования ленточных конвейеров, обеспечивающая повышение их технико-экономических показателей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № S8. – С. 178–186.
13. *Маркарян А.А.* Современные тенденции проектирования приводов в диапазоне параметров движения / А.А. Маркарян, А.В. Мазурова // Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в науке и образовании». 05–09 сент. 2018 года, с. Дивноморское. – 2018. – С. 145–149.
14. *Конопляник И.А.* Методика определения коэффициента сопротивления движению ленты при тяговом расчете // Горная механика. – 2008. – № 2. – С. 25–30.
15. *Шведчикова И.А.* Современные конвейерные системы и анализ подходов к их управлению / И.А. Шведчикова, С.М. Голубева // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»: Проблеми удосконалення електричних машин і апаратів. Теорія і практика. – Харків: НТУ «ХПІ», 2006, № 36. – С. 144–148.
16. *Статников И.Н.* Решение задач проектирования машин и механизмов методом ППП-поиска / И.Н. Статников, Г.И. Фирсов // Известия ОрелГТУ. Серия: Информационные системы и технологии. – 2008. – № 1–2/269 (544). – С. 204–210.
17. *Сухарев В.А.* Применение метода математического моделирования при проектировании ленточных транспортеров / В.А. Сухарев, Д.Н. Морозов // Научные труды Южного филиала Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Крымский агротехнологический университет». Серия: Технические науки. – 2012. – № 150. – С. 147–152.
18. Особенности алгоритма тягового расчета ленточного конвейера при заданной схеме трассы / Н.И. Чичикало и др. // Энергетика и автоматика. – 2016. – № 2 (28). – С. 74–83.
19. *Акимов А.А.* Автоматизация процесса анализа и расчета характеристик конвейерного оборудования для подземных работ / А.А. Акимов, А.В. Протогьяконов // VIII Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых с международным участием «Россия молодая». Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева. г. Кемерово, 19–22 апр. 2016 г. – С. 1–4.

УДК 621.833

**С.В. Шевченко, А.А. Муховатый**

*Луганский национальный университет им. Владимира Даля,  
Луганск, 91034  
e-mail: mukhovatyy@mail.ru*

## **ОСОБЕННОСТИ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ С НАКЛОННО-АРЧНЫМИ ЗУБЬЯМИ**

В работе изложены результаты исследования, посвященного выбору параметров зуборезной головки для нарезания наклонно-арочных зубьев цилиндрической зубчатой передачи. В основу предложенной методики положен коэффициент осевого перекрытия данной передачи. Определены предельные размеры зуборезной головки, исходя из экстремальных значений угла наклона зубьев на торцах зубчатого венца.

**Ключевые слова:** наклонно-арочные зубья, коэффициент осевого перекрытия, параметры зацепления, зуборезная головка.

**S.V. Shevchenko, A.A. Mukhovatyy**

*Lugansk Vladimir Dahl National University,  
Lugansk, 91034  
e-mail: mukhovatyy@mail.ru*

## **PARAMETERIZATION FEATURES OF A CYLINDRICAL GEAR TRAIN WITH INCLINED-ARCHED TEETH**

The paper presents the results of the study devoted to the choice of parameters of the gear head for cutting inclined-arched teeth of cylindrical gear. The proposed method is based on the coefficient of axial overlap of this transmission. The maximum dimensions of the gear head are determined based on the extreme values of the angle of inclination of the teeth at the ends of the gear ring.

**Key words:** inclined-arch teeth, the ratio of the axial overlap, engagement parameters, gear head.

Повышение нагрузочной способности передач зацеплением на параллельных осях решается различными путями [1, 2] – оптимизацией исходного контура, изменением продольной линии зубьев, применением новых видов упрочняющих технологий и др. Одно из перспективных направлений для решения этой задачи связано с так называемыми арочными зубьями [3–8]. В этих работах исследован широкий комплекс вопросов теории зацепления цилиндрических зубчатых передач (ЦЗП) данного типа и их натурных испытаний – параметры различных видов исходных контуров, уравнения станочного и рабочего зацеплений, приведенные кривизны сопряженных поверхностей зубьев, удельное скольжение, подрезание, коэффициенты перекрытия и др.

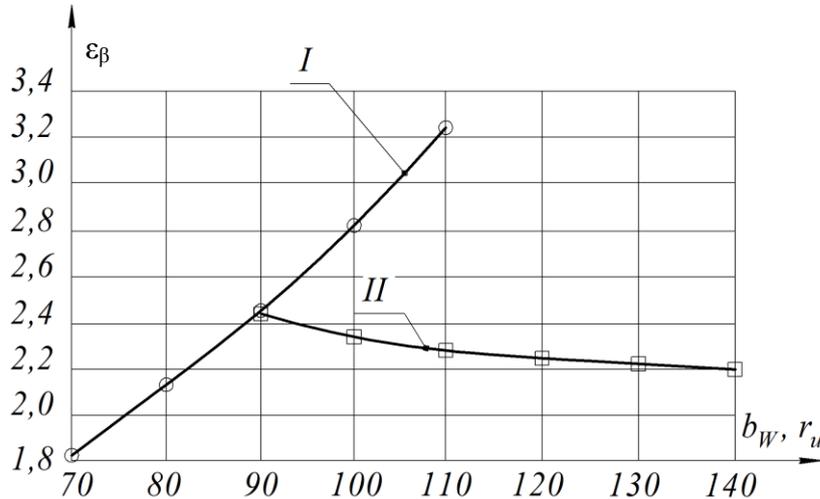
Разновидностью арочных зубьев являются наклонно-арочные зубья [9, 10]. У арочных зубьев ЦЗП в среднем торцовом сечении шестерни (колеса) угол наклона зубьев  $\beta = \beta_m = 0$ , а на обоих торцах он одинаков и достигает максимальной величины  $\beta = \beta_{\max}$ . В ЦЗП с наклонно-арочными зубьями во всех торцовых сечениях, в т. ч. и в среднем, угол наклона  $\beta > 0$ , причем от одного торцового сечения к другому величина  $\beta$  изменяется.

В настоящей статье изложен один аспект теоретического исследования ЦЗП с наклонно-арочными зубьями, связанный с выбором радиуса зуборезной головки  $r_H$  при известных основных параметрах передачи – межосевом расстоянии  $a_w$ , ширине зубчатых венцов  $b_w$ , нормальном модуле зацепления  $m_n$ , числах зубьев шестерни ( $z_1$ ) и колеса ( $z_2$ ), среднем угле наклона зубьев  $\beta_m$ . Эти параметры определены критерием контактной выносливости зубьев ( $a_w$ ) и геометрическим расчетом ЦЗП по известным методикам [2, 11, 12].

Коэффициент осевого перекрытия в ЦЗП с наклонно-арочными зубьями [10]:

$$\varepsilon_{\beta} = \frac{\cos \beta_m}{\pi \cdot m_n} \cdot (\sqrt{r_{II}^2 \cdot \cos^2 \beta_m + b_w \cdot r_{II} \cdot \sin \beta_m - 0,25 \cdot b_w^2} - \sqrt{r_{II}^2 \cdot \cos^2 \beta_m - b_w \cdot r_{II} \cdot \sin \beta_m - 0,25 \cdot b_w^2}). \quad (1)$$

Численный анализ выражения (1) показывает, что параметры  $b_w$  и  $r_{II}$  оказывают противоположное влияние на величину  $\varepsilon_{\beta}$ : с увеличением  $b_w$  значение  $\varepsilon_{\beta} = \varepsilon_{\beta}(b_w)$  увеличивается, а с увеличением  $r_{II}$  значение  $\varepsilon_{\beta} = \varepsilon_{\beta}(r_{II})$  уменьшается. Графические функции  $\varepsilon_{\beta} = \varepsilon_{\beta}(b_w)$  и  $\varepsilon_{\beta} = \varepsilon_{\beta}(r_{II})$  для  $m_n = 4$  мм и  $\beta_m = 17^{\circ}49'27''$  представлены на рис. 1.



I:  $\varepsilon_{\beta} = \varepsilon_{\beta}(b_w)$  при  $r_{II} = 110$  мм; II:  $\varepsilon_{\beta} = \varepsilon_{\beta}(r_{II})$  при  $b_w = 85$  мм.

Рис. 1. Коэффициент осевого перекрытия

Из рис. 2 следует, что радиус зуборезной головки  $r_{II}$  и ее положение относительно нарезаемого колеса не могут задаваться произвольно, т. к.  $r_{II}$  и  $b_w$  являются взаимозависимыми параметрами, то есть,  $r_{II} = r_{II}(b_w)$ .

Введем вспомогательную переменную  $k$ , которая свяжет известную величину  $b_w$  и искомую величину  $r_{II}$ :  $k = b_w / r_{II}$ . В результате

$$\varepsilon_{\beta} = \frac{b_w \cdot \cos \beta_m}{\pi \cdot m_n} \cdot [\sqrt{(\cos \beta_m / k)^2 + (\sin \beta_m / k) - 0,25} - \sqrt{(\cos \beta_m / k)^2 - (\sin \beta_m / k) - 0,25}]. \quad (2)$$

Угол наклона зубьев  $\beta$  в передаче с наклонно-арочными зубьями является переменной величиной и изменяется от  $\beta_{\min}$  на одном торце колеса до  $\beta_{\max}$  на другом,  $[\beta_{\min} \leq \beta \leq \beta_{\max}]$ . Границы этого диапазона  $\beta$  определяются зависимостью:

$$\begin{aligned} \beta_{\min, \max} &= \arccos \left( \sqrt{r_{II}^2 \cdot \cos^2 \beta_m \pm b_w \cdot r_{II} \cdot \sin \beta_m - 0,25 \cdot b_w^2} / r_{II} \right) = \\ &= \{ \text{подставим } b_w = k \cdot r_{II} \} = \arccos \left( \sqrt{\cos^2 \beta_m \pm k \cdot \sin \beta_m - 0,25 \cdot k^2} \right). \end{aligned} \quad (3)$$

Установим пределы изменения вспомогательного параметра  $k$ , соответствующего найденным границам диапазона угла  $\beta$ .

Очевидно (рис. 2), что экстремальные значения углов  $\beta$  для наклонно-арочных зубьев, то есть,  $\beta_{\min}$  и  $\beta_{\max}$ , определяются из условий:  $\beta_{\min} = 0$ ;  $\beta_{\max} = \pi / 2$ . Подставив найденные вели-

чины  $\beta_{\min}$  и  $\beta_{\max}$  в уравнение (2), решаем его относительно  $k$ . В результате определяются теоретические границы диапазона коэффициента  $k = [k_{\min}; k_{\max}]$  для заданного среднего угла наклона зубьев  $\beta_m$ :

$$k_{\min} = 2 \cdot \sin \beta_m; \quad k_{\max} = 2 \cdot (1 - \sin \beta_m). \quad (4)$$

Естественно в практическом расчете ЦЗП с наклонно-арочными зубьями следует принимать  $[k_{\min} < k < k_{\max}]$ .

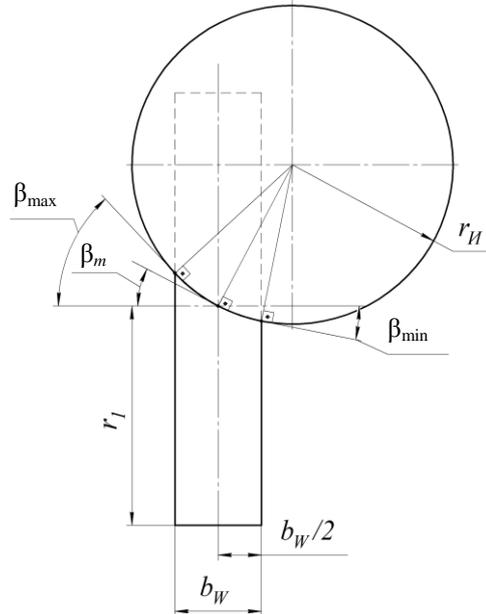


Рис. 2. Схема расположения зуборезной головки и нарезаемого колеса

Для численной оценки полученных соотношений сделан расчет для ЦЗП с наклонно-арочными зубьями по зависимостям (2)–(4) при следующих параметрах зацепления:

$$b_Г = 85 \text{ мм}; \quad m_n = 4 \text{ мм}; \quad \beta_m = 17^\circ 49' 27''.$$

Результаты расчетов.

$$1) \quad k_{\min} = 2 \cdot \sin \beta_m = 2 \cdot \sin 17^\circ 49' 27'' = 0,61;$$

$$k_{\max} = 2 \cdot (1 - \sin \beta_m) = 2 \cdot (1 - \sin 17^\circ 49' 27'') = 1,39.$$

Теоретические пределы возможных радиусов зуборезной головки  $[r_{И(\min)}; r_{И(\max)}]$ :

$$r_{И(\min)} = b_Г / k_{\max} = 85 / 1,39 \approx 61 \text{ мм}; \quad r_{И(\max)} = b_Г / k_{\min} = 85 / 0,61 \approx 139 \text{ мм}.$$

Принимаем  $r_{И} = 110 \text{ мм}$ , что соответствует  $k = b_Г / r_{И} = 85 / 110 \approx 0,77$ .

2) Коэффициент осевого перекрытия, формула (2):

$$\varepsilon_p = \frac{85 \cdot \cos 17^\circ 49' 27''}{3,14 \cdot 4} \cdot [\sqrt{(\cos 17^\circ 49' 27'' / 0,77)^2 + (\sin 17^\circ 49' 27'' / 0,77) - 0,25} - \sqrt{(\cos 17^\circ 49' 27'' / 0,77)^2 - (\sin 17^\circ 49' 27'' / 0,77) - 0,25}] \approx 2,29.$$

3) Диапазон изменений угла наклона зубьев в пределах ширины зубчатого зацепления  $b_Г = 85 \text{ мм}$  при  $k = 0,77$ , формула (3):

$$\beta_{\min} = \arccos \left( \sqrt{\cos^2 17^\circ 49' 27'' + 0,77 \cdot \sin 17^\circ 49' 27'' - 0,25 \cdot 0,77^2} \right) \approx 0,08 \text{ рад} \approx 4,5^\circ;$$

$$\beta_{\max} = \arccos \left( \sqrt{\cos^2 17^\circ 49' 27'' - 0,77 \cdot \sin 17^\circ 49' 27'' - 0,25 \cdot 0,77^2} \right) \approx 0,76 \text{ рад} \approx 43,7^\circ.$$

Для сравнения рассчитаем величину коэффициента осевого перекрытия в обычной эвольвентной косозубой цилиндрической передаче с теми же параметрами зацепления  $b_w, m_n, \beta_m = \beta = \text{const}$  :

$$\varepsilon_{\beta(\text{КОС})} \approx \frac{b_w \cdot \sin \beta}{\pi \cdot m_n} = \frac{85 \cdot \sin 17^\circ 49' 27''}{3,14 \cdot 4} \approx 2,1.$$

Как видим, при прочих равных условиях коэффициент осевого перекрытия наклонно-арочных зубьев  $\varepsilon_{\beta}$  почти на 11% больше, чем  $\varepsilon_{\beta(\text{КОС})}$  в косозубой передаче. Это приведет к тому, что в зацеплении ЦЗП с наклонно-арочными зубьями одновременно будет находиться большее число зубьев колеса, вследствие чего ЦЗП с наклонно-арочными зубьями имеет потенциальное преимущество перед эвольвентной косозубой цилиндрической передачей по нагрузочной способности.

Выводы. Для цилиндрической передачи с наклонно-арочными зубьями проанализировано влияние ширины зубчатых колес  $b_w$  и радиуса зуборезной головки  $r_{\text{и}}$  на величину коэффициента осевого перекрытия  $\varepsilon_{\beta}$ . Определены предельные углы наклона зубьев  $[\beta_{\text{min}}; \beta_{\text{max}}]$  и диапазон значений коэффициента  $k = b_w / r_{\text{и}}, - [k_{\text{min}}; k_{\text{max}}]$ , по которому рассчитываются границы значений  $[r_{\text{и}(\text{min})}; r_{\text{и}(\text{max})}]$ , внутри которых назначается радиус  $r_{\text{и}}$  стандартной зуборезной головки. Сравнительный расчет  $\varepsilon_{\beta(\text{КОС})}$  в эвольвентной косозубой цилиндрической передаче и  $\varepsilon_{\beta}$  в ЦЗП с наклонно-арочными зубьями при одинаковых параметрах зацепления показал потенциальное преимущество последней по нагрузочной способности.

### Литература

1. Машиностроение. Энциклопедия: В 40 т. Т. IV-1. Детали машин. Конструкционная прочность. Трение, износ, смазка / Под общ. ред. Д.Н. Решетова. – М.: Машиностроение, 1995. – 864 с.
2. Шевченко С.В. Детали машин. Расчеты, конструирование, задачи / С.В. Шевченко. – Киев: Кондор, 2008. – 492 с.
3. Пузина В.М. Исследование цилиндрических зубчатых передач с замкнутыми линиями контакта: Дис. ... канд. техн. наук: 05.02.02 / В.М. Пузина. – Ворошиловград, 1981. – 241 с.
4. Кравчук А.А. Теоретическое и экспериментальное исследование цилиндрической передачи с дугowymi зубьями: Дис. ... канд. техн. наук / А.А. Кравчук. – Хабаровск, 1975. – 190 с.
5. Городничий В.П. Исследование нагруженности и контактной выносливости цилиндрических передач с арочными зубьями: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.П. Городничий. – Курган, 1983. – 18 с.
6. Малахов А.Г. Исследование изгибной выносливости цилиндрических передач с арочными зубьями: Автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.Г. Малахов. – Курган, 1983. – 16 с.
7. Ревякина О.А. Совершенствование цилиндрических передач с арочными зубьями синтезом их по критериям работоспособности: Дис. ... канд. техн. наук / О.А. Ревякина. – Луганск, 2002. – 260 с.
8. Чалая Е.Ю. Усовершенствование цилиндрических передач с арочными зубьями смешанного зацепления синтезом исходного контура по геометро-кинематическим критериям: Дис. ... канд. техн. наук / Е.Ю. Чалая. – Луганск, 2018. – 245 с.
9. Шевченко С.В. Некоторые свойства зубчатых передач с наклонно-арочными зубьями / С.В. Шевченко, А.А. Стоянов // Конструирование и производство транспортных машин. – Республиканский межведомственный научно-технический сборник. Выпуск 22. – Харьков: Основа, 1993. – С. 61–69.
10. Шевченко С.В. Некоторые особенности зацепления колес на параллельных осях с наклонно-арочными зубьями / С.В. Шевченко, П.Н. Ткач // Подъемно-транспортная техника. – № 1 (21). – Днепропетровск, 2007. – С. 49–55.
11. ГОСТ 21354-87. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет на прочность. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 120 с.
12. ГОСТ 16532-83. Передачи зубчатые цилиндрические эвольвентные внешнего зацепления. Расчет геометрии. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 43 с.

УДК 664.5:594.124

**В.Н. Щербаков, В.А. Иодис**

*Камчатский государственный технический университет,  
Петропавловск-Камчатский, 683003  
e-mail: iodisva@mail.ru*

**ПЕРЕДВИЖНЫЕ УГЛЕКИСЛОТНЫЕ КОМПЛЕКСЫ  
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ДОБАВОК  
ИЗ СТВОРОК МИДИИ ТИХООКЕАНСКОЙ**

В статье обсуждаются вопросы проектирования передвижного углекислотного комплекса для производства биологически активных добавок. Производство основано на использовании холодильного потенциала твердого диоксида углерода при дроблении створок мидии тихоокеанской и их быстром охлаждении.

**Ключевые слова:** передвижной углекислотный комплекс, мидия тихоокеанская, твердый диоксид углерода, биологически активная добавка.

**V.N. Shherbakov, V.A. Iodis**

*Kamchatka State Technical University,  
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003  
e-mail: iodisva@mail.ru*

**PORTABLE CARBON DIOXIDE COMPLEXES  
FOR OBTAINING BIOLOGICALLY ACTIVE ADDITIVES  
FROM LEAVES PACIFIC MUSSELS**

The article discusses the design of a portable carbon dioxide complex for the production of biologically active additives. The production is based on the use of the refrigeration potential of solid carbon dioxide during crushing the leaves of Pacific mussels and their rapid cooling.

**Key words:** mobile carbon dioxide complex, pacific mussel, solid carbon dioxide, biologically active additives.

Сегодня население России стремится к здоровому образу жизни, в связи с чем пищевая промышленность переориентируется на производство товаров с новыми качествами, нацеленными на улучшение здоровья. К таким товарам, несомненно, относятся биологически активные добавки (БАД), которые в своем составе содержат натуральные витамины и витаминоподобные вещества, аминокислоты, минералы, полезные и необходимые питательные вещества. Одним из перспективных направлений производства БАД является получение их из объектов нерыбного промысла. Однако применяемые способы производства БАД используют такие химически вредные, высокозатратные и длительные операции, как гидролиз соляной кислотой, замораживание сырья жидким азотом погружным способом, сублимационная сушка [1–5].

Предлагается разработать инновационный способ получения БАД из створок мидии тихоокеанской, обладающих высокой биологической активностью.

Инновационный способ будет включать такие операции, как чистка раковин, конвекционная сушка раковин до содержания влаги не более 8%; укладывание створок раковин в загрузочный лоток аппарата для получения БАД (рис. 1 и 2), в котором происходит измельчение диоксидом углерода путем дросселирования жидкой углекислоты на створки при давлении 12÷14 атм. Поток сдросселированной углекислоты под давлением с хлопьями «сухого льда» разбивает створки раковин, одновременно резко понижая их температуру до –60÷70°С. Диаметр полученных на данной стадии частиц не превышал 5÷8 мм; измельчение полученных частиц с температурой до –60÷70°С в шнековой дробилке до частиц диаметром 2÷3 мм; измельчение частиц с использованием измельчителя с лопастным ножом до размера частиц 600–800 мкм.

Разрабатываемый способ позволит упростить технологический процесс, снизить эксплуатационные затраты, повысить биологическую активность получаемых БАД.

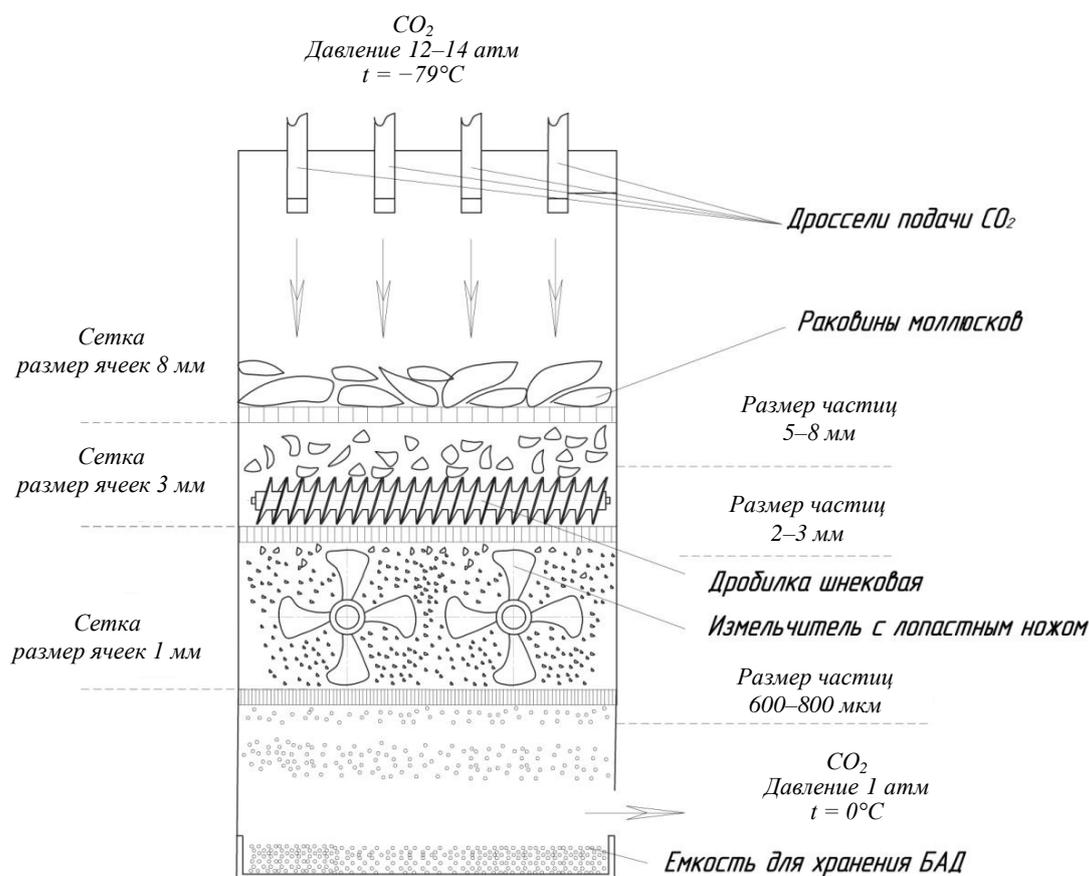


Рис. 1. Принципиальная схема аппарата производства БАД из створок мидии тихоокеанской

Исследования, проведенные ФГБУН КамчатНИРО, показали, что юго-восточные бухты камчатского полуострова наиболее перспективны для культивирования мидии тихоокеанской. Объемы культивирования-добычи в год могут достигать 500–700 т и более. Но в связи с большой удаленностью участков культивирования от населенных пунктов Камчатского края возникает ряд вопросов о создании непрерывной технологической цепи переработки ценных мидий.

В связи с вышесказанным возникает необходимость в разработке передвижного углекислотного комплекса для переработки створок мидий и доставки его непосредственно потребителю.

Передвижной углекислотный комплекс планируется разместить в одном 40-футовом изотермическом контейнере на базе контейнеровоза типа «МАЗ», способного быстро принимать сырец моллюсков у мест культивирования, перерабатывать и доставлять готовую упакованную продукцию.

Подготовительные операции включают мойку собранных с коллекторов и садков мидий, выдерживание в морской воде, отделение тел моллюсков от раковин, удаление бисусной нити. Мясо мидий проходит варку, охлаждение проточной морской водой, мойку, расфасовку и замораживание в азотном скороморозильном аппарате [6–9].

Створки проходят очистку на столах для очистки раковин и конвекционную сушку в специальных шкафах, после чего загружаются в загрузочный лоток аппарата производства БАД (рис. 2 и 3). В аппарате створки охлаждаются, разбиваются потоком «сухого льда» и углекислого газа, измельчаются в шнековой дробилке и в измельчителе с лопастным ножом. Полученные БАД упаковывают в полиэтиленовые контейнеры, затем в ящики, маркируют и через дверь для выгрузки готовой продукции направляют на хранение.

Для обеспечения автономной работы комплекса предусмотрено использование автономного дизель-генератора отечественного производства марки ПСМ-АД-30, требуемой мощности 25 кВт.

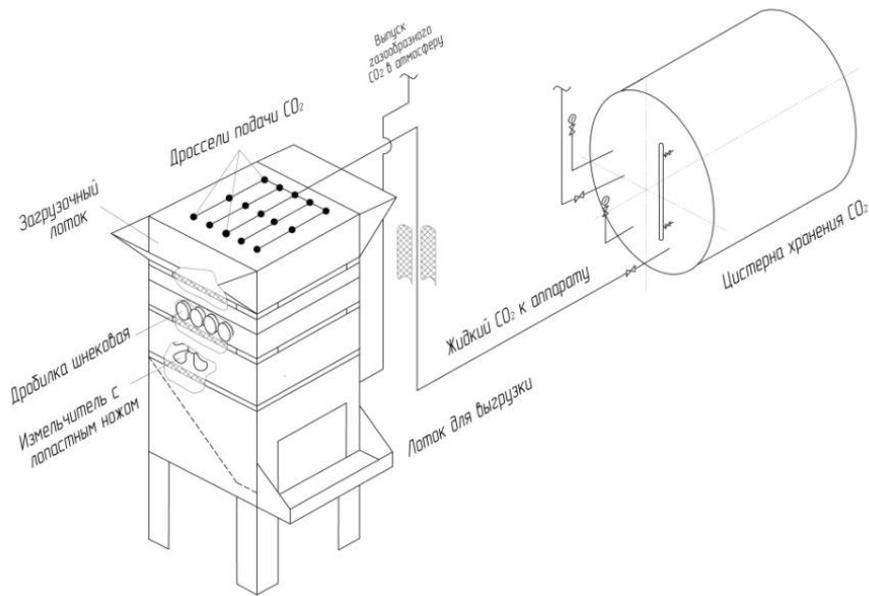


Рис. 2. Аксонометрическая схема получения БАД из створок мидии тихоокеанской

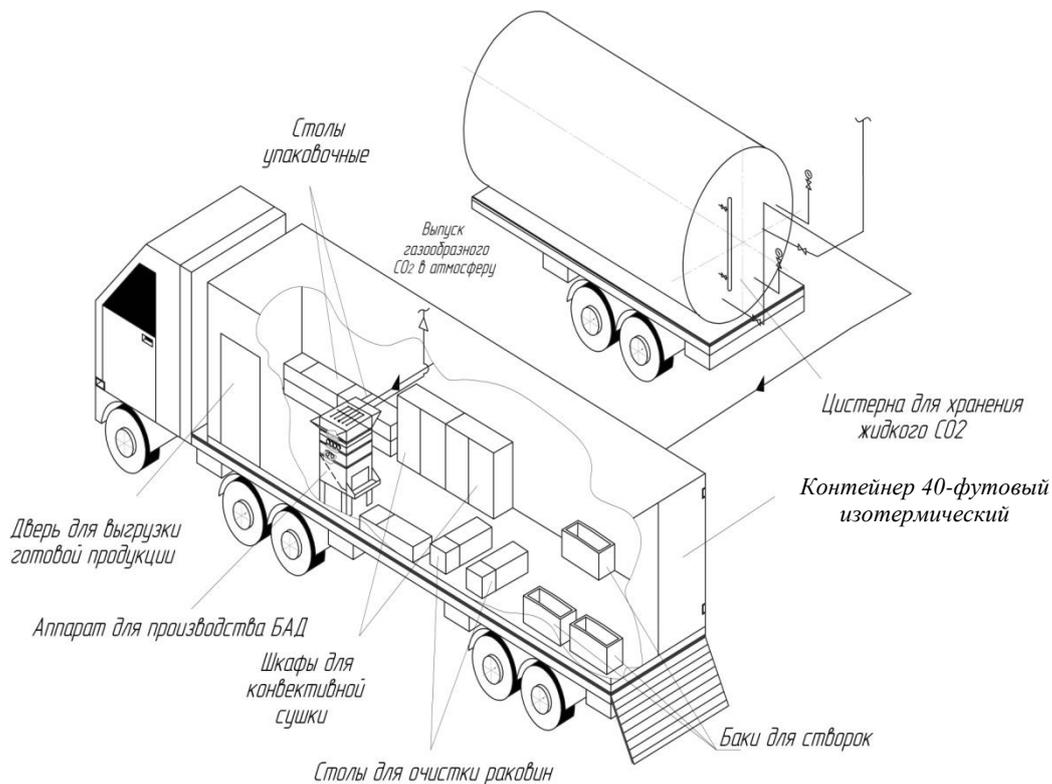


Рис. 3. Аксонометрическая схема передвижного углекислотного комплекса

Как показывают расчеты, суточная производительность комплекса может составлять 140–152 кг БАД.

Таким образом, разработанный инновационный способ получения БАД из створок мидии тихоокеанской позволяет:

- создать непрерывную технологическую цепь переработки ценного моллюска, мидии тихоокеанской, хранения и доставки потребителю;
- начать культивирование-добычу и переработку моллюсков в труднодоступных бухтах, заливах Камчатского края, Дальнего Востока, ранее недоступные для этого;
- существенно упростить технологический процесс, снизить эксплуатационные затраты, повысить биологическую активность получаемых БАД.

### Литература

1. Способ производства кормовой добавки из мидий / В.М. Ковбасенко, Ю.Б. Крук, А.Е. Пайдай, В.А. Семенец // Авторское свидетельство СССР № 935062. – 1982. – Бюл. № 22.
2. *Алексян Р.П.* Способ приготовления корма для птиц / Р.П. Алексян // Авторское свидетельство СССР № 1561945. – 1990. – Бюл. № 17.
3. Кормовая добавка для коров / В.М. Ковбасенко, В.С. Барабаш, С.Я. Гуркало // Авторское свидетельство СССР № 1479050. – 1991. – Бюл. № 3.
4. Способ получения биологически активной добавки к пище из растительного сырья (варианты): Патент РФ № 2176894 / А.Е. Груздева, Е.В. Потемкина, Н.В. Гришатова. – 2001.
5. *Груздева А.Е.* Способ получения биокорректоров из натурального сырья: Патент РФ № 239929 / А.Е. Груздева. – 2010.
6. *Архипова Е.А.* Состояние поселений мидий *Mytilus trossulus* на шельфе Восточной Камчатки / Е.А. Архипова // Материалы VI науч. конф., Петропавловск-Камчатский, 29–30 ноября 2005 г. – Петропавловск-Камчатский: КамчатНИРО, 2005. – С. 68–74.
7. *Иодис В.А.* Передвижной азотный скороморозильный комплекс для производства варено-мороженой мидии на базе судна МРТК типа «Балтика» / В.А. Иодис, Л.И. Балыкова, С.А. Жуков // Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана: Материалы II Международной научно-практической конференции. В 2 ч. – Владивосток, 2012. – С. 197–201.
8. *Иодис В.А.* Мобильная холодильная цепь переработки двухстворчатых моллюсков / В.А. Иодис, Л.И. Балыкова // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2012. – № 21. – С. 10–14.
9. *Иодис В.А.* Передвижные азотные скороморозильные комплексы для переработки моллюсков / В.А. Иодис // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Международной научно-технической конференции. В 2 ч. / Отв. за вып. О.А. Белов. – Петропавловск-Камчатский, 2019. – С. 77–81.

**Ответственный за выпуск**  
***О.А. Белов***

***ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА:  
ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ***

*Материалы*  
*Второй международной научно-технической конференции*  
*(23–25 октября 2019 г.)*

В авторской редакции  
Верстка, оригинал-макет Е.Е. Бабух

Подписано в печать 31.01.2020 г.  
Формат 60\*84/8. Печать цифровая. Гарнитура Times New Roman  
Авт. л. 20,84. Уч.-изд. л. 21,34. Усл. печ. л. 25,34  
Тираж 100 экз. Заказ № 1

Издательство  
Камчатского государственного технического университета  
Отпечатано полиграфическим участком издательства КамчатГТУ  
683003, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35