

ISSN 2077-3617

**Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України**

**Херсонська державна морська академія**

## **НАУКОВИЙ ВІСНИК**

### **ХЕРСОНСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО МОРСЬКОГО ІНСТИТУТУ**

Науковий журнал

№ 2 (5)

Херсон – 2011

**Науковий вісник ХДМІ : Науковий журнал.** – Херсон : Видавництво ВНЗ «ХДМІ», 2011. – № 2 (5). – 360 с.

**Засновник і видавець** – Херсонська державна морська академія

Рекомендовано до друку на засіданні Вченої Ради Херсонської державної морської академії 24.11.2011 р., протокол № 3.

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:**

ХОДАКОВСЬКИЙ Володимир Федорович, к.і.н., професор, головний редактор;

БАРДАЧОВ Юрій Миколайович, д.т.н., професор, заступник головного редактора;

КУЛІКОВА Лілія Борисівна, д.пед.н., професор, заступник головного редактора;

БЕНЬ Андрій Павлович, к.т.н., доцент, заступник головного редактора;

**Члени редакційної колегії:**

БУКЕТОВ Андрій Вікторович, д.т.н., професор;

ГОЛОБОРОДЬКО Євдокія Петрівна, д.пед.н., професор;

ЄВТУХ Микола Борисович, д.пед.н., професор;

ІСАЄВ Євгеній Олексійович, д.т.н., професор;

ЛЕОНОВ Валерій Євгенович, д.т.н., професор;

МАЛИГІН Борис Вадимович, д.т.н., професор;

МАРМУЛЬ Лариса Олександрівна, д.е.н., професор;

СОКОЛОВА Надія Андріївна, д.т.н., професор;

ХОДАКОВ Віктор Єгорович, д.т.н., професор.

**Адреса редакційної колегії:**

73000, м. Херсон, пр. Ушакова, 20, тел. (0552) 49-61-74

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації у Міністерстві юстиції України за №15256-3828 ПР від 30.04.2009 р.

Зареєстровано у Вищій атестаційній комісії України постановою президії ВАК України від 30 березня 2011 року №1-05/3 (бюлетень ВАК України №5, 2011)

**ISSN 2077-3617**

© Херсонська державна  
морська академія, 2011

## МОРСЬКИЙ ТА РІЧКОВИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 629.5.024

### ГЕНЕРИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ КОРПУСА ТРАНСПОРТНОГО СУДНА

*Бондаренко А.В., Бойко А.П., Николаенко О.С.,*

*Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова*

*В статье рассмотрена задача формирования судовой поверхности в параметрической форме. Приведены основные требования к разбиению поверхности на участки. Изложены основные этапы процесса создания поверхности корпуса.*

*Ключевые слова: параметрическая поверхность, NURBS, многочлен, строевая по шпангоутам, корпус судна.*

**Введение.** Современный процесс проектирования судна невозможно представить без создания трехмерной геометрической модели поверхности корпуса. Благодаря 3D моделированию можно получить достаточно точную модель, максимально приближенную к реальному корпусу судна. Такой подход дает возможность тщательно проработать форму, получить теоретический чертеж, разработать рабочие чертежи, с высокой точностью выполнить требуемые расчеты мореходных качеств судна. Также поверхность служит основой для создания инструмента и оснастки при подготовке производства и изготовления деталей корпуса.

С развитием и внедрением в процесс проектирования методов численного моделирования движения жидкости (CFD) возникает задача выбора оптимальной формы корпуса. Для успешного решения такой задачи необходимо рассмотреть проблему не только создания качественной поверхности корпуса судна, но и ее модификации с учетом изменения параметров. Кроме того, оптимизация формы судовой поверхности требует ее параметризации, дающей возможность рассматривать альтернативные варианты, изменяя значения параметров.

**Цель данной статьи** – разработка алгоритма генерирования поверхности корпуса транспортного судна по набору основных параметров.

**Степень изученности проблемы.** Рассматриваемая в статье задача формирования параметрической судовой поверхности включает две основные подзадачи. Первая предусматривает выбор метода генерирования в зависимости от наличия исходной информации, а вторая – алгоритм преобразования при изменении некоторых параметров корпуса. Исходя из этого, следует рассмотреть основные публикации по данному направлению.

Вопросы генерирования судовой поверхности различными методами рассмотрены в большом количестве научных публикаций, например [1–4]. Путем анализа научных разработок можно выделить следующие подходы к формированию корпуса судна:

- непосредственная разработка корпуса путем манипуляции с поверхностью;
- подгонка судовой поверхности к ординатам теоретического чертежа. Ординаты теоретического чертежа могут быть получены с использованием стандартных серий судов или по прототипу;
- получение судовой поверхности по минимальному набору параметров с использованием корабельных кривых.

Первый подход достаточно трудоемкий, поскольку параметры формы корпуса определяются в результате расчетов гидростатики для уже сформированной поверхности, и поэтому конструктору для получения требуемых значений приходится итерационно менять поверхность. Как правило, этот способ используется в малом судостроении.

Второй метод менее трудоемкий, но требует наличия таблицы ординат теоретического чертежа или же самого теоретического чертежа, что на начальных этапах проектирования не всегда возможно.

Наиболее перспективным, применительно к рассматриваемой задаче, является третий метод, математическая основа которого рассматривается ниже.

Выполненный анализ публикаций по алгоритмам преобразования корпуса показывает, что для получения судовой поверхности с требуемыми параметрами, как правило, используется комбинация методов аффинного преобразования [5] и Лэкенби [6]. Значительно реже применяется метод Мура [7] и «1–Ср» [5]. Метод Лэкенби позволяет варьировать четыре параметра формы корпуса: коэффициент продольной полноты ( $C_P$ ), абсциссу центра величины ( $LCB$ ), протяженность цилиндрической вставки в носовой ( $P_F$ ) и кормовой половине судна ( $P_A$ ). Применив аффинное преобразование можно менять еще и размеры: длину, ширину, высоту борта или осадку. С учетом вышеизложенного данный метод использован для преобразования судовой поверхности.

**Изложение основного материала.** Алгоритм получения судовой поверхности корпуса по минимальному набору корабельных кривых имеет два варианта. В первом случае создается единая поверхность, но для сложных обводов ее качество будет не очень высоким. Учитывая повышенные требования CFD пакетов к качеству поверхностей, представляется целесообразнее использовать второй вариант метода, а именно создание «лоскутков» или «патчей» с указанием условий сопряжения по границам. Этот подход известен в литературе как «секционный метод» [1] или «патчей» [4]. Рассмотрим более подробно алгоритм этого метода.

Каждый «патч» математически представляется виде в NURBS поверхности, определяемой формулой [8, 9]:



$$P(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m h_{i,j} P_{i,j} N_{i,k}(u) N_{j,l}(v)}{\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m h_{i,j} N_{i,k}(u) N_{j,l}(v)}, \quad (s_{k-1} \leq u \leq s_{n+1}, t_{l-1} \leq v \leq t_{m+1})$$

где  $P(u, v)$  – точка на поверхности В-сплайна в параметрических координатах  $u, v$ ;  $N_{i,k}(u) N_{j,l}(v)$  – базисные функции В-сплайна,  $P_{i,j}$  – векторы задающих точек с координатами  $x, y$  и  $z$  (позиции контрольных точек);  $h_{i,j}$  – однородные координаты задающих точек (весовые коэффициенты при соответствующих контрольных точках);  $n, m$  – количество контрольных точек в направлении  $u, v$ ;  $k, l$  – степень кривой в направлении  $u, v$ .

Для сопряжения участков используются, как правило, три граничных условия: сопряжение по положению  $G0$ , по касательной  $G1$  и по кривизне  $G2$ .

Каждый из этих видов сопряжения применяется в зависимости от топологии судовой поверхности. Так для получения линии сломов необходимо использовать тип  $G0$ , а для плавного перехода из одного участка в другой –  $G1$  или  $G2$ .

При формировании границ участков (патчей) необходимо, чтобы система базовых линий образовывала замкнутые участки, имеющие четыре граничных линии (одна из граничных линий может вырождаться в точку). Деление на участки проводится так, чтобы внутри участка не было больших углов наклона и резкого изменения кривизны [2]. Поверхность судна можно, например, разбить на районы кормовой и носовой оконечностей, кормовой и носовой скул, плоскую часть днища, цилиндрическую вставку и т.д. При разбиении необходимо учитывать и ряд математических особенностей NURBS кривых и поверхностей. В частности, необходимо обязательно выделять в отдельные участки поверхности между линиями сломов, участки плоского борта, плоского днища и участки линейчатых поверхностей. Также необходимо избегать разбиения гладких поверхностей на отдельные участки. Стыковка таких участков, как правило, производится только по первой производной и не дает необходимой гладкости.

Исходя из вышеуказанного, алгоритм построения судовой поверхности предполагает использование следующих базовых линий: строевой по шпангоутам (СПШ), конструктивной ватерлинии (КВЛ), линии плоского днища (FOB), линии плоского борта (FOS), верхней палубы, мидель-шпангоута, транца, бульба, промежуточных шпангоутов, диаметрального батокса (рис. 1).

Проблемным вопросом данного метода является формирование граничных линий при отсутствии теоретического чертежа. Авторами предлагается использовать следующий алгоритм.

На первом этапе определяется уравнение строевой по шпангоутам при неизвестных коэффициентах  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7$ :

$$A'(x') = a_0 + a_1 x' + a_2 x'^2 + a_3 x'^3 + a_4 x'^4 + a_5 x'^5 + a_6 x'^6 + a_7 x'^7,$$

где  $A'(x) = \frac{A}{BTC_M}$  – площадь шпангоута;  $x' = \frac{x}{L}$  – положение шпангоута по

длине судна;  $LCB' = \frac{LCB}{L}$  – абсцисса центра величины, %.

Исходными данными для определения неизвестных величин  $a_i$  являются: коэффициент продольной полноты  $C_P$ , абсцисса центра величины  $LCB'$ , площадь транца  $A'_r$ , площадь бульба  $A'_b$ ,  $p_A$  и  $p_F$  конечные точки цилиндрической вставки.

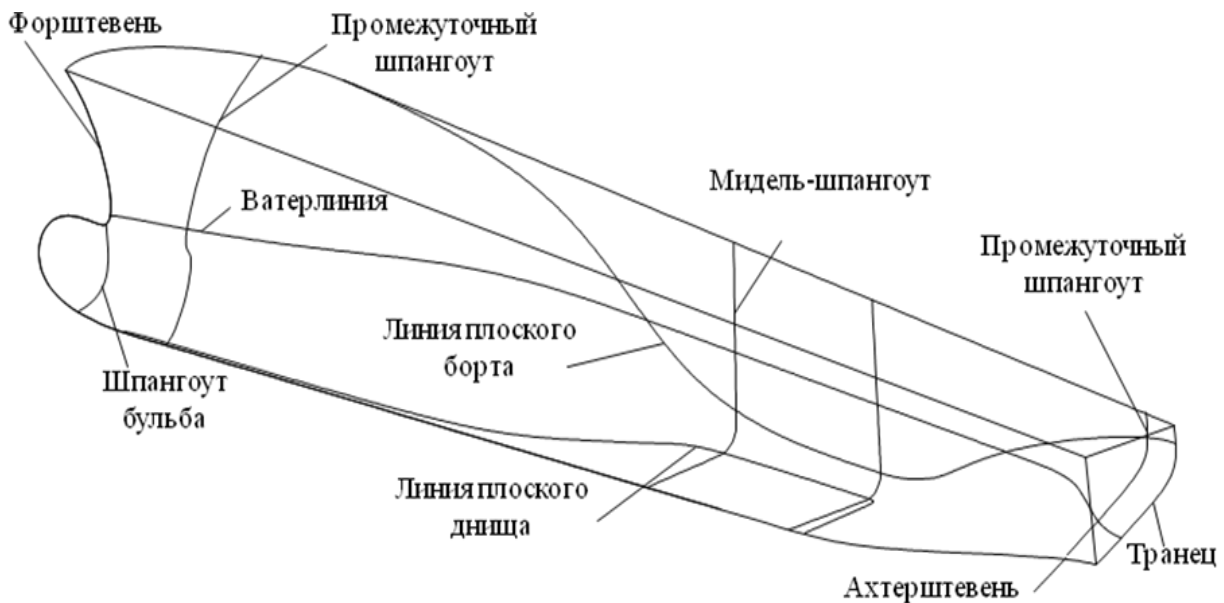


Рисунок 1 – Основные линии для построения поверхности корпуса

Значения коэффициентов многочлена определяются из решения системы уравнений:

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ p_A & p_A^2 & p_A^3 & p_A^4 & p_A^5 & p_A^6 & p_A^7 \\ p_F & p_F^2 & p_F^3 & p_F^4 & p_F^5 & p_F^6 & p_F^7 \\ 1 & 2p_A & 3p_A^2 & 4p_A^3 & 5p_A^4 & 6p_A^5 & 7p_A^6 \\ 1 & 2p_F & 3p_F^2 & 4p_F^3 & 5p_F^4 & 6p_F^5 & 7p_F^6 \\ 1/2 & 1/3 & 1/4 & 1/5 & 1/6 & 1/7 & 1/8 \\ 1/3 & 1/4 & 1/5 & 1/6 & 1/7 & 1/8 & 1/9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -A'_r \\ A'_b - A'_r \\ 1 - A'_r \\ 0 \\ 0 \\ C_P - A'_r \\ (0,5 - LCB'/100)C_P - 0,5A'_r \end{bmatrix} \quad (1)$$

Далее аналогичным образом определяется уравнение конструктивной ватерлинии

Для описания КВЛ также применяется многочлен пятой (2) или шестой (3) степени

$$y'(x') = a_0 + a_1 x' + a_2 x'^2 + a_3 x'^3 + a_4 x'^4 + a_5 x'^5, \quad (2)$$

$$y'(x') = a_0 + a_1 x' + a_2 x'^2 + a_3 x'^3 + a_4 x'^4 + a_5 x'^5 + a_6 x'^6 \quad (3)$$

Неизвестные коэффициенты в выражениях (2)–(3) определяются из решения системы уравнений аналогичной (1). При этом коэффициент продольной полноты  $C_P$  должен быть заменен на коэффициент полноты площади ватерлинии  $C_W$ , абсцисса центра величины  $LCB$  на абсциссу центра тяжести ватерлинии  $LCF$ , площадь транца  $A_{tr}$  на относительную полуширину транца  $y_{tr} = y/B$ , площадь бульба  $A_b$  на 0.

Таким образом, система граничных условий для определения коэффициентов будет иметь вид:

$$1. \quad y'(0) = y_{tr} \rightarrow a_0 = y_{tr},$$

$$2. \quad y'(1) = 0$$

$$3. \quad y'(0,5) = 1$$

$$4. \quad \left. \frac{dy'}{dx} \right|_{0,5} = 0$$

$$5. \quad \int_0^1 y'(x') dx' = C_{WP}$$

$$6. \quad \int_0^1 y'(x') x dx' = C_{WP} \left( 0,5 - \frac{LCF}{100} \right)$$

При использовании полинома шестой степени (3) и более в качестве дополнительного условия может служить

$$\left. \frac{dy}{dx} \right|_{x=1} = tg \frac{\psi}{2},$$

где  $\psi$  – угол входа КВЛ.

При наличии цилиндрической вставки для описания КВЛ применяется полином 7-ой степени. Дополнительными условиями служат точки начала и окончания цилиндрической вставки  $r_F, r_A$ .

Обычно, при оптимизации формы корпуса, надводная часть не рассматривается. По мнению авторов это не совсем правильно, поскольку форма надводной части влияет на ходкость судна на волнении, вместимость, качку, остойчивость.

Поэтому целесообразнее сразу оптимизировать всю форму судовой поверхности. При этом можно не моделировать бак или ют, так как их можно затем просто воссоздать для окончательного варианта при разработке общего расположения, а неучет бака или юта скажется на мореходных качествах с ошибкой в безопасную сторону.

Мидель-шпангоут транспортного судна (рис. 2) удобнее построить с применением прямых и дуги окружности, радиус которой определяется по формуле:

$$R = \sqrt{\frac{Bd(1 - C_M) - 0,5h(B - 2b)}{K}},$$

$$\text{где } K = \sqrt{\frac{4(B - 2b)^2}{h^2} - 1,5711}.$$

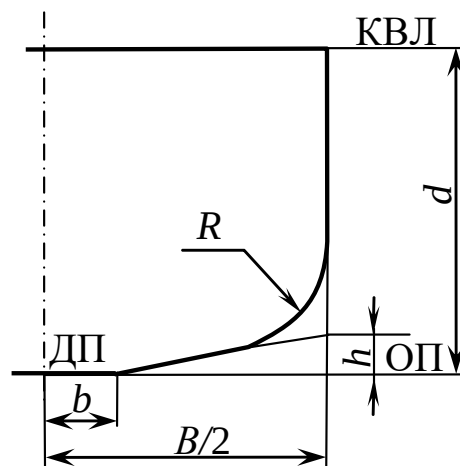


Рисунок 2 – Построение мидель-шпангоута

Для описания шпангоутов использовался следующий подход:

1. Для шпангоутов с площадью не меньше 0,75 используется парабола 4-й степени  $y = \lambda z + az^2 + bz^3 + cz^4$ .

2. Шпангоуты с площадью меньше 0,667 описываются уравнением гиперболы в виде

$$y = az + b - \frac{d}{z + c}.$$

3. Для шпангоутов с площадью от 0,667 до 0,75 можно использовать как параболу, так и гиперболу. В качестве граничной рекомендуется линия с площадью около 0,72.

Для определения неизвестных коэффициентов многочлена требуется четыре условия. Два из них получают согласно выбранным кривым КВЛ и СПШ, откуда

$$y_1(1) = y_{\text{квл}}(x); \int_0^1 y_1(z) dz = m.$$

где  $m$  – площадь соответствующего шпангоута;  $y_{\text{квл}}$  – полуширина шпангоута.

Два других коэффициента находят по заданному углу килеватости  $\lambda$  и развалу борта шпангоута  $f$

$$\frac{dy_1(0)}{dz} = \lambda; \frac{dy_1(1)}{dz} = f.$$

Для параболы четвертой степени

$$\begin{aligned} a &= \frac{3}{2} f - \frac{9}{2} \lambda + 30m - 12 \\ b &= -4f + 6\lambda - 60m + 28. \\ c &= \frac{5}{2} f - \frac{5}{2} \lambda + 30m + 15 \end{aligned}$$

Для гиперболы будем иметь

$$\begin{aligned} a &= f - c(1 - f) \\ b &= (1 - f)(1 + c)^2. \\ d &= (1 - f)(1 + c)^2 c \end{aligned}$$

Значения этих коэффициентов используются для определения  $c$ , но сначала рассчитывается  $m$ :

$$m = \frac{a}{2} + b - d \ln\left(\frac{1+c}{c}\right).$$

или подставляя значения  $a$ ,  $b$  и  $d$

$$m = \frac{f}{2} + (1 - f)(1 + c)^2 \left[ 1 - \frac{c}{2(1 + c)^2} - c \ln\left(\frac{1+c}{c}\right) \right]. \quad (4)$$

Коэффициент  $c$  для различных значений  $m$  и  $f$  определяются из решения уравнения (4).

Линии верхней палубы, FOB, FOS описываются аналогично.

После получения коэффициентов уравнений базовых линий выполняется их построение в какой-либо CAD системе. В данной работе для этого использована среда T-Flex. Затем, используя доступные в данной системе средства, формируется судовая поверхность в следующей последовательности:

1. Сначала создаются поверхности плоского борта и плоского днища, которые, в конечном счете, определяют граничные условия (позиция, точка касания, кривизна) с другими поверхностями.

2. Затем формируются внешние лоскуты поверхности, используя полученные граничные условия, чтобы учесть непрерывность лоскутков и получить плавность сопряжений.

3. Выполняется анализ качества полученных поверхностей (гауссова кривизна, линии кривизны и т.д.).

4. Если качество поверхностей не достаточное, то необходимо улучшить гладкость требуемых ребер и внутренних кривых, возвратится к шагу (1) и повторить генерирование поверхностей.

После получения поверхности корпуса судна с заданными параметрами, при решении задачи оптимизации формы корпуса, нет необходимости каждый раз пересчитывать значения коэффициентов уравнений базовых линий. В этом случае целесообразнее применить метод Лэкенби и аффинное преобразование корпуса судна, что позволяет значительно сократить время расчетов.

**Вывод.** Используя предложенный алгоритм, можно получить достаточно качественную поверхность корпуса судна любой сложности, которую в дальнейшем можно применять для расчетов сопротивления в CFD пакетах, гидростатики – в «Maxsurf» и других CAD системах.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ашик В. В. Методы построения и согласования судовой поверхности с помощью ЭВМ [Текст] / В. В. Ашик, А. А. Богданов, И. Б. Мараева, А. Н. Шебалов. – Л.: Судостроение, 1978. – 80 с.

2. Попов Е. В. Построение поверхности судового корпуса с использованием генетического алгоритма [Текст] / Е.В. Попов, А.В. Рекшинский // Вестник ИжГТУ. – 2007. – № 3(35). – С. 116–120.

3. Bole M. Integrating Parametric Hull Generation into Early Stage Design [Text] / M. Bole, B.-S. Lee // Ship Technology Research. – 2006. – Vol. 53(3). – P. 115–137.

4. Nowacki H. Computational geometry for ships [Text]/ H. Nowacki, M.I.G. Bloor, B. Oleksiewicz. – Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, 1995. – 252 p.

5. Versluis A. Computer Aided Design of Shipform by Affine Transformation [Text] / A. Versluis // International Shipbuilding Progress. – 1977. – Vol. 24. – № 274. – P. 147–160.

6. Lackenby H. On the Systematic Geometrical Variation of Ship Forms [Text] / H. Lackenby // Trans. INA. – 1950. – Vol. 92. – P. 289–315.

7. Moor D. The BSRA Methodical Series – An Overall Presentation [Text] / D. Moor, M. Parker, R. Pattulo // Transactions of RINA. – 1961. – Vol. 103. – P. 329–419.

8. Ли К. Основы САПР (CAD/CAM/CAE) [Текст] / К. Ли. – СПб.: Питер, 2004. – 560 с.

9. Роджерс А. Математические основы машинной графики [Текст] / А. Роджерс. – М.: Мир, 2001. – 604 с.

**Бондаренко О.В., Бойко А.П., Ніколаєнко О.С. ГЕНЕРУВАННЯ ПОВЕРХНІ КОРПУСА ТРАНСПОРТНОГО СУДНА**

*У статті розглянуто задачу формування суднової поверхні в параметричній формі. Наведено основні вимоги до поділу поверхні на ділянки. Викладено основні етапи процесу створення поверхні корпусу.*

*Ключові слова: параметрична поверхня, NURBS, багаточлен, побудовна по шпангоутах, корпус судна.*

**Bondarenko A.V., Boiko A.P., Nikolayenko O.S. GENERATION OF CARGO SHIP HULL SURFACE**

*The task of forming ship surface in parametric shape is considered. Basic requirements to surface sectionalization are given. Main stages in the process of generating the hull surface are stated.*

*Keywords: parametric surface, NURBS, polynomial, section area curve, ship hull.*

## THE OPTIMAL COMMERCIAL SPEED OF A TRANSPORT VESSEL WITH RESPECT TO OPERATORS' SUBJECTIVE PREFERENCES

*Goncharenko A.V.*

*By a ship's and her engine technical data, it is considered economical modes of the ship's power plant equipped with the main engine of 6L42MC operation. A mathematical modeling of the ship's optimal commercial speed has been conducted. The minimum of the operational costs and maximum of the profit for a voyage were chosen as the criteria of the optimization. Allowance was made for specific brake fuel-oil consumption, subjective preferences of operators. Analytical expressions of parameters used for the optimization have been achieved. Dependences are illustrated by graphs.*

*Key words: ship propulsion, main engine, mode of operation, optimal commercial speed, subjective preferences, multi-alternative situations, expectation.*

**Introduction.** At the ship propulsion and power plants department of Kherson State Marine Academy there elaborated a methodic for determination of the economical efficiency of a ship's propulsion and her power plants (SPPP's) operation. Particularly, an approach to such a problem solution is based upon an optimization problem setting which considers elements of profit maximization, and operational costs minimization.

On the other hand there are always some factors of an uncertainty when operating the SPPPs. Thus, this aspect is also influential.

**Urgency of researches.** The problem of monitoring and supporting the proper technical state of marine ships' propulsions and their power plants in multi-alternative operational situations is a complex and actual one. It is always important to keep the main engines (MEs) and SPPPs' up states and operate them economically (with the minimum costs) and effectively (with the maximum profits).

The subjective preferences of responsible engineers have to be taken into account as well, because their decisions reflect a measure of the uncertainty at the actual choice of a certain operational mode.

The given problem setting in the general view has a connection with the optimization of the technical-economical policy of a transportation company on the conditions of the lack or limit of the resources when choosing an alternative strategy in order to saving finances and at the keeping the proper technical state of the SPPPs.

**Analysis of the latest researches and publications.** At the work [1, p. 114], it is considered the optimization of the installed on board ship ME. Also there [1, P. 152-156], it is considered the change of the thermal efficiency index – specific brake fuel-oil consumption (SBFOC) for a slow speed engine (SSE) by the nomogram by «MAN Diesel» concern. In the result of the SBFOC decrease determination, for corresponding outputs of the optimized at certain points ME, the graph shown in the figure [1, p. 156, fig. 51] is drawn, which demonstrates the character of the dependence of the SBFOC upon the ME load. However, for



operation process the optimum of this criterion is not sufficient, because it does not take into consideration all other voyage expenditures. The attempt to an approach to evaluation for such a kind of a problem has been taken in the works [2, 3, P. 169-180]. Although, there were no income and profit aspects taking into account, there. That concept has been illustrated in the work [4, p. 185]. However, there were no mathematical ideas and scientific explanations or proofs for the concept. Moreover, the income curve has a linear character which seems at least rather doubtful.

Theoretical concepts for taking into account the subjective preferences have been developed in the monographs dedicated to the theory of subjective analysis [5, 6].

**The task setting.** Thus, the purpose of this paper is to find a principle for the idea of a ship speed optimization and compile a mathematical model that takes into account the main conceptual notions of reliability, costs, incomes, profits, and subjective preferences.

**The main content (material).** After plotting the dependence of SBFOC upon the load of the ME by the nomogram for a SSE, it is determined an hourly fuel-oil consumption at a certain load and corresponding rotational speed of the engine crankshaft. Then, it is accomplished the transition with the approximation to the dependences between expenses and the ship's speed. First, it is being considered the two components of the expenses per an hour. Namely, they are such expenses that depend upon the ship's speed and the other ones that do not depend on it. Knowing the distance of the voyage route we get the duration of the voyage. In the simplest problem setting, at the constant ship's speed and unchangeable in time incomes, the minimum of the voyage expenditures will show the optimal commercial speed of the goods transportation, which should be referred to as for the opportunity to be acceptable in the given voyage on conditions of it appropriateness subject to technical possibility and the actual state of the SPPPs.

In the given problem setting the attention is also paid to the consideration of the influence upon the profitableness of the operation of both the income and cost member components of the formula for the profitableness determination, since, the operation of the SPPPs is directed upon accomplishing the transportation work, and for that case the value of transported load and goods can change in the course of time, by this, the amount of incomes obtained from the voyage is also changing.

Then, there is a problem of choice of the optimal commercial speed with respect to the up state reliability measure of the SSE and subjective preferences of it.

**The problem formulation.** The sense of a transportation vessel operation is to obtain profit. The profit is determined as the difference between income and expenses:

$$P_r = I_n - C_o, \quad (1)$$

where  $P_r$  – the profit;  $I_n$  – the income;  $C_o$  – the cost of, correspondingly finance resources obtained from and spent upon a ship operation.

Minimizing expenses for the operation at the given income from it, there can be got the maximum profit:

$$P_{r \max} = \arg \min_{P_r} C_o. \quad (2)$$

Analogous, at the given amount of expenditures, in order to obtain the maximum profit, one has to increase the income from the operation:

$$P_{r \max} = \arg \max_{P_r} I_n. \quad (3)$$

We will take into account the incomes for a voyage, with respect to the natural loss of the goods value, by the well known exponential dependence of decay and multiplication, as the solution of a corresponding differential equation. The condition is the rate of the quality loss of the goods and loads, which is directly proportional to the goods amount on board ship at the every certain moment of time. The law of the change of the value of the loads and goods will be determined dependently upon the time. If at the moment of time  $t = 0$  the quality mass of the goods is  $m_0$ , and the price –  $c_0$ , initial value of the income –  $C_0 = m_0 c_0$ .

The rate of the value decrease will be determined in the next way. Let at the moment  $t$ , the value was –  $\$t$ , at the moment  $t + \Delta t$  – the value –  $\$t + \Delta \$t$ . In the time period of  $\Delta t$  the value decreased by the  $\Delta \$t$ . The ratio of  $\frac{\Delta \$t}{\Delta t}$  is a mean rate of the decrease of the value. The limit of the ratio at the  $\Delta t \rightarrow 0$ :

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \$t}{\Delta t} = \frac{d\$t}{dt} \quad (4)$$

is the rate of the value of the goods decrease at an instant  $t$ .

On conditions:

$$\frac{d\$t}{dt} = -n \cdot \$t, \quad (5)$$

where  $n$  – coefficient of proportionality ( $n > 0$ ). For the given case, the coefficient of  $n$  determines the stableness or stability of the loads value. We use the negative sign because at the increase of time the quality of the goods decreases, thus,  $\frac{d\$t}{dt} < 0$ .

The equation (5) of the rate of the value of the goods decrease at an instant  $t$  is an equation with separable variables. The solution is well known:

$$\frac{d\$t}{\$t} = -n \cdot dt, \ln \$t = -n \cdot t + \ln C, \quad (6)$$

where  $C$  – the constant of integration, from where:

$$\ln \frac{\$t}{C} = -n \cdot t, \quad \frac{\$t}{C} = e^{-n \cdot t}, \quad \$t = C \cdot e^{-n \cdot t}. \quad (7)$$

Since at  $t = 0$  the initial value of the income was  $C_0$ , then  $C$  should satisfy the interrelationship:

$$C_0 = C \cdot e^{-n \cdot 0} = C. \quad (8)$$

Substituting the value of  $C$  (8) into the equation of the loads value (7), we will get the searched dependence of the voyage incomes:

$$I_n = \$_0(t) = \$t = C_0 \cdot e^{-n \cdot t} = m_0 \cdot c_0 \cdot e^{-n \cdot t}. \quad (9)$$

The coefficient of  $n$  is determined by the observations in the next way. Let it be in the time interval  $t_0$  the load and goods value decreases by  $\alpha$  % from the previous magnitude. Thus, the interrelationship is accomplished:

$$\left(1 - \frac{\alpha}{100}\right) \cdot C_0 = C_0 \cdot e^{-n \cdot t_0}, \quad -n \cdot t_0 = \ln\left(1 - \frac{\alpha}{100}\right), \quad n = -\frac{1}{t_0} \cdot \ln\left(1 - \frac{\alpha}{100}\right). \quad (10)$$

For the cost part member of the profit formula (1), it is considered a financial estimate of the hourly fuel-oil consumption:

$$\$_{Gt} = f_1(G_t), \quad \$_{ge} = f_2(g_e), \quad G_t = f_3(v_s), \quad \$_{Gt} = f_1(f_3(v_s)) = f_4(v_s), \quad (11)$$

where  $G_t$  – the hourly fuel-oil consumption;  $g_e$  – the SBFOC;  $v_s$  – the ship's speed.

Having determined the structure and amount of the ship general expenses, and distinguished the component that does not depend upon the ship's speed:

$$\$_1(v_s) = \$_1 = \text{const}, \quad (12)$$

then, summarized it with the costs that depend upon the ship's speed:

$$\$_2(v_s) = k \cdot v_s^m, \quad (13)$$

where  $k$  – the coefficient of proportionality;  $m$  – power index; we get a formula for a general dependence of the rate of the total operational expenses costs upon the ship's speed:

$$\$ (v_s) = \$_1 + \$_2(v_s) = \$_1 + k \cdot v_s^m. \quad (14)$$

**The problem solution.** The total summarized expenditures for the voyage, with respect to (11-14) as a function of the ship's speed will constitute:

$$C_o(v_s) = \$ (v_s) \cdot t = \$_1 \cdot t + \$_2(v_s) \cdot t = \$_1 \cdot t + k \cdot v_s^m \cdot t, \quad (15)$$

where  $t$  – the duration of the voyage,  $t(v_s) = \frac{D_{is}}{v_s}$ ;  $D_{is}$  – the distance or length of the voyage or a trip. Then:

$$C_o(v_s) = \$_1 \cdot \frac{D_{is}}{v_s} + k \cdot v_s^m \cdot \frac{D_{is}}{v_s} = \$_1 \cdot \frac{D_{is}}{v_s} + k \cdot v_s^{m-1} \cdot D_{is}, \quad (16)$$

The voyage profit:

$$P_r(v_s) = I_n(v_s) - C_o(v_s), \quad (17)$$

$$P_r(v_s) = m_0 \cdot c_0 \cdot e^{-n \cdot \frac{D_{is}}{v_s}} - \left( \$_1 \cdot \frac{D_{is}}{v_s} + k \cdot v_s^{m-1} \cdot D_{is} \right). \quad (18)$$

From where, obviously, the first component member will be having a limiting value in the view of a horizontal asymptote, shown on the fig. 1; the second component member is a hyperbolic one dependently upon the ship's speed; that is as the speed increases the first will grow up to the limiting value of the initial cost of the goods and loads  $C_0$ , and the second one will decrease down to zero. The third component member, in its turn, will increase the summarized total operational costs for the voyage, because of  $m \approx 3$ . Therefore, the summarized total operational costs for the voyage will have the extremum by the ship's speed in the view of minimum. Corresponding speed will be the optimal commercial one, if there are incomes constant in time; i.e. such incomes that do not depend upon the ship's speed. That speed may be chosen for the given voyage accordingly to the voyage task; although, it should be taken into consideration the restrictions for acceptable diapasons of parameters at the SPPPs operation. Firstly, the working point of the ME must lie in the boundaries of the field for the working parameters choice in accordance with the load diagram, as it shown in the «MAN Diesel» concern project guide for the ME.

In this problem setting, the optimal commercial speed will be the one that satisfies the maximum of the profit since the incomes increase as the speed increases but to a certain extent or limit. Of course, the restrictions to the working point of the ME there should be the same as to the previous case, namely, the main one of the requirements is that the working point of the ME has to be positioned in the boundaries of the field for the working parameters choice in accordance with the load diagram.

Such theoretical speculations are illustrated by the graphs shown on the fig. 1.

The optimal commercial speed, when having financial-economical data for the ship's incomes and operational costs, may be found in a graphical, as it is shown on the fig. 1, and analytical way.

When applying the analytical way of the optimal commercial speed finding, there used the necessary condition of a function extremum existence. The first derivative of the profit function with respect to the ship's speed:

$$\frac{dP_r(v_s)}{dv_s} = m_0 \cdot c_0 \cdot e^{-n \cdot \frac{D_{is}}{v_s}} \cdot n \cdot \frac{D_{is}}{v_s^2} + \$_1 \cdot \frac{D_{is}}{v_s^2} - k \cdot (m-1) \cdot v_s^{m-2} \cdot D_{is}. \quad (19)$$

From where it may be found the optimal commercial speed of  $v_{s \text{ opt}}$ .

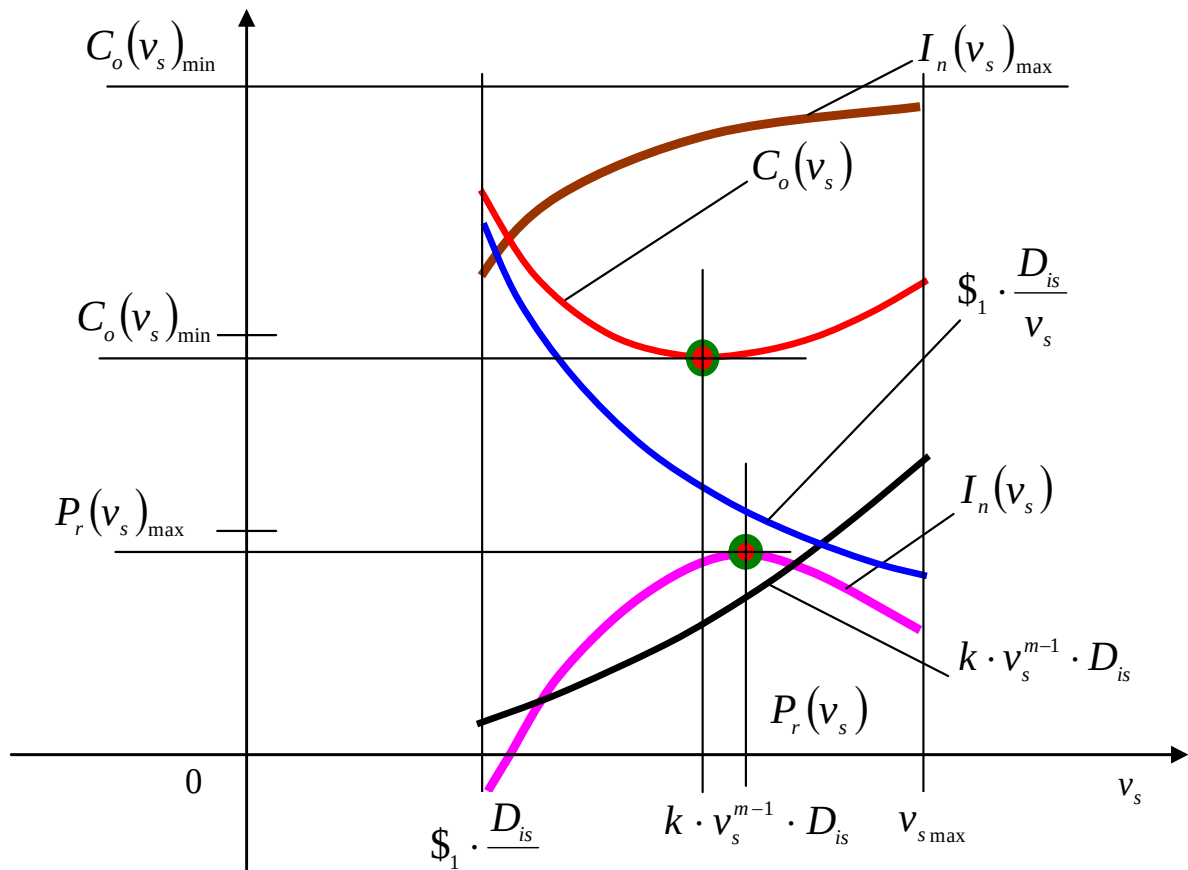


Figure 1 – Dependences of profit, income, and total operational costs for a voyage upon the ship's speed and the optimal commercial speed

### Practical application of the problem solution, and the researches results.

In order to calculate the voyage incomes (9) for determination the profit of (1-3, 17, 18), using the procedure of composing and solving the differential equation of (4-10), let us use a given level of rent. At the given level of rent, having found the value magnitude of the operational expenses for a voyage at the nominal ship's speed, we get the income.

Thus, for the beginning one has to find the total summarized operational expenses. For that purpose, let us determine the minimum specific fuel-oil consumption. In order to determine the part member (13) of the expressions of (14, 15) the SBFOC for the SSE has to be found. Applying the concepts of the «MAN Diesel» concern project guide for the SBFOC of the ME described in [1], we find the dependence of the SBFOC upon the output for the ME optimised at a point of  $O$ , lying upon a certain propeller curve, by the corresponding nomogram. Then, we get the hourly fuel-oil consumption. Transforming it, using prices for the fuel-oils and interrelationships between the ME outputs and the ship's speeds, into the dependences of the hourly fuel-oil consumptions upon the ship's speeds, we get that kind of the expenses as the function of the ship's speeds. Moreover, through the fuel-oil prices we may take into account all total summarized expenditures related to the ship's speed. Since the costs of fuel-oil are dominating in the expenditures for the ship's motion.

For example, considering a transport refrigerator equipped with the ME of 6L42MC, we have got for the voyage distance of up to 10,000 nautical miles  $v_{s_{C_o \text{ opt}}} = 17.36 \dots 17.37$  knots,  $v_{s_{P_r \text{ opt}}} = 17.9$  knots. Accordingly with the field for the working parameters choice, the approximate diapason for the ME power output, when working by the nominal propeller curve, constitute:  $N_e \approx 3,000 \dots 5,970$  kW. At this the SSE output, the corresponding ship's speed:  $v_s \approx 14 \dots 17.3$  knots.

In addition, the influence of subjective preferences factors could be made allowance for by the use of the formula of the complete probability where hypotheses are considered preferences to accept the corresponding policy of the operation.

The responsible manager has to have got reliable information about the strategy situations in the corresponding operational conditions. If the set of possible alternatives forms a complete group of non-conjunctive events, the complete probability with respect to the subjective preferences:

$$P(A) = \sum_{i=1}^n \pi_i P(A|\pi_i), \quad (20)$$

where  $A$  – the preferred alternative concerning the ship's speed;  $\pi_i$  – the subjective preferences of the possible alternatives;  $P(A|\pi_i)$  – the conditional probability of the preferred alternative realization on the basis of that the corresponding operational mode has been preferred.

Then the expectation of a voyage profit would be:

$$Exp[P_r] = \sum_{i=1}^n P_{r_i} p_i, \quad (21)$$

where  $P_{r_i}$  – the profit corresponding to the alternative;  $p_i$  – the complete probability of the corresponding alternative in accordance with the formula (20).

In the case of a discrete set of two possible variants we have the two alternatives:  $A$  – to except or  $B$  – to reject the possible optimal speed. Let it means the event of  $A$ :  $v_{s \text{ opt}} = 17.9$  knots or  $B$ :  $v_s = 17.3$  knots.

Accordingly to the given data and the subjective preferences of:  $\pi_A = 0.8$ ;  $\pi_B = 0.2$ ; and conditional probabilities of:  $P(A|\pi_A) = 0.5$ ;  $P(B|\pi_A) = 0.5$ ;  $P(A|\pi_B) = 0.15$ ;  $P(B|\pi_B) = 0.85$ ; events:  $A$ : the profit would constitute up to 432,024 \$ U.S.;  $B$ : 430,423 \$ U.S. per a voyage of 10,000 nautical miles; the expectation referred to the formula (21) yields the result of 431,111 \$ U.S. per the voyage.

**Conclusions and prospects of further researches.** Accordingly to the given simplified problem setting (1-19) and subjective preferences aspects (20, 21), it is considered the economical modes of operation for the SPPPs equipped with the ME of 6L42MC with respect to the subjective preferences. The optimal commercial speed, found on the condition of the minimum operational

expenses at the constant incomes, lies practically on the boundary of the limited diapason stipulated by the brake mean effective pressure for a stable and reliable work of the ME of 6L42MC. The optimal commercial speed, found on the condition of the maximum of the profit, exceeds the nominal one by 0.6 knots, therefore the ME is technically and economically substantiated to be operated at the maximum continuous rating of 5.970 kW for the ME output and the ship's speed of  $v_s = 17.3$  knots. The profit would constitute up to 430,423 \$ U.S. per a voyage of 10,000 nautical miles.

The further researches allow getting valuable information needed for better logistics. In the prospect they would lead to a proper choice of the operational modes for ship propulsion accordingly to the type of the vessel's power plant, properties of the transported load, and financial operational factors.

### LIST OF THE USED LITERATURE

1. Проектування пропульсивної установки суден з прямою передачею потужності на гвинт / В. П. Шостак, В. І. Гершанік, В. П. Кот, М. С. Бондаренко; за ред. В. П. Шостака : Навчальний посібник. – Миколаїв : УДМТУ, 2003. – 500 с.
2. Гончаренко А. В. Вибір оптимальної комерційної швидкості транспортного судна / А. В. Гончаренко // Науковий вісник ХДМІ : Науковий журнал. – Херсон: Видавництво ХДМІ, 2010. – № 1 (2). – С. 41-49.
3. Гончаренко А. В. Типи задач рекомендованих до опрацювання при виконанні дипломної роботи за спеціальністю «Експлуатація суднових енергетичних установок» усіх форм навчання: навчальний посібник для ВНЗ / А. В. Гончаренко. – Херсон : Видавництво ПП Трифонов, друкарня «Графіка», 2010. – 192 с.
4. Kuiken K. Diesel engines for ship propulsion and power plants from 0 to 100,000 kW: in 2 parts / K. Kuiken. – Target Global Energy Training, Onnen, The Netherlands, 2008. – 2 part – 444 p.
5. Касьянов В. А. Субъективный анализ : монография / В. А. Касьянов. – К. : НАУ, 2007. – 512 с.
6. Касьянов В. А. Элементы субъективного анализа : монография / В. А. Касьянов. – К. : НАУ, 2003. – 224 с.

### **Гончаренко А.В. ОПТИМАЛЬНА КОМЕРЦІЙНА ШВИДКІСТЬ ТРАНСПОРТНОГО СУДНА З УРАХУВАННЯМ СУБ'ЄКТИВНИХ ПЕРЕВАГ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИКІВ**

*Відповідно до технічних даних на судно та його двигун розглянуто економічні режими експлуатації судової енергетичної установки обладнаної головним двигуном 6L42MC. Проведено математичне моделювання оптимальної комерційної швидкості судна. В якості критеріїв оптимізації обрано мінімальні експлуатаційні витрати та максимальний прибуток за рейс. До урахування приймалися питома ефективна витрата палива, суб'єктивні переваги експлуатаційників. Отримано аналітичні вирази параметрів, що використовуються при оптимізації. Залежності проілюстровані графіками.*

*Ключові слова: суднова пропульсивна установка, головний двигун, режим експлуатації, оптимальна комерційна швидкість, суб'єктивні переваги, багатоальтернативні ситуації, математичне очікування.*

**Гончаренко А.В. ОПТИМАЛЬНАЯ КОММЕРЧЕСКАЯ СКОРОСТЬ ТРАНСПОРТНОГО СУДНА С УЧЕТОМ СУБЪЕКТИВНЫХ ПРЕДПОЧТЕНИЙ ЭКСПЛУАТАЦИОННИКОВ**

*Согласно техническим данным на судно и его двигатель рассмотрены экономичные режимы эксплуатации судовой энергетической установки оборудованной главным двигателем 6L42MC. Проведено математическое моделирование оптимальной коммерческой скорости судна. В качестве критериев оптимизации выбраны минимальные эксплуатационные расходы и максимальная прибыль за рейс. В учет принимались удельный эффективный расход топлива, субъективные предпочтения эксплуатационников. Получены аналитические выражения параметров, используемых при оптимизации. Зависимости проиллюстрированы графиками.*

*Ключевые слова: судовая пропульсивная установка, главный двигатель, режим эксплуатации, оптимальная коммерческая скорость, субъективные предпочтения, многоальтернативные ситуации, математическое ожидание.*



## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО СИНХРОННОГО ВАЛОГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТА

*Ищенко И.М., Черненко В.В.,*

*Херсонская государственная морская академия*

*На основе анализа особенностей работы дифференциальных синхронных генераторных установок определены их энергетические соотношения при работе в составе судовых валогенераторных агрегатов. Полученные соотношения позволяют определить передаточные отношения редуктора, мощности генераторов и преобразователя частоты в зависимости от диапазона изменения частоты вращения главного двигателя и требуемой мощности агрегата.*

*Ключевые слова: валогенератор, дифференциальный привод, планетарный редуктор, преобразователь частоты.*

**Постановка проблемы.** Известно, что использование на судах валогенераторов целесообразно по нескольким причинам: более высокий КПД главных двигателей, возможность стабилизации нагрузки двигателей, возможность стабилизации нагрузки двигателей при переменной нагрузке электрической сети, а также специфических режимов работы ГД с недогрузкой для некоторых типов судов (рыболовные траулеры, буксиры, суда ледового плавания). Валогенераторы позволяют полнее использовать энергетические возможности ГД, получать электроэнергию от ГД для всех вспомогательных потребителей на ходовом режиме, причем с большей экономичностью, так как КПД ГД обычно выше КПБ вспомогательных двигателей (ВД).

При этом в системах с ВГ уменьшается число автономных (вспомогательных) дизель-генераторов (ДГ), снижается стоимость вырабатываемой электроэнергии, затрата на ремонт судовых электроэнергетических систем (СЭС), а также, уровень шума в машинном отделении (МО).

**Актуальность проблемы.** Кроме того, в настоящее время ряд международных классификационных обществ рассматривает вопрос о включении применительно к отдельным типам судов (танкеры, газовозы, пассажирские и круизные суда) дополнительного требования о наличии резервного пропульсивного комплекса, обеспечивающего аварийный ход судна в случае отказа ГД. В качестве аварийного пропульсивного комплекса целесообразно использование дифференциальных привод-генераторных агрегатов, при применении которых значительно упрощается решение таких вопросов, как стабилизация частоты в генераторном режиме, пуск, реверс и регулирование частоты вращения в двигателе.

**Цель работы** – определить основные энергетические соотношения дифференциальных синхронных валогенераторных агрегатов в зависимости от диапазона частот вращения ГД и требуемой мощности агрегата.

Одним из основных требований, предъявляемых к СЭС с валогенераторами, является получение постоянной частоты переменного тока при различных режимах работы ГД.

Получение переменного тока постоянной частоты в СЭС с ВГ обеспечивается различными способами, к основным из которых можно отнести:

- применение СЭС с ВГ в пропульсивных комплексах с ВРШ, в которых ГД практически на всех режимах работает с постоянной частотой вращения;
- применение для привода ВГ электромагнитных муфт или гидромеханических приводов постоянной частоты вращения;
- использование стабилизирующих планетарных передач со вспомогательными гидравлическими или электрическими машинами;
- применение полупроводниковых преобразователей, обеспечивающих преобразование переменного тока переменной частоты в переменный ток постоянной частоты. Обычно такие системы называют системы ПСПЧ (переменная скорость, постоянная частота).

Каждая из приведенных систем имеет свои преимущества и недостатки. Поэтому, выбор типа системы для судна в большинстве случаев проводится с учетом особенностей суднового оборудования, режимов его работы, а также необходимости обеспечения требуемой надежности и безопасности плавания.

При этом учитывается также уровень освоения промышленностью современных систем и агрегатов автономных СЭС. В связи с этим, в настоящее время особый интерес представляют системы со стабилизирующими планетарными передачами и системы ПСПЧ.

Наиболее известными изготовителями таких передач являются западноевропейские фирмы Renk AG, Sulzer Brothers Ltd, Vichers Shipbuilding and Engineering Ltd, японские фирмы Nigato Converter Co Ltd, Mitsui и др.

Принцип действия передач с постоянной выходной частотой вращения, разработанный различными фирмами, одинаков. Он основан на использовании планетарной зубчатой передачи, эпицикл которой может вращаться от дополнительного привода с помощью гидромотора или электродвигателя. Увеличивая или уменьшая частоту вращения планетарного колеса, вспомогательный привод поддерживает постоянство частоты вращения входного вала, связанного с ВГ ( $\omega_{ВГ}$ ). Частота вращения выходного вала стабилизирующей передачи, соединенной с ВГ, равна сумме приведенных частот вращения входных валов, к одному из которых подсоединен ГД, а к другому – ВД:

$$\omega_{\text{АА}} = \omega_{\text{АА}} + \omega_{\text{АА}},$$

где  $\omega_{\text{АА}}$  – частота вращения ГД;  $\omega_{\text{АА}}$  – частота вращения ВД.

К данным системам также относятся дифференциальные синхронные привод-генераторные агрегаты. Принципиальная схема одного из них представлена на рис. 1.

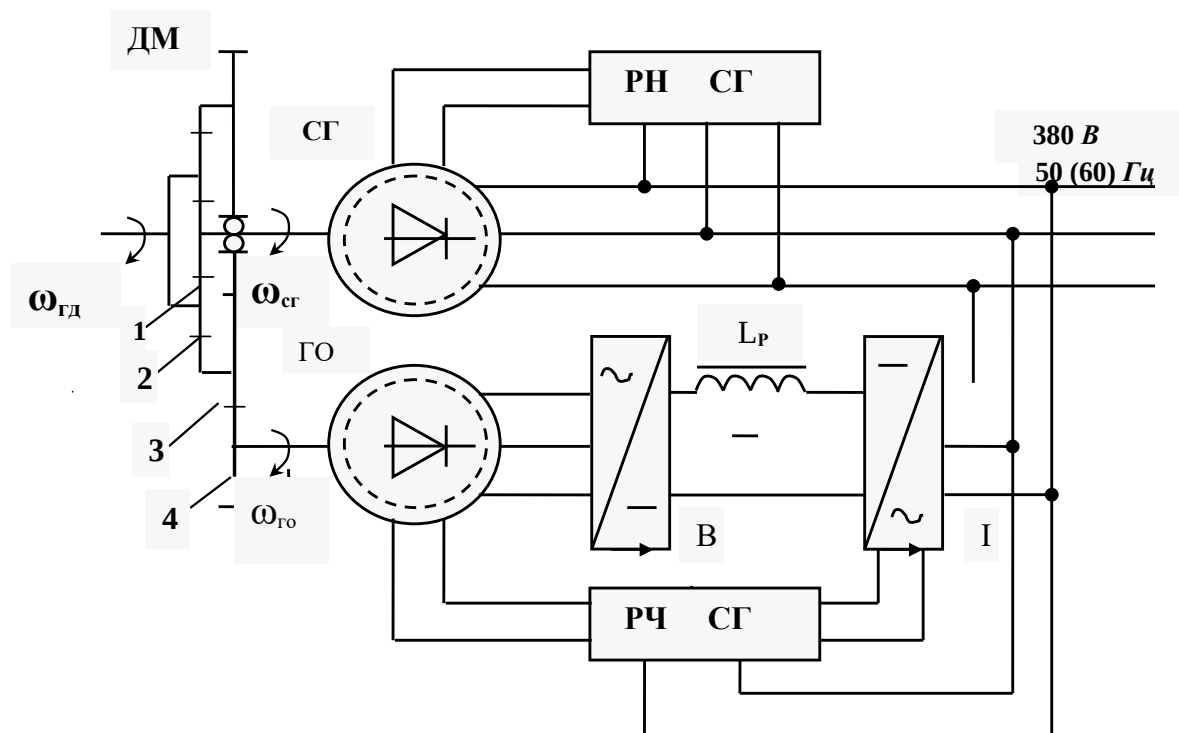


Рисунок 1 – Принципиальная схема дифференциального синхронного привод-генераторного агрегата

Агрегат состоит из следующих основных элементов и устройств:

- дифференциального механизма (ДМ);
- бесконтактного трехфазного основного синхронного генератора (СГ);
- генератора опоры (ГО);
- выпрямительного (ВУ) и инверторного (ИУ) устройств;
- регулирующей, защитной и согласующей аппаратуры.

В качестве генератора опоры могут быть применены следующие типы генераторов:

- бесконтактные синхронные генераторы с электромагнитным возбуждением;
- бесконтактные синхронные генераторы с возбуждением от постоянных магнитов (МЭГ).

В схемах, содержащих дифференциальные механизмы, водило, как правило, соединяется с валом приводного двигателя. В нашем случае это может быть вал ГД или валопровод. При этом практически безразлично – с солнечной или коронной шестерней будет соединен вал основного синхронного генератора.

В данном случае солнечная шестерня соединена с валом основного генератора, а коронная – посредством промежуточной – с валом генератора

опоры. Известно, что для получения полной определенности движения валов дифференциального механизма необходимо, соответственно, задать направление движения двух его внешних валов. Так как необходимо обеспечить постоянную частоту напряжения на выходе синхронного генератора, то есть его постоянную частоту вращения (постоянную частоту вращения солнечной шестерни), то соответственно должны быть заданы частоты вращения водила и коронной шестерни (соответственно авиадвигателя и генератора опоры). Следовательно, регулирование частоты вращения солнечной шестерни при заданном законе движения водила (вала ГД) может быть достигнуто соответствующим изменением частоты вращения коронной шестерни путем изменения момента генератора опоры, соединенного с ней. Таким образом, стабилизация частоты вращения вала основного синхронного генератора, а следовательно, и частоты напряжения переменного трехфазного тока на выходе дифференциального синхронного привод-генераторного агрегата при изменении частоты вращения вала ГД обеспечивается соответствующим изменением частоты вращения генератора опоры посредством регулирования его механического момента изменением величины активной мощности, передаваемой от генератора опоры через выпрямитель и инвертор в сеть переменного тока. При этом в установившемся режиме работы активные мощности генераторов должны быть перераспределены между собой таким образом, чтобы на всем диапазоне частот вращения ГД при различных величинах нагрузки на выходе дифференциального синхронного привод-генераторного агрегата приведенные механические моменты основного синхронного генератора и генератора опоры были равны между собой. Это может быть достигнуто следующими путями:

- изменением величины напряжения постоянного тока на входе инвертора при постоянном значении угла опережения;
- изменением угла опережения инвертора при постоянном значении напряжения на его входе;
- изменением напряжения на выходе генератора опоры при использовании неуправляемого выпрямителя;
- изменением напряжения на выходе управляемого выпрямителя посредством изменения угла управления;
- при смешанном управлении.

Определим основные соотношения дифференциального синхронного привод-генераторного агрегата.

Соотношение частот вращения водила, связанного с валом главного двигателя, валов основного синхронного генератора и генератора опоры, связанных с соответствующими шестернями, для электрокинематической схемы, приведенной на рис.1, определяется равенством:

$$\left(1 + \frac{Z_2}{Z_1}\right) \omega_{\text{АА}} = \omega_{\text{НН}} + \frac{Z_2 \cdot Z_4}{Z_1 \cdot Z_3} \cdot \omega_{\text{АІ}}, \quad (1)$$

где:  $\omega_{гд}$ ,  $\omega_{сг}$ ,  $\omega_{го}$  соответственно частоты вращения валов ГД (водила), основного генератора (солнечной шестерни), генератора опоры (коронной шестерни);

$Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$  – числа зубьев соответствующих шестерен.

Для данной схемы выражения  $\left(1 + \frac{Z_2}{Z_1}\right)$  и  $\frac{Z_2 \cdot Z_4}{Z_1 \cdot Z_3}$  представляют собой соответственно передаточные отношения от водила к валу основного синхронного генератора при заторможенном валу генератора опоры и передаточное отношение от вала генератора опоры к валу основного синхронного генератора при заторможенном водиле. Обозначив их соответственно как  $i_1$  и  $i_2$ , получим:

$$i_1 \omega_{\bar{A}\bar{A}} = \omega_{\bar{N}\bar{A}} + i_2 \omega_{\bar{A}\bar{I}}, \quad (2)$$

Соотношение механических моментов на валах основного синхронного генератора и генератора опоры для принятой схемы определяется выражением:

$$i_2 \dot{I}_{\bar{N}\bar{A}} = \dot{I}_{\bar{A}\bar{I}}, \quad (3)$$

где  $M_{сг}$ ,  $M_{го}$  – соответственно механические моменты, создаваемые синхронным генератором и генератором опоры на соответствующих валах дифференциального механизма.

Соответственно для переходного режима работы агрегата имеем:

$$i_2 \left( J_{сг} \frac{d\omega_{сг}}{dt} + M_{эсг} \right) = J_{го} \frac{d\omega_{го}}{dt} + M_{эго}, \quad (4)$$

где  $\omega_{сг}$ ,  $\omega_{го}$  – угловые скорости соответственно основного синхронного генератора и генератора опоры, связанные с частотами вращения;

$J_{сг}$ ,  $J_{го}$  – соответственно их моменты инерции;

$M_{эсг}$ ,  $M_{эго}$  – соответственно электромагнитные моменты основного синхронного генератора и генератора опоры.

Дифференцируя уравнение (2) с учетом (4) получаем относительно  $\omega_{сг}$  и  $\omega_{гд}$

$$i \left( J_{сг} \frac{d\omega_{сг}}{dt} + M_{эсг} \right) = \frac{i_1}{i_2} J_{го} \frac{d\omega_{гд}}{dt} - \frac{1}{i_2} J_{го} \frac{d\omega_{сг}}{dt} + M_{эго}$$

После преобразований имеем:

$$J_{пр1} \frac{d\omega_{сг}}{dt} - J_{пр2} \frac{d\omega_{гд}}{dt} = \frac{1}{i_2} M_{эго} - M_{эсг} \quad (5)$$

где  $J_{пр1} = J_{сг} + \frac{1}{i_2^2} J_{го}$  – приведенный момент инерции к валу основного синхронного генератора;

$$J_{пр2} = \frac{i_2}{i_2^2} J_{го} - \text{приведенный момент инерции к валу главного}$$

двигателя.

Уравнение (5) является уравнением движения, описывающее процессы в дифференциальном синхронном привод-генераторном агрегате как при изменении нагрузки на его выходе, так и при изменении угловой скорости главного двигателя.

Из выражений (3) и (5) видно, что соотношение моментов основного синхронного генератора и генератора опоры зависит от величины передаточного отношения  $i_2$ . Величина передаточного отношения  $i_2$  зависит от диапазона изменения частоты вращения приводного двигателя, синхронной частоты вращения основного генератора, максимального значения и кратности изменения частоты вращения генератора опоры. В свою очередь, значения указанных параметров определяются режимами работы агрегата и его энергетическими характеристиками.

На рис. 2 приведена энергетическая диаграмма мощностей дифференциального синхронного привод-генераторного агрегата, на которой обозначены:

$P_{ГД}$  – подводимая активная мощность к водилу от главного двигателя;

$P_{СГ\text{ Мех}}$  – соответственно механические мощности на валах синхронного генератора и генератора опоры;

$P_{СГ}, P_{ГО}$  – соответственно активные мощности на выходе генераторов;

$\Delta P_{ДМ}, \Delta P_{СГ}, \Delta P_{ГО}, \Delta P_{ВУ}, \Delta P_{ИУ}$  – соответственно потери в дифференциальном механизме основного синхронного генератора, генератора опоры, выпрямителя и инвертора;

$\Delta P_{ГА}$  – активная мощность на выходе агрегата.

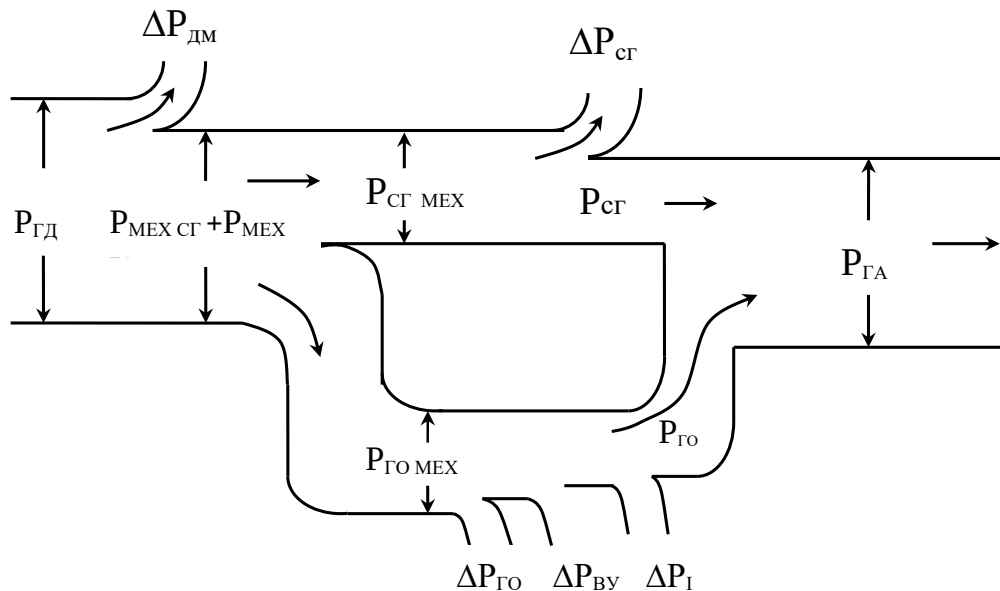


Рисунок 2 – Энергетическая диаграмма дифференциального привод-генераторного агрегата

Из соотношения механических моментов генераторов (4) можно записать, что

$$i_2 \frac{30 \cdot P_{\tilde{N}\tilde{A}}}{\pi \cdot n_{\tilde{N}\tilde{A}} \cdot \eta_{\tilde{N}\tilde{A}}} = \frac{30 \cdot P_{\tilde{A}\tilde{I}}}{\pi \cdot n_{\tilde{A}\tilde{I}} \cdot \eta_{\tilde{A}\tilde{I}}}, \quad (6)$$

где  $\eta_{\text{сг}}$ ,  $\eta_{\text{го}}$  – соответственно коэффициенты полезного действия основного синхронного генератора и генератора опоры.

Активная мощность на выходе дифференциальных синхронных привод-генераторных агрегатов равна:

$$P_{\text{ГА}} = P_{\text{сг}} + P_{\text{го}} \cdot \eta_{\text{ву}} \cdot \eta_{\text{иу}}, \quad (7)$$

где  $\eta_{\text{ву}}$ ,  $\eta_{\text{иу}}$  – соответственно коэффициенты полезного действия выпрямителя и инвертора.

После совместного решения (6) и (7) относительно активных мощностей электрических машин и инвертора получаем уравнения, связывающие активную мощность каждого элемента агрегата с активной мощностью на его выходе:

$$P_{\tilde{N}\tilde{A}} = D_{\tilde{A}\tilde{A}} \frac{1}{1 + i_2 \frac{n_{\tilde{A}\tilde{I}} \cdot \eta_{\tilde{A}\tilde{O}} \cdot \eta_{\tilde{E}\tilde{O}} \cdot \eta_{\tilde{A}\tilde{I}}}{n_{\tilde{N}\tilde{A}} \cdot \eta_{\tilde{N}\tilde{A}}}}, \quad (8)$$

$$P_{\tilde{A}\tilde{I}} = D_{\tilde{A}\tilde{A}} \frac{1}{\eta_{\tilde{E}\tilde{O}} + \frac{n_{\tilde{N}\tilde{A}} \cdot \eta_{\tilde{N}\tilde{A}}}{\frac{3}{2} \cdot n_{\tilde{A}\tilde{I}} \cdot \eta_{\tilde{A}\tilde{I}} \cdot \eta_{\tilde{A}\tilde{O}}}}, \quad (9)$$

$$P_{\tilde{A}\tilde{I}} = D_{\tilde{A}\tilde{A}} \frac{1}{1 + \frac{n_{\tilde{N}\tilde{A}} \cdot \eta_{\tilde{N}\tilde{A}}}{\frac{3}{2} \cdot n_{\tilde{A}\tilde{I}} \cdot \eta_{\tilde{A}\tilde{I}} \cdot \eta_{\tilde{A}\tilde{O}} \cdot \eta_{\tilde{E}\tilde{O}}}}, \quad (10)$$

Уравнение связи между активными мощностями электрических машин, инвертора мощностью на выходе генерального агрегата для схемы рис.1 определяется из уравнений (8 - 10).

Коэффициент полезного действия агрегата определим из уравнения баланса активных мощностей для режима работы, при котором генератор опоры работает с отдачей энергии:

$$\eta_{\tilde{A}\tilde{A}} = \frac{D_{\tilde{A}\tilde{A}}}{D_{\tilde{A}\tilde{O}\tilde{A}\tilde{A}}}, \quad 11$$

$$D_{\tilde{A}\tilde{O}\tilde{A}\tilde{A}} = \frac{D_{\tilde{A}\tilde{O}\tilde{N}\tilde{A}} + D_{\tilde{A}\tilde{O}\tilde{A}\tilde{I}}}{\eta_{\tilde{A}\tilde{I}}} \quad 12$$

$$D_{IA\bar{O}\bar{N}\bar{A}} = \frac{D_{\bar{N}\bar{A}}}{\eta_{\bar{N}\bar{A}}} \quad 13$$

$$D_{IA\bar{O}\bar{A}\bar{I}} = \frac{D_{\bar{A}\bar{I}}}{\eta_{\bar{A}\bar{I}}} \quad 14$$

где  $\eta_{ГА}$  – коэффициент полезного действия генераторного агрегата;

$P_{МЕХГА}$  – подводимая механическая мощность к водилу дифференциального механизма;

$P_{МЕХСГ}$ ,  $P_{МЕХГО}$  – подводимая механическая мощность к валам соответственно основного синхронного генератора и генератора опоры;

$\eta_{ДМ}$  - коэффициент полезного действия дифференциального механизма.

Решая уравнения (11 - 14) относительно коэффициента полезного действия агрегата, окончательно получим:

$$\eta_{ГА} = \frac{\eta_{ДМ} \cdot \eta_{СС} \cdot \eta_{ГО} \cdot \eta_{ВУ} \cdot \eta_{ИУ} \cdot (1 + \frac{P_{ИУ}}{P_{СГ}})}{\eta_{ГО} \cdot \eta_{ВУ} \cdot \eta_{ИУ} + \eta_{СГ} \frac{P_{ИУ}}{P_{СГ}}} \quad 15$$

Анализ данного выражения показывает, что коэффициент полезного действия агрегата в основном определяется соотношением активных мощностей между основным синхронным генератором и инвертором.

**Выводы.** 1. Анализ выражений (1.11–1.14) показывает, что соотношения активных мощностей основного синхронного генератора, генератора опоры, инвертора между активной мощностью на выходе дифференциального синхронного привод-генератора агрегата в полной мере определяются значениями передаточного отношения  $i_2$  и относительной частоты вращения  $\bar{n}_{ГО}$ , то есть кратностями изменения частоты вращения главного двигателя и генератора опоры, а также значениями коэффициентов полезного действия отдельных элементов системы.

2. Максимальные и минимальные величины активных мощностей основного синхронного генератора и генератора опоры, а следовательно, массогабаритные показатели генератора опоры и агрегата в целом в основном определяются кратностями изменения частоты вращения генератора опоры и главного двигателя.

3. Изменение коэффициента полезного действия генерального агрегата в основном определяется соотношением активных мощностей между основным синхронным генератором и инвертором.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев А. В. Современные и перспективные судовые валогенераторные установки / А. В. Григорьев, В. А. Петухов. – ГМА им. Адм. С.О. Макарова, 2009. – 176 с.



2. Красношарпа М. М. Генераторы переменного тока стабильной и регулируемой частоты / М. М. Красношарпа. – М. : Техніка, 1974. – 168 с.
3. Марголин Ш. М. Дифференциальный электропривод / Ш. М. Марголин. – М. : Энергия, 1975. – 168 с.
4. Пахомов Ю. А. Судовые энергетические установки с двигателями внутреннего сгорания / Ю. А. Пахомов. – М. : Транспорт, 2007. – 528 с.
5. Пипченко А. Н. Электрооборудование, электронная аппаратура и системы управления / А. Н. Пипченко, В. В. Пономаренко, Ю. И. Теплов, А. В. Романенко. – Одесса : ТЭС, 2009. – 372 с.

**Іщенко І.М., Черненко В.В. ЕНЕРГЕТИЧНІ СПІВВІДНОШЕННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО СИНХРОННОГО ВАЛОГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТУ**

*На основі аналізу особливостей роботи диференціальних синхронних генераторних установок визначені їхні енергетичні співвідношення при роботі в складі судових валогенераторних агрегатів. Отримані співвідношення дозволяють визначити передатні відносини редуктора, потужності генераторів і перетворювача частоти залежно від діапазону зміни частоти обертання головного двигуна й необхідної потужності агрегату.*

*Ключові слова: валогенератор, диференціальний привід, планетарний редуктор, перетворювач частоти.*

**Ishchenko I.M., Chernenko V.V. POWER CORRELATIONS OF DIFFERENTIAL SYNCHRONOUS SHAFT GENERATOR AGGREGATE**

*By analyzing operational peculiarities of differential synchronous generator settings, their power correlations when used in ship shaft generator aggregates are defined. The received correlations allow defining the reducer transmission relations, power of generators and frequency convertor depending on the change range of the main engine frequency of rotation and the necessary aggregate power.*

*Keywords: shaft generator, differential drive, epicyclic gear, frequency converter.*

## СЕПАРАЦИЯ СУДОВЫХ ЛЬЯЛЬНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ ПРОЦЕССА СУПЕРКАВИТАЦИИ

*Леонов В.В., Осташко Е.А.,*

*Одесский национальный морской университет,*

*Ткаченко И.В.,*

*Одесская национальная морская академия,*

*Старостин С.Н.,*

*Одесский национальный морской университет*

*В работе рассмотрены основные принципы кавитационного метода сепарации СЛВ. Рассмотрены основные теоретические аспекты кавитации при обработке СЛВ. Приведено описание схемы повышения производительности сепаратора.*

*Ключевые слова: кавитация, суперкаверна, сепарационная установка льяльных вод.*

**Введение.** Актуальность решения проблемы сепарации судовых льяльных вод (СЛВ) в условиях работы судна напрямую приводит к повышению не только его экономических показателей работы, но и влияет на качество его эксплуатации. В этом случае возможно повышение суммарного КПД судовой энергетической установки и сведение к допустимым нормам экологического загрязнения водного бассейна в районе плавания.

Переработка СЛВ напрямую связана с получением вторичных энергоресурсов в условиях работы судна и практически никогда ранее не рассматривалась.

Основная цель проведенных исследований заключалась в получении новых данных, указывающих на возможность создания принципиально новой технологии сепарации СЛВ. Такая технология должна базироваться на гидродинамической кавитации многофазного потока с искусственным управлением размерами суперкаверны при помощи искусственной вентиляции.

Основная задача исследований была сведена к получению результатов, позволяющих выполнить оценку производительности такой технологии и разработать новую конструкцию судового сепаратора.

**Результаты исследований.** Основные принципы функционирования технологических схем сепарации СЛВ напрямую определяются рабочими процессами, применяемыми для разделения их составных компонент. В ходе исследований была разработана общая классификация существующих методов сепарации. Она показана на рисунке 1, где видно, что все судовые схемы обработки СЛВ базируются на двенадцати отличающихся между собой технологиях.

Выполненный анализ приведенных методов показал, что все они характеризуются одним общим недостатком – в ходе сепарации СЛВ выходным продуктом является вода. При их использовании качественное получение и сбор вторичных продуктов нефтехимии, получаемых в ходе разделения СЛВ, невозможен. По этой причине в ходе исследований был

сделан вывод о необходимости разработки нового метода сепарации и целесообразности использования в этом случае гидродинамического процесса суперкавитации.

При локальном зарождении в потоке СЛВ суперкавитирующей каверны внутри нее будет всегда находиться насыщенный водяной пар, непрерывный отбор которого будет способствовать получению высококонцентрированной смеси нефтепродуктов, составлявших первоначальную основу СЛВ. Пример суперкавитационной каверны, взятый из работы [1] показан на рисунке 2.

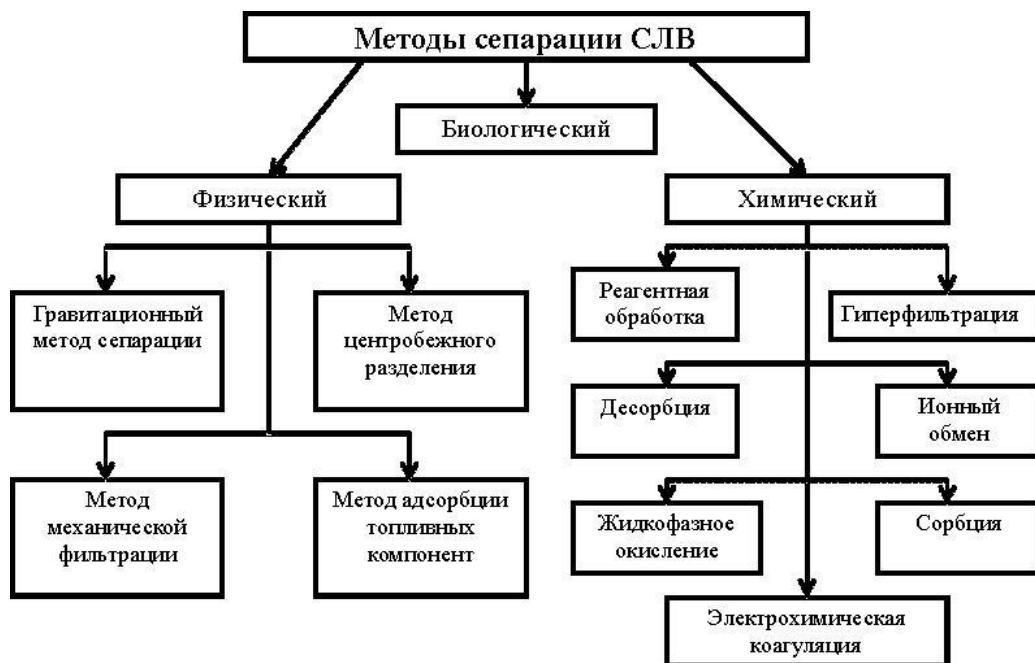


Рисунок 1 – Методы сепарации судовых льяльных вод

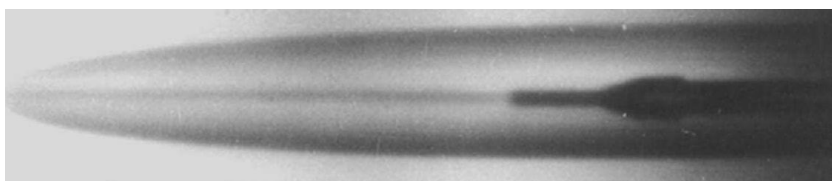


Рисунок 2 – Стационарная суперкавитационная каверна

Большинство известных конструкций гидродинамических сепараторов СЛВ используют плоские каналы, внутри которых происходит либо флотация, либо плотностная стратификация обрабатываемого потока. Способы движения потока в таких каналах зависят от конструкции сепаратора и бывают принудительными либо базируются на действии массовых сил.

Величину падения давления внутри двумерного канала, стенки которого представляют две параллельные плоскости в первом приближении, можно оценивать по закону Вейсбаха-Дарси [2,3].

$$\Delta P = \lambda \frac{L}{H} \frac{\rho V^2}{2}, \quad (1)$$

где  $\lambda$  – коэффициент гидравлического трения;  $L$  – длина канала, м;  $H$  – высота канала, м;  $\rho$  – плотность потока, кг/м<sup>3</sup>;  $V$  – скорость потока, м/с.

На основании (1) для различных значений плотности потока судовых льяльных вод была составлена номограмма зависимости величины падения давления от скорости движения обрабатываемого потока СЛВ. Она показана на рисунке 3. Расчет производился для турбулентного режима течения, при котором оценка величины  $\lambda$  осуществлялась по формуле Блазиуса

$$\lambda = \frac{0,3164}{\sqrt[4]{Re}}, \quad (2)$$

а характерным размером при расчете числа Рейнольдса  $Re$  являлась высота канала  $H$ . Значения кинематической вязкости потока брались идентичными и равными  $\nu = 2 \cdot 10^{-6}$  м/с<sup>2</sup>.

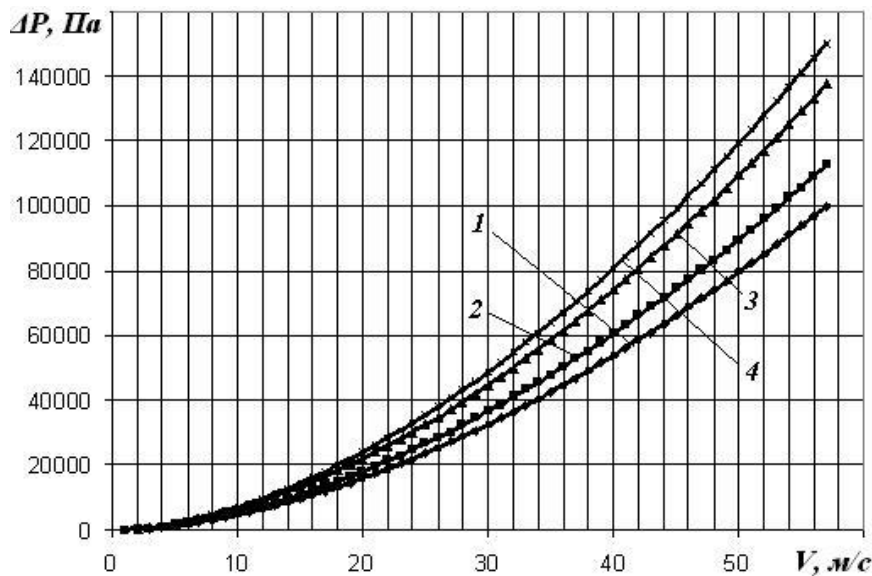


Рисунок 3 – Влияние скорости на падение давления в потоке 1 –  $\rho=800$  кг/м<sup>3</sup>; 2 –  $\rho=900$  кг/м<sup>3</sup>; 3 –  $\rho=1100$  кг/м<sup>3</sup>; 4 –  $\rho=1200$  кг/м<sup>3</sup>

Как видно на рис. 2, рост плотности потока СЛВ приводит к увеличению величины падения давления в нем, т.е. при прочих равных условиях в этом случае наступление процесса кавитации следует ожидать при меньших скоростях движения. При этом величина скорости напрямую определяется величиной избыточного давления: чем выше избыточное давление в прокачиваемой смеси СЛВ, тем выше будет воздействие кавитации на эффективность технологических процессов сепарирования.

В соответствии с данными работы [4] повышение давления будет приводить при кавитации к сдвигу температуры обрабатываемой среды. В частности, для чистой воды максимум кавитационного воздействия при 4 атм избыточного давления наблюдался при температурах 85 - 95 °С.

Специфической особенностью суперкавитации в многофазных потоках является, согласно результатам работы [5], отсутствие влияния физических свойств на динамику существования кавитационной каверны. В частности,

такие два важных фактора, как коэффициент поверхностного натяжения и вязкость среды при неизменности числа кавитации потока не изменяют размеры кавитационной полости. Так, например, влияние вязкости начинает сказываться при ее величине, превышающей на два порядка (в 100 и более раз) аналогичную величину для чистой воды.

Поскольку при сепарации СЛВ основным вопросом является количество отбираемого водяного пара, то особый интерес представляет оценка его массы. Для кавитационной суперкаверны эта величина в любой момент времени, включая и время, соответствующее первоначальной стадии развития каверны, в первом приближении может быть найдена по формуле Герца-Кнудсена

$$G = \alpha P_{i.i.} \left( \frac{M}{2\pi R t} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

где  $G$  – масса пара испаряющегося или конденсирующегося за единицу времени на единице поверхности;  $\alpha$  – коэффициент аккомодации (для воды  $\alpha = 0,04...1,0$ );  $P_{н.п.}$  – давление насыщенного водяного пара внутри каверны;  $M$  – молекулярный вес водяного пара;  $R$  – универсальная газовая постоянная;  $t$  – абсолютная температура.

Для приближенной оценки времени  $\tau$ , за которое кавитационная суперкаверна будет полностью заполнена водяным насыщенным паром, можно считать, что она имеет сферическую форму с радиусом  $r$  и тогда

$$\tau = \frac{r}{3\alpha} \left( \frac{2\pi M}{R t} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (4)$$

Особое внимание необходимо уделять устойчивости кавитационной каверны при действии на нее сил давления. В том случае, когда определяющей является величина гидростатического давления, уравнение, описывающее геометрию поведения сферического парового объема, имеет вид:

$$\left( \frac{dr}{dt} \right)^2 = \frac{2}{3} \frac{P_{\infty}}{\rho} \left( \frac{r_{\max}^3}{r^3} - 1 \right). \quad (5)$$

Время схлопывания такого пузырька может рассчитываться по эмпирической формуле Релея

$$t = 0,915 r_{\max} \sqrt{\frac{\rho}{P_{\infty}}}. \quad (6)$$

При расширении каверны давление пара внутри нее не всегда будет соответствовать давлению насыщенного пара. Для удовлетворения их равенства необходимо, чтобы выполнялось неравенство вида

$$t_{\delta} > \frac{r_{\max}}{3\alpha} \left( \frac{2\pi M}{Rt} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (7)$$

где  $t_p$  – время выхода каверны на стационарное состояние;  $r_{\max}$  – максимальный размер каверны при ее расширении;

Оценка выражения (7) показывает, что при температуре СЛВ равной 20°C, давление водяного пара внутри каверны будет равным давлению насыщенных паров при соблюдении неравенства вида  $\frac{r_{\max}}{t_{\delta}} \leq 17,8$  м/с.

Поскольку в СЛВ всегда присутствуют растворенный газ, то на первоначальной стадии возникновения каверны внутри сепаратора также необходимо учитывать его массу. Считая, что каверна имеет вид плоского прямоугольника, этот параметр можно определять по выражению

$$G_{\bar{a}} = \frac{4}{3} \frac{c_{\bar{a}}}{K} b L^3, \quad (8)$$

где  $G_r$  – масса газа внутри каверны в момент ее выхода на устойчивое состояние;  $c_r$  – начальная концентрация газа в потоке СЛВ;  $K$  – постоянная Генри;  $b$  – толщина каверны;  $L$  – длина каверны.

При сепарации СЛВ предложенным методом кавитационного испарения водной составляющей, важным вопросом является устойчивость каверны при отборе из нее водяного пара. Вследствие изменения объема кавитационной полости ее внешний контур будет постоянно пространственно колебаться относительно своего устойчивого стационарного положения. На эти колебания будет влиять соотношение между величинами давления внутри каверны и в движущемся потоке СЛВ. В этом случае всегда необходимо делать оценку устойчивого равновесия, при котором каверна сможет вернуться к своему максимальному размеру или наоборот придет в состояние полости, не участвующей в кавитационном процессе. Величина критического радиуса кавитационной каверны по отношению к давлению в основном потоке СЛВ может определяться как

$$r_{\bar{a}\delta} = \frac{4}{3} \frac{\sigma}{(\bar{D}_i - \bar{D}_{\bar{a}\delta})}, \quad (9)$$

где:  $\sigma$  – коэффициент поверхностного натяжения;  $P_n$  – давление внутри каверны;  $P_{\text{кав}}$  – пороговое давление, соответствующее возникновению кавитации (в первом приближении принимается равным давлению насыщенного пара при данной температуре).

Ниже величины, рассчитываемой по (9), процесс отбора водяного пара при сепарации СЛВ производить нет смысла, поскольку каверна уже не сможет восстановиться до исходного размера.

К числу основных факторов, влияющих на процесс параобразования при заполнении паром кавитационной каверны, относятся температура и

статическое давление. При сепарации СЛВ определяющим показателем производительности будет являться массовый расход получаемого водяного пара. В этом случае, как показано в работе [5] при повышенных статических давлениях увеличение массы водяного пара внутри кавитационной камерны с ростом температуры СЛВ происходит менее интенсивно по сравнению со случаем, когда статическое давление равно атмосферному. В частности, коэффициент концентрации пара  $C_{\text{пара}}$ , определяемый по выражению (10) при статическом давлении, превышающем атмосферное, с ростом температуры принимает меньшие значения.

$$C_{\text{пара}} = \frac{\dot{M}}{\dot{M}_0} = \frac{\rho_t}{\rho_0} \left( \frac{r_{\text{max}}}{r_{\text{max}0}} \right)^3, \quad (10)$$

где  $M$  – масса пара в полости при  $r_{\text{max}}$  для данной температуры и давления;  $M_0$  – масса пара в полости при  $r_{\text{max}0}$  при нормальных условиях;  $\rho_t$  и  $\rho_0$  – плотность пара для данной температуры и для температуры  $20^\circ\text{C}$  соответственно.

Основной технической сложностью процесса суперкавитации является неустойчивость паровой каверны, возникающей в ходе движения СЛВ внутри рабочей камеры кавитатора. Одним из вариантов решения этой проблемы может являться искусственная кавитация, когда в общий объем паровой области в определенном соотношении подается воздух. В этом случае для устойчивого существования паровой каверны внутри кавитационного канала и устранения возможности размывания ее кормовой части необходимо постоянно отслеживать длину ее стационарного участка. С этой целью во время исследований была разработана технологическая схема подключения многоканального датчика вакуума к внешним стенкам кавитационной камеры. Она показана на рисунке 4.

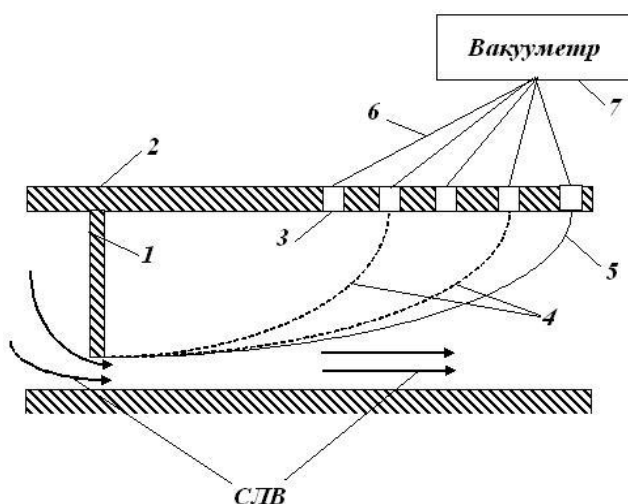


Рисунок 4 – Технологическая схема контроля длины суперкаверны:  
1 – кавитатор; 2 – стенки рабочей камеры канала; 3 – створы измерения давления; 4 – текущее положение контура суперкаверны; 5 – рабочее положение контура суперкаверны; 6 – линии отбора давления

Стационарное положение пространственных границ суперкавитационной каверны внутри рабочей камеры может смещаться как вправо (рост каверны), так и влево (схлопывание каверны). Наиболее характерным при работе сепаратора является вариант уменьшения размеров каверны. В этом случае ее внешняя граница от самого крайнего правого положения (на рис. 4 положение 5) будет смещаться в сторону входной границы (на рис. 4 положение 4). При таком смещении главным параметром, указывающим на положение разделительной границы между потоком СЛВ и насыщенным водяным паром, будет являться величина давления внутри каверны. Если на верхней крышке рабочего канала величина  $P$  будет превышать  $P_{н.н.}$ , то это означает, что размеры каверны изменились. По этой причине в своем технологическом исполнении верхняя крышка кавитатора должна содержать ряд створов для подключения линий автоматизированного цифрового вакуумметра. Поскольку внутри каверны давление всегда равно давлению насыщенного пара, при данной температуре  $P_{н.н.}$  смещение границы каверны приведет к тому, что крайние правые линии измерения давления будут воспринимать повышенное давление на порядки превышающее величину  $P_{н.н.}$ . Такой способ контроля длины каверны, помимо своей простоты, характеризуется высокой надежностью, предоставляя в последующем возможность управления процессом сепарации СЛВ путем регулирования расходно-напорными характеристиками кавитационного канала.

В ряде технологических случаев исходный состав СЛВ будет являться величиной переменной, что может оказать существенное влияние на главный рабочий параметр сепаратора – его производительность. Вне зависимости от исходных характеристик обрабатываемого потока СЛВ в ходе его сепарации необходимо постоянно поддерживать неизменной величину массового расхода получаемого водяного пара.

Разработанная конструктивно-технологическая схема изменения производительности кавитационного судового сепаратора при переменности состава СЛВ вод показана на рисунке 5. В ее основе лежит регулирование расходно-напорными характеристиками сепарационной установки и автоматизированное изменение в случае необходимости схемы гидравлической сети сепаратора. При работе схемы сепарации предполагается, что в потоке отсутствуют крупные механические включения, а по своему составу он является однородным.

Работа схемы подразумевает автоматическое управление процессом сепарации на основе показаний измерителя концентрации 2, консистомера 3 и манометра 6. Для каждого из трех возможных случаев работы системы пересчет характеристик необходимо осуществлять следующим образом.

Первый вариант работы установки – штатный режим. Поток СЛВ характеризуется нормативным диапазоном плотности и концентрации нефтесодержащих примесей.



При работе сепаратора подача СЛВ осуществляется по линии 1. В случае, если плотность и состав СЛВ не выходят за пределы штатного диапазона судового сепаратора, при помощи насоса 4 создается необходимое давление на входе в рабочую камеру кавитационного канала 9.

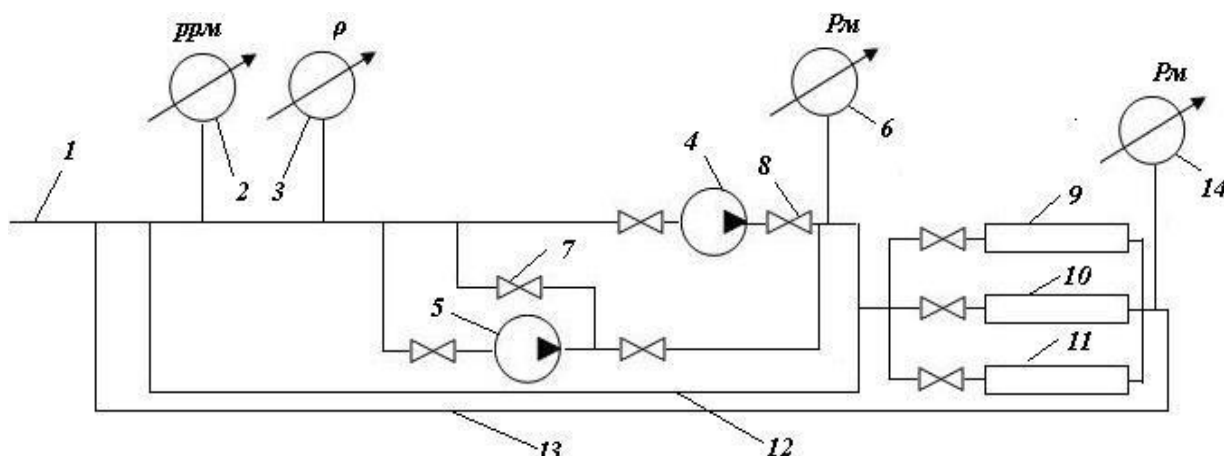


Рисунок 5 – Схема изменения производительности сепаратора  
1 – линия подачи СЛВ; 2 – измеритель концентрации; 3 – консистомер; 4, 5 – насос; 6, 14 – манометр; 7, 8 – клапан; 9, 10, 11 – кавитационный канал; 12 – внутренний контур обработки; 13 – внешний контур обработки.

Расчет сети, т.е. величины давления развиваемого насосом 4 осуществляется по уравнению

$$H_i = \frac{P_{\text{вх}}}{\rho g} + \left( \Sigma \zeta + \frac{0,3164}{\sqrt[4]{\text{Re}}} \frac{l}{d} \right) \frac{16Q^2}{2g\pi^2 d^4} + \frac{0,3164}{\sqrt[4]{\text{Re}}} \frac{L}{H} \frac{V^2}{2g}, \quad (11)$$

Численное значение  $P_{\text{вых}}$  в уравнении (11) должно браться по показаниям манометра 14. Сам манометр необходимо устанавливать непосредственно на выходе из рабочей камеры кавитационного канала.

Второе слагаемое в уравнении (11) соответствует потерям напора в рабочей камере кавитатора. Третье слагаемое соответствует потерям напора во всей гидравлической сети сепаратора, включая суммарные потери по длине и во всех местных сопротивлениях.

Второй вариант работы установки – плотность потока СЛВ, а также концентрация примесей в них характеризуются пониженными (по сравнению с нормативными) значениями.

При таком варианте работы сепаратора необходимо увеличивать его производительность. Для этого, как видно на рисунке 5, в разработанной технологической схеме предусмотрен ввод в работу дополнительных рабочих кавитационных каналов. Они должны быть геометрически идентичными первому каналу и их необходимо включать в конструктивную схему сепаратора по схеме параллельного гидравлического соединения. В этом случае, с целью увеличения общего расхода обрабатываемого потока, перед каждой рабочей секцией происходит автоматическое открытие клапана, а в системе автоматизированного управления пересчет

характеристик сети должен производиться по правилам расчета параллельного соединения:

- суммарный расход в  $n$  числе камер сепарации:

$$Q = \sum_1^n Q_i, \quad (12)$$

- потери напора на каждой линии

$$\sum h_1 = \dots = \sum h_n = \frac{P_{\text{ââô}}}{\rho g} + \left( \Sigma \zeta + \frac{0,3164 l}{\sqrt[4]{\text{Re}}} \frac{1}{d} \right) \frac{16Q^2}{2g\pi^2 d^4}, \quad (13)$$

Для сепаратора СЛВ в целом конечное значение потребного напора должно увеличиваться на численное значение, полученное по выражению (13). Другими словами, к текущему значению величины напора, развиваемого насосом 4 (см. рис. 5), добавляется еще численное значение

$\sum_1^n h_n$ . При автоматическом пересчете характеристик сети величина  $n$  должна соответствовать числу введенных в действие дополнительных кавитационных рабочих каналов.

Третий вариант работы установки – плотность потока СЛВ и концентрация примесей в нем увеличилась по сравнению с предусмотренными нормативными значениями.

При таком режиме работы сепаратора рабочий насос 4 может не обеспечивать расходно-напорные характеристики сети, что будет приводить к срыву ее характеристики или, что то же самое, к появлению явления помпажа. С эксплуатационной точки зрения такой вариант работы установки является самым нежелательным. В этом случае возникновение вибраций и срыв подачи могут в конечном итоге привести к разгерметизации участка с кавитационной суперкаверной и к механическим поломкам всей гидравлической системы нагнетания.

Для устранения приведенных недостатков в линию обработки 12 по схеме последовательного включения путем открытия клапана 7 должен вводиться в работу дополнительный насос 5.

Величина повышения давления в системе автоматизированного управления при подобном варианте эксплуатации сепаратора должна пересчитываться по правилам расчета последовательного гидравлического соединения:

- суммарный расход в камерах сепарации:

$$Q = Q_i, \quad (14)$$

- потери напора на каждой линии обработки СЛВ

$$\sum h = \sum_1^n h_i = n \left[ \frac{P_{\text{ââô}}}{\rho g} + \left( \Sigma \zeta + \frac{0,3164 l}{\sqrt[4]{\text{Re}}} \frac{1}{d} \right) \frac{16Q^2}{2g\pi^2 d^4} \right], \quad (15)$$

Для трех возможных режимов работы сепаратора, приведенные расчетные соотношения записывались с учетом равенства скоростных напоров на входе и выходе из рабочей камеры кавитационного канала. В более общем случае скорости в начале и конце рабочей камеры сепарации должны быть различны. По этой причине выражение для потребного напора, необходимого для работы разработанного контура сепарации, должно содержать разность входного и выходного скоростных напоров. Принимая, что внутри рабочей камеры кавитатора режим движения потока СЛВ соответствует турбулентному течению коэффициент Кориолиса выбираем равным  $\alpha = 1$ , и тогда

$$H_n = \frac{v_k^2 - v_n^2}{2g} + \sum h + \frac{p_k}{\rho g}, \quad (16)$$

Система управления судового сепаратора должна предоставлять возможность установки необходимого времени обработки СЛВ и обеспечивать регулировку конечной концентрации воды в обрабатываемом потоке. Корректировка времени обработки должна осуществляться на основании исходной информации по составу и количеству рабочего объема СЛВ.

В том случае, когда время обработки не является определяющим фактором, возможно управлять величиной мощности, потребляемой нагнетательным оборудованием в ходе процесса сепарации. Снижение величины динамического давления в технологическом контуре обработки СЛВ будет однозначно приводить к падению суммарной мощности потребляемой на процесс обработки СЛВ.

#### **Выводы:**

1. Выполненный анализ методов обработки судовых льяльных вод показал, что все они характеризуются одним общим недостатком – в ходе сепарации выходным продуктом является вода и при их использовании качественное получение и сбор вторичных продуктов нефтехимии получаемых в ходе разделения невозможно.

2. Основными факторами, влияющими на процесс параобразования при заполнении паром кавитационной камеры, относятся температура и статическое давление. При этом коэффициент поверхностного натяжения и вязкость среды при неизменности числа кавитации потока СЛВ не изменяют размеры кавитационной полости.

3. Разработанная конструктивно-технологическая схема изменения производительности кавитационного судового сепаратора при переменности состава СЛВ вод основывается на регулировании расходно-напорными характеристиками сепарационной установки и автоматизированном изменении схемы гидравлической сети сепаратора.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савченко Ю. Н. Исследования суперкавитационных течений / Ю. Н. Савченко // Прикладна гідромеханіка. – 2007. – Том 9(81) – № 2-3.
2. Башта Т. М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Т. М. Башта, С. С. Руднев // Изд-во Машиностроение. – М., 1982. – 423 с.
3. Гийон М. Исследование и расчет гидравлических систем / М. Гийон. – М. : Машиностроение, 1964. – 388 с.
4. Hickling R. Effect of thermal conduction in sonoluminescence / R. Hickling // Journal of the Acoustical Society of America. – 1963. – v. 37. – n. 7, p. 967-974.
5. Бронин Ф. А. Исследование кавитационного разрушения и диспергирования твердых тел в ультразвуковом поле высокой интенсивности: дис. на соиск. уч. ст. к.т.н. / Ф. А. Бронин. – М., 1967. – 299 с.

**Леонов В.В., Осташко Є.А., Ткаченко І.В., Старостін С.М. СЕПАРАЦІЯ СУДНОВИХ ЛЬЯЛЬНИХ ВОД НА ОСНОВІ ПРОЦЕСУ СУПЕРКАВІТАЦІЇ**

*В роботі розглянуто основні принципи кавітаційного методу сепарації суднових льяльних вод. Розглянуто основні теоретичні аспекти кавітації при обробці СЛВ. Приведено опис схеми підвищення продуктивності сепаратора.*

*Ключові слова: кавітація, суперкаверна, сепараційна установка льяльних вод.*

**Leonov V.V., Ostashko E.A., Tkachenko I.V., Starostin S.N. SEPARATION OF SHIP BILGE WATER ON THE BASIS OF SUPERCAVITATION PROCESS**

*Basic principles of cavity separation method for bilge water treatment are stated. Main theoretical aspects of cavitation for bilge water separation are considered. The scheme for increasing the separator production is described.*

*Keywords: cavitation, superpocket, setting for separating bilge water.*

## ТЕХНОЛОГИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ГРУНТОВОЙ ПУЛЬПЫ В УСЛОВИЯХ РАБОТЫ ЗЕМСНАРЯДА

*Маслов В.А.,*

*Одесский национальный морской университет*

*В работе рассмотрены основные аспекты новой гидромеханической технологии по выделению избыточной воды из грунтовой пульпы. Описан экспериментальный стенд и главные результаты экспериментов. Рассмотрены виды ремонтных работ для разработанного судового узла сепарации пульпы.*

*Ключевые слова: грунтовая пульпа, производительность судовой сепарационной установки, механический отжим.*

**Введение.** Предварительным этапом проведения дноуглубительных работ является измерение всех основных физических свойств грунта на месте его залегания. Важность этих данных хорошо иллюстрируется таким примером, как использование норм времени на проведение дноуглубительных работ. В этом случае при наличии в разрабатываемом грунте дополнительных геологических включений скорость выемки грунта или его транспортировки должны снижаться [1, 2, 3]. В частности, если в миделевом сечении размер дополнительных включений превышает 5 см, для земснарядов должны применяться нормы часовой производительности с понижающими поправочными коэффициентами. В случае, если при проведении дноуглубительных работ используется многочерпаковые земснаряды, такие коэффициенты необходимо вводить при наличии включений, миделевый размер которых превышает 11 см [1].

**Целью исследования** является модернизация технического процесса регулирования грунтовой пульпы в условиях работы земснаряда.

При анализе характерных физических свойств грунта необходимо особо отметить, что удельный вес частиц грунта в пульпе практически всегда отличается в большую сторону от аналогичного параметра в условиях естественного залегания грунта. Так, например, значения этих величин для песка, относящегося к среднему классу грунтов IIIс соответственно равны  $\gamma_r = 2650 \text{ кг/м}^3$  и  $\gamma_{\text{ест}} = 1650 \text{ кг/м}^3$ .

Эффективность работы всех судов дноуглубительного флота в наибольшей степени определяется техническим совершенством их рабочих узлов и механизмов. По этой причине в ходе выполненных научно-исследовательских работ была решена проблема уменьшения удельной концентрации воды в грунтонесущей пульпе при работе рефулерного земснаряда. Исследования были направлены на создание нового судового сепаратора грунтовой пульпы, действующего на комбинированном способе сепарирования воды и грунта. Этот способ объединяет в себе наиболее просто реализуемые технические решения, а именно:

- использование гидромеханических характеристик движущейся смеси грунта с водой для первичного отбора несвязанной с грунтом воды;

- механический отжим пульпы для получения нужного остаточного содержания воды в грунте;
- аэрирование грунта с получением равномерной консистенции при загрузке в шаланду пневмотранспортом.

**Результаты исследований.** На состав грунтовой пульпы большое значение оказывает качество грунтозабора при проведении дноуглубительных работ. В частности, при некачественной выемке грунта снижается насыщение пульпы грунтом, а, следовательно, падает производительность работы земснаряда. При высокой (превышающей нормативную) консистенции грунта в пульпе наблюдается падение ее массового расхода и скорости транспортировки. Из-за возникновения застойных зон (пробок) внутри грунтопровода имеет место прерывистость подачи и, как следствие, плохая чистота выборки грунта с поверхности разрабатываемого слоя.

При работе земснаряда с механическим разрыхлителем (фреза, бур, черпаки и т.п.) из-за разрушения начальной структуры залегания при отборе грунта его естественная плотность изменяется. В этом случае необходимо учитывать влияние возникающих гидродинамических процессов, приводящих к его объемному расширению уже непосредственно на входном участке грунтоприемника. Вследствие крупномасштабного вихреобразования и наблюдающихся высокочастотных турбулентных пульсаций в потоке объемный расход земснаряда  $Q_{гр}$  может отличаться от расхода на механическом разрыхлителе  $Q_{м.р.}$  в пределах от 8 до 50 % и должен рассчитываться так

$$Q_{ад} = \frac{Q_{i.д.}}{\lambda_{ад}}, \quad (1)$$

где  $\lambda_{гр}$  – коэффициент, зависящий от вида грунта и плотности его залегания. Значения величины  $\lambda_{гр}$  представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения коэффициента изменения плотности грунта

| Род грунта              | $\lambda_{гр}$ | Род грунта      | $\lambda_{гр}$ |
|-------------------------|----------------|-----------------|----------------|
| Песок мелкий            | 1,08-1,17      | Супесь          | 1,08-1,17      |
| Песок средний и крупный | 1,14-1,28      | Глина           | 1,3-1,45       |
| Мелкий камень           | 1,24-1,3       | Скальные породы | 1,3-1,45       |

С гидромеханической точки зрения, одной из главных характеристик движения пульпы внутри грунтопровода может являться поле скорости потока. На рисунке 1 показаны экспериментальные данные [4] по распределению скорости в поперечном сечении цилиндрической трубы для таких видов грунта, как ил, пылевидный песок и глина. Эпюры I и II соответствуют невысоким значениям скорости транспортировки илистого грунта, и их анализ указывает на симметрию эпюры скорости относительно оси трубопровода. Движущийся многофазный поток может быть

охарактеризован как однородный. Вид эпюры скорости соответствует ламинарному течению с характерным максимумом на оси и минимальными значениями скорости вблизи жестких стенок трубы.

Увеличение скорости транспортировки ила качественно картину течения не изменяет, что хорошо видно на II эпюре. Единственное отличие заключается в седиментации грунтовой фазы с началом смещения максимума скорости в сторону верхней границы трубопровода. Установлено, что рост величины концентрации грунта в пульпе приводит к падению средней скорости потока, но эпюра скорости при этом качественно не видоизменяется.

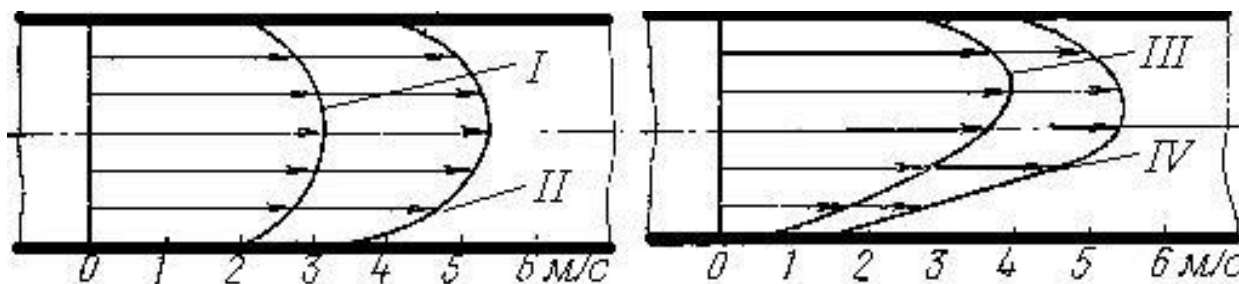


Рисунок 1 – Характерные эпюры скорости пульпы в грунтопроводе

Эпюры скорости III и IV соответствуют перемещению с водой среднезернистого и крупнозернистого песка. На графиках хорошо видна асимметрия в получаемой картине движения. Эпюра III характеризует малые, а эпюра IV – средние значения скорости многофазного потока. Смещение максимума скорости в верхнюю часть трубы можно объяснить процессами седиментации грунта в движущемся потоке. Так, более тяжелые и крупные частицы песка, оседая, переходят в движение соответствующее не взвешенному состоянию, а вязкому ползущему потоку. Толщина его вязкого слоя определяется концентрацией песка в воде и средней скоростью движения. Чем больше концентрация и ниже скорость, тем толще становится вязкий слой.

Эпюра скорости IV позволяет сделать однозначный вывод о зависимости гидравлической характеристики рефулерного грунтопровода от предельной концентрации несущей фазы. Именно толщина неподвижного слоя оказывает влияние на изменение таких величин как: рост потерь напора на трение; рост касательных напряжений на границе раздела между движущимся потоком и вязко-пластичной фазами; уменьшение площади живого сечения рефулерного грунтопровода. Анализ эпюр I-IV указывает на неоднородность плотностного распределения потока по вертикальному сечению грунтопровода. В верхней части трубы превалирует взвесенесущая водная фаза, а в нижней части, ниже оси симметрии трубы, наблюдается резкое увеличение плотности потока.

В ходе исследований был сделан вывод о том, что толщина «вредного» вязко-пластичного слоя всегда зависит от диаметра трубопровода. При правильно выбранном сечении трубы за счет действия динамической

нагрузки со стороны легких фракций песка более крупные частицы будут продолжать свое движение, увлекаясь основным потоком. В этом случае, за счет усиления эффекта конвективного переноса, максимум эпюры скорости потока будет смещаться в сторону оси симметрии трубы, а расходные характеристики канала будут достигать своих максимальных значений. Избыточный диаметр трубопровода всегда приведет к росту градиента плотностной стратификации потока по длине трубопровода и, как следствие, к падению его пропускной способности с ростом энергетических затрат на транспортирование пульпы. Установлено, что степень перекрытия цилиндрической трубы, т.е. отношение максимального значения высоты вязко-пластичного слоя к ее диаметру, не должно превышать значений, соответствующих диапазону 0,25 – 0,3.

При исследовании возможных способов оптимизации процесса плотностной стратификации пульпы по высоте трюма было установлено, что наиболее перспективной в этом случае является воздушная флотация. Если рассматривать процесс подъема воздушных пузырьков в пульпе, то главной задачей, применительно к седиментации практически неподвижной пульпы, является определение скорости их подъема [4, 5]. Эта величина в зависимости от режима движения определяется так

- ламинарный режим (закон Стокса)

$$V = \frac{d_a^2 (\rho_i - \rho_a) g}{18 \mu_i}, \quad (2)$$

- турбулентный режим

$$V = 0,7 \sqrt{\frac{d_a^2 (\rho_i - \rho_a) g}{\mu_i}}, \quad (3)$$

где  $d_b$  – диаметр пузырька, м;  $\rho_p, \rho_v$  – плотность пульпы и воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $\mu_p$  – динамическая вязкость пульпы, Па·с.

Согласно экспериментальным данным работы [1] при условии  $Re > 15000$  и  $d_b = 2-15$  мм скорость всплывания воздушного пузырька нужно выбирать из диапазона от 25 до 30 см/с.

Для разработанного судового узла сепарации грунта была реализована серия натурных исследований. Их главной целью являлась оценка технологических особенностей процесса сепарации и тестирование на безотказность и воспроизводимость получаемых результатов. На основе проведенного статистического анализа полученного набора данных были сделаны выводы, позволившие сформулировать основные требования к дальнейшему использованию разработанного прототипа сепаратора грунта.

Принципиальная схема исследовательского стенда показана на рисунке 2. Он представлял собой замкнутую гидравлическую систему с муфтовыми и фланцевыми соединениями основных элементов. Все рабочие



трубопроводы стенда были собраны из пластиковых труб, относящихся к области гидравлически гладких труб.

Стенд работал следующим образом: начальный объем ( $1 \text{ м}^3$ ) пульпы загружался в расходный бак 1, откуда по линии подачи 2, за счет использования грунтового насоса 3, смесь грунта и воды поступала в рабочую камеру 4. Диаметр условного прохода линии 2 составлял 100 мм, а всех остальных рабочих линий стенда, соответственно, 50 мм. Расходомерный бак 1 был выполнен в виде стеклянного куба с объемом  $V = 1,216 \text{ м}^3$ . Для смеси ила и воды с удельными значениями концентрации 30 % и 70 % соответственно, при рабочей температуре равной  $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ , диапазон моделируемых чисел Рейнольдса, просчитанных по внутреннему диаметру 50 мм, составлял  $Re = 1540 \div 300000$ .

В начале экспериментов, после автоматизированного определения величины расхода (с погрешностью  $\delta_Q = 0,102 \%$ ), весь объем прокачиваемой пульпы подавался обратно в бак 1. Транспортирование, при помощи вспомогательного грунтового насоса 6, производилось по линии обратного отвода пульпы 5. После выхода потока пульпы на стационарный режим течения в линии 2 осуществлялся переход к изучаемому процессу сепарирования. В этом случае, после закрутки потока в камере 4 по линии отвода светлой пульпы 7 при помощи центробежного насоса 8, отделяемая вода перекачивалась в накопительный бак 9. Получаемая после центробежного разделения более вязкая пульпа по линии отвода 10 поступала в узел механического отжима 11. После дополнительного отделения воды, грунт по линии сброса отжатой пульпы 12, подавался в накопительный грунтовой резервуар 13. По окончании процесса отделения вода из бака 9 и пульпа из накопительной емкости 13 измерялись объемно-весовым способом и, с учетом малого объема отжатой воды в узле 11, формулировался вывод о качестве процесса сепарации.

Основная энергия, которую поток пульпы получает при прохождении грунтового насоса, расходуется на гидравлические потери внутри циклона и сепарацию грунта от воды. По этой причине при проведении опытов эта величина была измерена при различных значениях объемного расхода. На рисунке 3, где приведены результаты этих измерений, можно увидеть, что зависимость величины потерь от расхода подчиняется параболическому закону. При пересчете потерь давления на значение коэффициента гидравлического трения были получены данные, указывающие на автомодельность величины сопротивления циклона по числу Рейнольдса. Величина сопротивления циклона  $\zeta$  с ростом числа  $Re$  оставалась практически неизменной:  $\zeta = 19,5$ . Эти данные показаны на рисунке 4, а сам пересчет производился по выражению

$$\zeta = \frac{\Delta P}{\rho V^2 / 2}, \quad (4)$$

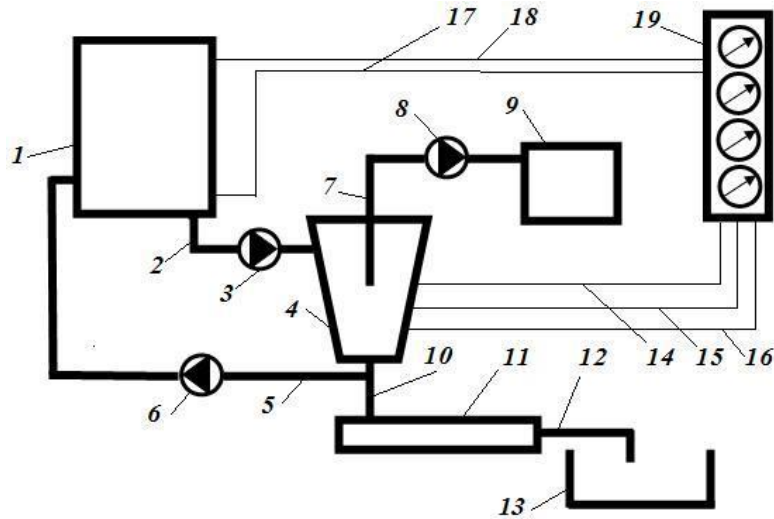


Рисунок 2 – Схема измерительного стенда

1 – расходный бак; 2 – линия подачи пульпы; 3 – грунтовой насос; 4 – рабочая камера; 5 – линия обратного отвода пульпы; 6 – вспомогательный насос; 7 – линия отвода светлой пульпы; 8 – насос; 9 – бак; 10 – линия отвода пульпы; 11 – узел механического отжима; 12 – линия сброса пульпы; 13 – накопительный грунтовой резервуар; 14 – измерительная линия давления; 15 – измерительная линия температуры; 16 – измерительная линия вязкости; 17, 18 – измерительная линия уровня; 19 – электронный узел обработки и индикации показаний.

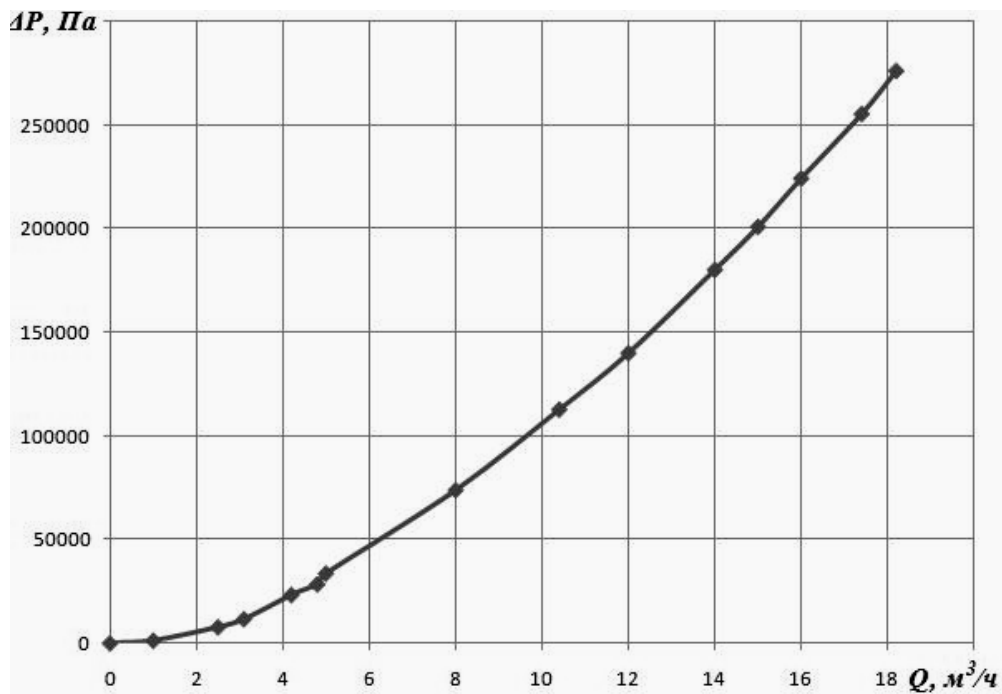


Рисунок 3 – Зависимость потерь давления от объемного расхода

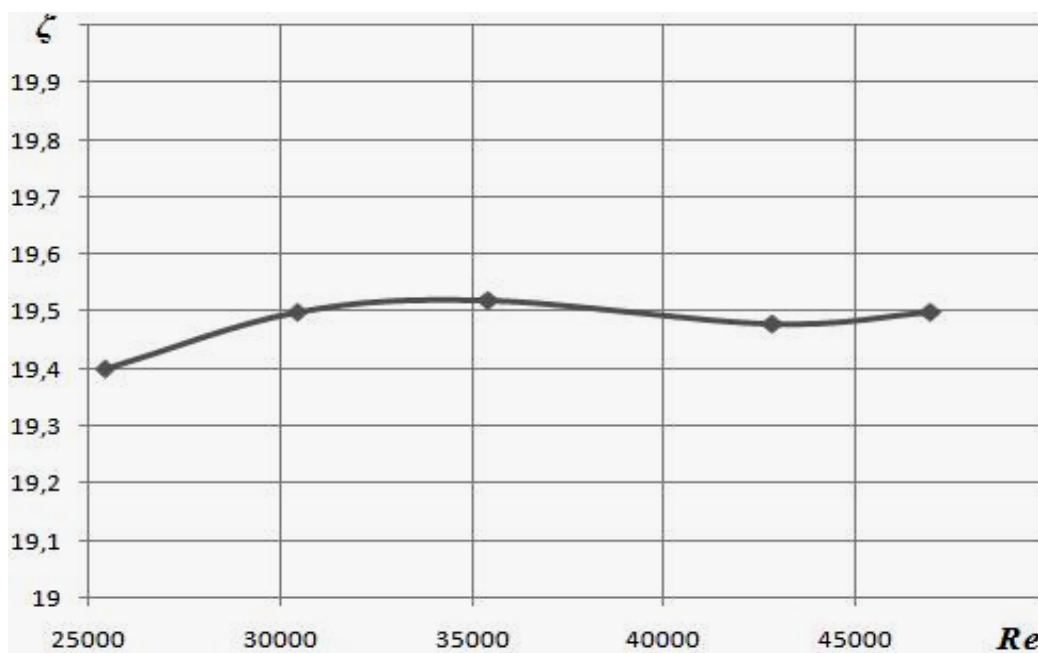


Рисунок 4 – Залежність коефіцієнта опору  $\zeta$  циклона від числа  $Re$

В ході експериментів була вивчена ступінь впливу швидкості обертання віджимного винта на ефективність відділення залишкової води при другій стадії сепарації ґрунту. Схема вузла механічного віджиму показана на рисунку 5. Було встановлено, що найбільша ступінь віджиму досягається при малих обертах обертання віджимного винта. Отримані результати приведені в зведеній таблиці 2, де видно, що при 30 об/мин в вихідному ґрунті при трьох положеннях упорної заслонки (см. рис. 5) спостігалось найменша концентрація води. Починаючи з числа обертів більше 50 об/мин спостігалось виникнення ґрунтових пробок всередині робочої камери. Через різке підвищення віджимного тиску в області зазору між винтом і стінками робочої камери мало місце проскальзовування ґрунту, і в шаговому винтовому просторі ґрунт переміщався з різними значеннями масового витрати. Було зроблено висновок про те, що при незмінному положенні упорної заслонки на виході з вузла механічного віджиму збільшення швидкості обертання винта викликає негативний вплив на процес сепарації.

Таблиця 2 – Залишкова концентрація води при механічному віджимі ґрунту

| Залишкова концентрація води в ґрунті $\epsilon$ при | Положення упорної заслонки |        |             |
|-----------------------------------------------------|----------------------------|--------|-------------|
|                                                     | Мінімальне                 | Робоче | Максимальне |
| 30 об/мин                                           | 0,058                      | 0,096  | 0,121       |
| 50 об/мин                                           | 0,127                      | 0,153  | 0,171       |
| 100 об/мин                                          | 0,132                      | 0,167  | 0,195       |

В ході досліджень було розроблено перелік операцій по виробництву, монтажу і обслуговуванню розробленого судового

сепаратора пульпы. Они должны всегда осуществляться в соответствии с основными принципами организации и планирования ремонта судов в системе морского и речного флота и регламентируются «Положением о ремонте судов», которое устанавливает две категории ремонта – текущий и капитальный.

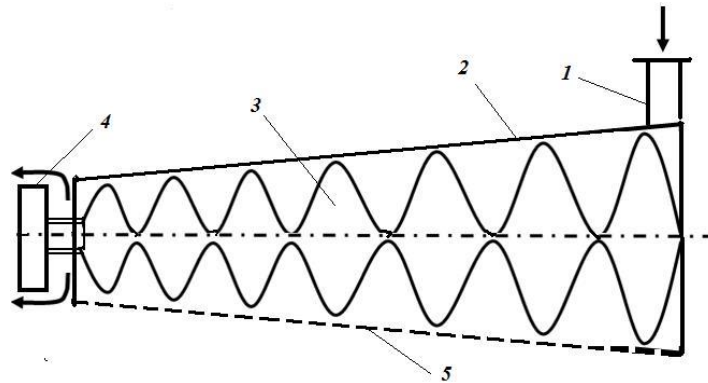


Рисунок 5 – Общая схема узла механического отжима: 1 – входной патрубок; 2 – корпус; 3 – винт; 4 – упорная заслонка; 5 – перфорированная крышка

Текущий ремонт разработанного судового сепаратора пульпы должен выполняться не реже, чем раз в год. При его проведении необходимо вскрывать, осматривать и очищать все вкладыши, упорные подшипники, подшипники вращения, шейки валов, валы, рабочие колеса насосов, детали крепежа и т.д.

Целью проведения капитального ремонта судового сепаратора пульпы является: восстановление всех номинальных технико-эксплуатационных характеристик установки; восстановление судовых узлов и механизмов, обеспечивающих работу судового сепаратора пульпы.

Срок проведения капитального ремонта устанавливается в зависимости от типа судна, условий его эксплуатации и продолжительности выполнения дноуглубительных работ. Применительно к разработанной сепарационной установке выполнение капитального ремонта предполагает замену изношенных в процессе эксплуатации деталей корпуса, подшипников, вала, отжимного винта, регулирующей заслонки и т.д.

Монтаж при сборке или демонтаж при консервации судового узла сепарации грунта должен осуществляться при проведении капитального ремонта судна.

#### **Выводы:**

1. При рефулировании грунтовой пульпы толщина «вредного» вязко-пластичного слоя всегда зависит от диаметра трубопровода. Избыточный диаметр трубопровода всегда приводит к росту градиента плотностной стратификации потока по длине трубопровода и, как следствие, к падению его пропускной способности.

2. Степень перекрытия цилиндрической трубы, т.е. отношение максимального значения высоты вязко-пластичного слоя к ее диаметру, не должна превышать значений, соответствующих диапазону 0,25 – 0,3.

3. Экспериментально установлено, что наибольшая степень механического отжима грунтовой пульпы достигается при малых оборотах вращения отжимного винта. Начиная с числа оборотов более 50 об/мин наблюдается возникновение грунтовых пробок внутри рабочей камеры и при неизменном положении упорной заслонки на выходе из узла механического отжима рост скорости вращения винта оказывает негативное влияние на процесс сепарации.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бородулин Я. Ф. Дноуглубительный флот и дноуглубительные работы / Я. Ф. Бородулин, Б. Н. Сущенко – М. : Транспорт, 1973. – 432 с.
2. Малахов А. В. Узел сепарации пульпы для судовых земснарядов / А. В. Малахов, С. А. Карьянский, В. А. Маслов // Проблемы техники : науч.-вироб. журнал. – 2009. – Вып. № 3. – Одесса : ОНМУ, ХНУ – С. 59-65.
3. Малахов А. В. Основные технологические аспекты гидродинамического разделения многофазных потоков / А. В. Малахов, И. В. Ткаченко, В. А. Маслов, О. Е. Гугуев, М. А. Колегаев, С. А. Карьянский // Вестн. нац. технич. унив. Украины «Киевский политехнический институт» : Машиностроение. – К. : НТУУ «КПИ». – 2010. – Вып. № 59 – С. 117-120.
4. Башта Т. М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Т. М. Башта, С. С. Руднев и др. – М. : Изд-во Машиностроение, 1982. – 423 с.
5. Лойцянский Л. Г. Механика жидкости и газа / Л. Г. Лойцянский. – М. : Наука, 1973. – 847 с.

#### **Маслов В.О. ТЕХНОЛОГІЯ ГІДРОДИНАМІЧНОГО ЗНЕВОДНЕННЯ ГРУНТОВОЇ ПУЛЬПИ В УМОВАХ РОБОТИ ЗЕМСНАРЯДУ**

*В роботі розглянуто основні аспекти нової гідромеханічної технології по виділенню надлишкової води із грунтової пульпи. Описано експериментальний стенд і головні результати експериментів. Розглянуто види ремонтних робіт для розробленого суднового вузла сепарації пульпи.*

*Ключові слова: грунтова пульпа, продуктивність суднової сепараційної установки, механічний отжим.*

#### **Maslov V.A. TECHNOLOGY OF HYDRODYNAMIC DEHYDRATION OF THE GROUND PULP IN THE CONDITIONS OF WORK OF HYDRAULIC DREDGER**

*Main aspects of new fluid dynamics technology for separating excessive water from the soil pulp are considered. An experimental stand and the major results of experiments are described. Types of maintenance for developed ship soil separation unit are described.*

*Keywords: the ground pulp, productivity of the ship separating setting, mechanical wringing.*

## ДІАГНОСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СУДНОВИХ РОТОРНИХ СИСТЕМ ІЗ ПІДШИПНИКАМИ КОВЗАННЯ

**Романовський Г.Ф.,**

*Національний університет кораблебудування,*

**Кирихін О.Л., Ажимов В.В., Черніта П.В.,**

*Академія ВМС ім. П.С. Нахімова*

*Розвивається методологічний підхід до побудови діагностичних ознак судових роторних систем, що ґрунтується на моделюванні параметрів процесійного руху ротора в підшипниках в умовах дії конструктивних, режимних і експлуатаційних чинників. Розглядаються принципи побудови експертних комплексів моніторингу і вібродіагностики судових роторних систем з опорами ковзання.*

*Ключові слова: роторні системи, діагностика, підшипники ковзання.*

**Постановка проблеми. Актуальність дослідження.** Сучасними тенденціями розвитку транспортних енергетичних установок є зростання питомих потужностей і частот обертання двигунів, яке супроводжується збільшенням мас і габаритів валів, підвищенням діючих на підшипники сил і, відповідно, зростанням втрат механічної енергії на тертя та збільшенням експлуатаційних витрат на підтримку й відновлення працездатності енергоустановок. Встановлення резервів забезпечення працездатності та оптимізація режимів судових енергетичних установок (СЕУ), зниження витрат на їх обслуговування і ремонт вимагає підвищення ефективності контролю технічного стану основного енергетичного обладнання. Для складних технічних систем, які забезпечують передачу крутного моменту від двигунів до рушіїв, виявлення стійких різноманіть у просторі станів динамічної системи та засобів вібродіагностики для їх відображення стає основою формування діагностичних ознак технічного стану таких систем.

Традиційно базою для формування діагностичних ознак є аналіз вібраційних характеристик роторних систем у нормальному (бездефектному) стані та при наявності дефектів (у т. ч. штучно введених). На основі аналізу сигналів вібрації формуються діагностичні ознаки справного і дефектного станів роторних систем. Перспективним є підхід, заснований на створенні математичних моделей, що описують рух ротора у просторі зазорів опор ковзання [1, 2]. Такий підхід дозволяє моделювати можливі відхилення від нормального функціонування та імітувати відповідні процеси у точках контролю вібропереміщень.

Аналіз сучасних досліджень [1 - 7] вказує на те, що основою формування еталонних вібродіагностичних ознак є підвищення адекватності моделей в умовах зміни технічного стану судових роторних систем у процесі наробітку ресурсу, інтенсифікації впливу режимних і експлуатаційних факторів, виникнення скритих відмов елементів системи. Однак автори цих робіт обмежують постановку задач розрахунку реакцій підшипників розгляданням ламінарного безінерційного плинну ізотропних мастильних

середовищ. Значну частину досліджень засновано на лінійному підході до моделювання реакцій опор, що не враховує зміну трибомеханічних і реологічних характеристик мастильного шару підшипників при експлуатації. Останнє підтверджує актуальність удосконалення методів моделювання і динамічного аналізу прецесійного руху валів суднових технічних засобів у просторі зазорів підшипників.

**Метою статті** є удосконалення діагностичних моделей суднових роторних систем із підшипниками ковзання з метою підвищення ефективності їх діагностичного контролю в процесі експлуатації.

Динамічний аналіз роторних систем на етапах проектування здійснюється за допомогою кінцево-елементних моделей з розподіленими пружними й інерційними параметрами на основі рівнянь Лагранжа, теорем динаміки й канонічних рівнянь Гамільтона, однак їх застосування ускладнює побудову моделей рухомих систем з потоками енергії різних видів, що вимагає значних обчислювальних ресурсів при розв'язанні. Прийнятною альтернативою, що підходить для побудови діагностичних моделей, є застосування методів розрахунку динамічних систем із зосередженими параметрами.

На рис. 1 представлені схеми для аналізу динамічних систем із зосередженими параметрами, що враховують просторове зміщення і прецесію ротора відносно центрів рухомої рівноваги.

Рух несиметричного жорсткого ротора описується такими рівняннями:

$$\begin{aligned} m \ddot{X}_1 &= m \frac{I_z}{I} \frac{\ell_1}{\ell} \omega (\dot{Y}_2 - \dot{Y}_1) + m e_\delta \omega^2 \cos \omega t + W_1 \left( 1 + m \frac{\ell_1^2}{I} \right) + W_2 \left( 1 - m \frac{\ell_1 \ell_2}{I} \right); \\ m \ddot{X}_2 &= -m \frac{I_z}{I} \frac{\ell_2}{\ell} \omega (\dot{Y}_2 - \dot{Y}_1) + m e_\delta \omega^2 \cos \omega t + W_1 \left( 1 - m \frac{\ell_1 \ell_2}{I} \right) + W_2 \left( 1 + m \frac{\ell_1^2}{I} \right); \\ m \ddot{Y}_1 &= m \frac{I_z}{I} \frac{\ell_1}{\ell} \omega (\dot{X}_2 - \dot{X}_1) + m e_\delta \omega^2 \sin \omega t + W_3 \left( 1 + m \frac{\ell_1^2}{I} \right) + W_4 \left( 1 - m \frac{\ell_1 \ell_2}{I} \right); \\ m \ddot{Y}_2 &= -m \frac{I_z}{I} \frac{\ell_2}{\ell} \omega (\dot{X}_2 - \dot{X}_1) + m e_\delta \omega^2 \sin \omega t + W_3 \left( 1 - m \frac{\ell_1 \ell_2}{I} \right) + W_4 \left( 1 + m \frac{\ell_1^2}{I} \right), \end{aligned} \quad (1)$$

де  $X(t) = e_x(t)$ ,  $Y(t) = e_y(t)$  – проекції зміщення центра цапфи по траєкторії рухомої рівноваги;  $I_z$ ,  $I$  – полярний і екваторіальний моменти інерції ротора;  $\ell = (\ell_1 + \ell_2)$  – довжина вала між опорами (рис. 1,а);  $\omega$  – кутова швидкість обертання;  $W_{1,3} = (F_{X1,2} + P_{X1,2})$ ,  $W_{2,4} = (F_{Y1,2} + m g + P_{Y1,2})$  – функції від реакцій опор ( $F_X$ ,  $F_Y$ ) і зовнішніх сил ( $P_X$ ,  $P_Y$ );  $m$ ,  $e_\rho$  – маса й ексцентриситет ротора.

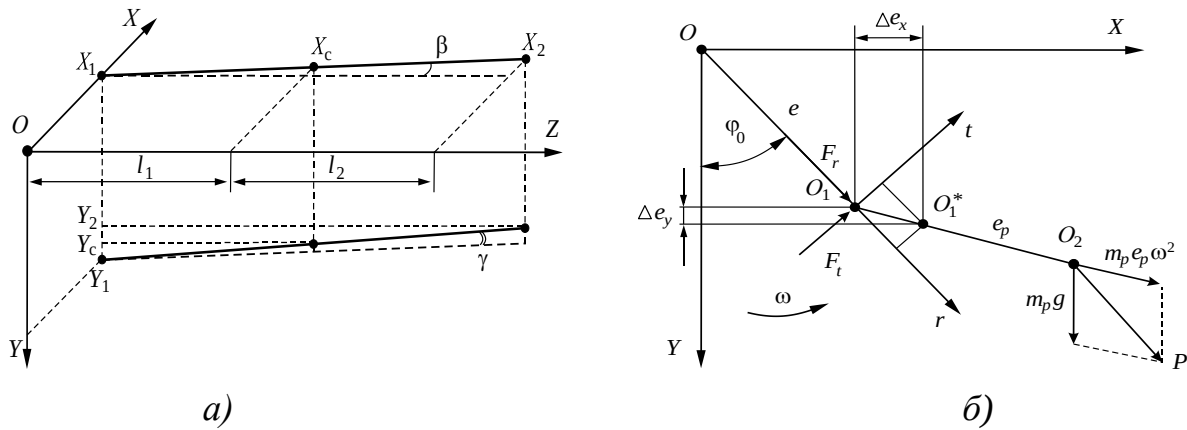


Рисунок 1 – Схеми для аналізу просторового зміщення (а) і руху (б) вала в опорах:  $O$  – центр підшипника;  $O_1$  – центр шипа;  $O_2$  – центр мас ротора

Система рівнянь (1) описує гармонічні коливання вала, які обумовлені дисбалансом ротору, гіроскопічними ефектами, дією зовнішніх сил і неконсервативних реакцій мастильних шарів гідродинамічних (ГДП), гідростатичних (ГСП) і гідростатодинамічних (ГСДП) підшипників із точковою подачею мастильного матеріалу в зазор і з мастильними канавками різної конфігурації (рис. 2).

Рух робочого тіла в зазорах радіальних підшипників ковзання в декартовій системі координат і в тензорній формі описується такими рівняннями [8, 9].

Рівняннями збереження маси й імпульсу:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho V_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho V_z)}{\partial z} = 0, \quad (2)$$

$$\rho \left( \frac{\partial V_x}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} + V_z \frac{\partial V_x}{\partial z} \right) = -\frac{\partial \delta}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu \frac{\partial V_x}{\partial y} \right), \quad (3)$$

$$\frac{\partial p}{\partial y} = 0 \quad (4)$$

$$\rho \left( \frac{\partial V_z}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_z}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_z}{\partial y} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial \delta}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \mu \frac{\partial V_z}{\partial y} \right), \quad (5)$$

де  $V$  – проекції вектора швидкості часток рідини;  $\rho$  і  $\mu$  – густина і в'язкість мастильного матеріалу;  $p$  – манометричний тиск;  $x, y, z$  – координати у декартовій системі (рис. 2, б);  $t$  – час.

Рівняннями переносу кінетичної енергії турбулентності:



$$\begin{aligned} \frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial(V_x k)}{\partial x} + \frac{\partial(V_y k)}{\partial y} + \frac{\partial(V_z k)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{v_{\dot{a}\dot{o}}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{v_{\dot{a}\dot{o}}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial y} \right] + \\ + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \frac{v_{\dot{a}\dot{o}}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial z} \right] + \nu_T \left[ \left( \frac{\partial V_x}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial V_z}{\partial y} \right)^2 \right] - \varepsilon \end{aligned} \quad (6)$$

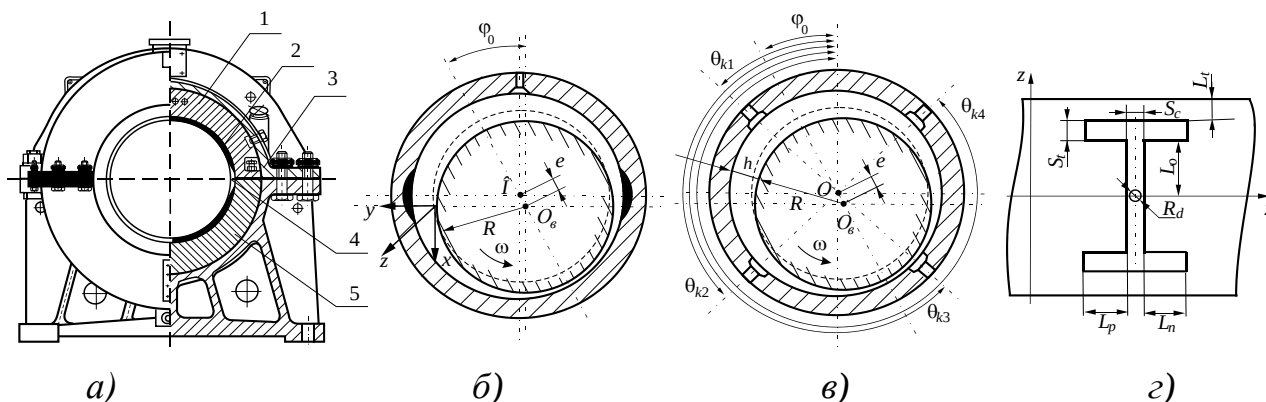


Рисунок 2 – Розрахункові схеми радіальних підшипників ковзання:  
 а – конструктивна схема; б – розрахункова схема ГДП; в – розрахункова схема ГСДП; г – розгорнення поверхні втулки ГСДП; 1, 5 – верхній і нижній вкладиші; 2 – антифрикційний шар; 3 – корпус підшипника; 4 – мастильна канавка

$$\begin{aligned} \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial(V_x \varepsilon)}{\partial x} + \frac{\partial(V_y \varepsilon)}{\partial y} + \frac{\partial(V_z \varepsilon)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{v_{\dot{a}\dot{o}}}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{v_{\dot{a}\dot{o}}}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right] + \\ + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \frac{v_{\dot{a}\dot{o}}}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right] + \tilde{N}_{\varepsilon 1} \nu_T \frac{\varepsilon}{k} \left[ \left( \frac{\partial V_x}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial V_z}{\partial y} \right)^2 \right] - \tilde{N}_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} \end{aligned} \quad (7)$$

де  $k$ ,  $\varepsilon$  – кінетична енергія турбулентності та швидкість її дисипації;  $\nu$  – кінематична в'язкість мастильного матеріалу;  $C_{\varepsilon 1}$ ,  $C_{\varepsilon 2}$ ,  $\sigma_k$ ,  $\sigma_\varepsilon$  – коефіцієнти.

Неоднорідність реологічних і теплофізичних характеристик мастильного матеріалу, особливості його вихрового плину в гідравлічному тракті в формулах (2) – (7) виражаються через комплекси, що мають розмірність в'язкості:

$$\mu = \mu_{\dot{a}\dot{o}} + \mu_{\dot{o}}; \quad \nu = \nu_{\dot{a}\dot{o}} + \nu_{\dot{o}},$$

де  $\mu_{\dot{a}\dot{o}}$ ,  $\mu_{\dot{o}} = \rho \tilde{N}_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$ ,  $\nu_{\dot{a}\dot{o}} = \frac{\mu_{\dot{a}\dot{o}}}{\rho}$ ,  $\nu_T = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$  – молекулярна і турбулентна

складові динамічної і кінематичної в'язкості мастильного матеріалу;  $C_\mu$  – коефіцієнт.

Початкові умови для (2) – (7) визначаються при розв'язанні статичної задачі. При допущеннях, які звичайно використовуються в

термогідродинамічній теорії мащення, ці рівняння подаються у вигляді, що враховує змінні реологічні й теплофізичні властивості мастильного матеріалу за всіма координатами.

Рівняння Рейнольдса:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[ h^3 F(x, z) \frac{\partial \delta}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ h^3 F(x, z) \frac{\partial \delta}{\partial z} \right] = \omega R \frac{\partial}{\partial x} \left( h \frac{f_1}{f_0} \right), \quad (8)$$

де  $h = h_0 - a \cos\left(\frac{x}{R} - \varphi_0\right)$  – товщина мастильного шару;  $h_0$  – радіальний зазор;  $e$  – ексцентриситет;  $R$  – радіус вала;  $\omega$  – кутова частота його обертання;  $\varphi_0$  – кут нахилу лінії центрів;  $F(x, z) = \frac{f_0 f_2 - f_1^2}{f_0}$ ;  $f_k = \int_0^h \rho \frac{y^k}{\mu} dy$  – функції, що описують зміну параметрів мастильного матеріалу по товщині шару ( $k = 0, 1, 2$ ).

Рівняння енергії:

$$c_v \rho \left( V_x \frac{\partial T}{\partial x} + V_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) = \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \mu \left[ \left( \frac{\partial V_x}{\partial y} \right)^2 + \left( \frac{\partial V_z}{\partial y} \right)^2 \right], \quad (9)$$

де  $T$  – функція розподілу температури в шарі;  $\lambda = \lambda_{ef} + \lambda_T$  – коефіцієнт теплопровідності мастильного матеріалу;  $\lambda_{ef}$ ,  $\lambda_T = \mu_T \frac{c_p}{Pr_T}$  – молекулярна і турбулентна складова коефіцієнта теплопровідності;  $Pr$  – число Прандтля;  $c_p$  – теплоємність при постійному тиску.

Рівняння теплопровідності валу й корпусу підшипників:

$$\lambda_a \left( \frac{\partial^2 T_a}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 T_a}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 T_a}{\partial Z^2} \right) = \rho_a \tilde{n}_a \omega R \frac{\partial T_a}{\partial Z}, \quad (10)$$

$$\frac{\partial^2 T_{ki}}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 T_{ki}}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 T_{ki}}{\partial Z^2} = 0 \quad (11)$$

де  $T_a$ ,  $\lambda_a$ ,  $\rho_a$ ,  $c_a$  – температура, теплопровідність, густина і теплоємність вала;  $T_{ki}$  – температура корпусу  $i$ -го підшипника.

Система (8) – (11) доповнюється реологічними й теплофізичними залежностями для найбільш поширених у судновій енергетиці одно- й двофазних мастильних середовищ. Сіткові функції в'язкості й густини уточнюються в процесі розрахунку після встановлення характеристик турбулентності, розподілів температури у мастильному шарі за стаціонарними аналогами рівнянь (6), (7) і (9). Для визначення компонент швидкості руху мастила використовуються такі відомі вирази:

$$V_x = h^2 \frac{\partial p}{\partial x} \left( i_1 - \frac{m_1}{m_0} i_0 \right) + \left( 1 - \frac{i_0}{m_0} \right); \quad V_z = h^2 \frac{\partial p}{\partial z} \left( i_1 - \frac{m_1}{m_0} i_0 \right);$$

$$V_y = \int_0^{\delta} \frac{1}{\rho} \left[ h \frac{\partial}{\partial x} (\rho V_x) - y \frac{\partial h}{\partial x} \frac{\partial}{\partial y} (\rho V_x) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho V_z) - y \frac{\partial h}{\partial z} \frac{\partial}{\partial y} (\rho V_z) \right] dy,$$

$$\text{де } m_k = \int_0^h \frac{y^k}{\mu} dy; \quad i_k = \int_0^y \frac{y^k}{\mu} dy; \quad k = 0, 1, 2.$$

Розв'язання статичної задачі після приведення системи вихідних рівнянь до безрозмірного вигляду та представлення кінцево-різницевиими аналогами здійснюється ітераційним методом. При розв'язанні різницеви аналогів рівнянь (8), (9) використовується метод змінних напрямків у сполученні з методом верхньої релаксації, оскільки при цьому досягається більша швидкість збіжності й необхідна стійкість ітераційного процесу. Визначення функцій розподілу тиску й температур в підшипниках здійснюється за методом прогону. Рівняння турбулентного переносу й дифузії розв'язуються за методом інтегральних тотожностей. Як критерій збіжності використовується малість відносної зміни величини від ітерації до ітерації.

Чисельне інтегрування системи рівнянь (1) здійснюється за методом Адамса-Башфорта. При розв'язанні вихідної нестационарної системи рівнянь (2) – (7) для визначення додаткових компонент тисків, що виникають при переміщенні вала зі стаціонарного положення, використовується методологічний підхід, що базується на циклічних послідовностях операцій за схемою «предиктор – коректор». Застосовано трьохетапний ітераційний метод, що спирається на розрахунок поля швидкостей руху мастильного матеріалу по передбачуваних збільшеннях тиску в шарі з наступним коректуванням значень тиску й швидкості за умовою задоволення рівнянню нерозривності. Реалізація цього методу знижує неточність розрахунку, пов'язану з апіорним уявленням про характер трибомеханічних і реологічних процесів у підшипниках.

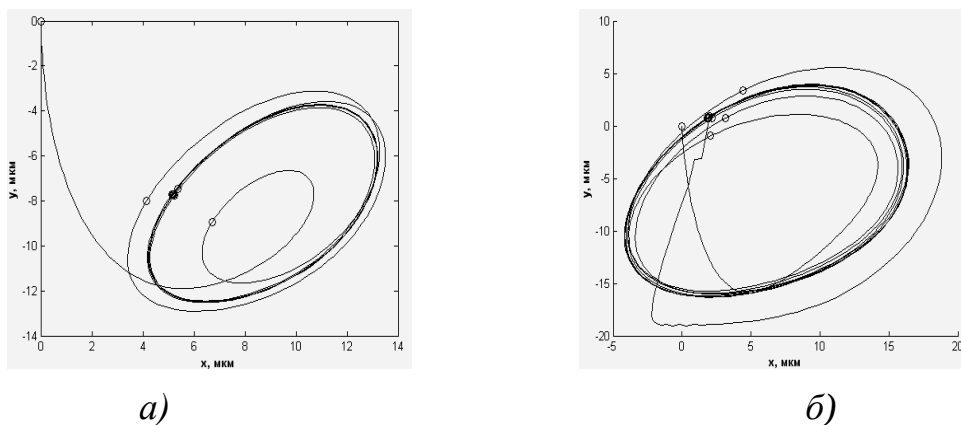


Рисунок 3 – Характерні траєкторії руху вала у підшипниках:  
а) при дисбалансі ; б) при імпульсному навантаженні внаслідок хвилювання

Розв'язання системи вихідних рівнянь дозволяє визначити положення рухомої рівноваги і траєкторії прецесії валів у підшипниках. За результатами розрахунків будуються еталонні діаграми коливань, які відображають вплив режимних параметрів, зовнішніх факторів і дефектів роторних систем (рис. 3).

Розвиток методів динамічного аналізу судових роторних систем дозволяє побудувати експертні системи оцінки технічного стану об'єктів, які реалізують принципи вібромоніторингу й вібродіагностики. При цьому вібродіагностика охоплює істотно більше коло задач та застосовується не тільки для визначення і прогнозу розвитку параметрів вібрацій роторів, а й для аналізу технічного стану системи, для котрих існує реальна ймовірність відмови.

Структура системи вібраційного моніторингу і діагностики, яка відповідає вимогам щодо перешкодостійкості та надійності, швидкості виконання операцій аналізу й оперативності прийняття рішення, зображена на рис. 4.

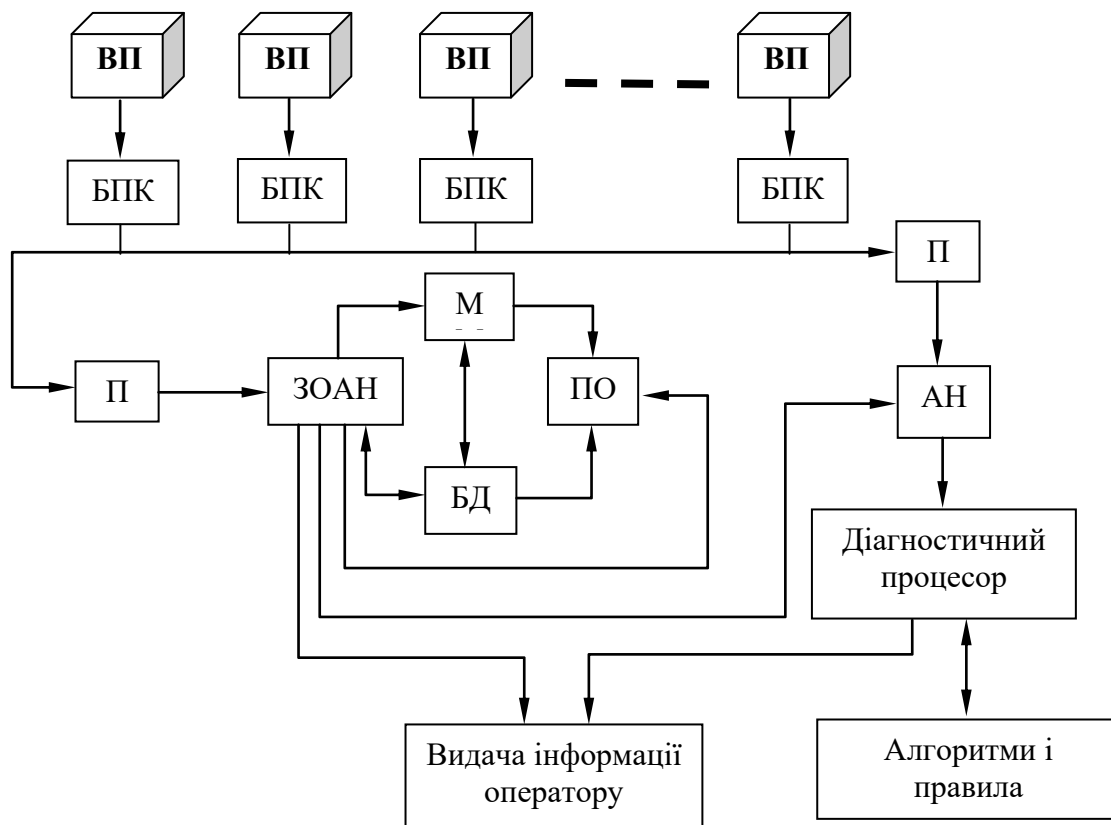


Рисунок 4 – Структура системи вібраційного моніторингу і діагностики:

ВП – вимірювальний перетворювач;

БПК – блок посилення і комутації;

ПУ – пристрій узгодження;

ЗОАН – засіб обробки і аналізу;

ММ – математична модель;

БД – база даних;

ПО – програма обробки бази;

АН – аналізатор.

Вимірювальний перетворювач (ВП) вимірює відносну вібрацію ротора та через блок посилення і комутації (БПК) передає низькочастотну і

середньочастотну складові вібрації в систему моніторингу. Пристрій узгодження (ПУ) узгоджує сигнали аналізатора і БУК для запобігання несанкціонованої втрати інформації. Засіб обробки і аналізу (ЗОАН) із застосуванням алгоритмів швидкого перетворювання Фур'є чи вейвлет-перетворення перетворює вібраційний сигнал від первинних перетворювачів у форму, яка використовується для подальшого аналізу. ЗОАН відсилає запитання в базу даних (БД) про стан системи «ротор – підшипники». При відсутності в базі даних стандартного рішення виконується розрахунок за математичною моделлю та встановлюються функціональні зв'язки між результатами вібраційних вимірювань і причинами їх виникнення. Програма обробки бази вносить результати розрахунків в БД і в подальшому проблемна ситуація буде вважатися визначеною.

ЗОАН, після отримання інформації від бази даних, визначає необхідність у проведенні діагностики на основі аналізу усіх складових сигналів вібрації. Аналізатор (АН) оброблює сигнали вібрацій за алгоритмами часово-частотного аналізу та передає інформацію діагностичному процесору, який реалізує алгоритми діагностики з метою прогнозування вібростану об'єкта і видачі рекомендацій оператору щодо номінування режиму роботи СЕУ.

Таким чином, експертна система розділяється на дві взаємопов'язані підсистеми: підсистему моніторингу для постійного контролю й регулювання процесів утримання та стабілізації валів у підшипниках, а також підсистему вібродіагностики для оцінки і прогнозування технічного стану об'єкту на усіх етапах життєвого циклу судна і його енергетичної установки. Такий розподіл дозволяє підвищити інформативність засобів діагностичного контролю і оперативність прогнозування сценаріїв розвитку подій, перейти на обслуговування систем, які забезпечують передачу крутного моменту від двигунів до рушіїв, за технічним станом.

**Висновки.** Методологічною базою для виявлення закономірностей коливального руху і формування діагностичних ознак судових роторних систем є моделювання процесів прецесійного руху валів у просторі зазорів підшипників та прогнозування зміни технічного стану об'єкту у процесі наробітку ресурсу, інтенсифікації впливу режимних і експлуатаційних факторів, виникнення скритих відмов елементів системи. Такий підхід дозволяє формувати діагностичні ознаки об'єкта в нормальному (бездефектному) стані й при виникненні дефектів і скритих відмов, імітувати відповідні процеси у точках віброконтролю та підвищити ефективність експертних систем моніторингу й діагностики судового енергетичного обладнання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Childs D. Turbomachinery rotordynamics: phenomena, modeling and analysis / D. Childs. – New York : Wiley-Interscience, 1993. – 496 p.
2. Барков А. В. Мониторинг и диагностика роторных машин по

вибрации / А. В. Барков, Н. А. Баркова, А. Ю. Азовцев. – СПб. : Изд-во Гос. морск. техн. ун-та, 2000. – 169 с.

3. Wowk V. Machinery vibration: Measurement and analysis / V. Wowk. – New York : McGraw-Hill, 1991. – 358 p.

4. Гольдин А. С. Динамика роторных машин / А. С. Гольдин. – М. : Машиностроение, 1999. – 344 с.

5. Савин Л. А. Моделирование роторных систем с подшипниками жидкостного трения : монография / Л. А. Савин, О. В. Соломин. – М. : Машиностроение, 2006. – 444 с.

6. Genta G. Vibration dynamics and control / G. Genta. – Berlin : Springer, 2008. – 856 p.

7. Adams M. L. Rotating machinery vibration: from analysis to troubleshooting / M. L. Adams. – Raton, USA : CRC Press, 2009. – 476 p.

8. Романовский Г. Ф. Динамика упорных подшипников скольжения судовых турбомашин : монография / Г. Ф. Романовский, Н. Я. Хлопенко. – Николаев : Нац. ун-т кораблестроения им. адм. Макарова, 2007. – 140 с.

9. Романовский Г. Ф. Термогидродинамический расчёт подшипников скольжения судовых пропульсивных комплексов в неспецификационных эксплуатационных условиях / Г. Ф. Романовский, А. Л. Кирюхин // Проблемы трибологии. – 2009. – № 3 (53). – С. 62-71.

**Романовский Г.Ф., Кирюхин О.Л., Ажимов В.В., Черпита П.В.**  
**ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СУДОВЫХ РОТОРНЫХ СИСТЕМ С ПОДШИПНИКАМИ СКОЛЬЖЕНИЯ**

*Развивается методологический подход к построению диагностических признаков судовых роторных систем, основанный на моделировании параметров прецессионного движения ротора в подшипниках в условиях воздействия конструктивных, режимных и эксплуатационных факторов. Рассматриваются принципы построения экспертных комплексов мониторинга и вибродиагностики судовых роторных систем с опорами скольжения.*

*Ключевые слова: роторные системы, диагностика, подшипники скольжения.*

**Romanovskiy G.F., Kyryukhin O.L., Azhymov V.V., Cherpita P.V.**  
**DIAGNOSTIC MODELING OF MARINE ROTARY SYSTEMS WITH BEARINGS**

*Methodological approach to constructing diagnostic features of ship rotor systems based on modeling parameters of the precessional motion of the rotor in bearings under the impact of design, secure and operational factors is developed. Principles of constructing expert systems for monitoring and vibration diagnostics of ship rotor systems with feet slipping are considered.*

*Keywords: rotor systems, diagnostics, slidewaies.*

## КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ БОЛЬШОГО ПАРУСНОГО СУДНА

**Товстокорый О.Н.,**

*Одесская национальная морская академия*

*Для проведения качественного анализа динамики управления большого парусного судна (БПС) при малых перекадках руля использован математический аппарат теории ветвления нелинейных дифференциальных уравнений. Получена методика расчета фазовых пятен, где происходит потеря управляемости, а также выработаны рекомендации по созданию нового авторулевого БПС.*

*Ключевые слова: динамика управления, большое парусное судно, теория ветвления, качественный анализ, модель, эволюционная система, фазовые пятна, потеря управляемости, критический угол.*

**Постановка проблемы.** В последнее время количество парусных судов в мире увеличилось. Этому в значительной мере способствует истощение природных ресурсов, в первую очередь источников энергии. Поиск альтернативных источников энергии на морском транспорте приводит к использованию энергии ветра и строительству парусных судов, в том числе и больших парусных судов используемых как грузовые и круизные. При маневрировании под парусами маневренные характеристики отличаются от аналогичных под машиной. Одним из разделов маневренных характеристик является управляемость, а исследование зоны неустойчивости диаграммы управляемости большого парусного судна и проведение ее качественного анализа может дать ответ о характере управляемости большого парусного судна.

**Анализ последних достижений.** В работе А. Д. Гофмана [1] приведены результаты исследования начального участка статической характеристики судна при криволинейном движении. Особенностью начального участка является отсутствие падения скорости при рыскании и малые углы дрейфа от поворота. В работе [2] отмечено, что методы получения знаний о маневренных характеристиках судна разработаны недостаточно. Причиной тому является отсутствие надлежащих нормативных документов как национальных, так и международных, в которых было бы четко определено содержание и форма представления данных о динамических свойствах судна, как объекта управления для эксплуатационных нужд.

Для характеристики поворотливости судна в период циркуляции используют диаграмму управляемости [1], которую представляют обычно в виде зависимости  $\varpi(\delta)$ , приведенную на рис. 1.

Диаграмма управляемости теоретически обладает симметрией, однако на практике она изменяется из-за наличия боковой силы винта, обусловленной неравномерностью попутного потока. Поведение судна при движении постоянным курсом определяется видом начального участка

диаграммы управляемости. Область неустойчивости существует вблизи начала диаграммы и определяется величинами угла обратной перекладки руля  $\pm \delta_{oi}$  и угловой скорости обратной поворотливости  $\varpi_i$ , а значение  $\pm \delta_{oi}$  рассчитывается по формулам, приведенным в работе [1].

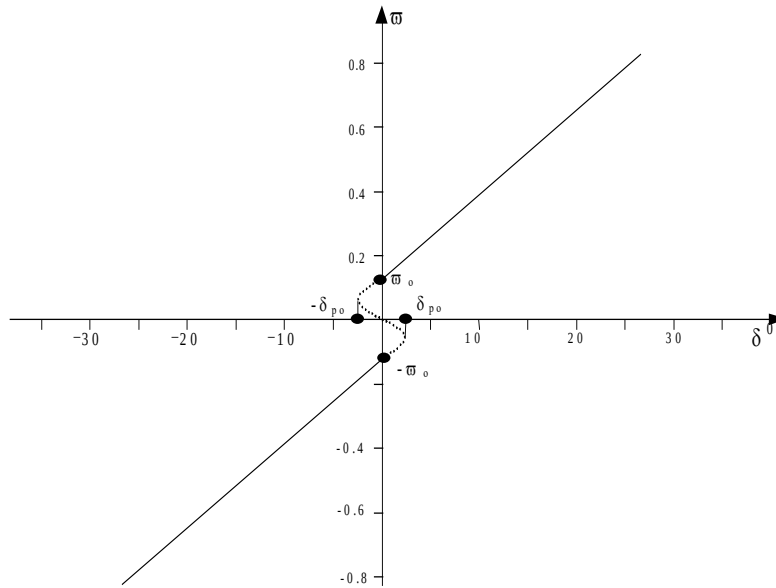


Рисунок 1 – Диаграмма управляемости теоретически неустойчивого судна

В работе [2] приведена классификация маневренных характеристик, включающую в себя характеристики устойчивости как составную часть характеристик управляемости.

Все вышеупомянутые исследования проводились для судов, приводимых в движение механической установкой. Для парусных судов подобная работа не проводилась.

**Цель статьи.** Целью настоящей статьи является проведения качественного анализа динамики управления БПС при малых перекладках руля с использованием математического аппарата теории ветвления нелинейных дифференциальных уравнений [3].

**Изложение основного материала исследования.** Процесс исследования динамики управления движением судна, в частности БПС, представляет собой качественный анализ сложнейшей динамической системы. В силу очевидной нелинейности объекта исследования необходимо проанализировать малые перекладки руля, т.к. именно в этой области управляющего воздействия на судно, может проявиться «неожиданная» реакция системы.

Устойчивость движения судна при малых перекладках руля были рассмотрены в работе [4], но за основу была взята линеаризованная модель системы. Очевидно, что линеаризованная модель утрачивает ряд свойств исходной нелинейной модели. Поэтому в данной работе за основу была взята нелинейная модель, а в качестве математического аппарата для



качественного анализа данной системы использовалась теория ветвления нелинейных дифференциальных уравнений.

Уравнения движения судна на свободном ходу, полученные в работе [4] и имеют вид

$$\left. \begin{aligned} & (m + \lambda_{11}) \cdot \frac{dV}{dt} \cos \alpha_i - (m + \lambda_{11}) \frac{d\alpha_i}{dt} \cdot V \cdot \sin \alpha_i + \\ & + (m + \lambda_{22}) \cdot V \times \omega \cdot \sin \alpha_i - \lambda_{26} \cdot \omega^2 = \\ & = R_{\dot{a}\dot{o}} + R_{\dot{o}\dot{o}} + R_{\dot{a}\dot{o}} + D_{\dot{a}} + \sum R_x; \\ & (m + \lambda_{22}) \cdot \frac{dV}{dt} \sin \alpha_i - (m + \lambda_{22}) \frac{d\alpha_i}{dt} \cdot V \cdot \cos \alpha_i + \\ & + (m + \lambda_{11}) \cdot V \times \omega \cdot \cos \alpha_i + \lambda_{26} \cdot \frac{d\omega}{dt} = \\ & = R_{\dot{a}y} + R_{\dot{o}y} + R_{\dot{a}\dot{o}} + R_e + \sum R_y; \\ & (I_z + \lambda_{66}) \cdot \frac{d\omega}{dt} - (\lambda_{11} - \lambda_{22}) \cdot V^2 \cdot \sin \alpha_i \cdot \cos \alpha_i + \\ & + \lambda_{26} \cdot V \cdot \omega \cdot \cos \alpha_i - \lambda_{26} \cdot V \cdot \frac{d\alpha_i}{dt} \cos \alpha_i - \\ & - \lambda_{26} \cdot \frac{dV}{dt} \sin \alpha_i = (R_e + R_{py}) \cdot \ell_p + M_{\dot{a}} + \dot{I}_{\dot{a}} + \sum \dot{I} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $t$  – время;  $P_e$  – сила упора винта;  $R_e$  – боковая сила винта;  $R_{rx}$ ,  $R_{ax}$ ,  $R_{px}$  – продольные составляющие гидродинамической, аэродинамической сил и силы на руле;  $R_{ry}$ ,  $R_{ay}$ ,  $R_{py}$  – поперечные составляющие тех же сил;  $M_a$ ,  $M_{\dot{a}\dot{n}}((R_{\dot{a}} + R_{\dot{o}}) \cdot l_p)$ ,  $M_p$  – моменты гидро- и аэродинамической сил, боковой силы винта и руля;  $\alpha_i$  – угол дрейфа от поворота;  $\lambda_{11}$ ,  $\lambda_{26}$ ,  $\lambda_{66}$  – присоединенные массы корпуса судна;  $\sum R_x$ ,  $\sum R_y$ ,  $\sum M$  – дополнительные силы и моменты, обусловленные работой парусов, буксиров, швартовых концов, подруливающих устройств, от взаимодействия корпуса судна с причалом, стенками канала или другими судами.

Далее следуя общему правилу максимального упрощения модели, рассмотрим поведение судна в горизонтальной плоскости, на тихой воде и при отсутствии ветра. Дополнительно будем полагать, что скорость судна постоянна. Второй закон динамики для поступательного движения устанавливает зависимость ускорения от суммы действующих на судно сил, а для вращательного движения вокруг вертикальной оси – зависимость углового ускорения от суммы действующих на судно моментов.

Если судно следует постоянным курсом с неотклоненным рулем ( $u=0$ ), то его продольная ось совпадает с направлением скорости ( $\beta=0$ ). В силу симметрии корпуса поперечные силы и момент отсутствуют и, следовательно, угловая скорость  $\omega=0$ . Этот стационарный режим будет

устойчивым в том случае, если при возникновении незначительных  $\omega$ , а вслед за этим и угла  $\beta$ , то есть появлении несимметричного обтекания, возникающие силы и моменты заставляют судно возвращаться в исходное состояние.

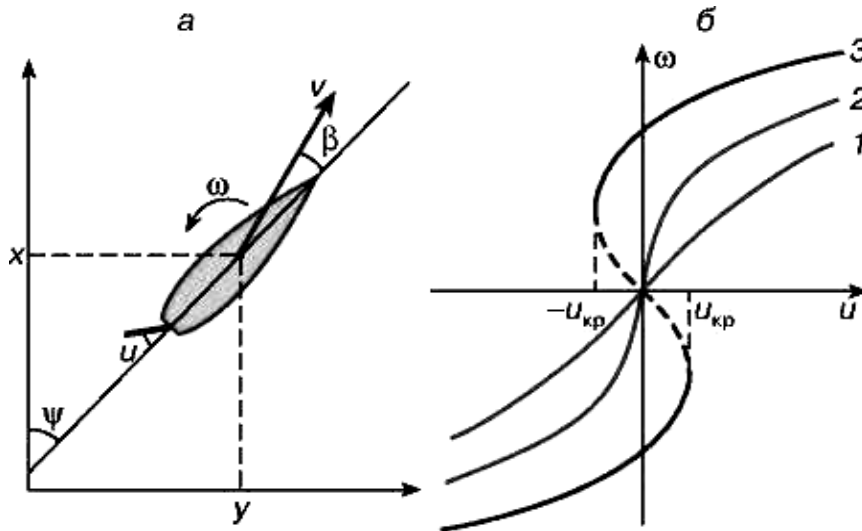


Рисунок 2 – а) состояние судна определяется пятью координатами и параметром управления  $u$ ; б) диаграмма управляемости устойчивого (1, 2) и неустойчивого (3) судов

Эту зависимость называют диаграммой управляемости судна. Наиболее важный ее участок – окрестность начала координат. Наклон кривой здесь характеризует реакцию судна на незначительные отклонения руля при прямолинейном движении. Чем круче этот участок, тем выше управляемость (рис. 2б, кривая 2). Как видно из рисунка, в случае устойчивого судна любому  $u$  соответствует единственное стационарное решение. На фазовой плоскости оно соответствует особой точке – устойчивому узлу. Подчеркнем, что диаграмма управляемости представляет статическую характеристику. Определяемые с ее помощью значения  $\omega(u)$  достигаются в результате завершения переходного процесса. В обычном же режиме работы руль находится в отклоненном положении незначительное время, за которое величина  $\omega$  не достигает установившегося значения.

Поэтому необходимость значительного повышения маневренности потребовала еще большего изменения диаграммы управляемости (рис. 2б, кривая 3). В результате движение судна на прямом курсе оказалось неустойчивым. Участок кривой 3 (рис. 2б), относящийся к неустойчивым стационарным режимам, изображен пунктиром. На фазовой плоскости он соответствует особой точке – седлу. Естественно, что в этом случае для удерживания судна в окрестности неустойчивого стационарного режима необходимо соответствующее воздействие управляющего органа  $u(t)$ .

Приведенные рассуждения об устойчивости и неустойчивости судна можно проиллюстрировать на примере простейшей механической системы, изображенной на рис. 3.

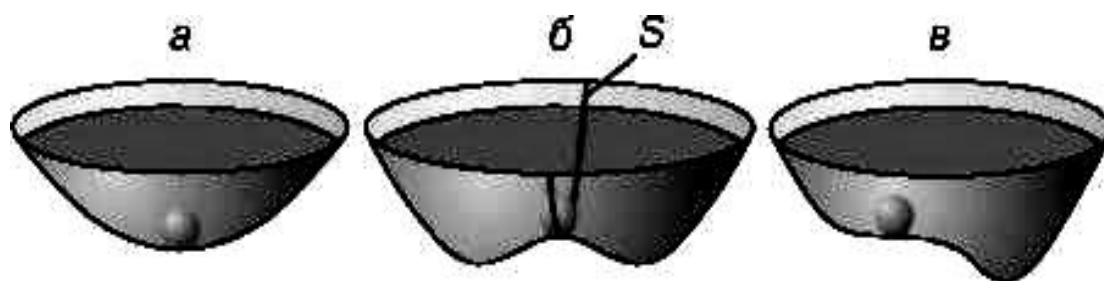


Рисунок 3 – Простейшая механическая система, иллюстрирующая устойчивое на курсе судно (а), неустойчивое при  $u = 0$  (б) и неустойчивое при  $u > u_{\text{сд}}$  (в)

Симметричная прозрачная ванна с крутыми боковыми стенками заполнена достаточно вязкой жидкостью, и в нее помещен шар. Случаю не отклоненного руля и устойчивой особой точки соответствует рис. 3а. Здесь в случае отклонения шара от равновесного состояния произойдет восстановление исходной ситуации. При этом в движении к состоянию равновесия выделяются два этапа: сначала быстрое скатывание по боковой стенке, затем медленное перемещение вдоль дна ванны.

Неустойчивому на прямом курсе судну соответствует рис. 3б, который иллюстрирует поведение системы в окрестности седла. При отклонении шара от равновесного состояния строго в поперечном направлении он будет стремиться вернуться в ту же точку. Эта особая траектория  $S$  соответствует сепаратрисе седла и является границей притяжения двух устойчивых равновесных состояний. Поэтому смещение шара в любом другом направлении приведет к дальнейшему его перемещению в одно из двух возможных устойчивых равновесных состояний. Отклонению руля в нашей интерпретации соответствует деформация нижней части ванны, нарушающая симметрию между левой и правой сторонами. Рис. 3в соответствует случаю  $u > u_{\text{сд}}$ . Следует отметить существование пологого участка, на котором скорость движения падает. Он расположен между более крутыми участками.

Рассматриваемая математическая модель управляемого судна описывается системой пяти дифференциальных уравнений первого порядка. На первом этапе эти уравнения получают в физических переменных и параметрах, измеряемых в обычных единицах. Далее осуществляют преобразование к, так называемым, безразмерным переменным и параметрам. Путем специального выбора масштабов удастся существенно упростить как сами уравнения (часть коэффициентов становятся равными единице), так и смысловую интерпретацию получаемых результатов. Окончательно эти уравнения принимают следующий вид [5]:

$$\dot{\omega} = a\omega + b\beta + s_1 u \quad (2)$$

$$\dot{\beta} = c\omega + d\beta + h\beta|\beta| + s_2 u \quad (3)$$

$$\begin{aligned}\dot{\psi} &= \omega, \\ \dot{x} &= \cos(\psi - \beta), \\ \dot{y} &= \sin(\psi - \beta),\end{aligned}$$

здесь точка означает дифференцирование по безразмерному времени, за единицу которого судно проходит путь, равный длине корпуса.

С позиций качественной теории и теории бифуркаций динамических систем для наших целей оказывается достаточным исследовать уравнения (2) и (3), то есть фазовые портреты в плоскости  $\omega$ ,  $\beta$ . Координаты особых точек  $\omega$ ,  $\beta$  являются корнями квадратного уравнения, получаемого после приравнивания нулю правых частей этих уравнений. Именно таким образом получают диаграмму управляемости.

В результате приходим к следующей математической задаче. Имеется нелинейная система с изменяющимся в процессе ее управляемого движения числом возможных стационарных режимов. При отсутствии управления ( $u = 0$ ) наряду с неустойчивым стационарным решением (рабочий режим) существует еще пара устойчивых решений. С ростом сигнала управления при  $|u| = u_{кр}$  происходит слияние неустойчивого решения с одним из устойчивых и последующее их исчезновение (рис. 2б). Таким образом, при  $|u| > u_{кр}$  в системе остается единственное устойчивое решение и, казалось бы, проблема управления решается элементарно.

Оказывается, однако, что разумная идея получения высокой управляемости объекта за счет неустойчивости основного режима при сигналах управления  $|u| < u_{кр}$  мстит за нарушение традиций и в случаях  $|u| > u_{кр}$ . Проявляет себя эффект бифуркационной памяти. Фазовые траектории пространства состояний «вспоминают» об опасной бифуркации, замедляя движение системы при прохождении участка, на котором умерла особая точка седло-узел.

На рис. 4 представлено изменение характера переходного процесса в зависимости от длительности движения в фазовом пятне. Чем ближе к центру пятна проходит фазовая траектории (рис. 4а), тем полнее соответствующий участок переходного процесса и дольше он преодолевается (рис. 4б).

Поэтому непосредственное и простое приложение результатов теории к проблеме управляемости судов заключается в целенаправленном просмотре фазовых портретов при отклонении руля, превышающем критическое значение, и построении фазовых пятен. Оказалось, что с увеличением угла перекладки руля размеры пятна не изменяются. Однако показатель заторможенности движения внутри него уменьшается. Поэтому самые общие рекомендации предотвращения пониженной управляемости состоят в том, чтобы при необходимости маневра в сложных условиях отклонение руля было бы не просто больше критического значения (как рекомендуют

учебники и справочники, по судовождению исходя из статической диаграммы управляемости), а превышало бы его в 2 – 4 раза.

Более сложной задачей является теоретическое прогнозирование конкретной аварийной ситуации, при которой система «забрасывается» в фазовое пятно, и при этом угловая скорость судна оказывается нежелательного направления. В этом случае, при правильном отклонении руля, судно на какое-то время будет вращаться в противоположную сторону. Если подобная ситуация возникает вне фазового пятна (траектория 4 на рис. 4а), то правильное управление быстро переведет систему в послушное состояние. Замедление реакции системы при ее попадании в область пятна (траектория из точки  $\beta_0$ ) может привести к аварии.

Описанная ситуация возможна для БПС при внезапном исчезновении ветра. Дело в том, что учет ветрового воздействия добавляет в правые части уравнений (2), (3) слагаемые, зависящие от направления и скорости ветра. Стационарному прямолинейному движению судна при ветре соответствует состояние  $\omega = \omega_0 = 0$ ,  $\beta = \beta_0 \neq 0$ . Поэтому при резком спаде ветра указанное состояние должно быть принято в качестве начальных условий переходного процесса (рис. 4а). Далее предполагается, что руль отклонен в нужную сторону на достаточно большой угол и исследуются соответствующие фазовые траектории. Для некоторых судов проявление начальной неуправляемости усугубляется тем, что забросу в потенциально аварийную область соответствуют быстрые движения, а выходу из нее – медленные.

Оказалось, что при некоторых начальных состояниях судна даже максимально возможная перекадка руля не спасает от начальной неуправляемости: угловая скорость, курсовой угол и отклонение траектории центра тяжести судна  $y(t)$  от исходной прямолинейной траектории начнут изменяться в нужную сторону лишь по истечении некоторого времени ( $\tau_\omega$ ,  $\tau_\psi$ ,  $\tau_y$  соответственно). При рассматриваемом явлении переходный процесс имеет необычный вид. Управляемая координата в начальной стадии отклоняется в противоположную сторону.

С позиций безопасности судоходства подобные ситуации являются потенциально аварийными. Время начальной неуправляемости зависит от конструкции судна, величины начальных значений  $\omega_0$ ,  $\beta_0$  и отклонения руля. На рис. 4в приведены типичные переходные процессы, иллюстрирующие проявление начальной неуправляемости. Обратим внимание, что угол курса  $\psi$  начнет изменяться в нужную сторону лишь через 7,3 единицы времени. При длине корпуса 100 м пройденный судном путь составит 730 м. Больше 1 км судну нужно пройти, чтобы исчезло боковое смещение  $y(t)$  в нежелательном направлении.

В следующем примере, относящемся к проблеме стабилизации неустойчивости, речь пойдет об удерживании неустойчивого судна на прямом курсе. Обычный подход к решению задачи такой. Информация о

характере отклонения судна от курса поступает от специальных датчиков и преобразуется в соответствии с определенным алгоритмом. В результате вырабатывается значение так называемой ошибки управления  $z(t)$ . Эта функция, а также характеристика привода рулевого устройства и определяют угол отклонения руля  $u(z)$ . Процедура проектирования подобных систем автоматического управления хорошо отработана.

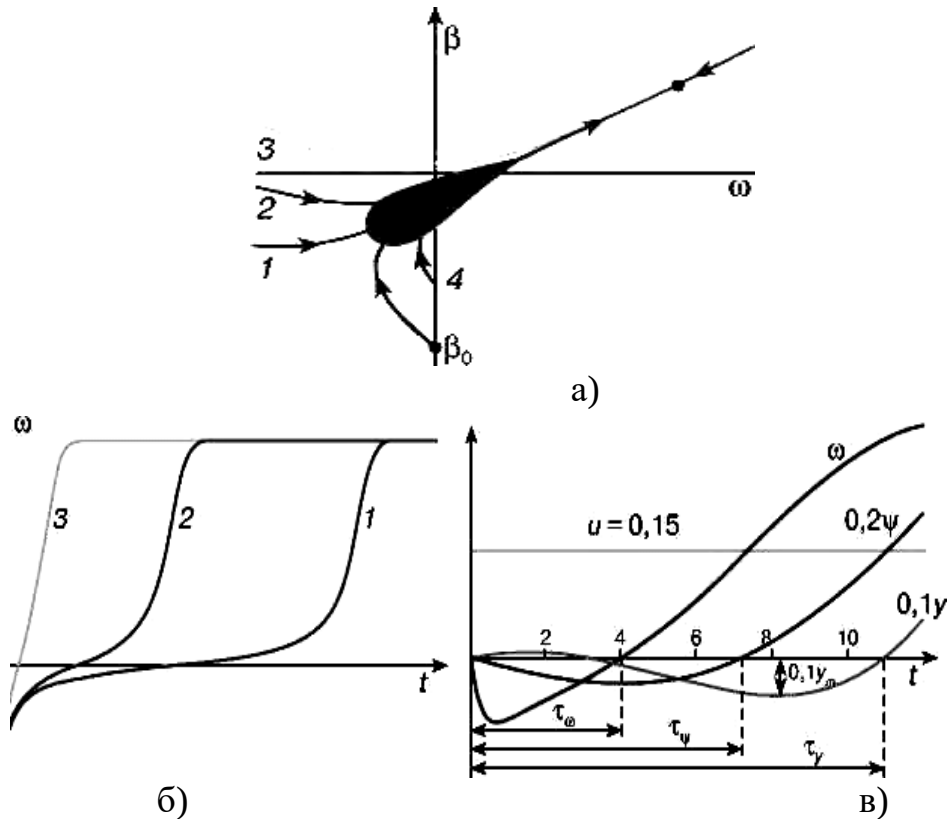


Рисунок 4 – Эффект фазового пятна: а) – область пятна при  $u > u_{\text{до}}$ ;  
 б) – зависимость переходного процесса от степени близости фазовой траектории к центру пятна; в) – показатели начальной неуправляемости при  $u = 0,25u_{\text{max}}$

Мы подойдем к решению задачи, опираясь на специфическую для судна бифуркационную картину. Случай потери устойчивости в симметричной системе сопровождается в силу симметрии рождением пары несимметричных устойчивых особых точек. В случае судна это левая и правая самопроизвольные циркуляции при неотклоненном руле. Естественно, что появляются две области притяжения устойчивых точек, разделенные некоторой границей  $S$ , которая совпадает с одной из сепаратрис седла (рис. 5а).

Область заторможенного движения (фазовое пятно) в окрестности седла находится совершенно аналогично случаю бифуркации седло-узел. Выбирается фазовая траектория, начинающаяся в малой окрестности седла  $M_2$  и заканчивающаяся в узле  $M_3$  (рис. 5а). Очевидно, что в конечной точке участка фазовой траектории  $M_2M_3$  фазовая скорость  $V_3 = 0$ . Следовательно,

на этом участке должна быть точка (пусть  $M_b$ ), фазовая скорость в которой  $V_b$  максимальна. Точка  $M_b$  расположена на границе пятна, а сама граница фазового пятна определяется как геометрическое место точек с такой же скоростью (рис. 5а).

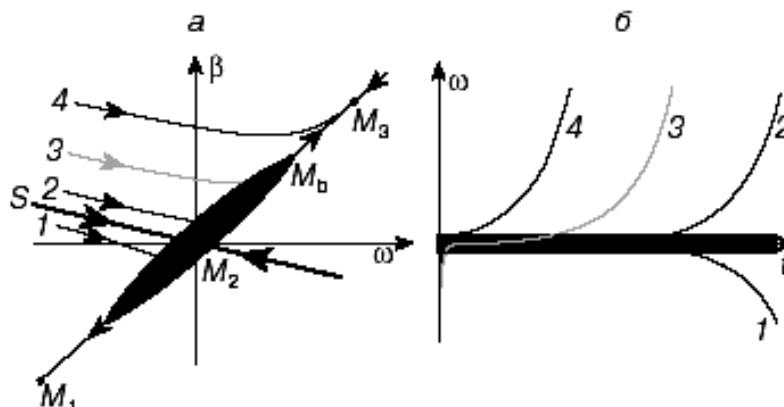


Рисунок 5 – Динамика фазовой траектории при  $u = 0$  (а) и неуправляемого судна в окрестности неустойчивого состояния (б)

Зависимость характера переходного процесса неуправляемого судна ( $u = 0$ ) от близости фазовой траектории к сепаратрисе изображена на рис. 5б. Сплошной линией выделена узкая полоса, соответствующая допустимому отклонению. Теперь мы можем сформулировать алгоритм эффективной стабилизации судна на курсе. Включать рулевое управление следует как обычно, когда характеризующие отклонение от курса координаты выходят за допустимые пределы. Убирать же руль в нейтральное положение нужно необычно, в момент, после которого состояние судна оказалось бы на сепаратрисе. Естественно, что при этом необходимо разработать алгоритм определения положения сепаратрисы. Описанный подход к созданию авторулевого позволит существенно понизить частоту переключений руля при улучшении показателей качества управления.

**Выводы и предложения.** Проведенный качественный анализ с использованием теории ветвления дифференциальных уравнений позволил исследовать процесс управления БПС при малых переключках руля. В данном режиме система ОДУ (2) и (3) не теряет свойств, присущих нелинейной системе дифференциальных уравнений (1). Это позволило выявить такие режимы управления, при которых система (1) становится не эволюционной, т.е. ведет себя непредсказуемо. Для предотвращения такого режима и во избежание аварийной ситуации рекомендуется при необходимости маневра в сложных условиях отклонение руля должно быть не просто больше критического значения (как рекомендуют учебники и справочники по судоводждению, исходя из статической диаграммы управляемости), а превышало бы его в 2 - 4 раза.

Получена методика расчета фазовых пятен, где происходит потеря управляемости, а также выработаны рекомендации по созданию нового авторулевого БПС.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гофман А. Д. Движительно-рулевой комплекс и маневрирование судна : Справочник / А. Д. Гофман. – Л. : Судостроение, 1988. – 360 с.
2. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении / А. С. Мальцев. – Одесса : Морской тренажерный центр, 2004. – 212 с.
3. Вайнберг М. М. Теория ветвления решений нелинейных уравнений / М. М. Вайнберг, В. А. Треногий. – М. : Наука, 1969. – 524 с.
4. Войткунский Я. И. Справочник по теории корабля : Судовые двигатели и управляемость / Я. И. Войткунский, Р. Я. Першиц, И. А. Титов. – Л. : Судостроение, 1973. – 511 с.
5. Неймарк Ю. И. Простые математические модели их роль в постижении мира / Ю. И. Неймарк // Соросовский Образовательный Журнал – 1997. – № 3. – С. 139-143.

### **Товстокорий О.М. ЯКІСНИЙ АНАЛІЗ ДИНАМІКИ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ВЕЛИКОГО ВІТРИЛЬНОГО СУДНА**

*Для проведення якісного аналізу динаміки керування великого вітрильного судна (ВВС) при малих перекидах руля використано математичний апарат теорії розгалуження нелінійних диференціальних рівнянь. Отримано методику розрахунку фазових областей, де відбувається втрата керованості, а також вироблені рекомендації по створенню нового автоматичного рульового для ВВС.*

*Ключові слова: динаміка управління, велике вітрильне судно, теорія галуження, якісний аналіз, модель, еволюційна система, фазові плями, втрата керованості, критичний кут.*

### **Tovstokoryi O.M. QUALITY ANALYSIS OF DYNAMICS OF STEERING A LARGE SAILING BOAT**

*Mathematical apparatus of the theory of branching non-linear differential equations is used for quality analysis of dynamics of steering a large sailing vessel (LSV) at small wheel reversals. The technique for calculating phase zone where loss of controllability occurs is obtained as well as guidelines on developing a new gyro pilot for LSV are worked out.*

*Keywords: dynamics of steering, large tall boat, theory of branching, quality analysis, model, evolution system, phase spots, loss of course-keeping qualities, critical angle.*



**ПРОБЛЕМИ ВИЩОЇ ШКОЛИ**

УДК 378.1

**РЕАЛІЗАЦІЯ ОСНОВНИХ ПРИНЦИПІВ БОЛОНСЬКОЇ ДЕКЛАРАЦІЇ  
ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ З  
ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ**

**Казанчан А.А.,**

*Херсонський державний університет,*

**Васильченко Г.Ю.,**

*Херсонська державна морська академія*

*Описана роль реалізації основних принципів Болонської декларації щодо удосконалення підготовки фахівців у сфері експлуатації транспортних систем – це, в першу чергу, переосмислення структури і нові принципи організації навчального процесу, створення всіх умов для повноцінної самостійної роботи студентів, новий тип відносин між викладачем і студентом, нові «технології» оволодіння знаннями, неможливість застосування репродуктивних методів навчання.*

*Ключові слова: поліпшення підготовки фахівців, єдиний європейський простір, болонський процес, конкурентоспроможність, європейські стандарти, єдиний ринок праці, працевлаштування випускників ВНЗ, освітньо-професійна програма, трудомісткість навчальної діяльності, залікові кредити, наукова робота.*

**Вступ. Передумови удосконалення вищої освіти:** європейська орієнтація України загалом та її входження в європейське освітнє і наукове поле зокрема. Україна чітко визначила орієнтир на входження в освітній і науковий простір Європи, здійснює модернізацію освітньої діяльності в контексті європейських вимог, дедалі наполегливіше працює над практичним приєднанням до Болонського процесу [1].

Під впливом глобалізації в освітній діяльності в Україні розгортаються зближення різних освітянських шкіл, уніфікації організації навчального процесу, формування єдиного освітнього простору. Водночас зберігаються національні традиції, примножуються надбання національних шкіл, які формувалися протягом десятиліть. Проте домінує тенденція зближення національних шкіл, що є наслідком процесів глобалізації, формування єдиного соціально-економічного метапростору, небувалого раніше за масштабами та інтенсивністю обміну студентами та викладачами.

**Актуальність дослідження** заключена у **меті освіти:** підготовка фахівців, здатних забезпечити перехід від індустріального до інформаційно-технологічного суспільства через новаторство у навчанні, вихованні та науково-методичній роботі, створення умов для особистісного розвитку і творчої самореалізації кожного громадянина України [1].

В кінці ХХ століття розвинуті країни світу поставили перед собою мету прискорити перехід від постіндустріального до нового етапу розвитку людства – інформаційного суспільства, основними ресурсами якого є **знання й інформація**. Уже зараз інформаційні й комунікаційні технології (ІКТ)

становлять вагому частину світового виробництва, що веде до глобального перерозподілу як ринку праці, так і ринку освітніх послуг. Крім того, розвиток єдиного Європейського освітнього простору в рамках Болонського процесу суттєво підвищує роль ІКТ в освіті, що обумовлено сучасною світовою тенденцією до створення глобальних відкритих освітніх і наукових систем, які дозволяють, з одного боку, розвивати систему нагромадження і розповсюдження наукових знань, а з другого – забезпечувати доступ до різних інформаційних ресурсів широким верствам населення.

**Вимоги до освіти:** якість, універсальність підготовки випускника та його адаптованість до вітчизняного та міжнародного ринків праці, особистісна орієнтованість навчального процесу, його інформатизація, визначальна важливість освіти у забезпеченні сталого людського розвитку.

Одне з головних завдань освіти в умовах розвитку інформаційного суспільства – навчити учнів і студентів використовувати сучасні інформаційні й комунікаційні технології. У зв'язку з цим виникає нагальна необхідність у прискоренні підготовки викладачів і спеціалістів у сфері ІКТ, у забезпеченні навчальних закладів сучасною комп'ютерною технікою, педагогічними програмними засобами, електронними підручниками тощо.

**Постановка завдання.** Основним завданням діяльності ВНЗ повинно стати **формування інноваційного освітньо-виховного середовища**, що передбачає:

- зміну організації і змісту освіти з метою інтеграції у світовий освітній простір;
- оптимізацію кадрового забезпечення;
- комплексне вдосконалення професійної майстерності педагогів через опанування інноваційними і дослідно-експериментальними видами діяльності [2].

Слід зауважити, що спроби надати вищій школі загальноєвропейського характеру фактично почали здійснювати ще у 50-ті роки минулого століття, коли було підписано, так звану, Римську угоду. У подальшому ці ідеї знаходили свій розвиток у рішеннях цілого ряду конференцій міністрів освіти європейських країн, і, зокрема, конференції в Сорбонні (1998 р.), коли міністри освіти Франції, Німеччини, Великої Британії та Італії підписали, так звану, Сорбоннську декларацію, яка починається словами: «Останнім часом європейський процес набув надзвичайно великого розвитку. Та якими б суттєвими не були ці здобутки, вони не повинні затінити той факт, що Європа – це не лише зона євро, банків та економічних інститутів: вона також має бути Європою знань».

Ідеї, сформульовані в Сорбоннській декларації, було розвинуто в Болонській конвенції, підписаній у 1999 р. 29 європейськими країнами. Ця подія стала основою для розвитку, так званого, Болонського процесу.

Однією з головних причин, що зумовили цей процес, є:

- докорінні перетворення в економічних системах усіх розвинених країн. Можна стверджувати, що нині відбувається небувала за масштабами

революція в економічній сфері. Це видно на прикладі швидкого удосконалення виробництва на основі новітніх інформаційних технологій, скорочення циклів виробництва товарів і послуг та термінів їх життя;

– друга причина пов'язана з тим, що нині конкуренція все більше переноситься в наукову сферу. Сьогодні виграє той, хто здатен швидше розробити і впровадити у виробництво новий товар. Враховуючи те, що наука та творчість починають відігравати провідну роль у розвитку економіки, організації та фірми прагнуть брати на роботу не просто високоосвічених спеціалістів, а молодь до 30 років, яка здатна до нестандартного творчого мислення;

– третя причина – це внутрішня зацикленість системи освіти, іншими словами – внутрівузівські орієнтири підготовки фахівців безвідносно до вимог роботодавців та ринків праці. Практика показала, що система освіти, не пов'язана з виробництвом, не може готувати спеціалістів для практичної роботи.

Є й інша група причин, зумовлених ситуацією, що склалася в Європі. Сполучені Штати Америки значно випереджають європейські країни за цілою низкою показників, які стосуються системи освіти. Перший, найважливіший, показник – це частка вже підготовлених фахівців, що мають вищу освіту. В Європі цей показник удвічі нижчий, ніж у Сполучених Штатах, що, відповідно, зумовлює й нижчий загальний потенціал європейських країн.

Другий показник, що свідчить про рівень освіти, – це кількість іноземних громадян, які навчаються в країні. У США число іноземних студентів перевищує 500 тис. осіб, що значно більше, ніж кількість студентів-іноземців, які здобувають знання в європейських університетах.

Третій показник – це розвиток науки й інтенсивність нарощення наукового потенціалу. Сполучені Штати Америки щороку виділяють на фінансування наукових досліджень більше ніж 3 % валового національного доходу. Країни Європи вкладають в науку в середньому 1,9 %.

І, нарешті, ще одна, дуже значуща, причина, що зумовила необхідність проведення європейськими країнами реформ у сфері освіти, – це прагнення об'єднати свої розрізнені потенціали в єдиний економічний механізм. Адже після створення Європейського Союзу, формулювання загальноєвропейських правових норм (так званого європейського права), введення єдиної грошової одиниці (євро) Європа мала б стати єдиною. Проте реально цього не відбулося. Виникли проблеми, пов'язані з різними рівнями підготовки фахівців, відмінністю дипломів про вищу освіту та розбіжностями в трудових законодавствах європейських країн, що стало на перешкоді переміщенню населення в межах Європи з метою одержання роботи.

Отже, постало питання про те, що у разі, якщо країни Європейського співтовариства не зможуть інтегруватися повністю, то роздрібнена і розрізнена економіка Європи не зможе бути ефективною, а відповідно, через певний проміжок часу єдина Європа втратить здатність протистояти

конкурентному натиску, що зростає, з боку інших розвинених країн, передусім США та Японії.

**Викладення основного матеріалу.** Керівники європейських держав добре розуміють, що ліквідувати цей бар'єр можливо лише в результаті поетапних дій:

– на першому етапі необхідно наблизити рівні освіти в різних державах, створити загальноєвропейську систему освіти з порівняними національними переліками напрямків підготовки, близькими термінами навчання та високою якістю підготовки фахівців;

– на другому – скоригувати національні законодавства про працю таким чином, щоб випускник будь-якого університету Європи зміг одержати роботу в будь-якій країні Європи.

Цілі Болонського процесу такі:

1) підвищення якості освітніх послуг та набуття європейською освітою незаперечних конкурентних переваг;

2) розширення доступу до європейської освіти;

3) формування єдиного ринку праці вищої кваліфікації в Європі;

4) розширення мобільності студентів та викладачів;

5) прийняття порівняної системи ступенів вищої освіти з видачею зрозумілих в усіх країнах Європи додатків до дипломів.

Основний зміст Болонської декларації полягає в тому, що країни-учасниці зобов'язалися привести свої освітні системи у відповідність до єдиного стандарту.

Положення, що розглядаються і мають виконуватися в рамках Болонського процесу, зводяться до шести основних позицій:

**1. Введення двох циклів навчання:** перший цикл – для одержання ступеня бакалавра з тривалістю навчання 3–4 роки; другий цикл – для одержання ступеня магістра (1–2 роки навчання після бакалаврату) або для одержання ступеня доктора.

**2. Введення кредитної системи.** Пропонується ввести в усіх національних системах освіти єдину систему обліку трудомісткості навчальної роботи в кредитах і зробити цю систему накопичувальною, здатною працювати в рамках концепції «навчання протягом всього життя».

**3. Контроль якості освіти** [3, 4]. Оцінка якості освіти буде ґрунтуватися не на тривалості або змісті навчання, а на тих знаннях, уміннях та навичках, які набули випускники. Також буде встановлено стандарти транснаціональної освіти. Оцінку будуть давати акредитаційні агентства, незалежні від національних урядів та міжнародних організацій.

**4. Розширення мобільності.** На основі виконання попередніх пунктів передбачаються розвиток мобільності студентів та викладацького складу, а також внесення змін до національних законодавчих актів у галузі працевлаштування іноземців.

**5. П'ята складова Болонської декларації – це забезпечення працевлаштування випускників.** Проголошується орієнтація ВНЗ на

кінцевий результат: знання випускників мають застосовуватись і використовуватись в усій Європі. Всі академічні ступені та інші кваліфікації повинні реалізовуватися на європейському ринку праці. Професійне визнання кваліфікації має бути полегшене.

**6. Шоста складова – це *забезпечення привабливості європейської системи освіти*.** Одним із завдань, що мають бути вирішені в ході Болонського процесу, є залучення в Європу великої кількості студентів з інших регіонів світу. Вважається, що реалізовані нововведення приведуть до підвищення інтересу всього світу до вищої освіти.

Бажання України приєднатися до Болонського процесу, тобто увійти до загальноєвропейського освітнього простору, – це не данина євромоді, а наша нагальна внутрішня потреба, зумовлена запитами ринку праці та загальносвітовими тенденціями розвитку освітньої діяльності. За цілою низкою формальних і неформальних ознак наша вища освіта має вагомі підстави бути прийнятою до Болонської співдружності. Справді, маємо величезний досвід підготовки фахівців, розгалужену матеріально-технічну базу, величезний інтелектуальний потенціал професорське-викладацького складу; вагомими є досягнення у методичному забезпеченні навчального процесу.

Слід підкреслити, що курс на загальноєвропейський рівень розвитку було взято нашою державою ще на початку 90-х років, коли в системі вищої освіти України було започатковано низку прогресивних реформ, результатом яких стало вдосконалення нормативно-правового та методичного забезпечення підготовки фахівців з вищою освітою – перехід до Гуманістично-інноваційної парадигми освіти, впровадження нових освітніх стандартів, введення рівневої системи підготовки фахівців, оновлення змістової частини навчальних програм, введення системи контролю якості через ліцензування й акредитацію, виборність ректорів, демократизація через розширення прав органів самоврядування, у тому числі студентського, тощо. Закони України «Про освіту» та «Про вищу освіту» пройшли експертизу в Раді Європи й отримали схвальні висновки.

Враховуючи щойно зазначене, можна стверджувати, що українська вища освіта в цілому й з експлуатації транспортних систем, зокрема, має всі підстави готуватися до прийняття в Болонську співдружність. Водночас, було б помилковим стверджувати, що де-факто ми вже повністю доросли до європейських стандартів в освіті й приєднання, про яке йде мова, – це справа суто формального характеру. За цілою низкою напрямів ми ще не вписуємось у Болонський процес, а за окремими – навіть здаємо ті позиції, які мали до початку перебудовчих процесів (як-от, наприклад, наукова робота).

Маємо виходити з того, що відповідно до вимог Болонської декларації освітня діяльність – це не тільки і не стільки рівні, модулі, експерименти, кредити, рейтинги. Це, передусім, нова філософія освітньої діяльності, це нові принципи організації навчального процесу, новий тип відносин між викладачем і студентом, нові «технології» опанування знань,

унеможливлення репродуктивних методів навчання, прозорість навчального процесу і ще багато іншого [5].

Першою передумовою входження до загальноєвропейського освітнього простору на основі принципів, передбачених Болонською декларацією, мають стати заходи щодо вдосконалення ступеневої підготовки фахівців.

В Україні структура ступеневої підготовки фахівців з вищою освітою не повністю відповідає уніфікованим умовам структури, що діють у Європейському співтоваристві. При цьому наголосимо на тому, що Болонська декларація не передбачає освітньо-кваліфікаційного рівня спеціаліста, а бакалавр за європейськими зразками – це фахівець із повною вищою освітою. Є й інші невідповідності.

Однією з шести опор, на яких розбудовується Болонський процес, є запровадження загальноєвропейської системи визначення трудомісткості навчальної діяльності. Введення такої системи є нагальною потребою з огляду на мобільність студентів і необхідність перезарахування результатів навчальної діяльності.

Дотепер у різних країнах Європи застосовувалися свої, національні системи визначення трудомісткості роботи з опанування навчального плану. В одних випадках це були академічні години, в інших – астрономічні. Для одних країн показник становив 54 години, для других – 25, третіх – 36 годин і т. д.

Унормувати цей процес має запровадження Європейської системи переводу та накопичення кредитів (*системи ECTS – Європейської системи залікових кредитів*). Вона передбачає введення системи обліку навчального навантаження, зрозумілої для всіх європейських країн. Кредити ECTS відображають загальне навантаження студента при вивченні певного курсу або якоїсь його частини (блоку), а також, яку частину загального річного навчального навантаження займає певний курс (або блок курсу) в навчальному закладі, що визначає кредити.

При використанні ECTS навчальний рік еквівалентний 60 кредитам. Якщо дисципліна має, наприклад, 12 кредитів, то це означає, що студент повинен присвятити її вивченню п'яту частину річного ресурсу часу (60 кредитів). Кредити враховують всі види навчальної роботи (лекції, семінари, лабораторні заняття, заліки, екзамени, практику тощо) і забезпечують уніфікований підхід до визначення трудомісткості освітньої діяльності студента. З часом у країнах Болонської конвенції планується ввести єдиний загальноєвропейський стандарт – додаток до диплома студента, в якому записи будуть робити в залікових одиницях ECTS, що матимуть однакову «ціну» по всій Європі.

Використання кредитів ECTS можливе у двох варіантах. Перший варіант – це формальне введення залікових кредитів без будь-яких змін у системі організації навчання. На цьому рівні достатньо перерахувати навчальне навантаження, що існує, в залікові кредити системи ECTS і відобразити його в документах (додатку до диплома, академічних довідках

тощо). При такому застосуванні ECTS трудомісткість може враховуватися як у годинах, так і в залікових кредитах ECTS.

Другий варіант використання ECTS (назвемо його інноваційним) принципово відрізняється від першого. Якщо в першому випадку основою організаційної побудови навчального процесу є години, то у другому такою основою є кредити. І така проста зміна одиниць має привести до серйозних змін в усій системі організації процесу підготовки фахівців. Адже зміняться система обліку діяльності викладачів і студентів, порядок розрахунків заробітної плати, вартості навчання і ряд інших важливих процедур. Унаслідок цього у ВНЗ з'являться нові можливості. Так, наприклад, при використанні системи залікових одиниць можна вводити асинхронну структуру організації навчального процесу, гнучку і мобільну систему навчання. Кількість кредитів, що нараховуються за опанування дисципліни, чітко фіксована і не залежить від якості підготовки студента. Проте вони нараховуються студентові лише за успішну роботу.

Складовою системи ECTS є не тільки кредити, а й уніфікована шкала оцінювання знань студентів (A, B, C, D, E, FX, F).

Що повинно бути зроблено вже на першому етапі впровадження ECTS?

1. У навчальному плані поряд із кількістю годин (відповідно до діючого в країні порядку) проставити кількість кредитів відповідно до вимог ECTS.

2. Розробити шкалу переведення своїх оцінок в оцінки ECTS.

Розглядаючи основні завдання підвищення рівня підготовки з експлуатації транспортних систем, варто окремо зупинитися і на цілій низці інших проблем, що потребують вирішення протягом найближчого часу.

Чи не «найвужчим місцем» у вищій транспортній освіті залишається наукова робота, і, передусім, наукова діяльність викладачів. Для європейської вищої школи, яка формувалася упродовж декількох століть, завжди аксіомою було таке положення: викладач має йти в аудиторію з власним науковим доробком, його лекція – це результат завершених чи виконуваних науково-дослідних робіт.

Нині в західному університеті середнього рівня важко знайти професора, який читає основні курси і не є активним дослідником, не друкує свої роботи у провідних журналах світу. Якщо ж застосуємо до деяких наших керівників курсів західні мірки щодо участі в наукових дослідженнях, то дійдемо невтішного висновку: чималу частку дисциплін у наших вищих навчальних закладах викладають скоріше викладачі-методисти, а не активні науковці – **дослідники**.

Отже, високий професійно-педагогічний рівень сучасного викладача – це результат реалізації засвоєних ним новітніх освітніх технологій, вияв його моральної та інтелектуальної культури, бажання і спроможність бачити в особі учня свого помічника, колегу в науковому пошуку. Запорука успіху педагогічної діяльності у ВНЗ – в постійному діалозі викладача-вченого й студента-дослідника.

Занепад науково-дослідницької роботи, який стався з відомих причин, серйозно ускладнює досягнення європейських стандартів в освіті. Якщо й треба проводити експеримент чи експерименти щодо входження до єдиного європейського простору, то їх слід розпочинати з експерименту із пошуку традиційних та нетрадиційних джерел фінансування науково-дослідницької роботи у вищих навчальних закладах. Не можемо, не маємо права забувати про те, що сьогоднішні недоліки у науковій роботі викладача – це його завтрашні провали у педагогічній діяльності.

Очевидно, настав час, коли в міру вирішення нагальних проблем матеріального заохочення викладачів маємо все більше коштів спрямовувати на наукові розробки за рахунок власних коштів вищих навчальних закладів. Ці ж кошти повернуться працюючим, творчим викладачам, які науково збагатять себе і навчальний процес, а водночас, покращать свій добробут.

Тим більше, що *одним із головних принципів створення Зони європейської вищої освіти*, як це було зазначено на Конференції європейських вищих навчальних закладів і освітніх організацій у м. Саламанка (29–30 березня 2001 р.), *є вища освіта, що ґрунтується на наукових дослідженнях*. У документах конференції зазначається: «Оскільки наукові дослідження є рушійною силою вищої освіти, то й створення Зони європейської вищої освіти має відбуватися одночасно й паралельно зі створенням Зони європейських наукових досліджень».

На останній конференції міністрів освіти, що відбулася в Берліні у вересні 2003 року, було ще раз наголошено, що для створення загальноєвропейського освітнього простору необхідно зосередити зусилля на «забезпеченні більш тісних зв'язків між вищою освітою і дослідницькими системами в кожній із країн-учасниць. Загальноєвропейський простір вищої освіти ... матиме велику користь від спільної діяльності з європейським дослідницьким простором, зміцнюючи в такий спосіб фундамент для Європи Знань». Учасники конференції звернулися до ВНЗ із проханням щодо «збільшення ролі та вагомості досліджень задля технологічної, соціальної і культурної еволюції і потреб суспільства».

Входження до єдиного європейського простору, досягнення конкурентоспроможності, що відповідає європейським стандартам, неможливі без комплексних заходів щодо упорядкування робочих навчальних планів (як змістової їх складової, так і структури навчальної роботи). Не можна не зазначити, що саме у цій царині маємо чимало невідповідностей між нашою практикою освітньої діяльності та західноєвропейською (і не тільки західноєвропейською, оскільки така сама практика має місце в Канаді, США, інших розвинутих країнах), пов'язаних саме з кількістю навчальних дисциплін, обсягами навчального часу та його розподілом.

Маємо констатувати, що вища транспортна освіта все ще не може позбутися одного з суттєвих недоліків, який складався роками – хибної тенденції до дроблення курсів, формування навчального плану не з



урахуванням інтересів студентів, а під конкретного викладача кафедри. Нині чимало дисциплін навчальних планів підготовки фахівців напряму «Морський та річковий транспорт» можна розглядати лише як розділ повноцінної навчальної дисципліни. За нашою оцінкою, близько третини дисциплін навчальних планів підготовки фахівців з експлуатації транспортних систем мають загальний обсяг 1,0 - 1,5 кредити, а близько 50 % дисциплін – не більше двох кредитів.

Може постати й постає запитання: «А що поганого у тому, що ми маємо велику кількість дисциплін? Може це слід вважати нашим позитивом чи здобутком?!» За нашою оцінкою, надмірна кількість дисциплін (а по суті – це міні-дисципліни) – явище, що має переважно негативні наслідки, а саме:

1. Кожна дисципліна повинна мати чітко визначений предмет і логіку викладання матеріалу. Це має бути матеріал системного характеру, система знань. Цієї системи знань за природою не може бути у міні-дисциплінах.

2. Міні-курс передбачає відповідну кількість годин, у межах яких знову ж таки за природою неможливо запровадити тренінгові технології, організувати виконання комплексних завдань.

3. Велика кількість міні-дисциплін – це неминуче дублювання у викладенні матеріалу, масові ситуації, коли один і той самий категоріальний апарат розглядається у 3–4 дисциплінах, до того ж у різній інтерпретації.

4. Завелика кількість дисциплін, і, передусім, нагромадження тих, які слід розглядати як розділ повноцінного курсу, призводить до перевантаження студентів і викладачів.

У цьому контексті наведемо виступ міністра освіти і науки України В. Г. Кременя на підсумковій колегії МОН, що відбулася 27 лютого 2004 р. у м. Одесі, в якому він зазначив: «Майже в третині перевірених ВНЗ ... тижневе аудиторне навантаження студента становить 34–36 годин. А в деяких воно нерідко перевищує навіть 36 годин. Складається враження, що керівники таких вищих навчальних закладів просто не усвідомлюють, що велика кількість навчальних дисциплін, аудиторних занять – це не лише позбавлення студента можливості бути підготовленим до самостійності в його подальшій професійній діяльності. Це обтяжує і викладача, який втрачає можливість займатися науковою діяльністю, професійно зростати». Молоді асистенти, – наголошував міністр, – страждають насамперед. Це, зрештою, своєрідна «гонка годин», що змушує всілякими способами встановлювати додаткові ставки всупереч нормативам».

І, нарешті, останній (але не останній взагалі) доказ ущербності надмірної кількості дисциплін. Та кількість дисциплін та кредитів на їх вивчення, що нині існує, призведе до того, що нас не зрозуміють у Європі, страждатимуть наші студенти, яким не будуть перезараховувати ті чи інші дисципліни через їх низьку трудомісткість.

Нагадаємо, як виглядає навчальний план класичного європейського зразка. У рік студенти вивчають, як правило, 10 дисциплін (по 5 за семестр).

Аудиторне навантаження на дисципліну – три години, отже, тижневе навантаження становить, як правило, 15 годин. Навчальні плани в окремі навчальні роки містять максимум 6 дисциплін на семестр (на рік 12), отже, максимальне тижневе аудиторне навантаження – 18 годин.

Ще один напрям навчальної діяльності, який потребує підвищеної уваги в процесі підготовки до входження у єдиний європейський освітній простір, – це удосконалення структури робочого часу як викладача, так і студента та наповнення якісно новим змістом різних видів педагогічного навантаження.

За останні роки у більшості ВНЗ України, які готують з експлуатації транспортних систем, сталися позитивні зміни щодо зменшення частки аудиторних занять. Водночас зросли обсяги індивідуальної та самостійної роботи студентів. Але маємо визнати, що зменшення частки аудиторних занять далеко не завжди супроводжувалось і супроводжується якісним наповненням змісту самостійної роботи та контролю її результатів.

За нашими спостереженнями та оцінками, студенти європейських ВНЗ значно плідніше працюють під час самостійної роботи порівняно з нашими студентами, вони мають напружені індивідуальні завдання, які повинні виконати у ході самостійного опрацювання навчального матеріалу. Це і підготовка рефератів, і виконання робіт розрахункового характеру, і підготовка доповідей, реферативних матеріалів із публікацій з тих чи інших проблем та багато іншого. Роботи, що їх має виконати студент під час самостійного опанування навчальної дисципліни, підлягають перевірці професором чи доцентом і захисту під час індивідуально-консультативної роботи викладача зі студентом. Отже, самостійна робота має конкретний результат, вона підлягає перевірці, захисту й оцінюванню. З огляду на досвід зарубіжних ВНЗ маємо переглянути практику організації самостійної роботи, що існує в наших навчальних закладах, наповнити реальним змістом індивідуальну роботу викладача зі студентом.

Розпочинати цю важливу роботу маємо з розробки розгорнутих робочих навчальних програм дисциплін, де має бути «виписана» вся технологія індивідуальної та самостійної роботи студентів, як і інші складові роботи викладача і студента за окремо взятою дисципліною.

Важливою складовою навчальної діяльності була і залишається система оцінювання, діагностика знань студентів. Незалежно від входження до Болонського процесу ця проблема для наших ВНЗ є актуальною, а з огляду на приєднання до вимог європейської спільноти її актуальність на порядок зростає.

У ході підготовки до приєднання до Болонського процесу всім нам належить вирішити триєдине завдання стосовно оцінювання:

- 1) опрацювати найбільш доцільні підходи до діагностики знань студентів з урахуванням накопиченого досвіду у вищій школі України;
- 2) опанувати систему оцінювання знань за шкалою ECTS, тобто шкалою Європейської системи залікових кредитів;

3) відпрацювати «технологію» взаємопереведення оцінок, що прийняті у вітчизняній практиці, й оцінок ECTS.

Друге і третє завдання мають «технологічний» характер, особливих складнощів щодо врахування вимог ECTS тут немає. Однак було і залишається актуальним перше, головне, завдання – як досягти найбільш об'єктивного оцінювання, як зробити, щоб оцінювання виконувало притаманні йому функції, і, передусім, дві головні – контролю і мотивації. За виконання функції контролю мають забезпечуватися об'єктивність оцінки, діагностика реального рівня навчальної роботи. Реалізація функції мотивації означає, що система оцінювання має спонукати студентів до плідної, систематичної роботи та досягнення на цій основі більш якісного рівня знань. Удосконалюючи систему оцінювання знань, маємо зважити на зарубіжний досвід у цій сфері (і передусім країн, що приєдналися до Болонського процесу), узагальнення якого дає підстави для виокремлення таких тенденцій:

1. Вищі навчальні заклади все більшу і більшу увагу приділяють запровадженню комплексних систем оцінювання знань. Ці системи спрямовуються на диференціацію рівня знань студентів, мають реагувати навіть на невеликі коливання глибини засвоєння матеріалу кожним студентом, забезпечувати методично однаковий підхід до оцінювання якості навчання студентів і, як результат, – забезпечувати об'єктивність діагностики знань, соціальну справедливість щодо основного суб'єкта освітньої діяльності – студента.

Для цих систем характерні використання різноманітних шкал та критеріїв, за допомогою яких здійснюється діагностика всіх видів навчальної діяльності, застосування прозорих, заздалегідь відомих методів оцінювання, постійне інформування студентів про результати навчальної діяльності.

Ще раз підкреслимо – на зміну формальним, спрощеним методам діагностики знань приходять комплексні системи, які одночасно забезпечують і об'єктивність оцінювання знань студентів, і мотивацію останніх до плідної роботи упродовж всього періоду навчання.

2. Поширюється усвідомлення того, що важливою, провідною складовою навчального процесу має бути самостійна робота студента, яка повинна мати конкретні змістові характеристики, контролюватися, перевірятися й оцінюватися. Це означає, що в системі загальної діагностики знань важливого значення набувають поточна робота і поточне оцінювання.

Принципово важливим є повсюдне усвідомлення такого: поточна робота і поточне оцінювання – це не намагання «прив'язати» студента до аудиторії та викладача, не засіб змусити ходити на лекції чи семінарські заняття. Логіка тут інша, а саме: є програмний матеріал, який студент має опанувати. Цей матеріал поділяється на дві складові: одна складова – це програмний матеріал, який доводиться до студента у формі лекцій, і друга – це матеріал, що підлягає самостійному опануванню і зміст якого не обов'язково пов'язаний з лекційним матеріалом.

Суттєвим є й такий засновок: цілі блоки програмного матеріалу може бути перевірено й оцінено лише під час поточного контролю – це вміння робити презентації, навички виконання самостійних робіт у формі рефератів, доповідей з конкретних проблем тощо.

Ще раз підкреслимо: якщо є необхідність розмежування матеріалу, є різні форми подання та засвоєння матеріалу, є навчальний матеріал, який можна перевірити та оцінити лише впродовж семестру, то має бути поточне оцінювання, і його слід розглядати як важливу складову загальної діагностики знань.

3. Наступною загальносвітовою тенденцією є переважне проведення іспитів у письмовій формі. Нерідко іспит в усній формі сприймається як порушення прав людини, як форма контролю, за якої із суб'єктивних причин студент не має змоги самореалізуватися, захистити своє право на об'єктивність в оцінюванні знань.

Не можна обійти і таке питання, як використання шпаргалок. У зарубіжних країнах (звичайно, «далекого зарубіжжя») такого явища практично не існує. Це пов'язано як із менталітетом, психологією зарубіжних студентів, так і з надзвичайно жорсткими санкціями щодо тих, хто користується шпаргалкою. У зарубіжній практиці нормальним є явище, коли під час іспиту студент піднімає руку і заявляє, що його сусід користується шпаргалкою і це, як правило, не викликає негативної оцінки з боку однокурсників.

Що ж до заліків, то у багатьох країнах їх просто не існує, і це змушує принаймні замислитися: чому це так, і чи не практикуємо ми проведення заліків лише за давньої звички?

4. Четверта загальносвітова тенденція – це прозорість навчального процесу, повна інформованість студентів про зміст навчальних планів та навчальних програм, розширення вибіркової складової робочих навчальних планів, прозорість критеріїв оцінювання знань. Водночас, студент має право на захист своїх прав у самому широкому розумінні цього слова.

5. Наступна тенденція – це підвищення частки поточного оцінювання у загальному, підсумковому оцінюванні. Так, наприклад, у багатьох вищих навчальних закладах Канади за 100-бальної системи оцінювання максимальна кількість балів, яку студент може набрати на іспиті, становить 45. Отже, більше половини балів студент має «заробити» у процесі поточної роботи.

6. Ще одна тенденція – це застосування різноманітних шкал оцінювання, які мають велику кількість діапазонів, а отже, різновидів оцінок. У більшості англomовних країн застосовуються 100-бальні системи, як наприклад, у США, або 100-процентні, як у Великій Британії, що мають багато варіацій. У багатьох випадках для оцінювання знань використовується додаткова градація, як наприклад, 91–100 балів – оцінка «А», 80–90 балів – оцінка «В» і т. д. У франкомовних країнах для оцінювання знань студентів широко застосовується 20-бальна шкала. У Канаді використовується 12-

бальна шкала, тобто у традиційній чотирибальній шкалі (2, 3, 4, 5) кожна оцінка має додатково ще три значення оцінок (наприклад, 5–; 5; 5+ тощо).

7. Сутність наступної тенденції у розвитку системи оцінювання знань полягає у такому: незважаючи на специфіку викладання окремих дисциплін у різних навчальних закладах, відмінності у програмах, методичному забезпеченні тощо, системи оцінювання, що діють у зарубіжних ВНЗ, як правило, передбачають можливість перезарахування предметів при переході з одного закладу до іншого.

8. Восьма тенденція пов'язана зі зменшенням кількості дисциплін, які є об'єктами оцінювання, з одночасним збільшенням за ними кредитів і трудомісткості опанування знань.

На наше глибоке переконання, підсумкове оцінювання має проводитися у *формі іспиту*. Адже лише при підсумковому оцінюванні знань у формі іспиту маємо можливість перевірити усвідомлення глибинних засад щодо структури, змісту, логіки курсу, розуміння програмного матеріалу як системи знань та взаємозв'язків між змістовими модулями, уміння сформулювати своє ставлення до певної проблеми навчальної дисципліни тощо. З огляду на зазначене викликає сумніви правомірність пропозицій деяких наших колег щодо відмови від іспитів та заміни їх системою поточного модульного контролю.

У контексті входження до Болонського процесу маємо визначитися також із доцільністю збереження ряду усталених складових організації навчального процесу та внести зміни, що корелюють із загальноєвропейською практикою. Так, є необхідність внесення змін і доповнень до порядку ліквідації академзаборгованості. Зазначимо, що студенти західноєвропейських ВНЗ, як правило, мають право ліквідувати академзаборгованість до наступної сесії та продовжити термін навчання.

Потребує критичної оцінки чинний порядок державної атестації на IV курсі. Якщо студент упродовж чотирьох років виконував вимоги державного стандарту, то чи є потреба у додатковому контролі з боку ДЕК? Чи не доцільніше передбачити державний іспит при вступі до магістратури?

Набуття конкурентних переваг, прирощення якості освіти не можливі без активізації навчального процесу. Слід зазначити, що вища школа України ще не повністю позбавилася від шкільних форм організації навчання.

У зв'язку з перебудовчими процесами в країні, зміною навчальних планів певний час ми мали проблеми з навчально-методичним забезпеченням. Бракувало сучасних підручників, посібників, навчальних видань для самостійного вивчення програмного матеріалу. У цей період (далеко не найкращий у нашій історії) склалася своєрідна педагогічна «майстерність», коли викладач змушений був диктувати зміст основних положень теми, а студент – занотовувати цей зміст. Нині ситуація з навчально-методичним забезпеченням суттєво змінилася на краще. З абсолютної більшості дисциплін навчального плану ми маємо добротні, сучасні підручники і посібники, підготовлені нашими викладачами. Проте

тут виникла чергова проблема. Викладачі вже звикли до тієї, м'яко кажучи, своєрідної методики викладання. Одні вже «виросли» на цій методиці й іншої не знають, або не хочуть знати, деякі викладачі усвідомлюють всю хибність викладання під диктовку, але від нього не відмовляються, бо воно їх влаштовує. Чимало й таких викладачів, яким бракує досвіду, професійних навичок, знань із сучасних методик і технологій викладання економічних дисциплін.

Однак за збільшення потоків сучасної наукової інформації репродуктивне засвоєння студентом необхідного обсягу знань стає вже неможливим. Для вирішення цієї проблеми викладачу необхідно широко використовувати весь арсенал сучасних технологій та інтерактивних методів навчання, а з метою розширення діапазону освітніх послуг варто активізувати роботу з розробки і застосування дистанційних програм підготовки фахівців.

Хочемо привернути вашу увагу і до такої суттєвої обставини, яка, за нашою оцінкою, є однією з умов приєднання України до Болонського процесу, – мова йде про започаткування нового етапу у формуванні сучасних відносин між викладачем і студентом, а саме: забезпечення прозорості навчального процесу в найширшому розумінні цього слова, без чого будь-які реформи втратять свій сенс.

Ця прозорість має досягатися передусім завдяки максимальній інформованості студента. Доцільно видати довідники для студентів, забезпечити інформацією про Болонський процес усіх учасників навчального процесу.

Вважаємо, що студенти наших університетів вже на початку семестру повинні знати, що вони мають опанувати, що від них вимагається, якими будуть критерії оцінювання їхніх знань, скільки балів і за що вони можуть отримати під час поточних та підсумкових контрольних заходів. Для цього на відповідних сайтах університетів слід із кожної дисципліни навчального плану розмістити методичні матеріали, складовими яких мають бути: перелік питань, що охоплюють зміст робочої програми дисципліни; приклади типових завдань, що виносяться на іспит; порядок поточного і підсумкового оцінювання знань з дисципліни; особливості поточного контролю знань студентів заочної форми навчання; зразок екзаменаційного білета; список рекомендованої літератури.

Отже, вирішуючи питання максимальної інформованості студентів, маємо довести до кожного з них довідник або розмістити на сайтах ВНЗ комплекти нормативне-методичних матеріалів, складовими яких мають бути посеместрові робочі навчальні плани, інформація про сутність системи залікових кредитів, порядок формування індивідуальних навчальних планів тощо.

Слід зазначити, що сьогодні, незважаючи на приєднання більшості європейських країн до Болонської конвенції, серед наукової і освітянської громадськості не вщухає бурхлива суперечка щодо наслідків цієї події. Дехто

повністю заперечує необхідність інтеграції європейських освітніх систем, дехто вважає, що лише завдяки Болонському процесу вирішаться всі проблеми сучасної освіти. Але істина – десь посередині.

На запитання про те, як слід ставитися до Болонського процесу та його наслідків, може бути така відповідь: не приєднуватися до Болонського процесу – величезна помилка, тим більше, що варто усвідомити – основою загальноєвропейської освітньої реформи є встановлення міжнародних стандартів для дипломів, відсутність яких рано чи пізно стане серйозною перешкодою для випускників українських ВНЗ на ринку праці, що все більше інтернаціоналізується. Однак великою помилкою було б і некритичне ставлення до окремих положень цього процесу, поспішність при впровадженні тих чи інших новацій без створення необхідних передумов.

Болонський процес не є процесом, що має ознаки певної автономії чи надбудови. Це, власне, те, чим мали б опікуватися щоденно, незалежно від того, освячена чи ні ця важлива для освіти діяльність під назвою Болонська декларація. Далі маємо прийняти за вихідну засаду і таке: те, що отримало назву Болонський процес, те, що характеризує його зміст, має бути не уніфікацією європейської освіти, а її гармонізацією.

Болонський процес міг би мати й іншу назву та форми реалізації, але для нас це має означати лише одне: завдяки цьому процесу ми повинні набути нових конкурентних переваг, досягти нового рівня конкурентоспроможності наших випускників і одночасно гармонізувати нашу освіту, зробити так, щоб ми були зрозумілі Європі, а Європа була зрозуміла нам. Ті елементи уніфікації, які є в документах Болонського процесу, маємо так вписати в практику освітньої діяльності, щоб не зашкодити вітчизняній освіті, зберегти елементи власних конкурентних переваг та приростити їх кращими надбаннями світової практики.

**Висновок і перспективи подальших досліджень.** На завершення наголошуємо: спільними зусиллями ми маємо зробити все можливе, щоб прискорити входження України до європейського освітнього простору, зберігши всі надбання вітчизняної освіти та доповнити їх кращими зразками європейського досвіду. При цьому мають враховуватися всі слушні пропозиції щодо удосконалення організації навчального процесу з тим, щоб зробити наступний крок до інтеграції транспортної освіти у світовий освітній простір, не втративши при цьому жодного здобутку, жодного надбання вітчизняної освітньої діяльності. Це принципове положення, від якого ми не повинні відходити за будь-яких експериментів.

Щодо цього питання можна сформулювати **такі пропозиції щодо поліпшення підготовки фахівців з експлуатації транспортних систем:**

– переглянути перелік транспортних спеціальностей, за якими здійснюється підготовка фахівців у вищих навчальних закладах, на основі вивчення тенденцій розвитку потреб національного та світового ринків праці та досвіду країн, що приєдналися до Болонського процесу;

– ступеневу підготовку фахівців пропонується здійснювати на двох рівнях:

– бакалавр (4 роки) – освітньо-кваліфікаційний рівень з повною вищою  
– магістр (двох типів: прикладний магістр (1 рік) за відповідною спеціальністю бакалавра; магістр наук (2 роки) після бакалавра за відповідною спеціальністю);

– переглянути та удосконалити освітньо-професійну програму підготовки бакалаврів і магістрів напряму 0701 – «Транспорт і транспортна інфраструктура» з метою укрупнення дисциплін (не більше шести в семестр);

– впровадити систему організації навчального процесу з урахуванням положень Європейської системи переведу та накопичення кредитів ECTS.

До питання про **формування особистості студента як цілісної індивідуальності**. В основі вирішення цієї проблеми лежить індивідуальний підхід до навчально-виховного процесу. Викладач повинен мати доступ до кожного студента. Діалог, дискусія відіграють в цьому відношенні неабияку роль. Така методологія неможлива без впровадження в навчально-виховний процес практики малих груп.

Звичайно, коли на лекції викладача присутні 100 - 150 студентів, а на семінарі 25 - 30, дійти до кожного досить проблематично. А така практика сьогодні дуже поширена. Відсутність достатньої кількості навчальних приміщень, скорочення обсягів фінансування і ряд інших проблем суттєво обмежують можливості індивідуального підходу до навчання та виховання особистості студента.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1 Модернізація вищої освіти України і Болонський процес / М. Ф. Степко [та ін.] // Журн. Вищ. шк. – 2004. – № 2 - 3. – С. 97 - 125.

2 Бадмаев Б. Ц. Психология и методика ускоренного обучения / Б. Ц. Бадмаев. – М. : Владос, 1998. – 86 с.

3 Казанчан А. К. Методологічну концепцію діалектичної єдності теорії і практики – в повсякденне життя (на прикладі навчального процесу з креслення) / А. К. Казанчан // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції : Становлення якісного освітняського середовища як об'єкт педагогічного дослідження. – Херсон : Айлант, 2006. – вип. 9. – С. 266 - 269.

4 Казанчан А. К. Підвищення якості навчального процесу у світлі принципів Болонського процесу / А. К. Казанчан, А. О. Молчанов // Науковий вісник ХДМІ : науковий журнал. – Херсон : ХДМІ, 2009. – С. 82 - 90.

5 Казанчан А. А. Кредитно-модульно-компетентнісна організація навчання у вищій школі / А. А. Казанчан, А. К. Казанчан // Науковий вісник ХДМІ : науковий журнал. – Херсон : ХДМІ, 2010. – № 1(2). – С. 162 - 173.



**Казанчан А.А., Васильченко Г.Ю. РЕАЛИЗАЦИЯ ОСНОВНЫХ ПРИНЦИПОВ БОЛОНСКОЙ ДЕКЛАРАЦИИ ОТНОСИТЕЛЬНО УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**

*Описана роль реализации основных принципов Болонской декларации относительно усовершенствования подготовки специалистов в сфере эксплуатации транспортных систем – это, в первую очередь, переосмысление структуры и новые принципы организации учебного процесса, создание всех условий для полноценной самостоятельной работы студентов, новый тип отношений между преподавателем и студентом, новые «технологии» овладения знаниями, невозможность применения репродуктивных методов обучения.*

*Ключевые слова: улучшение подготовки специалистов, единое европейское пространство, болонский процесс, конкурентоспособность, европейские стандарты, единый рынок труда, трудоустройство выпускников вузов, образовательно–профессиональная программа, трудоемкость учебной деятельности, зачетные кредиты, научная работа.*

**Kazanchan A.A., Vacilchenko G.U. REALIZATION OF BASIC PRINCIPLES OF BOLOGNA DECLARATION IN TERMS OF IMPROVEMENT OF TRAINING SPECIALISTS IN OPERATING TRANSPORT SYSTEMS**

*Implementation of basic principles of Bologna declaration in terms of improvement of training specialists in operating transport systems is described: first of all, reconsideration of the structure and new principles of organizing the training process, developing conditions for student independent work, new type of relations between teacher and student, new «technologies» of mastering knowledge, impossibility of applying reproductive methods of teaching.*

*Keywords: improvement of training specialists, integrated European space, Bologna process, competitiveness, European standards, single labour market, employment of graduates from higher educational establishments, educational and professional program, intensity of training activities, test credits, scientific work.*

## ПЛАНУВАННЯ І УПРАВЛІННЯ РОЗВИТКУ У КУРСАНТІВ ЕЛЕМЕНТІВ ТВОРЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

*Лисенко В.І.,*

*Херсонська державна морська академія*

*У статті викладені складові компоненти поняття «Творчі здібності», вказані шляхи їх розвитку. Цілеспрямована і систематична робота по плануванню розвитку творчих здібностей дозволить сформувати у курсантів стійкі компоненти творчого стилю мислення.*

*Ключові слова: творчі здібності, індуктивні і дедуктивні узагальнення, стійкий стиль творчого мислення.*

**Вступ.** Сучасному суспільству необхідна така система інтелектуального й психічного розвитку особистості, яка формує стійкі компоненти творчого стилю мислення. Саме така особистість готова до постійних змін у технологіях будь-якої сфери діяльності, творчого застосування набутих знань у нових умовах. Тому для сьогодення характерним є постійний пошук шляхів удосконалення системи освіти. Пропонуються інший зміст, підходи, відношення, в цілому змінюються освітні технології. На сьогодні більш пріоритетними, зокрема, є особистісно орієнтовані технології, спрямовані на розвиток творчих якостей особистості.

Значний вклад в їх розробку і впровадження у загальноосвітній школі внесли І. П. Волков, Г. С. Альтшуллер, І. П. Іванов.

**Актуальність проблеми.** На сучасному етапі розвитку суспільства суттєво зростає роль природничо-математичної підготовки майбутнього фахівця. Реалізація компетентнісного підходу у навчанні націлює викладача на пошук шляхів підвищення ефективності адаптації майбутніх фахівців до умов професійної діяльності, які постійно змінюються. У розв'язанні цієї проблеми провідну роль відіграє принцип професійно-прикладної спрямованості освіти.

Питанням теорії і методики викладання, що базується на принципі професійно-прикладної спрямованості освіти, присвячено значну низку досліджень вітчизняних і зарубіжних учених, які дійшли висновку, що ефективна діяльність фахівця у сучасному технологічному просторі вимагає підвищення рівня математичної підготовки. Водночас, при переході учнів із загальноосвітньої до вищої школи виникає ряд труднощів, а саме: у вищій школі значна частина навчального матеріалу виноситься на самостійне опрацювання, а багато випускників загальноосвітньої школи не вміють самостійно працювати з навчальною та науковою літературою; низький рівень засвоєння дисциплін шкільного курсу обумовлює складнощі в оволодінні програмовим матеріалом у вищій школі значною частиною студентства. Вказані недоліки мають ті учні чи студенти, у яких не сформована система загальнонавчальних інтелектуальних умінь і навичок.

**Мета статті.** Розкрити суть проблеми планування й управління розвитку у курсантів (студентів) елементів творчої діяльності при викладанні природничо-математичних дисциплін.

**Основна частина.** Адаптація майбутнього фахівця у технологічному просторі і навчання у вузі будуть більш ефективними, якщо він у процесі навчання оволодіє пакетом навчальних дій, притаманних творчому стилю мислення, тобто творчими здібностями. Спинимось коротко на аналізі точок зору деяких науковців з даної проблеми.

А. Н. Лук [3] до творчих здібностей відносить такі:

- здатність до переносу досвіду (це по суті здатність до вироблення узагальнюючих стратегій);
- гнучкість мислення (здібності легко і швидко переходити від одного класу явищ до іншого, далекого за змістом);
- спроможність до оцінювання (вибір однієї із багатьох альтернатив до її перевірки, тобто на різних етапах і стадіях творчого процесу);
- легкість генерування ідей.

Г. С.Альтшуллер [1] формулює стратегії розв'язання творчих задач.

Зокрема вказує такі стратегії:

- комбінування;
- аналогізування;
- реконструювання;
- універсалізації та ін.

У посібнику [4] наведено програму формування загальнонавчальних інтелектуальних умінь і навичок. Така термінологія виправдовує себе, оскільки ці уміння необхідні при вивченні всіх навчальних дисциплін та у практичній діяльності людини. Ось перелік деяких з них:

- виявлення причин певних явищ;
- передбачення можливих наслідків певної події;
- знаходження шляхів розв'язування проблеми чи досягнення бажаних результатів;
- знаходження помилок чи неточностей у наведених міркуваннях тощо.

Для загальноосвітньої школи психологами і дидактами розроблені особистісно-орієнтовані технології навчання. До таких технологій, зокрема, відносяться:

- педагогіка співробітництва;
- гуманно-особистісна технологія Ш. А. Амонашвілі;
- технологія розвиваючого навчання Б. Д. Ельконіна, В. В. Давидова;
- система розвиваючого навчання Л. В. Занкова;
- система розвиваючого навчання, спрямована на розвиток творчих якостей особистості (І. П. Волков, Г. С. Альтшуллер, І. П. Іванов);
- особистісно-орієнтоване розвиваюче навчання (І. С. Якиманська);
- технологія саморозвиваючого навчання (Г. К. Селевко).

На рівні конкретних методичних прийомів ці технології у тій чи іншій мірі перетинаються.

В останній час багато уваги приділяється компетентністному підходу до навчання і виховання.

Виникає питання, чому так давно і так багато розроблено, написано, мабуть, у меншій мірі, впроваджено, а ми сьогодні констатуємо суперечності, які мають місце при переході із середньої до вищої школи, труднощі в адаптації молодих фахівців, низький рівень засвоєння матеріалу та ін. Причин тут багато: від соціальних до рівня професійної майстерності вчителя, бажання вчитись студентів (учнів) та централізованого методичного забезпечення навчального процесу, на жаль, не тільки у загальноосвітній школі.

Психологи і дидактики дійшли висновку, що так само, як ми вчимо говорити, писати та ін., треба вчити мислити. Тому головним у навчальному процесі є розвиток творчого мислення та здібностей до самоуправління і самореалізації у навчанні.

Ситуація, коли той, кого навчають, «відкриває» для себе те, що в науці давно відкрито, а не повторює думки викладача, залучає його до пошукової діяльності, а викладача зобов'язує так організувати процес навчання, щоб змістовні лінії заняття служили засобом формування загальнонавчальних інтелектуальних умінь і навичок.

Підвищенню рівня професійної підготовки допомагає планування і управління інтелектуального розвитку майбутнього фахівця протягом усього періоду навчання.

Здійснювати таке планування зможе викладач, який знає суть загальнонавчальних інтелектуальних прийомів діяльності, шляхи та засоби їх формування, володіє ситуацією у плані навченості студентів (учнів) використовувати такі прийоми для самостійного одержання знань. Нагадаємо коротко суть деяких прийомів.

Психологи зазначають, що узагальнення і класифікація – це ті загальнопізнавальні прийоми, які необхідні для оволодіння будь-яким навчальним предметом. Розрізняють емпіричні і теоретичні узагальнення. Емпіричні поділяють на індуктивні узагальнення (коли загальні суттєві властивості невідомі, їх шукають) та дедуктивні узагальнення (коли загальні суттєві властивості відомі і їх слід розпізнати серед запропонованих об'єктів). Психологи такі завдання називають завданнями на розпізнавання і вважають, що їх розв'язання рівносильне формуванню дедуктивних узагальнень.

У вищій школі широко застосовуються теоретичні узагальнення. Але, зокрема, при формуванні понять, застосовують і емпіричні.

*Методична схема індуктивних узагальнень:*

1. Мотивація діяльності, постановка мети узагальнення (помітити закономірність, сформулювати правило, висновок, закон; сформулювати план відповіді чи план розв'язання задач певного типу та ін..)

2. Варіація другорядних властивостей, коли суттєві залишаються незмінними.

3. Пошук спільних суттєвих властивостей на основі конкретних прикладів.

4. Формулювання висновку, виходячи з поставленої мети.

*Способи і прийоми емпіричних узагальнень:*

1. Заміна конкретних числових даних параметрами.
2. Відкидання видових ознак.
3. Зняття обмежень.
4. Складання схем, таблиць тощо.

*Схема емпіричних узагальнень:*

Конкретні приклади – порівняння – пошук закономірностей – абстрагування – формулювання висновку – пошук застосування.

Якщо у загальноосвітній школі емпіричні узагальнення не були сформовані, то такий студент не зможе їх виконувати при вивченні вузівських курсів. Це зобов'язує викладача планувати формування окремих прийомів розумової діяльності чи їх системи. Дієвим засобом формування прийомів розумової діяльності є спеціально складена система завдань.

Слід зазначити, що для повноцінного планування та управління викладач повинен знати, що необхідно для реалізації процесу творчості. Як вказують Т. І. Шамова і Т. М. Давиденко [4, с .52-53] для реалізації процесу творчості необхідно:

- 1) рефлексивне бачення студентами (учнями) доцільності своїх дій;
- 2) створення викладачем банку різноманітних навчальних творчих завдань з метою їх використання для розвитку різних компонентів творчих здібностей особистості;
- 3) створення умов для схематизації завдань;
- 4) використання групових методів розвитку творчих здібностей: мозкового штурму, ділових ігор і ін..

Коротко спинимось на деяких з вказаних вище питань.

Переважає більшість пропонованих завдань у вищій та середній школі з дисциплін природничо-математичного циклу відноситься, за термінологією дидактів, до виконавчих дій. Наприклад: записати рівняння хімічної реакції, яку називає вчитель; розв'язати рівняння (нерівність, систему нерівностей); виконати дослід; прочитати запропоновану схему та інші. Такі завдання сприяють засвоєнню певних алгоритмів та застосуванню одержаних знань у схожих ситуаціях. Для розвитку творчих здібностей корисними є, так звані, плануючі дії. Вони дозволяють орієнтуватись в ситуації, складати план роботи, шукати різні способи її виконання, передбачати наслідки та ін. Цілеспрямованому формуванню плануючого компоненту навчальної діяльності сприяє:

- складання орієнтовних основ дій (ООД), необхідних для розв'язання певних типів задач чи для вирішення проблеми;
- пошук ідеї, гіпотези щодо можливого вирішення проблеми;

- залучення студентів до аналізу етапів вирішення навчальної задачі чи до аналізу власних утруднень;

- складання математичних моделей реальних процесів і явищ та задач, пов'язаних з ними;

- навчання прийомам розвитку сприймання, уяви, пам'яті, мислення, роботі з навчальним текстом тощо.

Позитивну роль у формуванні елементів творчої діяльності відіграють індивідуальні творчі завдання по розробці програмного забезпечення для вирішення певних класів задач. Так, на другому курсі факультету судноводіння при вивченні спеціального розділу вищої математики «Сферична тригонометрія» курсанти одержали завдання розробити програмне забезпечення для розв'язування сферичних трикутників. Такі завдання вимагають крім знання фактичного матеріалу, ще й умінь роботи на комп'ютері та складання математичних моделей певного класу задач. Для складання такої розробки курсанти одержали матеріали щодо умов існування сферичних трикутників.

**Умови існування сферичного трикутника**

$$(1) \ 0^{\circ} < a < 180^{\circ}, \ 0^{\circ} < b < 180^{\circ}, \ 0^{\circ} < c < 180^{\circ}, \ 0^{\circ} < A < 180^{\circ}, \ 0^{\circ} < B < 180^{\circ}, \ 0^{\circ} < C < 180^{\circ},$$

$$(2) \ a + b > c, \ a + c > b, \ b + c > a. \quad b > c - a, \ a > b - c, \ c > a - b.$$

$$(3) \ \frac{a+b+c}{2} > c, \ \frac{a+b+c}{2} > b, \ \frac{a+b+c}{2} > a.$$

$$(4) \ 0 < a + b + c < 360^{\circ},$$

$$(5) \ 180^{\circ} < A + B + C < 540^{\circ},$$

$$(6) \ A + B - C < 180^{\circ}, \ A + C - B < 180^{\circ}, \ B + C - A < 180^{\circ}.$$

(7) Якщо сума двох кутів сферичного трикутника більша, дорівнює або менша  $180^{\circ}$ , то і сума протилежних їм сторін відповідно більша, дорівнює або менша  $180^{\circ}$ .

(8) Якщо різниця двох сторін сферичного трикутника більша, дорівнює або менша нуля, то і різниця протилежних їм кутів відповідно більша, дорівнює або менша нуля.

**Умови існування прямокутного сферичного трикутника**

(1)-(8)

(9) Число сторін, більших  $90^{\circ}$ , має бути парним, а менших  $90^{\circ}$  - непарним.

(10) Катет і протилежний йому кут завжди лежать в одній чверті круга.

Типовими помилками було те, що розробники-курсанти не враховували нерівності [1] та [6], що призводило до появи сторонніх розв'язків, зокрема значення деяких кутів виражались від'ємними числами.

Формуванню елементів творчої діяльності сприяє залучення курсантів до наукової роботи. Так, при вивченні теми «Елементи лінійної алгебри»

курсанти одержали індивідуальне завдання по застосуванню при розв'язуванні деяких економічних задач матричної алгебри.

Наведемо зразки таких завдань.

Задача 1. У деякій галузі виробництва на чотирьох заводах випускають три види продукції. Матриці А та В задають відповідно у першому та другому кварталах об'єми продукції кожного виду на кожному заводі.

$$A = \begin{pmatrix} 2 & 3 & 7 \\ 1 & 2 & 2 \\ 4 & 1 & 5 \\ 2 & 1 & 3 \end{pmatrix}; \quad B = \begin{pmatrix} 3 & 0 & 2 \\ 2 & 4 & 1 \\ 4 & 3 & 2 \\ 5 & 2 & 4 \end{pmatrix}.$$

Знайти:

- а) об'єми продукції;
- б) приріст об'ємів виробництва у другому кварталі, порівняно з першим, по видам продукції і заводам; пояснити, що означають від'ємні та нульові значення.
- в) вираження вартості випущеної продукції за півріччя.

Задача 2. Підприємство випускає три види продукції, використовуючи чотири види продукції. Норми затрат ресурсу  $i$  – го товару на виробництво одиниці продукції  $j$  – го типу задані матрицею  $A_{4 \times 3}$ .

$$A_{4 \times 3} = \begin{pmatrix} 2 & 5 & 3 \\ 0 & 1 & 8 \\ 1 & 3 & 1 \\ 2 & 2 & 3 \end{pmatrix} \quad \text{матриця } X_{3 \times 1} = \begin{pmatrix} 100 \\ 80 \\ 110 \end{pmatrix}$$

задає випуск кількості продукції кожного типу. Визначити S - матрицю повних витрат ресурсів кожного виду на виробництво всієї продукції за даний проміжок часу.

Виконання таких завдань сприяє формуванню у курсантів умінь роботи з науково-популярною літературою та усвідомленню практичної спрямованості навчального процесу

### Висновки та пропозиції:

1. Усвідомлення викладачем складових компонентів творчої діяльності допоможе здійснювати цілеспрямоване і поетапне планування їх розвитку.
2. Позитивну роль у формуванні окремих прийомів розумової діяльності чи їх систем відіграють спеціально складені завдання.
3. Наявність методичної схеми індуктивних узагальнень, виділення способів і прийомів емпіричних узагальнень допоможе викладачам у розробці відповідного методичного забезпечення.
4. Цілеспрямована і систематична робота по плануванню розвитку творчих здібностей дозволить сформувати у курсантів стійкі компоненти творчого стилю мислення.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Альтшуллер Г. С. Творчество как точная наука / Г. С. Альтшуллер. – М., 1979. – 175 с.
2. Лисенко В. І. Планування і управління розвитку особистості – один із засобів реалізації практичної спрямованості навчального процесу : Матеріали Всеукраїнської науково-методичної конференції / В. І. Лисенко. – Херсон : Айлант, 2003. – Вип. 6. – 410 с.
3. Лук А. Н. Психология творчества / А. Н. Лук. – М. : Наука, 1978. – 126 с.
4. Мистецтво життєтворчості особистості : науково-методичний посібник у двох частинах. Ч. 2. – К. : ІЗМН, 1997. – 936 с.
5. Шамова Т. И. Управление познавательным процессом в адаптивной школе / Т. И. Шамова, Т. М. Давиденко. – М. : Центр «Педагогический поиск», 2001. – 384 с.

### **Лысенко В.И.** ПЛАНИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ У КУРСАНТОВ ЭЛЕМЕНТОВ ТВОРЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

*В статье изложены составляющие компоненты понятия «Творческие способности», указаны пути их развития. Целенаправленная и систематическая работа по планированию развития творческих способностей позволит сформировать у курсантов устойчивые компоненты творческого стиля мышления.*

*Ключевые слова: творческие способности, индуктивные и дедуктивные обобщения, устойчивый стиль творческого мышления.*

### **Lysenko V.I.** PLANNING AND MANAGING THE DEVELOPMENT OF CADETS' CREATIVE ACTIVITIES

*The components of the concept 'creative abilities' are specified and the ways for their development are defined. Purposeful and systematic work on planning the development of cadets' creative abilities will allow forming stable components of the cadets' creative thinking style.*

*Keywords: creative abilities, inductive and deductive generalizations, stable style of creative thinking.*



## РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 621.9.01

### ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИО НА ДОНОРНО-АКЦЕПТОРНУЮ РЕКОМБИНАЦИЮ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ СТРУКТУРАХ

*Богданов А.В., Малыгин Б.В., Бень А.П., Коновалов М.Ю.,*

*Херсонская государственная морская академия*

*В статье предложена модель долговременной намагниченности на основе донорно-акцепторной рекомбинации неравновесных носителей заряда, расположенных на границах доменов в магнетиках. Выведены уравнения, описывающие долговременную релаксацию неравновесных носителей заряда. Экспериментально исследовано влияние частоты, длительности и формы импульсов магнитного поля на величину индукции в соленоиде.*

*Ключевые слова: магнетики, домены, донорно-акцепторная рекомбинация носителей заряда, индуктивность, соленоид.*

**Постановка проблемы.** В настоящее время магнитно-импульсная обработка (МИО) нашла широкое применение в машиностроении, обрабатывающей промышленности, медицине и других областях народного хозяйства [1]. МИО используется как для диагностики изделий, так и для повышения их положительных качеств.

Переменное магнитное поле, в отличие от постоянных магнитов, создаёт электродвижущую силу индукции неподвижных электрических зарядов, а также предотвращает разогрев образца при фиксированной величине магнитной индукции. Как показывают экспериментальные результаты, с увеличением температуры намагниченность материала уменьшается.

С другой стороны, значительное увеличение частоты магнитного поля приводит к значительному росту индуктивного сопротивления и соответствующему уменьшению индукции магнитного поля соленоида. Отсюда, для получения положительного эффекта МИО необходимо выбирать оптимальную частоту и форму импульсов магнитного поля.

При рассмотрении магнетиков (тел способных намагничиваться – приобретать магнитные свойства) учитывают магнитные моменты электронов в атомах (спины электронов). Однако, угловая частота кругового движения электрона в плоскости перпендикулярной магнитному полю - Ларморова частота, намного выше обычно используемых частот при МИО. Релаксация свойств намагниченности может продолжаться многие часы и быть обратимой или необратимой.

Для объяснения долговременной релаксации намагниченности ферромагнетиков (веществ, в которых собственное (внутреннее) магнитное поле может в тысячи раз превосходить внешние магнитные поля) учитывают

их доменную структуру. Размер домена  $10^{-3} - 10^{-2}$  см. Под воздействием внешнего магнитного поля домены изменяют размеры или поворачиваются по полю, что, учитывая их размеры, сравнительно невысокую используемую индукцию магнитного поля и жёсткое закрепление в исследуемых структурах, сомнительно. То, что необходимым условием ферромагнетизма является перекрытие волновых функций электронов, указывает на важную роль электронов в объяснении долговременной релаксации намагниченности ферромагнетиков.

**Анализ существующего состояния проблемы и постановка задачи исследования.** Из приведённых литературных данных можно сделать следующие выводы:

1. Долговременную релаксацию приобретаемых изделиями новых свойств в результате МИО невозможно объяснить только ориентацией спинов электронов. В процессе МИО могут происходить как необратимые явления, в частности, увеличение (или уменьшение) приобретаемых изделием положительных качеств, так и обратимые, например, известная петля гистерезиса. Именно процессы в доменах обуславливают долговременные релаксационные явления.

2. Для изменения размеров и поворота доменов с размером  $10^{-3} - 10^{-2}$  см недостаточны магнитные поля, при которых наблюдается, например, магнитный гистерезис, а необходима достаточно большая индукция магнитного поля, создаваемая, например, МИО.

3. Зависимость положительного эффекта МИО от определённого перекрытия волновых функций электронов, от температуры, частоты и формы сигнала указывает на участие захвата и освобождения неравновесных носителей заряда на ловушки, образованные на границе доменов и возможность донорно-акцепторной рекомбинации неравновесных носителей заряда (ДАР) [2-4].

4. Зонную структуру с ловушечными уровнями, аналогичную зонной структуре полупроводников, при исследовании данных структур использовать нельзя. Поэтому, механизм ДАР носителей заряда, используемый для объяснения долговременных релаксационных явлений в синтетическом полупроводниковом алмазе (СПА), требует существенной коррекции.

5. Физической модели влияния МИО на изделия, учитывающей отмеченные выше литературные данные, на сегодня не существует [1]. Параметры МИО зачастую подбираются экспериментально, исходя с величины получаемого положительного эффекта.

Задачей настоящей статьи является построение физической модели для неупорядоченных структур, учитывающей приведённые теоретические и экспериментальные результаты исследований, а также подбор параметров импульсов для получения максимальной магнитной индукции в соленоиде.

Целью работы являлся подбор оптимальных параметров импульсов, при которых происходит максимальное их влияние на характеристики обрабатываемых изделий.

**Построение модели долговременной релаксации намагниченности в неупорядоченных структурах.** Для построения модели долговременной релаксации намагниченности в неупорядоченных структурах, в том числе и в ферромагнетиках, нами учитывались как их доменная структура, так и ДАР неравновесных носителей заряда, образуемых на границах доменов в результате МИО.

Домены отличаются структурой от остального образца, и на их границах образуются донорно-акцепторные пары (ДАП). Рассмотрим границу домена, в которой концентрация акцепторных ловушек (в дальнейшем – акцепторов) в домене равна  $N_a$ , а концентрация донорных ловушек (в дальнейшем – доноров) в неупорядоченной структуре  $N_d$ , где  $N_a > N_d$  (рис.1).

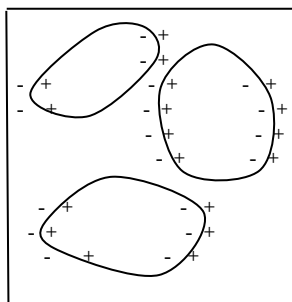


Рисунок 1 – Схема расположения неравновесных зарядов в доменах неупорядоченной структуры

Данная схема справедлива и в противоположном случае, когда в неупорядоченной структуре имеются акцепторы, а в доменах – доноры.

Расстояние между противоположными зарядами в ДАП должны быть не настолько малыми, чтобы произошла их рекомбинация, но достаточно малыми, чтобы кулоновскими силами притяжения между ними невозможно было пренебречь. Соответствующее расстояние между зарядами в ДАП удовлетворяет условию слабого перекрытия волновых функций электронов, что необходимо как для образования ферромагнетизма, так и для эффективной ДАР носителей заряда.

Для использования модели ДАР необходимы следующие ограничения по концентрации акцепторных ловушек [4, 5]:

1) В простейшем случае температурного разброса ловушек расстояние между донорами и акцепторами должно быть намного больше расстояний между соседними атомами в неупорядоченной структуре:

$$N_a^{-1/3} \gg a_p; \quad N_a^{-1/3} \gg r \quad (1)$$

где:  $a_p = \frac{4\pi\epsilon\epsilon_0\hbar}{q^2 m_p^*}$  – боровский радиус дырки;  $m_p^*$  – эффективная масса дырки;

$$r = \sqrt{\frac{\epsilon\epsilon_0 kT}{q^2 N_d}}.$$

2) Концентрация ловушек должна быть достаточно большой, чтобы между ними было малое геометрическое расстояние  $R$ , обуславливающее эффективную ДАР носителей заряда:

$$W_f = W_{f0} \exp\left(-\frac{2R}{a_{DA}}\right) \quad (2)$$

где:  $W_f$  – коэффициент ДАР;  $W_{f0}$  – некоторая постоянная,  $a_{DA}$  – порядка расстояния между ближайшими атомами. Для эффективной ДАР, например в СПА, необходимо, чтобы  $N_a = 10^{17} - 10^{20} \text{ см}^{-3}$ .

В случае температурного разброса ловушек наиболее вероятное расстояние для удалённых ДАП ( $R_m$ ) определяется выражением:

$$R_m = (2\pi N_a)^{-1/3} \quad (3)$$

Энергия кулоновского взаимодействия между ловушками определяется выражением:

$$E_g = \frac{q^2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R_m} \quad (4)$$

В пространственной схеме ДАР (не зонной диаграмме, как в полупроводниках) носителей заряда на границе домена учитываются как положение ловушек с концентрацией  $N_a$ ,  $N_d$ , так и положение свободных неравновесных и равновесных электронов с концентрациями –  $n$ ,  $n_0$  и дырок –  $p$ ,  $p_0$ , соответственно (рис. 2).

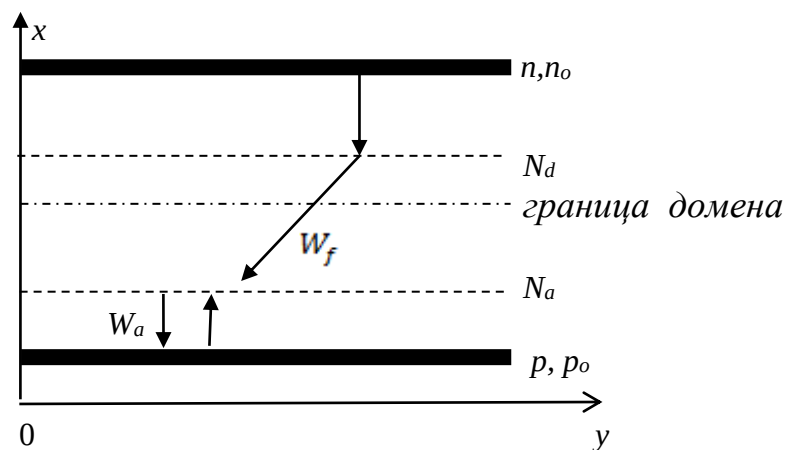


Рисунок 2 – Схема ДАР носителей заряда на границе домена

По представленной схеме на доноры могут захватываться неравновесные и равновесные электроны  $n$ ,  $n_0$ , а на акцепторы могут

захватываться вследствие теплового разогрева и освобождаются с вероятностью  $W_a$  как равновесные, так и не равновесные дырки  $p, p_o$ .

Пусть концентрация положительных доноров равна  $N_+$ , а при захвате на них электронов –  $N_{do}$ . Концентрация отрицательных акцепторов равна  $N_-$ , а при захвате на них дырок –  $N_{ao}$ . В равновесном случае все доноры положительны, а концентрация отрицательных и нейтральных акцепторов, соответственно, равны:  $N_-^0, N_{ao}^0$ .

Доноры с захваченными на них неравновесными электронами с концентрацией  $N_{do}$  образуют с акцепторами, заполненными дырками с концентрацией  $N_{ao}$  ДАП, в которых возможна ДАР с вероятностью  $W_f$ .

Неравновесные электроны и дырки на донорах и акцепторах, соответственно, могут образовываться в результате различных внешних воздействий: МИО, при пропускании электрического тока или под воздействием радиации.

Концентрации как  $N_d$  и  $N_a$ , так и  $N_{do}$  и  $N_{ao}$ , обеспечивающих эффективную ДАР, например в СПА, примерно равны  $10^{16} - 10^{18} \text{ см}^{-3}$ , что намного больше концентрации свободных носителей заряда  $n, n_o, p, p_o$ .

$$N_+, N_-, N_{do}, N_{ao} \ll p + p_o \ll n + n_o \quad (5)$$

Концентрацию свободных дырок можно найти из кинетических уравнений, описывающих изменение со временем концентраций заполненных дырками акцепторов  $\frac{dN_{ao}}{dt}$  и неравновесных дырок  $\frac{dp}{dt}$  при МИО данной структуры. Изменение со временем концентрации заполненных дырками акцепторов обуславливается тремя процессами (рис. 2): захватом свободных дырок на отрицательные акцепторы с вероятностью  $W_a$ , тепловым их освобождением с такой же вероятностью  $W_a$  и их ДАР с неравновесными электронами, захваченными на доноры с вероятностью –  $W_f$ . Изменение со временем концентрации неравновесных дырок обуславливается первыми из двух, указанных выше процессов, но с обратным знаком. С учётом уравнения электрической нейтральности для данного случая получаем систему из трёх уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dN_{ao}}{dt} = (p + p_o)W_a N_- - \frac{p_o W_a N_-^0}{N_{ao}^0} N_{ao} - N_{ao} W_f N_{do} \\ \frac{dp}{dt} = -(p + p_o)W_a N_- + \frac{p_o W_a N_-^0}{N_{ao}^0} N_{ao} \\ N_{ao} - N_{do} = N_a - N_d - p \end{cases} \quad (6)$$

Из решения данной системы уравнений получаем зависимость концентрации свободных дырок от времени ( $t$ ) и температуры ( $T$ ):

$$(p + p_o)(t, T) = \frac{qN_v(N_a - N_d)\exp\left(-\frac{E_a}{kT}\right)}{N_d - cN_a\exp\left[-W_f(N_a - N_d)t\right]} \quad (7)$$

Зависимость электропроводности  $\sigma$  образца от времени  $t$  имеет вид:

$$\sigma = \frac{\sigma_c}{1 - \frac{N_{od} \cdot N_a}{N_d^2} \exp\left[-W_f(N_a - N_d)t\right]} \quad (8)$$

где  $\sigma_{\bar{n}}$  – электропроводность структуры в равновесном случае.

В работах [2-4], было показано, что данная зависимость электропроводности от времени может приводить к отрицательному дифференциальному сопротивлению  $N$ -типа данной структуры. При определённой частоте устройство с отрицательным дифференциальным сопротивлением  $N$ -типа может генерировать колебания (быть генератором напряжения) или переходить в резонанс от внешнего генератора электромагнитных колебаний.

В частности, неравновесные ДАП, находящиеся на границах доменов и являясь фактически некоторым колебательным контуром, имеют некоторую собственную частоту, которая может вступать в резонанс с частотой МИО. Именно поэтому для получения положительного эффекта МИО изделий важна как величина индукции магнитного поля, так и параметры импульсов (форма, длительность, частота). Этим объясняется актуальность проведённых исследований.

**Результаты экспериментальных исследований.** Для экспериментальных исследований влияния длительности, частоты и формы подаваемых на образец импульсов магнитного поля изготавливались соленоиды с различным количеством витков на единицу длины, различным сопротивлением соленоида, различными геометрическими размерами активного пространства соленоидов, с сердечниками и без сердечников. С помощью генератора специальных сигналов создавались синусоидальные, треугольные, прямоугольные и пилообразные импульсы, которые подавались на соленоид. Величина проходящего через соленоид тока, а значит величина и форма образуемых импульсов индукции магнитного поля, снималась через нагрузочное сопротивление, подключенное последовательно к соленоиду. Форма импульсов подаваемого сигнала на соленоид и форма сигнала индукции магнитного импульса (верхний и нижний рисунки на осциллограммах, соответственно) представлены на рис. 3, 4.

Как видно из приведённых осциллограмм, при низких частотах происходит более сильное искажение формы сигнала (рис. 3). При увеличении частоты происходит существенное уменьшение величины индукции магнитного импульса (рис. 4).

На рис. 5 приведена зависимость полного сопротивления соленоида от частоты для различных форм сигнала.

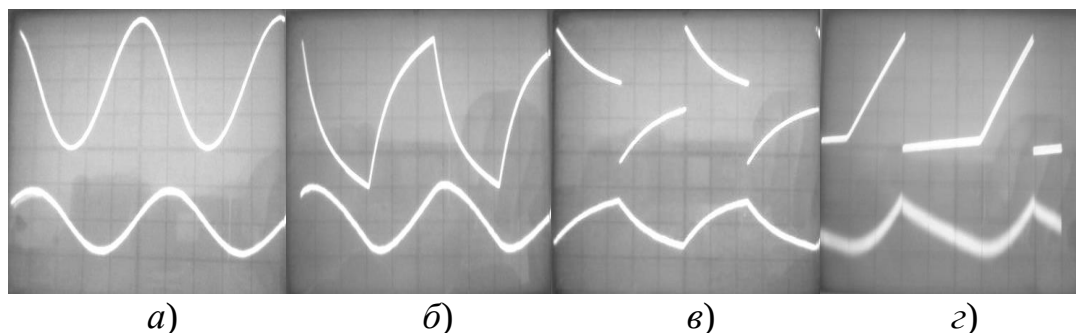


Рисунок 3 – Осциллограммы подаваемого сигнала на соленоид (сверху) и магнитного импульса (снизу) на частоте 100 Гц, соответственно синусоидальной, треугольной, прямоугольной и пилообразной формы

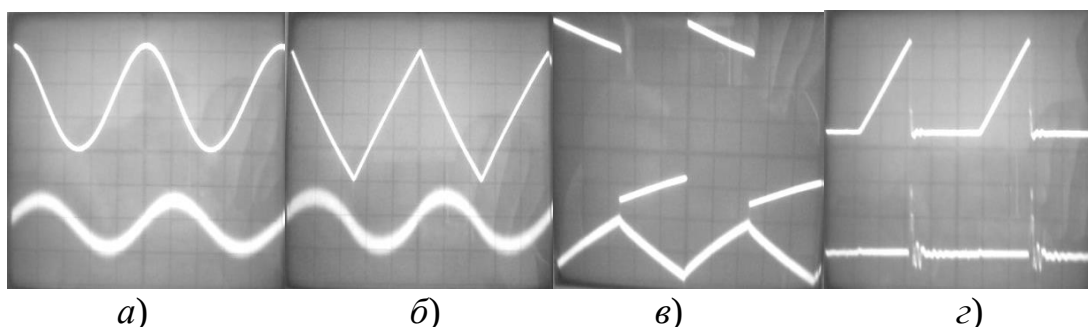


Рисунок 4 – Осциллограммы подаваемого сигнала на соленоид (сверху) и магнитного импульса (снизу) на частоте 1000 Гц, соответственно синусоидальной, треугольной, прямоугольной и пилообразной формы.

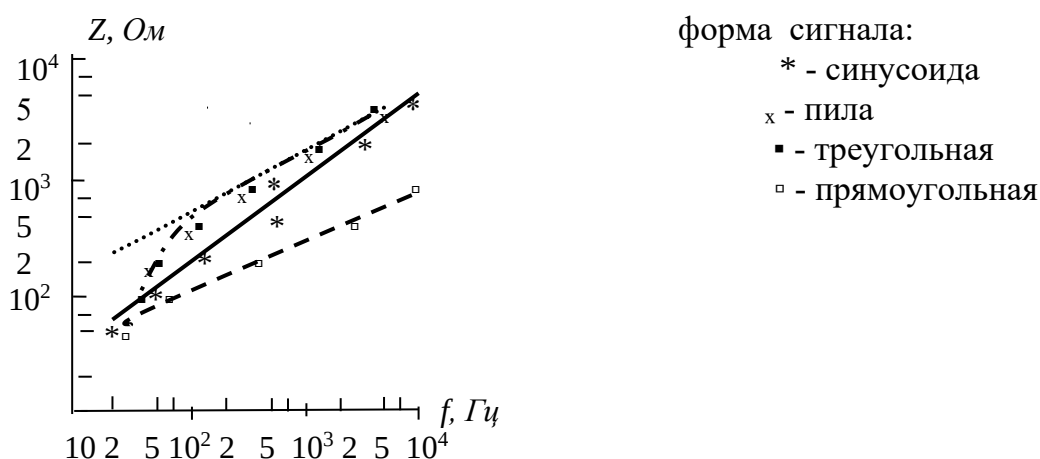


Рисунок 5 – Зависимость полного сопротивления соленоида от частоты для различных форм сигнала

Активное сопротивление первого соленоида равнялось 7,9 Ом, а полное сопротивление на синусоидальном сигнале при 20 Гц равнялось 60 Ом и с увеличением частоты линейно увеличивалось. Учитывая, что индуктивное сопротивление значительно больше активного, выражение для полного сопротивления приобретает вид:

$$Z \approx \omega L \sqrt{1 + \frac{R^2}{\omega^2 L^2}} \quad (9)$$

Индуктивность соленоида, определённая по углу наклона зависимости полного сопротивления от частоты, равнялась  $L = 0,2$  Гн. Полученное значение индуктивности соответствует её значению вычисленной по формуле:

$$L = \mu \mu_0 n^2 S l \quad (10)$$

где  $\mu, \mu_0$  – относительная и абсолютная магнитные проницаемости;  $n$  – количество витков на единицу длины соленоида;  $S, l$  – поперечное сечение и длина соленоида.

### Выводы.

1. Предложенная в статье модель позволяет пояснить и описать аналитически долговременную намагничённость в процессе МИО не с помощью изменения размеров или поворота по полю доменов, а ДАР носителей заряда на границах доменов.

2. Известные уравнения, описывающие ДАР, используемые в зонной теории полупроводников, преобразованы для объяснения аналогичных явлений в неупорядоченных структурах. Известная зонная диаграмма электронных переходов в полупроводниках заменена обычной пространственной схемой переходов электронов.

3. Экспериментально показано, что возрастание индукции магнитного поля ограничивается частотой и формой импульса магнитного поля. Увеличение частоты сигнала или уменьшения фронта импульса приводит к практически линейному уменьшению индукции магнитного поля при неизменном напряжении, подаваемом на соленоид.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малыгин Б. В. Магнитное упрочение изделий (теория и практика) / Б. В. Малыгин, А. П. Бень. – Херсон : Издательство Херсонского государственного морского института, 2009. – 352 с.

2. Богданов А. В. Механизм образования отрицательного дифференциального сопротивления  $N$  – типа в неупорядоченных структурах. / А. В. Богданов, Б. В. Малыгин, М. Ю. Коновалов, А. П. Бень. – ААЭКС, 2011 (в печати).

3. Богданов А. В. Вольтамперные характеристики синтетических полупроводниковых алмазов, легированных в процессе синтеза бором. / Богданов А. В., Преснов В. А. // Изв. вузов СССР ; Сер. Физика. – 1978. – № 9. – С. 130-132.

4. Богданов А. В. Приборы на основе полупроводниковых алмазов / Богданов А. В., Викулин И. М. // Обзоры по электронной технике. Серия 2. Полупроводниковые приборы. Выпуск 3 (1274). – Москва: Изд-во ЦНИИ «Электроника», 1987. – 56 с.



5. Бонч-Бруевич В. Л. Физика полупроводников / В. Л. Бонч-Бруевич, С. Г. Калашников. – М. : Наука, 1977. – 672 с.

**Богданов О.В., Малигін Б.В., Бень А.П., Коновалов М.Ю.** ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ МІО НА ДОНОРНО-АКЦЕПТОРНУ РЕКОМБІНАЦІЮ НОСІЇВ ЗАРЯДУ В НЕВПОРЯДКОВАНИХ СТРУКТУРАХ

*У статті запропонована модель довгострокової намагніченості на основі донорно-акцепторної рекомбінації неврівноважених носіїв заряду, розташованих на кордонах доменів в магнетиках. Виведені рівняння, що описують довготривалу релаксацію неврівноважених носіїв заряду. Експериментально досліджено вплив частоти, тривалості та форми імпульсів магнітного поля на величину індукції в соленоїді.*

*Ключові слова: магнетики, домени, донорно-акцепторна рекомбінація носіїв заряду, індуктивність, соленоїд.*

**Bogdanov A.V., Malygin B.V., Ben A.P., Konovalov M.Y.** INFLUENCE OF MPT PARAMETERS ON DONOR-ACCEPTOR RECOMBINATION OF CHARGE CARRIERS IN DISORDERED STRUCTURES

*A model of long-term magnetization on the basis of donor-acceptor recombination of disordered charge carries located at the domain borders in magnetic is proposed. The equations describing the long-term relaxation of disordered charge carriers are done. The effect of frequency, duration and shape of the pulses in the magnetic field on the induction value in solenoid is experimentally researched.*

*Keywords: magnetic, domains, donor-acceptor recombination of charge carriers, inductance, solenoid.*

## ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОГО ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

**Івченко Т.І.,**

*Херсонська державна морська академія,*

**Шарко О.В.,**

*Херсонський національний технічний університет,*

**Наговський Д.А.,**

*Херсонська державна морська академія*

*У роботі з використанням методу математичного планування експерименту отримано результати оптимізації багатокомпонентних сумішей з розрахунком безпосереднього призначення тканин, умов і часу їх експлуатації. Використаний підхід є одним з наукових принципів поліпшення структури асортименту текстильних матеріалів.*

*Ключові слова: текстильні матеріали, багатокомпонентні суміші, лляний котонін, асортимент тканин.*

**Вступ.** Відомо, що стандарти, які діють на текстильні матеріали, охоплюють обмежену кількість показників: міцність, лінійна щільність, технологічність нанесення на деталі складного профілю [1, 2]. Найважливіші показники споживчих властивостей пряжі – гігроскопічність, естетичні властивості, теплові, електричні та інші у стандарти не введені і при проектування сумішей не враховуються. Проте, цей перелік показників якості пряжі визначає споживчі й експлуатаційні властивості готових текстильних виробів – тканини і трикотажу.

У даний час при виробленні трикотажу й тканин, що містять лляний котонін, використовують в сумішах різні хімічні волокна: лавсан, нітрон, віскозу та ін. Важливим завданням є оптимізація сумішей котоніну з хімічними волокнами за геометричними параметрами, оскільки при змішуванні волокон з великою різницею за середньою довжиною і товщиною може виникнути значна нерівномірність суміші. При складанні сумішей лляного котоніну з різними видами хімічних волокон необхідно так підбирати довжину хімічних волокон, щоб максимально усунути нерівномірність за довжиною проектованої суміші, а також збільшити середню довжину волокон у суміші. Для визначення оптимального складу суміші до лляного котоніну додавали послідовно хімічні волокна різної довжини (від 7,5 до 51,5 мм), відповідно розподіл волокон котоніну за довжиною і вмістом становив від 10 до 90 % (з інтервалом 10 %).

**Постановка задачі.** Виходячи з наведеного вище, виникає проблема оптимізації багатокомпонентних сумішей з урахуванням споживчих властивостей тканин, їх призначення, а також геометричних параметрів змішуваних волокон. Дану проблему вирішували методом математичного планування експерименту, де вхідними факторами були властивості та геометричні параметри змішуваних волокон.

**Мета роботи.** Оптимізувати склад багатокомпонентних сумішей методом математичного планування експерименту з урахуванням споживчих властивостей тканин, їх призначення, а також геометричних параметрів змішуваних волокон.

**Обговорення експериментальних результатів.** У результаті виконаних теоретичних розрахунків були отримані криві зміни середньої довжини волокон залежно від їх довжини і пайового вмісту. У кожному випадку були розраховані середня довжина і коефіцієнт варіації волокон за довжиною. Для перевірки теоретичних розрахунків було досліджено довжину волокон у суміші, що складається з 60 % лляного катоніну і 40 % лавсану. У таблиці 1 наведено основні показники змішуваних волокон.

Таблиця 1 – Основні показники змішуваних волокон

| Показник                                   | Котонін | Лавсан |
|--------------------------------------------|---------|--------|
| Середня лінійна щільність волокон, текс    | 0,597   | 0,17   |
| Середня довжина волокон, мм                | 25,95   | 33,35  |
| Коефіцієнт варіації волокон за довжиною, % | 38,93   | 12,96  |

Довжину волокон в суміші визначали розсортовуванням штапелю на групи волокон у певних інтервалах довжин і оцінювали кількість волокон в окремих групах за їх масою. Повторюваність досліджень дорівнювала 5-ти. За середніми показниками з 5-ти навішувань було розраховано середню довжину волокон суміші, середнє квадратичне відхилення волокон і коефіцієнт варіації волокон суміші за довжиною.

У таблиці 2 наведено результати теоретичних розрахунків середньої довжини і коефіцієнта варіації волокон суміші за довжиною. Крім того, наведено аналогічні показники, розраховані за результатами експериментального дослідження довжини волокон даної суміші.

Таблиця 2 – Теоретичні та експериментальні показники геометричних розмірів волокон

| Показник                                          | Дані теоретичних розрахунків | Дані експериментальних досліджень |
|---------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------|
| Середня довжина волокон суміші, мм                | 30,00                        | 30,02                             |
| Середнє квадратичне відхилення, мм                | 9,21                         | 8,35                              |
| Коефіцієнт варіації волокон суміші за довжиною, % | 30,70                        | 27,91                             |

Для перевірки відтворюваності процесу і порівняння теоретично розрахованих величин з вибірковими використовували критерій Кохрена [3].

Оскільки розрахункове значення критерію Кохрена за всіма середніми показниками менше табличного значення, тому відмінність у теоретично отриманих результатах і експериментальних даних не є статичною значущою.

Пошук оптимального пайового складу суміші з різних волокон для здобуття пряжі із заданими споживчими властивостями залежно від вимог, що ставляться до якості готових тканин може виконуватися методом симплексного планування за допомогою пакету програм Microsoft Excel.

Сутність методу полягає у здобутті регресійної моделі, що визначає взаємозв'язок «склад – властивість продукту з суміші». Модель має вигляд:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

при виконанні обмеження  $\sum x_i = 1 \quad 1 \geq x_i \geq 0$

Геометричне місце точок, що задовольняють прийнятому обмеженню, є  $(n-1)$  – мірний правильний симплекс, тобто трикутник при  $n = 3$ , тетраедр при  $n = 4$  і так далі [4].

Кожній точці такого симплексу відповідає суміш сповна певного складу, і навпаки, будь-якому набору долей компонентів  $x_i$ , що задовольняють умові (1), відповідає певна точка симплексу.

Матриця планування складається з урахуванням вимог до якості готових тканин відповідно до технічної документації і з урахуванням результатів досліджень вчених за визначенням коефіцієнтів впливу окремих видів волокон на властивості готових виробів.

Матриця має розмірність  $m \cdot n$ , де  $m$  – кількість вимог, що ставляться до пряжі для виготовлення певного вигляду тканин;  $n$  – кількість компонентів суміші. Потрібно знайти такі значення  $x_1, x_2, \dots, x_n$  (пайова участь різних видів волокон в суміші), при яких забезпечуються задані вимоги до суміші і виконується цільова функція (критерій оптимізації) [1].

Як критерій оптимізації застосовували цільову функцію мінімізації вартості прядильної суміші:

$$F \min = C_1 X_1 + C_2 X_2 + \dots + C_n X_n, \quad (2)$$

де  $F \min$  – цільова функція (вартість суміші);

$C_i$  – оптова ціна  $i$  – того волокна за тону;

$X_i$  – пайова участь кожного волокна в суміші.

Геометричні параметри змішуваних волокон впливають на товщину, а відповідно на міцність отримуваної пряжі. Тому, обов'язковим етапом оптимізації складу сумішей є розрахунок мінімально можливої лінійної щільності багатокомпонентної пряжі:

$$T_{np} = (d^2 (1 + 0,0001 C_v^2 d) n \gamma) / 1274, \quad (3)$$

де  $T_{np}$  – мінімально можлива лінійна щільність пряжі з суміші, текс;

$d$  – середня товщина волокон в суміші, мкм;

$C_v$  – коефіцієнт варіації волокон за товщиною найбільш нерівномірного волокна %;

$n$  – кількість волокон в перерізі пряжі, шт.;

$\gamma$  – середня об'ємна щільність волокон в суміші, г/см<sup>3</sup>.

У таблиці 3 наведено дані оптимізації складу суміші з хімічних волокон і лляного катоніну для асортименту сорочково-платтяних тканин. Розрахунок виконували за оптимального складу суміші при виконанні заданих вимог (графі 2), а також при різному вмісті лляного катоніну в суміші від 10 до 80 %.

Аналіз отриманих результатів показує, що запропонований метод оптимізації складу дає можливість отримувати суміші різних волокон, відповідні необхідним споживчим властивостям готової пряжі і тканин. Метод дозволяє змінювати кількість компонентів суміші, варіювати вміст будь-якого одного або декількох компонентів суміші, задавати і прогнозовано керувати необхідними споживчими властивостями готових виробів, а також очікуваною лінійною щільністю пряжі і мінімальною вартістю суміші.

Таблиця 3 – Результати оптимізації складу суміші з хімічних волокон і лляного катоніну

| Найменування показників                                                  | Варіанти експерименту |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                                                                          | 1                     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    |
| <b>Шукані значення складових суміші <math>(x_1+x_2+x_3+x_4)=1</math></b> |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |
| льняний катонін $x_1$                                                    | 0,74                  | 0,10 | 0,20 | 0,30 | 0,40 | 0,50 | 0,60 | 0,70 | 0,80 |
| лавсан $x_2$                                                             | 0,13                  | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0,06 | 0,11 | 0,10 |
| нітрон $x_3$                                                             | 0,13                  | 0,50 | 0,50 | 0,26 | 0,26 | 0,26 | 0,20 | 0,15 | 0,10 |
| віскоза $x_4$                                                            | 0                     | 0,40 | 0,30 | 0,44 | 0,34 | 0,24 | 0,14 | 0,04 | 0    |
| <b>Задані вимоги до суміші в балах</b>                                   |                       |      |      |      |      |      |      |      |      |
| Міцність при розтягуванні $Y_1 \geq 3$                                   | 4,13                  | 3,60 | 3,70 | 3,56 | 3,66 | 3,77 | 3,91 | 4,06 | 4,10 |
| Незминаємість $Y_2 \leq 4$                                               | 3,38                  | 3,50 | 3,50 | 3,26 | 3,26 | 3,27 | 3,31 | 3,36 | 3,30 |
| Стійкість до стирання $Y_3 \geq 3$                                       | 3,94                  | 3,10 | 3,20 | 3,30 | 3,40 | 3,52 | 3,69 | 3,86 | 3,98 |
| Стійкість заправованих складок $Y_4 \geq 4$                              | 3,51                  | 4,00 | 4,00 | 3,52 | 3,52 | 3,52 | 3,52 | 3,51 | 3,40 |
| Стійкість до усадки $Y_5 \geq 4$                                         | 4,36                  | 4,00 | 4,00 | 4,48 | 4,48 | 4,47 | 4,43 | 4,38 | 4,50 |
| Стійкість до електростатичних зарядів $Y_6 \geq 4$                       | 4,26                  | 3,70 | 3,90 | 3,38 | 3,58 | 3,78 | 3,98 | 4,17 | 4,20 |

Продовження табл. 3

|                                                                                      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Вологість, %<br>$Y_{7 \geq 10}$                                                      | 10   | 7,25 | 7,25 | 10   | 10   | 10   | 10   | 10   | 10,6 |
| Термостійкість<br>$Y_{8 \geq 4}$                                                     | 4,74 | 4,50 | 4,50 | 4,74 | 4,74 | 4,74 | 4,74 | 4,74 | 4,80 |
| Стійкість до<br>пілінгу $Y_{9 \geq 4}$                                               | 4,36 | 4,10 | 4,20 | 4,30 | 4,40 | 4,74 | 4,74 | 4,74 | 4,80 |
| М'якість $Y_{10 \geq 4}$                                                             | 4,62 | 3,70 | 3,90 | 3,86 | 4,06 | 4,25 | 4,40 | 4,55 | 4,70 |
| Свіжість відтінку<br>$Y_{11 \geq 4}$                                                 | 4,49 | 3,20 | 3,40 | 3,60 | 3,80 | 4,00 | 4,20 | 4,40 | 4,60 |
| $F_{\min}$ – вартість 1<br>тонни суміші,<br>тис. грн.                                | 3,12 | 5,32 | 5,06 | 4,34 | 4,07 | 3,81 | 3,52 | 3,24 | 2,88 |
| $T_{\text{пр}}$ – мінімально<br>можлива лінійна<br>щільність пряжі з<br>суміші, текс | 27,9 | 16,5 | 18,6 | 18,4 | 20,7 | 23,0 | 25,0 | 27,0 | 29,3 |

**Висновки.** Таким чином, використання методу математичного планування експерименту забезпечує оптимізацію багатокомпонентних сумішей у виробничих умовах, що, у свою чергу, надає можливість отримувати вироби з прогнозованими споживчими властивостями при мінімальних витратах часу і засобів на сировині.

При дослідженні якості пряжі як вихідного матеріалу для виготовлення тканин певного призначення дуже важливим етапом є вивчення її споживчих властивостей, що мають безпосередній вплив на якість готових тканин. Пропонований метод оптимізації котоніновмісних сумішей дозволяє складати суміші з високою рівномірністю за довжиною волокон.

Метод має велике практичне значення при формуванні сумішей у виробничих умовах, тому що дає можливість теоретично підібрати довжину змішуваних волокон із забезпеченням високої рівномірності суміші. Достовірність даного методу теоретичної оптимізації суміші підтверджується результатами експериментальних досліджень.

У майбутньому заплановано розширити склад вихідного матеріалу і розглянути зміни фізико-механічних показників.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Орешко С. П. Оптимизация котонинодержащих смесей / С. П. Орешко, Р. П. Якимчук, Ю. В. Коваль // Вестник ХГТУ. – 1999. – №3(6). – С. 390
2. Лабораторный практикум по текстильному материаловедению : Учеб. пособ. для вузов / [Кобляков А. И., Кукин Г. Н., Соловьев А. Н. и др.] – М. : Легкопромиздат, 1998. – 344 с.
3. Методы и средства исследований механико-технологических процессов текстильной пром-ти. – М. : Легкая индустрия, 1980. – 392 с.

4. Чайковская А. В. Комплексная оценка качества текстильных материалов / А. В. Чайковская, Л. В. Полищук, И. С. Галык и др. – К. : Техника, 1989. – 254 с.

**Ивченко Т.И., Шарко О.В., Наговский Д.А. ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА**

*В работе с использованием метода математического планирования эксперимента получены результаты оптимизации многокомпонентных смесей с расчетом непосредственного назначения тканей, условий и времени их эксплуатации. Использованный подход является одним из научных принципов улучшения структуры ассортимента текстильных материалов.*

*Ключевые слова: текстильные материалы, многокомпонентные смеси, льняной котонин, ассортимент тканей.*

**Ivchenko T.I., Sharko O.V., Nagovskiy D.A. OPTIMIZATION OF MULTICOMPONENT TEXTILE MATERIALS COMPOSITION BY MATHEMATICAL PLANNING OF EXPERIMENT**

*By using the method of mathematical planning of experiment, results of optimizing multicomponent mixtures subject to direct use of textile materials, conditions and timing of their service are received. This approach is one of the scientific principles of improving textile materials structure.*

*Keywords: textile materials, multicomponent mixtures, flax cotton, assortment of fabrics.*

## ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ НЕРАЗЪЕМНЫХ КОРПУСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ

*Кавун В.И., Кавун А.В.,*

*Херсонская государственная морская академия*

*В статье изложены экспериментальные исследования по повышению прочности и долговечности деталей машин и механизмов с использованием методов прикладного магнетизма, в том числе надежность заклепочных и сварных соединений. Предложены методы по уменьшению концентрации термических и сборочных напряжений в заклепочных узлах и сварочных соединениях при помощи магнитно-импульсной обработки (МИО).*

*Ключевые слова: сварные соединения, заклепочные соединения, магнитно-импульсная обработка.*

**Введение.** В судостроении существуют два основных способа соединения деталей корпусных конструкций: сварной и заклепочный. Первый способ – основной, лишь в отдельных конструкциях корпуса применяются заклепочные соединения. В судостроении главным образом применяется метод электросварки. Соединения, выполненные электросваркой, обладают большими преимуществами, по сравнению с соединениями, выполненными при помощи клепки. Внедрение электросварки позволило:

- уменьшить вес сварных конструкций корпуса приблизительно на 20%;
- улучшить непроницаемость корпусных соединений;
- удешевить на 50% стоимость постройки судна и резко сократить ее сроки благодаря упрощению технологии сборки и сварки корпусных конструкций;
- сократить операции изготовления деталей корпуса в корпусообрабатывающих цехах и, как следствие, снизить стоимость оборудования на судостроительных заводах;
- резко уменьшить шум при судокорпусных работах в связи с ограничением применения клепальных работ и резкого сокращения чеканки, а также прирубочных и сверловочных работ, исключительно вредно отражающихся на здоровье рабочих.

Основными недостатками сварных швов являются: несоответствие размеров шва заданным, пористость шва, трещины, кратеры, непровар основного металла или его пережог и т. п.

Контроль качества сварных швов, в которых могут быть непровары, шлаковые включения, трещины, раковины и другие дефекты, производится выборочно просвечиванием чаще гамма-лучами и реже рентгеновскими лучами и методом ультразвуковой или магнитной дефектоскопии.



Испытание сварных швов на плотность производится водяной струей под давлением или промазкой швов керосином, который легко проникает в микрометрические трещины и оставляет жирные пятна на покрытой меловым раствором обратной стороне шва, наконец, продувкой шва воздухом (на обратную сторону шва наносится мыльный раствор) и т. п.

Заклепочные соединения выполняют в отдельных корпусных соединениях (соединение ширстрека с палубным стрингером или барьерные швы в районе скулы и т. д.).

Для обеспечения снятия с судна судовых агрегатов или установок при демонтаже, большие размеры которых не позволяют пронести их через отверстия в корпусе, предусматриваются съемные конструкции, крепящиеся к основным конструкциям корпуса сваркой, заклепками, болтами или на шпильках.

**Изложение основного материала.** В лаборатории энергосбережения кафедры судовых энергетических установок и общинженерной подготовки проводились исследовательские работы по повышению прочности и долговечности деталей машин и механизмов с использованием методов прикладного магнетизма, в том числе надежность заклепочных и сварных соединений. В опытах решались задачи – уменьшить концентрации термических и сборочных напряжений в заклепочных узлах и сварочных соединениях при помощи магнитно-импульсной обработки (МИО).

Заклепочные соединения обрабатывали на установке «Магнитрон - Универсал» с набором соленоидов и ферромагнитных контейнеров. Функциональная схема установки показана на рис. 1, схема обработки заклепочного соединения в контейнерах с феррожидкостью показана на рис. 2.

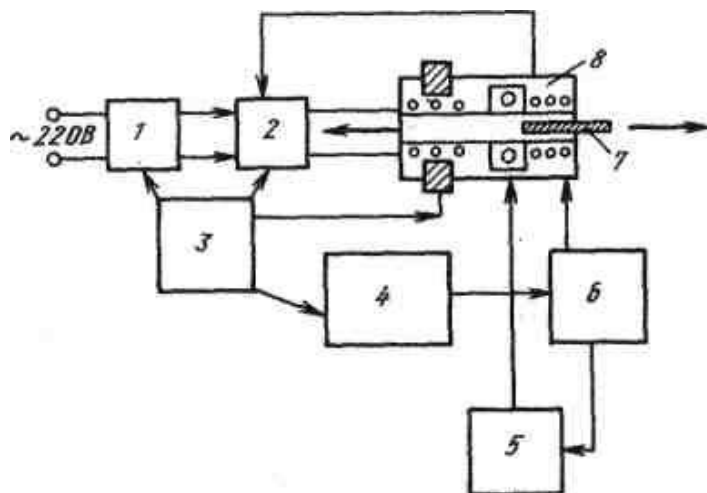


Рисунок 1 – Функциональная схема установки «Магнитрон-Универсал» для МИО деталей машин, сборочных единиц, сварных и заклепочных соединений и т.п.:

1 – силовой блок; 2 – блок управления; 3 – мини-компьютер управляющего типа для оптимизации режима МИО; 4 – электронный блок усиления и преобразователь; 5 – устройство для контроля свойств материала; 6 – размагничивающее устройство; 7 – сердечник-концентратор магнитного поля; 8 – соленоид цилиндрического типа.

Испытывали заклепочные соединения из стали, алюминиевых и медных сплавов, испытывали заклепки нормальной точности диаметром 4...25 мм, специальные заклепки диаметром 3...30 мм, длиной до 100 мм из углеродистых сталей (Ст3, сталей 10, 20 и др.), легированных сталей (15Х25Т, 12Х18Н10Т и др.), цветных металлов и их сплавов (латунь Л63, сплавы алюминия АЛ, Д16 и др.) и т.п.

Испытывали заклепки общего и специального назначения с полукруглой, потайной и полупотайной головкой в заклепочных швах внахлестку и стыковых швах (однорядные, двухрядные и многорядные) заклепочные соединения металлоконструкций химического машиностроения и емкостей для криогенной техники с рядовым и шахматным расположением заклепок.

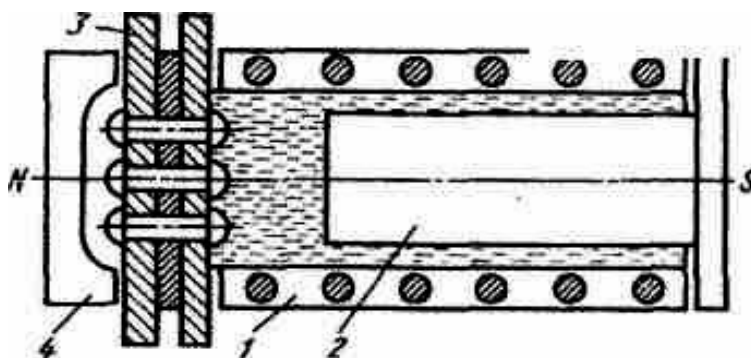


Рисунок 2 – Схема МИО заклепочных соединений металлоконструкций с использованием стальных контейнеров с ферромагнитной жидкостью:

1 – соленоид с ферромагнитной жидкостью на основе мелкодисперсного магнетита и олеиновой кислоты; 2 – ферромагнитный сердечник – концентратор поля; 3 – заклепочное соединение; 4 – металлическая скоба для замыкания магнитного потока

Проводили МИО закаленных, отожженных и термически необработанных крепежных деталей, а также заклепочных соединениях, в которых применялись ранее упрочненные заклепки. Обработка стальных заклепок проводилась северной полярностью в 2...5 циклов при напряженности поля 500...1000 кА/м, время импульса 0,3...1,0 с. При МИО заклепок из сплавов цветных металлов применялись стальные контейнеры – магнитопроводы, которые заполнялись ферромагнитной жидкостью, напряженность поля повышалась до 800...1000 кА/м.

МИО заклепок с защитными покрытиями повышает их стойкость на 10...60 %. Стойкость защитных покрытий при этом возрастает на 10...40 % (табл. 1). Материал заклепок и соединяемых деталей – стали, латуни, сплавы алюминия; МИО проводилась соленоидом установки «Магнитрон - Универсал» при применении ферромагнитной жидкости. Режим обработки: напряженность поля 400...800 кА/м, время импульса 0,5...0,8 с, число циклов 2...5, время между циклами 5 мин, обрабатывали верх и низ заклепочного шва, выдержка после обработки 24...48 ч. Магнитоупрочнение было эффективным как для термообработанных, так и для незакаленных заклепок и чем сложнее и ответственнее заклепочное соединение, тем была выше эффективность новой

технологии. Динамические испытания заклепочных швов из углеродистых и легированных сталей, сплавов цветных металлов и специальных сплавов толщиной 5...50 мм показали, что за счет МИО повышается как прочность всего соединения, так и отдельных элементов заклепочного шва в 1,3...1,5 раза (табл. 2). В табл. 2 за единицу принималась прочность соединения на основании многочисленных опытных данных эксплуатации конструкций конкретного типа заклепочных соединений.

Таблица 1 – Относительная стойкость заклепочных соединений и защитных покрытий плотных двухрядных швов с шахматным расположением заклепок при МИО.

| Заклепки                                                       | Марка материала | Относительная стойкость, % |                    |
|----------------------------------------------------------------|-----------------|----------------------------|--------------------|
|                                                                |                 | Заклепочного соединения    | Защитного покрытия |
| С полукруглой головкой нормальной точности диаметром 3...30 мм | Ст3             | 120...130                  | 130...160          |
|                                                                | 10кп            | 115...130                  | 120...140          |
|                                                                | 12Х13           | 110...130                  | 115...120          |
|                                                                | 9Г2             | 130...140                  | 115...130          |
|                                                                | 12Х21Н5Т        | 140...160                  | 120...150          |
|                                                                | Л63             | 120...145                  | —                  |
|                                                                | АД1             | 120...135                  | —                  |
|                                                                | Д16             | 110...140                  | —                  |
| Специальная диаметром 4...30 мм                                | Ст3             | 110...120                  | 120...130          |
|                                                                | 10кп            | 130...150                  | 110...140          |
|                                                                | 12Х13           | 125...140                  | 125...130          |
|                                                                | 9Г2             | 120...150                  | 115...150          |
|                                                                | 12Х21Н5Т        | 110...130                  | —                  |
|                                                                | Л63             | 120...140                  | —                  |
|                                                                | АД1             | 120...135                  | —                  |
|                                                                | Д16             | 140...160                  | —                  |

Опыты показали, что при проектировании и расчетах заклепочных соединений следует ввести коэффициенты снижения рассчитанного запаса прочности при МИО: для узлов из стальных деталей 0,8...0,95, а для узлов из сплавов цветных металлов 0,75...0,85.

В современной технике из неразъемных соединений наиболее широко применяют сварные. Основными недостатками сварных металлоконструкций и деталей машин являются повышенные (в 5...20 раз) концентрации напряжений в зоне сварного шва.

Для уменьшения напряжения в сварных деталях применялась локальная МИО поверхности сварных швов и трещиноопасной области пришовной зоны неразъемных металлоконструкций корпуса судна. Обработку проводили торцом соленоида установки при напряженности поля до 2000 кА/м.

Применяли соленоид специальной конструкции, позволяющий обрабатывать швы сварных металлоконструкций толщиной до 200 мм.

Соленоид позволял фокусировать (концентрировать) магнитное поле на угол 30...60°, что позволяло улучшать сварные соединения на толщину 5...200 мм. МИО шва фокусированным полем проводилось путем перемещения соленоида по месту сварки и участкам пришовной зоны. Перемещение соленоида велось с перекрытием 0,2...0,5 диаметра полости. Обработку проводили за 5... 11 циклов.

Стальные швы толщиной 5...50 мм обрабатывались полем напряженностью 300...500 кА/м при длительности импульса 0,5...1 с.

Таблица 2 – Повышение прочности заклепочных соединений при МИО

| Тип заклепочного соединения                    | Материал       | Прочность соединения полученная при МИО |
|------------------------------------------------|----------------|-----------------------------------------|
| Внахлестку                                     | Сталь          | 1,3                                     |
|                                                | Сплав алюминия | 1,5                                     |
|                                                | Сплав меди     | 1,6                                     |
| Стыковой однорядный                            | Сталь          | 1,8                                     |
|                                                | Сплав алюминия | 2,6                                     |
|                                                | Сплав меди     | 1,8                                     |
| Многорядный                                    | Сталь          | 1,8                                     |
|                                                | Сплав алюминия | 2,2                                     |
|                                                | Сплав меди     | 2,8                                     |
| Многорядный с шахматным расположением заклепок | Сталь          | 1,6                                     |
|                                                | Сплав алюминия | 2,0                                     |
|                                                | Сплав меди     | 2,3                                     |

Таблица 3 – Изменение концентрация напряжений и характеристик конструкции, %, после МИО сварного шва

| Марка материала | Концентрация напряжений | Коррозионная стойкость | Предел выносливости | Скорость роста трещин в зоне сварного шва | Долговечность соединения |
|-----------------|-------------------------|------------------------|---------------------|-------------------------------------------|--------------------------|
| 08кп            | 85                      | 110                    | 86                  | 65                                        | 120                      |
| 20, 20Х, 25Л    | 75                      | 118                    | 80                  | 70                                        | 145                      |
| 40, 45Х, 20ХМ   | 80                      | 120                    | 75                  | 70                                        | 130                      |
| 30ХГТ, 35ХГСА   | 80                      | 125                    | 70                  | 70                                        | 125                      |
| 12ХН2, 20Х13    | 65                      | 125                    | 60                  | 70                                        | 130                      |
| АМЦ, АМч2       | 75                      | 110                    | 75                  | 80                                        | 120                      |
| АД31            | 80                      | 120                    | 70                  | 75                                        | 120                      |
| Д12, Д16, Д18   | 65                      | 125                    | 70                  | 65                                        | 140                      |

Сварные конструкции из сплавов цветных металлов (латунь, бронза и др.) обрабатывались полем напряженностью 500...2000 кА/м при длительности импульса 0,5...2 с. МИО стальных швов испытывались как при комнатной

температуре, так и при температуре 200...800 °С. В последнем случае соленоиды охлаждались водой, которая циркулировала по водоохлаждаемому змеевику соленоида. Исследования показали, что максимальный эффект МИО стальных швов обеспечивает импульс, напряженность которого равна 30...50 % магнитного насыщения металла. Изучалась МИО стыковых сварных швов толщиной 10...50 мм для уменьшения концентрации напряжений, а также для повышения коррозионной стойкости и долговечности. МИО проводилась на опытной установке. Режим обработки: для сталей – напряженность поля 430 к А/ц, импульс 1,0 с; для сплавов цветных металлов – напряженность поля 500...1000 кА/м, импульс 0,6...2,5 с, число циклов 3...5, выдержка между циклами 5 мин; после МИО детали выдерживались на неметаллических стеллажах 24 ч.

Таблица 4 – Характеристики сварных конструкций после МИО, %

| Конструкция              | Концентрация напряжений | Предел выносливости | Долговечность |
|--------------------------|-------------------------|---------------------|---------------|
| Судовой дизель           | 40                      | 140                 | 150           |
| Подъемный кран           | 45                      | 130                 | 140           |
| Корпус судна             | 50                      | 130                 | 120           |
| Судовой валопровод       | 55                      | 140                 | 140           |
| Паросиловая арматура     | 50                      | 150                 | 150           |
| Трубопроводы             | 40                      | 140                 | 150           |
| Корпуса электроаппаратов | 50                      | 150                 | 150           |
| Электроарматура          | 25                      | 140                 | 130           |

Опыты (табл. 4) показали, что за счет МИО швов соединений из черных и цветных металлов уменьшается концентрация напряжений в 3...5 раз. При этом механические и эксплуатационные характеристики конструкции повышаются не менее чем на 30 %.

Если проводить МИО зоны шва при повышенной температуре, когда в зоне кристаллизации происходят превращения 1-го и 2-го рода, то улучшаются микроструктура сплава и ориентация блоков кристаллитов. Последнее обусловило резкое (в 5...6 раз) уменьшение образования усталостных микротрещин (в зоне  $L = (1...8) \cdot b$ , где  $b$  – ширина шва при сложных динамических условиях работы узла. Эффективность МИО сварных соединений в сборочных единицах некоторых отраслей промышленности показана в табл. 4. МИО в 2,5...3 раза снижает концентрацию напряжений в сварном шве, в 1,2...1,5 раза повышает сопротивление усталости и долговечность сварного соединения.

Для снижения концентраций напряжений в швах сварных металлоконструкций необходима повторная МИО по «замкнутому контуру». Напряженность поля зависит от металла шва и колеблется от 100 до 1000 кА/м для сталей и до 400...4000 кА/м для сплавов цветных металлов. Обработку выполняют за 4...5 циклов, двумя перемещающимися соленоидами при продолжительности импульса 1...2 с. Для швов с явными дефектами МИО

дает отрицательный эффект. Наиболее эффективна МИО для снижения напряжений в сварных горячих швах (сразу после сварки) листовых металлоконструкций. При МИО оптимальная температура металла шва должна быть не выше 150...850°C. Концентрация силовых линий и величина напряженности магнитного поля при МИО зависят от условий работы шва, особенно для деталей, работающих при знакопеременных нагрузках в агрессивной среде и повышенной температуре. Для повышения надежности работы заклепочных швов (соединений), а также различных разъемных соединений, например болтовых, шпилечных и других, эффективна динамическая МИО с оптимальной программой цикла, которая создается и управляется с помощью микрокомпьютеров. Опыты показали, что практически для любых деталей и сборочных единиц методы МИО эффективны с применением гибких магнитопроводов, заполненных ферромагнитной жидкостью.

**Выводы.** При МИО стойкость заклепочных швов общего и специального назначения в стальных конструкциях повышается в 1,4...1,6 раза. Коррозионная стойкость соединения возрастает на 20...50%. За счет магнитной обработки сварных швов из малоуглеродистой и легированной стали (независимо от толщины соединения) в зоне шва и пришовной зоне устраняется до 70...90 % остаточных напряжений. Рекомендуемый режим обработки: напряженность поля 300...500 кА/м, время импульса 0,6...2,0 с, число импульсов 10...20, выдержка после упрочнения не менее 24 часов.

Независимо от материала сварных деталей или конструкций, вследствие МИО концентрации напряжений уменьшаются не менее чем на 50 %, подверженность образованию микро трещин в пришовной зоне снижается на 30...40 %, а коррозионная, усталостная стойкость и долговечность соединения возрастает на 20...65 %. Затрата энергии в импульсе при обработке сварных металлоконструкций не превышает 200...1000 кДж на 1т. изделия. Запас прочности заклепочных и сварных соединений за счет МИО повышается на 10...25 %.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малыгин Б. В. Магнитное упрочнение инструмента, деталей машин и сборочных единиц (Теория, практика, перспектива) : монографія / Б. В. Малыгин. – Херсон : «ВАСТ», 2004. – 340 с.
2. Малыгин Б. В. Магнитное упрочнение изделий (Теория и практика) : монографія / Б. В. Малыгин, А. П. Бень – Херсон : ХДМИ, 2009. – 352 с.
3. Малыгин Б. В. Новое в теории и практике прикладного магнетизма : труды 3-й Международной научно-технической конференции [Металлофизика, механика материалов, наноструктур и процессов деформирования, «Металлдеформ-2009»], (3-5 июня 2009 г., г. Самара) / Б. В. Малыгин. – Самара : Самарский государственный аэрокосмический университет, 2009. – С. 16.

4. Малыгин Б. В. Исследование влияния магнитного поля на физико-технические свойства сталей и чугунок : збірка наукових праць у п'яти томах Міжнародної науково-практичної конференції [«Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті», MINTT – 2009], (25-27 травня 2009 р., Херсон) / Б.В. Малыгин, А. В. Кавун, И. В. Блах. – Т. 4. – Херсон : Вид-во ХДМІ, 2009. – С. 102-105.

5. Патент на корисну модель 45376 України, МПК C21D 10/00, B23P 25/00. Спосіб підвищення надійності кріпильних рознімних з'єднань / Малигін Б. В., Бені А. П., Кавун В. І., Кавун О. В. ; заявник і патентовласник Херсонський державний морський інститут. – № u 2009 05032; заявл. 21.05.2009; опубл. 10.11.2009, Бюл. № 21.

**Кавун В.І., Кавун А.В. ПІДВИЩЕННЯ МІЦНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ НЕРОЗ'ЄМНИХ КОРПУСНИХ З'ЄДНАНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНОЇ ОБРОБКИ**

*У статті викладено експериментальне дослідження щодо підвищення міцності і довговічності деталей машин і механізмів з використанням методів прикладного магнетизму, в тому числі надійність заклепувальних і зварних з'єднань. Запропоновано методи по зменшенню концентрації термічних і складальних напруг в заклепувальних вузлах і зварювальних з'єднаннях за допомогою магнітно-імпульсної обробки (МІО).*

*Ключові слова: зварні з'єднання, заклепувальні з'єднання, магнітно-імпульсна обробка.*

**Kavun V.I., Kavun A.V. INCREASING STRENGTH AND DURABILITY OF PERMANENT HULL JOINTS BY USING MAGNETIC PULSE PROCESSING METHOD**

*Experimental research on increasing strength and durability of machine parts and mechanisms by using applied magnetism methods including reliability of rivet and welded joints is stated. Methods to reduce concentration of thermal and assembly stresses in rivet assemblies and welded joints by using magnetic-pulse treatment (MPT) are proposed.*

*Keywords: welded joints, rivet joints, magnetic-pulse treatment.*

## ОХРАНА ТРУДА ЭКИПАЖА СУДНА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ШТАТНОГО РЕЙСА

*Леонов В.Е., Чабан В.А.,*

*Херсонская государственная морская академия*

*В статье приведены сведения по нормированию параметров метеоусловий в рабочих помещениях судна. На примере машинно-котельного отделения (МКО) судна, как наиболее напряженного участка по тепловыделению и эмиссии токсичных компонентов показано, что параметры метеоусловий, регламентируемые нормативно-правовыми актами, нарушаются, что отрицательно влияет на охрану труда, здоровье экипажа, обслуживающего МКО. Предложено новое экономически и экологически обоснованное техническое решение, позволяющее обеспечить нормальные санитарно-гигиенические условия в МКО, оптимальные, допустимые параметры метеоусловий в МКО.*

*Ключевые слова: охрана труда, параметры микроклимата, безопасность экипажа, машинно-котельное отделение, относительная влажность, скорость движения воздушных масс, температура в машинном отделении.*

**Введение.** В машино-котельном отделении (МКО) судна поддерживается искусственный микроклимат.

Международная конвенция по охране человеческой жизни на море – СОЛАС-74 – направлена на защиту жизни и здоровья людей, работающих в море.[1, 2].

**Цель исследования.** Климатические условия являются важнейшими санитарно-гигиеническими параметрами охраны труда. Они характеризуются температурой, относительной влажностью и скоростью движения воздушных масс в рабочей зоне, а также тепловым излучением от нагревательных поверхностей технологического оборудования. Эти факторы могут оказать существенное влияние на самочувствие и работоспособность человека, производительность и безопасность его труда. Поэтому создание нормальных климатических условий является одной из важнейших первоочередных задач на судне.

В реальных условиях плавания (Средиземное море) температура в МКО летом 38-42<sup>0</sup>С (при норме 18-22<sup>0</sup>С, табл. 1), зимой 18-22<sup>0</sup>С (при норме 17-19<sup>0</sup>С, табл. 1), относительная влажность воздуха в летнее время 80-85% (при норме 40-60%, табл. 1), в зимнее время 50-55% (при норме 40-60%, табл. 1). Система принудительной вентиляции включает в себя два приточных вентилятора производительностью каждый 1500 м<sup>3</sup>/час, два вытяжных производительностью 1200 м<sup>3</sup>/час каждый. Судовая установка состоит из: двух главных двигателей марки 48 NVD, мощностью 1400 кВт каждый и трех ВДГ марки КА492 мощностью 180 кВт каждый. Таким образом, очевидны нарушения параметров метеоусловий в МКО в реальных условиях.

С целью создания нормальных условий труда для персонала установлены оптимальные и допустимые нормы производственного



микроклимата, которые нормируются с учётом периода года, категории тяжести выполняемых работ и избыточного тепла [3-5].

Для систем кондиционирования воздуха, работающих с рециркуляцией, доля использования циркулируемого воздуха при работе МКО в летнем режиме допускается не более 80%, в зимнем – не более 50% от требуемого количества при обязательной подаче внешнего воздуха.

При определении воздействий климатических условий на организм человека исходят из так называемой терморегуляции организма, под которой понимают совокупность всех физиологических факторов, обеспечивающих процесс теплообмена между организмом и внешней средой и сохранением температуры тела на постоянном уровне (36,6<sup>0</sup>C), независимо от внешней температуры.

Человек в нормальных условиях непрерывно отдает теплоту в окружающую среду.

Из общего количества тепловой энергии при 18–20<sup>0</sup>C приходится:

- на лучеиспускание (радиацию) – 45%;
- на испарение (потоотделение) – 25%;
- на конвекцию – 30%;

Такое распределение теряемой человеком теплоты считается наиболее оптимальным.

**Результаты исследований.** На состояние организма в условиях повышенных температур большое влияние оказывает влажность воздуха. При температуре 16 – 20 <sup>0</sup>C оптимальной является влажность воздуха 40 – 45%. Повышение влажности до 80% вызывает неприятные ощущения, а влажность выше 85% приводит к нарушению терморегуляции организма. Неблагоприятное воздействие на организм человека оказывает и пониженная влажность (ниже 30%).

На терморегуляцию организма большое влияние оказывает скорость движения воздушных масс. Если температура воздуха выше температуры тела, то повышенная скорость движения воздуха приводит к перегреву тела. При низких температурах движущегося воздуха возрастает теплоотдача от человека.

Оптимальные метеорологические параметры в рабочих зонах судна (табл. 1) нормируются ГОСТ 12.1.005-88 [3]. Различают помещения с незначительным выделением теплоты менее 20 ккал/м<sup>3</sup>\*час и со значительным – более 20 ккал/м<sup>3</sup>\*час избытка явного тепла.

Объем приточно-вытяжной вентиляции в МКО из расчета отвода избыточного тепла определяется по формуле: [5]

$$V_{\text{в}} = V_0 + \frac{Q - 0,29 \cdot V_0 \cdot (t_0 - t_H)}{0,29 \cdot (t_{\text{yx}} - t_H)},$$

где  $V_{\text{т}}$  – объем наружного воздуха, подаваемого в помещение при расчете по избыткам явного тепла, м<sup>3</sup>/час;

$V_0$  – объем воздуха, удаляемого из рабочей зоны помещения местными воздухоудувками на технологические нужды, м<sup>3</sup>/час;

$Q_{\text{я}}$  – избыток явного тепла, ккал/м<sup>3</sup>·час;

$t_0$  – температура воздуха, удаляемого из рабочей зоны помещения, °С ( $t_0 = t_{\text{норм}}$ );

$t_{\text{н}}$  – температура наружного воздуха, подаваемого в помещение, °С;

$t_{\text{ух}}$  – температура воздуха, удаляемого из помещения за пределами рабочей зоны, °С.

Таблица 1 – Оптимальные и допустимые параметры метеоусловий в производственных помещениях [3].

| Пе-ри-од года | Категория работ    | Температура, °С |                   |              |                |              |              | Относительная влажность, %                                          |              | Скорость движения воздуха, м/с                            |  |
|---------------|--------------------|-----------------|-------------------|--------------|----------------|--------------|--------------|---------------------------------------------------------------------|--------------|-----------------------------------------------------------|--|
|               |                    | опти-мальная    | допустимая        |              |                |              | опти-мальная | допусти-мая на рабочих местах постоян-ных и непосто-янных, не более | опти-мальная | допусти-мая на рабочих местах постоян-ных и непосто-янных |  |
|               |                    |                 | верх-няя граница  |              | нижняя граница |              |              |                                                                     |              |                                                           |  |
|               |                    |                 | на рабочих местах |              |                |              |              |                                                                     |              |                                                           |  |
|               |                    |                 | постоянных        | непостоянных | постоянных     | непостоянных |              |                                                                     |              |                                                           |  |
| Холодный      | Легкая-Іа          | 22-24           | 25                | 26           | 21             | 18           | 40-60        | 75                                                                  | 0,1          | Не более 0,1                                              |  |
|               | Легкая-Іб          | 21-23           | 24                | 25           | 20             | 17           | 40-60        | 75                                                                  | 0,1          | Не более 0,2                                              |  |
|               | Средней тяжести-Іа | 18-20           | 23                | 24           | 17             | 15           | 40-60        | 75                                                                  | 0,2          | Не более 0,3                                              |  |
|               | Средней тяжести-Іб | 17-19           | 21                | 23           | 15             | 13           | 40-60        | 75                                                                  | 0,2          | Не более 0,4                                              |  |
|               | Тяжелая-ІІІ        | 16-18           | 19                | 20           | 13             | 12           | 40-60        | 75                                                                  | 0,3          | Не более 0,5                                              |  |
|               |                    |                 |                   |              |                |              |              |                                                                     |              |                                                           |  |
| Тёплый        | Легкая-Іа          | 23-25           | 28                | 30           | 22             | 20           | 40-60        | 55<br>(при 28 <sup>0</sup> С)                                       | 0,1          | 0,1-0,2                                                   |  |
|               | Легкая-Іб          | 22-24           | 28                | 30           | 21             | 19           | 40-60        | 60<br>(при 27 <sup>0</sup> С)                                       | 0,2          | 0,1-0,3                                                   |  |
|               | Средней тяжести-Іа | 21-23           | 27                | 29           | 18             | 17           | 40-60        | 65<br>(при 26 <sup>0</sup> С)                                       | 0,3          | 0,2-0,4                                                   |  |
|               | Средней тяжести-Іб | 20-22           | 27                | 29           | 16             | 15           | 40-60        | 70<br>(при 25 <sup>0</sup> С)                                       | 0,3          | 0,2-0,5                                                   |  |
|               | Тяжелая-ІІІ        | 18-20           | 26                | 28           | 15             | 13           | 40-60        | 75<br>(при 24 <sup>0</sup> С и ниже)                                | 0,4          | 0,2-0,6                                                   |  |
|               |                    |                 |                   |              |                |              |              |                                                                     |              |                                                           |  |

Принудительная вентиляция в МКО осуществляется с целью обеспечению оптимальных, допустимых параметров метеоусловий, отвода избыточного явного тепла.

Разработано новое техническое решение по очистке воздуха рабочей зоны МКО и обеспечению оптимальных, допустимых параметров метеоусловий, суть которого заключается в следующем:

– атмосферный воздух не забирается снаружи помещения МКО и не выбрасывается за его пределы;

- очистка и обработка воздуха МКО проводится в замкнутом рабочем объеме МКО;
- процесс очистки и кондиционирования воздуха МКО проводится в комбинированном аппарате (рис. 1).

Стадии процесса обработки и очистки воздуха МКО:

I. Адсорбция паров масла, углеводородов топлива, в воздухе МКО на активированном угле (АУ).

II. Химическая адсорбция токсических компонентов, содержащихся в отработанных газах СЭУ, при загрузке химических соединений в химвозы, на цеолите (Ц) первого поколения ( $x\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot y\text{SiO}_2 \cdot \text{Me}_n\text{Z} \cdot \text{H}_2\text{O}$ ).

III. Охлаждение воздуха рабочей зоны МКО с помощью хладагента (ХЛ) до оптимальных, допустимых пределов температуры и относительной влажности воздуха.

IV. Повышение температуры в рабочей зоне МКО с помощью теплоносителей (ТН) до оптимальных, допустимых значений температуры и относительной влажности.

При реализации процесса не возникает перепада скорости движения воздушных масс, скорость движения воздушных масс в МКО близка к нулю.

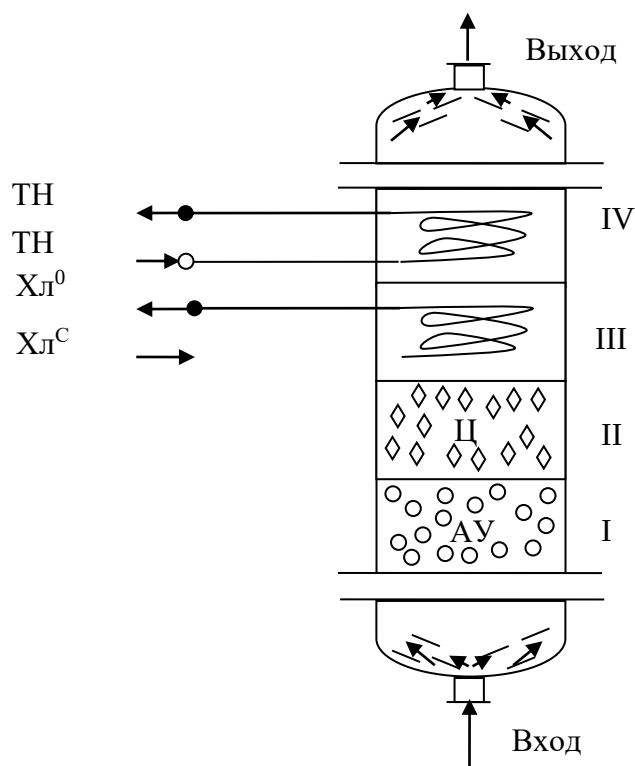


Рисунок 1 – Аппарат для обеспечения оптимальных и допустимых параметров микроклимата в МКО

**Выводы.** Таким образом, в результате выполненной работы показано, что параметры микроклимата в машино-котельном отделении не соответствуют нормируемым требованиям.

Разработано эффективное экономически и экологически обоснованное новое техническое решение, позволяющее обеспечить нормальные безопасные, безвредные условия труда экипажа в МКО.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. SOLAS : consolidated text of the International Convention for the Safety of Life at Sea - 1974. – London IMO, 2004. – 566 p.
2. Леонов В. Е. Основы экологии и охрана окружающей среды : Монография. / В. Е. Леонов, В. Ф. Ходаковский, Л. Б. Куликова – Херсон : Видавництво ХДМІ, 2010. – 352 с.
3. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны : ГОСТ 12.1.005-88 – [Принято и введено в действие постановлением Госстандарта России от 20.06.2000, № 159-СТ. Дата введения 2000.12.01].
4. Белов С. В. Безопасность жизнедеятельности / С. В. Белов – М. : Высшая школа, 1999. – 275 с.
5. Леонов В. Е. Исследование и нормирование метеорологических параметров в рабочем помещении : Методические указания к выполнению лабораторных работ / В. Е. Леонов. – Новосибирск : НГАВТ, 2002. – 17 с.

**Леонов В.Є., Чабан В.О. ОХОРОНА ПРАЦІ ЕКІПАЖА СУДНА ПРИ ВИКОНАННІ ШТАТНОГО РЕЙСА**

*У статті наведені відомості по нормуванню параметрів метеоумов в робочих приміщеннях судна. На прикладі машино-котельного відділення (МКВ) судна, як найбільш напруженої ділянки з тепловиділення і емісії токсичних компонентів показано, що параметри метеоумов, регламентовані нормативно-правовими актами, порушуються, що негативно впливає на охорону праці, здоров'я екіпажу, який обслуговує МКВ. Запропоновано нове економічно та екологічно обгрунтоване технічне рішення, що дозволяє забезпечити нормальні санітарно-гігієнічні умови в МКВ, оптимальні, допустимі параметри метеовузлів в МКВ.*

*Ключові слова: охорона праці, параметри мікроклімату, безпека екіпажу, машиннокотельне відділення, відносна вологість, швидкість руху воздушних мас, температура у машинному відділенні.*

**Leonov V.E., Chaban V.O. HEALTH AND SAFETY CREW BOAT FOR THE IMPLEMENTATION OF FLIGHT STAFF**

*The article presents information on the valuation parameters of meteorological conditions in the work area of the vessel. On the example of engine and boiler room (ICE) of the vessel, as the most intense area of heat generation and emission of toxic components show that the parameters of meteorological conditions, which are covered by regulations are violated, that adversely affects the health and safety and health of the crew, maintenance of the ICE. A new economically and environmentally sound technical solutions to ensure normal sanitary conditions in the ICE optimal, permissible parameters of meteorological conditions in the ICE.*

*Keywords: safety, microclimate parameters, safety crew, engine and boiler room, relative humidity, speed of movement of air masses, the temperature in the engine room.*

## ПУТИ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ПИРАТСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА МОРЕ

*Леонов В.Е., Чабан В.А., Ковалев В.С.,*

*Херсонская государственная морская академия*

*В статье рассмотрены вопросы пиратской деятельности на морском транспорте. Проанализированы наиболее опасные регионы пиратской активности.*

*Предложены пути нейтрализации пиратской деятельности экипажами судов при нападении пиратов.*

*Нападения пиратов на суда связаны непосредственно с экологическими катастрофами, в частности, инициирование взрывов, пожаров на танкерах, сухогрузах, химовозах, газовозах и, как следствие, с последующим загрязнением морской среды нефтепродуктами, химическими соединениями, тяжелыми металлами, отработанным ядерным топливом.*

*Ключевые слова: пиратство, наблюдение, защита, маневрирование, сигналы.*

**Введение.** В международном праве пиратство — это преступление международного характера, состоящее в незаконном захвате, ограблении или потоплении судов, совершённое в открытом море. Независимо от флага пиратские суда могут быть захвачены кораблями или летательными аппаратами, состоящими на службе какой-либо страны и уполномоченными для этой цели.

Высокая общественная опасность пиратства обуславливается тем, что оно причиняет серьёзный материальный ущерб и подрывает принцип свободы и безопасности судоходства в море, дезорганизует движение морских транспортных средств, имеет устойчивую тенденцию к росту.

### **Постановка проблемы.**

Основные районы пиратских нападений:

1. Юго-Восточная Азия и Южно-Китайское море (Малаккский пролив, Индонезия, Филиппины, Таиланд).
2. Западная Африка (Нигерия, Сенегал, Ангола, Гана), Индийский океан, Восточная Африка (Индия, Шри-Ланка, Бангладеш, Сомали, Танзания).
3. Южная Америка и Карибское море (Бразилия, Колумбия, Венесуэла, Эквадор, Никарагуа, Гайана).

Площадь водной акватории вышеуказанных районов составляет более 1,1 млн. квадратных миль (2,5 млн. км<sup>2</sup>). Длина побережья Сомали приблизительно равна длине всего Восточного побережья США. Путь через Суэцкий канал, через Аденский залив, является главным путем следования судов, направляющихся из Азии в Европу и Восточное побережье США. Эти судоходные маршруты отвечают за 1/10 часть мировой торговли. Этот район является одним из наиглавнейших морских судоходных путей мира, где нефтяные танкеры и другие торговые суда перевозят груз.

Статистика пиратских нападений приведена на рисунке 1.

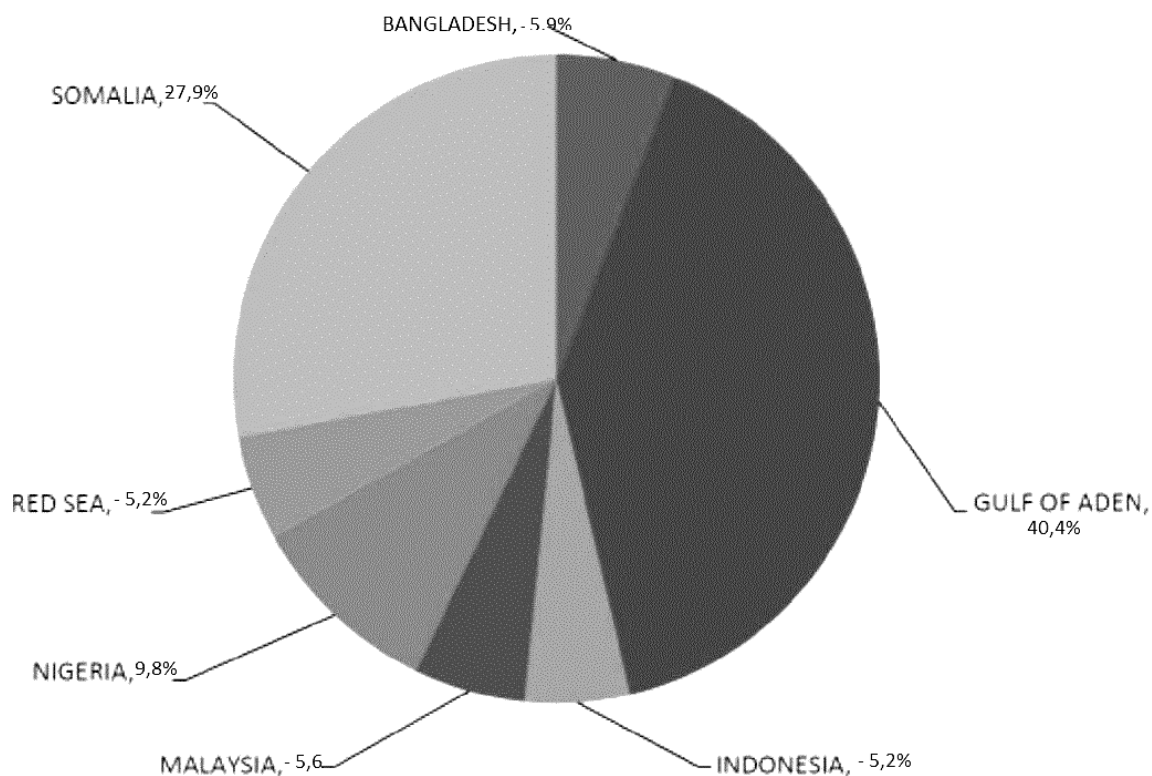


Рисунок 1 – Статистика пиратских нападений за 2009 г. [1]

По итогам 2010 года – ситуация в опасных регионах полностью вышла из-под контроля, и речь идет не о контроле пиратской активности, а о действиях государств и международных организаций. Ряд государств, прежде всего азиатских гигантов, Китай, Корея и Япония, поняли, что пиратство представляет прекрасный предлог для военного присутствия вблизи Персидского залива – крупнейшего источника мировых запасов углеводородного сырья. Кроме того, это великолепная возможность тренировать свои ВМС в условиях, приближенных к боевым, рядом с кораблями всех ВМС мира. Это устраивает и государства, и военных.

Не с пиратством, но с угрозой пиратства, можно покончить очень быстро. Технически в течении месяца можно обеспечить вооруженной военной охраной все суда в «коридоре» Восток-Запад, от южной части Красного моря до Шри-Ланки. Для этого требуется искреннее желание обеспечить безопасность судоходства и сотрудничество заинтересованных государств. Государства заинтересованы совсем в другом, при этом страны НАТО не могут ни уйти из региона, ни обеспечить безопасность судоходства.

Вооруженные пираты были активны и в других районах: серьезные инциденты были отмечены около Африканского Рога, вблизи Восточноафриканских портов, Шри-Ланки, Индии и Бангладеш. Поэтому должны быть приняты меры предосторожности в тех районах, где экономическая и политическая ситуация неустойчивы.

**Цель исследования.** Определить наиболее уязвимые на судне места для проникновения пиратов. Разработать мероприятия по нейтрализации пиратских нападений, в частности: безопасность экипажа, пиратская

активность, взаимодействие с военными.

Исследовать целесообразность противостояние пиратским нападениям техническими средствами на судне:

- видеонаблюдение;
- приборы ночного видения;
- усиленное наблюдение, мониторинг и контроль;
- связь с береговыми службами и Военно-морскими силами.

**Практическая значимость.** Перед следованием судна в зоне высокого риска капитану следует произвести оценку опасности для судна и экипажа с учетом следующих факторов:

- *безопасность экипажа;*
- *скорость;*
- *погодные условия;*
- *пиратская активность;*
- *типичная атака* - при нападении пираты используют оружие: автоматы Калашникова и гранатометы РПГ. Обстрел судна во время нападения ведется с целью запугать экипаж и, прежде всего, капитана, заставить его остановиться или замедлить ход, а также помешать экипажу отбивать нападение. Судну следует дать максимально возможный ход и осторожно маневрировать, не подпуская лодки пиратов вплотную к борту и избегая при этом снижения скорости.

Опыт показывает, что большинство атак успешно отражается.

- *взаимодействие с военными* – важным условием обеспечения безопасности прохода является связь с военными в опасном районе. Судам настоятельно рекомендуется предварительно уведомлять о подходе и далее с началом транзита постоянно информировать военных.

Главные организации Военно-морских сил:

1. Центр безопасности судоходства – Африканский Рог «The Maritime Security Centre – Horn of Africa (MSCHOA)» является планирующим и координирующим центром сил Евросоюза EU NAVFOR

2. Центр по обеспечению безопасности торгового судоходства Англии и Дубай – «UK Maritime Trade Operations (UKMTO)» является связующим звеном между капитанами торговых судов и Военно-морскими силами. Постоянные сообщения о состоянии судна при следовании в зоне риска отправляются именно в UKMTO, и там из этих сообщений и сообщений военных складывается общая картина оперативной обстановки.

3. Офис по связи с судоходством «Maritime Liaison Office Bahrain (MARLO)» отвечает за безопасность судоходства в зоне действия сил ВМС США и Объединенных Сил «Combined Maritime Forces (CMF)», вторичный по значимости после UKMTO.

- *планирование перехода в компании* – настоятельно рекомендуется перед прохождением судна зарегистрироваться на сайте MSCHOA для получения доступа к закрытым, только для зарегистрированных, разделам сайта, где можно получить дополнительную информацию и оперативные

обновления. Необходимо обеспечить подачу судном постоянных уведомлений в адрес UKMTO с момента его входа в зону риска, ограниченную Суэцким каналом на севере, широтой на юге 10°, и восточной долготой 78°, сообщения стандартной формы (UKMTO Vessel Position Reporting Form) должны отсылаться минимум раз в сутки. Сообщения могут отсылаться либо непосредственно с судна, либо компанией-оператором. За 4-5 суток до подхода к транзитному коридору IRTC следует подать в адрес MSCHOA регистрационную форму Vessel Movement Registration Form, либо онлайн через сайт, электронной почтой, либо факсом. Необходимо вновь произвести оценку риска данного судна и действующего на судне Плана по обеспечению безопасности Ship Security Plan (SSP).

Ответственному за безопасность лицу в компании следует обсудить все вопросы перехода с капитаном судна и ответственным за безопасность лицом из комсостава. Следует быть в курсе всех последних извещений и предупреждений, иметь представление об оперативной обстановке в зоне риска, используя информацию из извещений мореплавателям и информацию, размещаемую на сайте MSCHOA.

Следует провести учения с экипажем до прохождения зоны риска и разбор действий после прохождения.

Следует изыскать резервы для усиления вахты дополнительными наблюдателями.

- *планирование перехода на судне* – капитану следует обеспечить своевременное уведомление UKMTO и MSCHOA о прохождении судном зоны риска посредством описанных выше форм. Рекомендуется иметь на мостике все имеющиеся на сегодня фотографии судов-баз пиратов. Задача капитана – распознать угрозу как можно раньше и немедленно сообщить о ней в UKMTO. Перед входом в зону риска следует провести собрание экипажа и учения с тем, чтобы каждый член экипажа знал свои обязанности и место по тревоге.

Рекомендуется подготовить план экстренной связи с главными номерами для связи в случае нападения, этот план должен находиться на видном месте рядом со средствами связи (телефоны MSCHOA, IMB, PRC, CSO).

- *осуществление перехода* – рекомендуется отправлять форму UKMTO Vessel Position Reporting Form один раз в 6 часов, но по меньшей мере один-два раза в сутки.

При следовании Аденским заливом судам следует избегать захода в 12-мильную зону территориальных вод Йемена, так как корабли международных сил не имеют права заходить в эти воды и следовательно, не смогут оказать помощь подвергнутому нападению судну.

- *наблюдение* – рекомендуется усилить вахту дополнительными наблюдателями на время прохождения зоны риска, провести с ними предварительный инструктаж и обеспечить их биноклями, приборами ночного видения.



Необходимо обеспечить максимальное число впередсмотрящих, свести к минимуму весь радиообмен – от внутрисудовых устройств до AIS.

Во время атаки ряд мест на судне недоступны для наблюдения, поэтому включены системы наблюдения посредством видеокамер Closed Circuit Television (CCTV), которые могут обеспечить полный визуальный контроль атакуемого судна, а видеозапись в дальнейшем может стать важным свидетельским показанием.

- *сигналы тревоги* – сигнал общесудовой тревоги о пиратском нападении должен четко отличаться от прочих видов тревог с тем, чтобы экипаж не спутал вид тревоги и свои действия и не оказался в опасных местах. Экипаж должен хорошо знать все виды сигналов, тревог, свои обязанности и место в соответствии с этими тревогами.

- *наружное освещение* – рекомендуется следовать с потушенными огнями, за исключением ходовых, то есть, в режиме светомаскировки. При обнаружении пиратов и начале атаки рекомендуется включить все огни и прожекторы. На верхних палубах следует убрать все инструменты и материалы, которые могут быть использованы пиратами для взлома дверей и иллюминаторов надстройки.

Очень важны места входа в надстройку и машинное отделение, все они должны быть закрыты. Рекомендуется по возможности обеспечить блокировку внешних и внутренних трапов, ведущих на мостик, при проникновении пиратов на борт. Водонепроницаемые двери должны быть задраены.

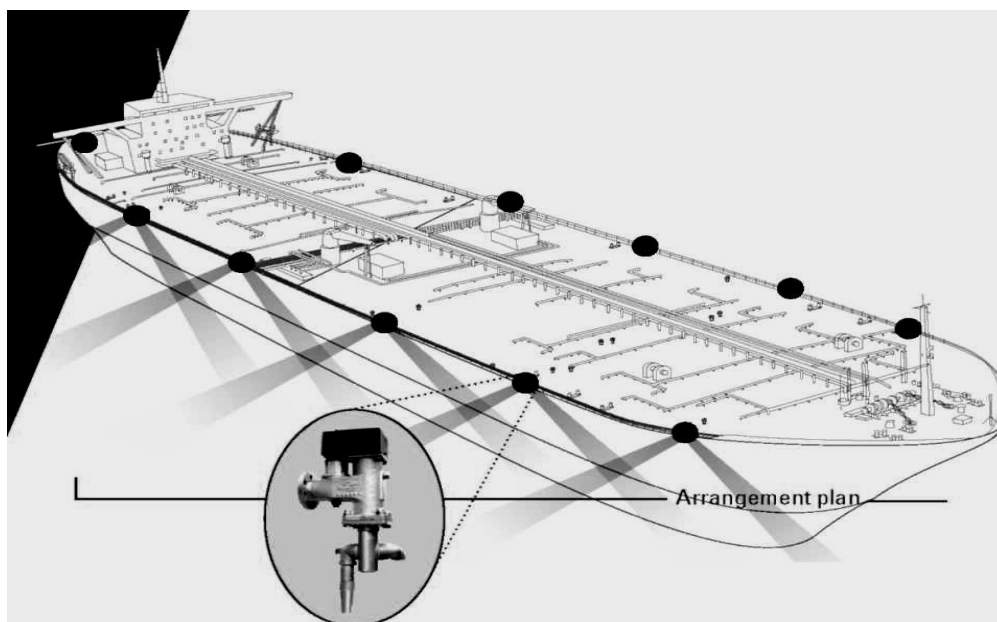
- *защита мостика* – передние иллюминаторы мостика лучше всего заклеить защитной противоосколочной пленкой. Боковые и задние лучше всего прикрыть заранее изготовленными стальными или алюминиевыми щитами, которые можно быстро установить на месте по тревоге. Крылья мостика лучше прикрыть мешками с песком.

- *препятствия для пиратов* – проволочное ограждение выставляется с внешней стороны бортов и надстройки. Используется главным образом три вида колючей (режущей – *razor*) проволоки. Обычная прямая, спиральная типа телефонного шнура и концертно-спиральная со связанными спиралями, последняя наиболее эффективна.

Подача на проволоку напряжения не рекомендуется для судов с легковоспламеняющимися грузами, однако при определенных мерах предосторожности это допускается. Рекомендуется выставлять щиты с предупредительными надписями наружу на сомалийском языке – «проволока под напряжением».

- *пено-водяная защита* – рекомендуется заранее установить мониторы (пушки) в самых уязвимых для проникновения пиратов местах, неплохо зарекомендовали себя устанавливаемые на стволы распылители.

Если подавать в систему горячую воду, то водяная защита становится гораздо эффективней. Рекомендуется заранее установить и настроить мониторы и при нападении включать их дистанционно (рис. 2).



а)



б)

Рисунок 2 – Расположение мониторов вдоль борта судна (а) и действие системы (б) [2].

- *места укрытия – цитадели* – цитадель является краткосрочной, временной мерой защиты экипажа, эффективной тогда, когда есть шансы дождаться подхода военных. Если весь экипаж находится в цитадели вне физической досягаемости пиратов, военные могут, не рискуя экипажем, штурмом освободить судно.

Необходимо, чтобы в цитадели были минимальные запасы продовольствия, воды и топлива, чтобы можно было отключить или запустить главный и вспомогательный двигатели и управлять системой

вдеонаблюдения.

- *во время атаки:*

следовать заранее разработанному плану, активизировать план аварийной связи и оповещения:

- Связаться с UK Maritime Trade Operations (UKMTO) Dubai.
- Maritime Security Centre Horn of Africa (MSCHOA).
- Активизировать кнопку тревоги.
- По УКВ – подать сигнал бедствия MayDay на 16 и 8 каналах.

Послать сигнал бедствия по DSC (Digital Selective Calling) и Inmarsat-C.

- Установить телефонную связь с UKMTO.

- *маневрирование* – капитану следует маневрировать таким образом, чтобы максимально затруднить пиратам подход вплотную к борту судна, при этом не снижая собственной скорости.

- *экипаж* – все те, кто не принимает участия в непосредственной защите судна, должны проследовать в цитадель.

- *пираты высадились на судно* – прежде чем они доберутся до мостика, успеть предупредить UKMTO, MSCHOA и если есть время – компанию-судовладельца.

Никакого сопротивления пиратам, это может повлечь за собой побои или даже гибель.

Если придется покинуть мостик и машинное отделение, необходимо остановить двигатель и по возможности направить судно в сторону от других судов в целях навигационной безопасности. С пиратами необходимо вести себя спокойно и выполнять все их требования.

При высадке военных на борт судна и каких-либо военных действиях, экипажу необходимо лечь на палубу, держа руки за головой – в руках ничего не должно быть, руки должны быть хорошо видны. Не следует делать никаких резких движений без команды военных.

На вопросы военных следует немедленно отвечать – назвать себя и свою должность на судне.

Рекомендуется подробно описать происшествие, направив сообщение в адрес UKMTO, MSCHOA и IMB. Это требуется для сбора данных, статистики, анализа и выработки новых рекомендаций. Доклад следует делать по стандартной форме, копию доклада рекомендуется отослать в уполномоченную организацию государства-флага.

**Рекомендации при стоянке на якоре вне пределов порта.** Необходимо избегать постановки на якорь судна в опасных районах. Некоторые порты разрешают судам уходить на достаточное расстояние от берега в течение ночного времени, без потери очереди постановки. Стоимость топлива ничто по сравнению с возможными потерями, если судно будет атаковано. Если требуется постановка на якорь, следуйте следующим рекомендациям:

- требуется усиление вахты. Мониторинг на шкалах малого обзора может позволить определить подозрительные лодки в вашем районе. Луч

прожектора, направленный на нее, может сорвать все попытки к атаке;

- организуйте прожекторное освещение вокруг судна, осветите борта судна и области подхода;
- налетчики часто сохраняют дистанцию с судном, в течении некоторого времени наблюдая за активностью на судне;
- установите порядок оповещения заранее;
- брандспойты, пожарные рукава должны быть приготовлены;
- все двери и иллюминаторы должны быть закрыты и доступные конструктивные меры защиты должны быть приняты;
- готовность машины должна быть минимальной, во время ожидания постановки к причалу.

**Опасность загрязнения морской среды.** Район действий сомалийских пиратов – Аденский залив, лежащий на пути между Индийским океаном и Красным морем. Это один из стратегически важных для мирового судоходства маршрутов, по нему проходит 50% всех балкерных (насыпных) грузов и около 30% контейнерных перевозок. По этой «горловине» между берегами Сомали и Йемена в направлении Суэцкого канала ежегодно проходит около 20 тыс. судов: танкеры и сухогрузы, доставляющие в Европу и Америку ближневосточную нефть и промышленные товары азиатского производства. Через Баб-эль-Мандебский пролив, соединяющий Аденский залив и Красное море, ежедневно транспортируется 3,3 млн баррелей нефти. Нападение пиратов на супертанкер может стать причиной гигантской экологической катастрофы, приводящей к загрязнению морской среды.

Серьезную угрозу экологии региона может также представлять достаточно высокая вероятность взрыва танкеров с нефтью при захвате пиратами, тем более если речь будет идти о судах с опасными химическими или радиоактивными веществами.

При отражении пиратских и террористических атак необходимо учитывать экологический фактор, наряду с безопасностью членов экипажа, судна и сохранностью груза.

**Перспективы дальнейшего исследования.** Разработка международно-правовых актов, предусматривающих более жесткие действия к нападению пиратов, включая применение вооруженных сил, международной организации ООН и береговых служб.

Предусматривать более жесткую охрану судов при выполнении штатных рейсов.

Использование спутникового наблюдения.

**Выводы.** В статье приведены анализ и обобщение пиратских нападений на морские суда в различных регионах. Предложены практические рекомендации по нейтрализации активности пиратов при выполнении штатного рейса, контролирование действия экипажа в зависимости от сложившейся ситуации.

Пиратская деятельность непосредственно связана с возможными экологическими катастрофами, в частности, взрывы, пожары на танкерах,

сухогрузах, химовозах, газовозах с последующим загрязнением морской среды нефтепродуктами, химическими соединениями, тяжелыми металлами, отработанным ядерным топливом.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Торский В. Г. Организация и нормативное обеспечение охраны судна : учебное пособие / В. Г. Торский, В. П. Топалов, В. А. Позолотин. – Одесса : Астропринт, 2009. – 216 с.
2. Best Management Practices Version 3 – Руководство по защите от пиратов, 2010 – 78 с.
3. Морской бюллетень Совфрахт [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://www.sovfraht.info>
4. Резолюция Совета безопасности № 1918 (2010). Положение Сомали. [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://daccess-dds-ny.un.org/dos/>
5. Icc Maritime bureau Piracy and armed Robber against Ships. Report for the Period 1 January 2008 – 31 December 2009 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www/icc-ccs/org>
6. Середа О. Г. Проблеми формування міжнародно-правового механізму протидії піратству / О. Г. Середа // Південно український правничий часопис. – 2008. – № 8. – С. 48-50
7. Бантишев О. Г. Актуальні проблеми протидії піратству на сучасному етапі / О. Г. Бантишев, М. Н. Гуменюк // Вісник Харківського національного університету. Серія : Право. – 2008. – № 819. – С. 66-71

#### **Леонов В.С., Чабан В.О., Ковалев В.С. ШЛЯХИ НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ ПІРАТСЬКОЇ ДІЯЛЬНОСТІ НА МОРІ**

*У статті розглянуті питання піратської діяльності на морському транспорті. Проаналізовано найбільш небезпечні регіони піратської активності.*

*Запропоновано шляхи нейтралізації піратської діяльності екіпажами суден в залежності від конкретних умов, подано рекомендації з відбиття нападу піратів.*

*Напади піратів на судна пов'язані безпосередньо з екологічними катастрофами, зокрема, ініціювання вибухів, пожеж на танкерах, сухогрузах, химовозах, газовозах і, як наслідок, з наступним забрудненням морського середовища нафтопродуктами, хімічними сполуками, важкими металами, відпрацьованим ядерним паливом.*

*Ключові слова: піратство, спостереження, захист, маневрування, сигнали.*

#### **Leonov V.E., Chaban V.O., Kovalov V.S. WAYS OF NEUTRALIZING PIRATE ACTIVITIES AT SEA**

*Issues of pirate activities at marine transport are considered. The most dangerous regions of pirate activities are analyzed.*

*Ways to neutralize pirate activities by ship crews depending on specific conditions are proposed and guidelines for repelling pirate attacks are given.*

*Pirate attacks on ships are directly related to environmental disasters, in particular, initiation of explosions, fires on tankers, bulk carriers, chemical carriers, gas carriers which result in marine pollution with oil products, chemical compounds, heavy metals, spent nuclear fuel.*

*Keywords: piracy, surveillance, protection, manouvering, signals.*

## МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В ПРОЦЕССЕ МАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

*Малыгин Б.В., Погорлецкий Д.С., Васильченко Г.Ю., Сапронов А.А.,*

*Херсонская государственная морская академия*

*В работе рассматриваются методы повышения экологической безопасности в процессе воздействия магнитных полей на физические и химические свойства углеводородных топлив. Магнитная обработка топлив позволит снизить выбросы вредных веществ в атмосферу с выхлопными газами судовых двигателей, снизить расход топлива (1-10 %), частично увеличить ресурс двигателей за счет очистки двигателя от нагара. Главной задачей статьи является анализ существующих представлений о влиянии магнитных полей на структуру и свойства углеводородных топлив, которые позволят наметить пути исследований магнитного поля, для улучшения эксплуатационных показателей судовых двигателей, , особенно, их экономических и экологических показателей.*

*Ключевые слова: магнитная обработка, экологическая безопасность, расход топлива, судовые двигателя, магнитная индукция.*

**Постановка проблемы.** Проблема чистоты атмосферы возникла вместе с появлением промышленности и транспорта, работающих на углеводородном топливе. В течение предыдущих столетий загрязнение воздуха носило местный характер. Выхлопные газы сравнительно редких заводских, автомобильных, паровозных и пароходных труб почти полностью рассеивались на большом пространстве. Быстрый и повсеместный рост промышленности и транспорта в XX веке привел к такому увеличению объемов и токсичности выбросов, которые уже не могут быть растворены в окружающей среде до концентраций, безвредных для человека, животного и растительного мира. Интенсивное развитие судоходства на водных путях привело к строительству качественно нового флота: с мощными энергетическими установками, высокой грузоподъемностью, пассажировместимостью и скоростью. Массовая эксплуатация такого флота сопровождается ростом его воздействия на окружающую среду.[1]

Судовая эмиссия, как источник антропогенного воздействия насчитывает до 14% всей эмиссии от ископаемых видов горючего и 16 % всей эмиссии серы от сжигаемых продуктов нефти. Ситуация осложнилась широким внедрением на флоте тяжелых сортов топлива с содержанием серы до 4%, что привело к снижению надежности и долговечности деталей топливной системы двигателя и цилиндропоршневой группы [1].

Уже сейчас в таких странах как Швеция, Финляндия и США нормы по выбросу вредных ингредиентов настолько ужесточены, что возможности выполнения соответствующих требований только за счет организации рабочего процесса двигателей внутреннего сгорания (ДВС) практически исчерпали свой резерв. Дальнейшее развитие в данном направлении без применения устройств по очистке отработавших газов становится весьма

трудновыполнимым. Одновременное снижение вредных веществ и дымности в отработавших газах требует различных, подчас не совместимых между собой, мероприятий, что существенно затрудняет решение проблемы снижения вредных продуктов в отработавших газах.

**Актуальность исследования.** На сегодняшний день, цена горючего довольно значительная, а экологическому аспекту отводится значительное внимание, можно сказать, что магнитная обработка углеводородных топлив довольно актуальна со стороны уменьшения вредных выбросов в атмосферу, расхода топлива, а также повышения эксплуатационного срока службы двигателей. Рациональное решение проблемы обработки углеводородных топлив возможно при использовании комплекса прогрессивных устройств и узлов. В систему комплексной очистки выхлопных газов могут входить приборы магнитной обработки топлива перед подачей его в камеру сгорания, а также каталитический фильтр-преобразователь топлива.

**Цель работы.** Анализировать имеющееся исследование по влиянию магнитного поля на показатели качества углеводородных топлив, а особенно, на уменьшение вредных выбросов в атмосферу двигателей внутреннего сгорания. Исследовать зависимость величины магнитной индукции от расстояния магнитов с заданными параметрами. Наметить пути дальнейших исследований.

**Изложение основного материала.** Современная методология решения экологических проблем состоит в анализе степени и источников загрязнения окружающей среды. И в их очистке (атмосферы, воды и почвы, загрязненных вследствие несовершенства технологий) от токсичных компонентов (выхлопных и отходящих газов) в случае превышения в них предельно допустимых концентраций токсичных веществ ( $N_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ , Окислы азота, Углеводороды, Сажа, Бензпирен).

Острота экологических проблем в мире нарастает, грозя перерасти в глобальную экологическую катастрофу. Главной причиной загрязнения атмосферы в мире является, в первую очередь, несовершенство огневых технологий (тепловых машин, двигателей транспорта) [2]. Уже доказано, что их вклад в загрязнение атмосферы планеты приближается к 70-80 %. Злободневной проблемой является обеспечение охраны окружающей среды в условиях интенсивной эксплуатации водного транспорта. Важную роль в улучшении сложившейся ситуации призвана сыграть прогрессивная технология магнитной обработки углеводородного топлива. Все возрастающее воздействие человека на природу привело к возникновению экологических проблем в экосистеме биосферы, в частности, проблемы загрязнения атмосферы выхлопными газами двигателей внутреннего сгорания. Наибольшую опасность представляют оксиды азота, примерно в 10 раз более опасные, чем угарный газ, доля токсичности альдегидов относительно невелика и составляет 4-5 % от общей токсичности выхлопных газов. Токсичность различных углеводородов сильно отличается. Непредельные углеводороды в присутствии диоксида азота фотохимически

окисляются, образуя ядовитые кислородсодержащие соединения — составляющие смогов. Кроме того, при использовании сернистых бензинов в отходящие газы могут входить оксиды серы, при применении этилированных бензинов — свинец (Тетраэтилсвинец), бром, хлор, их соединения. Считается, что аэрозоли галоидных соединений свинца могут подвергаться каталитическим и фотохимическим превращениям, участвуя в образовании смога [1].

Для решения этой задачи предлагается использование новых методов очистки отработанных газов от вредных примесей за счет обеспечения более полного сгорания топлива в двигателях. Одним из методов снижения вредных выбросов в атмосферу является предварительная обработка топлива для двигателей внутреннего сгорания в магнитных и электромагнитных полях. Более полное сгорание топлива приводит к снижению содержания вредных примесей в отработанных газах, что, в свою очередь, способствует улучшению экологической обстановки [2]. Содержанием данного метода обработки является применение импульсного магнитного поля со специально выбранными параметрами ИМП для обработки дизельного топлива автомобильных и судовых двигателей. Такая обработка приводит, как показали проведенные исследования [4], к улучшению сгорания топлива и, как следствие, его экономии, а также уменьшению содержания продуктов неполного сгорания (токсических и канцерогенных веществ) в выхлопе двигателя. Обработка топлива ИМП приводит также к увеличению ресурса двигателя вследствие уменьшения скорости роста нагара на стенках цилиндров и уменьшения скорости загрязнения в системе подачи топлива двигателя.

Сущность предлагаемого метода импульсной магнитной обработки дизельного топлива состоит в воздействии на топливо, движущееся в топливопроводе, импульсным магнитным полем, создаваемом в индукционной катушке, охватывающей топливопровод. Воздействие ИМП на дизельное топливо носит выраженный резонансный характер, причем резонанс имеет место как для частоты повторения импульсов, так и для индукции ИМП. Предлагаемая технология импульсной магнитной обработки топлива является на самом деле электромагнитной обработкой [6]. Более полное сгорание топлива происходит вследствие развала крупных фракций (или кластеров) топлива под действием электрического импульса, сопровождающего магнитный импульс. Целесообразность инновации вытекает с одной стороны из актуальности проблемы — экономии топлива и уменьшения загрязнения окружающей среды, с другой стороны — высокой эффективностью предлагаемой технологии подготовки топлива к сгоранию, простотой предлагаемого устройства, легкостью встраивания установки в двигатель и высокой степенью научной проработки режимов магнитной обработки топлива. Проводя подготовку дизельного топлива к сгоранию в энергетических установках путём воздействия на него импульсным магнитным полем в области резонанса по частоте и величине индукции поля,



можно получать максимальный результат на единицу затрат электроэнергии, питающей установку – генератор импульсного магнитного поля. Также в результате повышения полноты сгорания топлива снижаются выбросы в атмосферу токсичных продуктов неполного сгорания топлива. Технология импульсно-магнитной обработки топлива является вполне реализуемой именно в судостроении, поскольку в этом случае будут минимальными конструктивные и схемные изменения. Значительный вес (~20 кг) установки-генератора не является в данном случае проблемой, которая возникла бы при применении данной установки в автомобилях. Кроме того, на судах имеется электропитание от силовой сети напряжением 220 В, которое необходимо для сильноточной установки (сила тока, примерно 5 А). Наибольшую ценность в предлагаемых технических решениях представляют данные, определяющие режим магнитной обработки дизельного топлива. Это параметры ИМП, при которых происходила обработка топлива, а также параметры индуктора [6].

В момент пересечения магнитных силовых линий при перекачивании топлива у него изменяется структура и многие свойства: снижаются силы поверхностного натяжения, увеличивается растворимость кислорода в топливе, возрастает ядерная поляризация (особенно водорода), изменяются константы скорости химической реакции горения (скорость горения увеличивается), уменьшается детонационная стойкость бензинов, уменьшается изменение оптической плотности и диэлектрической проницаемости, увеличивается диамагнитная восприимчивость топлива [4].

Таким образом, обращая внимание на метод магнитной обработки топлива, магнитное поле снимает электростатический заряд с молекул топлива, которое они получили при прокачивании по топливопроводам, понижает его вязкость. При воздействии магнитного поля (нужной напряженности и величины магнитного потока) на углеводородные жидкости (бензин, керосин, дизтопливо, мазут) происходит поляризация топлива с одновременной ориентацией хаотично двигающихся его частиц. При этом происходит снятие статических зарядов топлива, разрушаются молекулярные связи между частичками топлива. Частички топлива получают дополнительный положительный заряд. Разноименность зарядов топлива и кислорода интенсифицирует процесс их взаимодействия. В результате этого ускоряются реакции окисления топливовоздушной смеси. Под действием магнитного поля в углеводородной жидкости снижаются силы молекулярного притяжения или, как их чаще называют, силы поверхностного натяжения. Это облегчает испаряемость, диспергирование топлива, что приводит к лучшему распылению его в камере сгорания двигателя [4].

Описание физики воздействия на топливо будет неполным, если не описать, каким изменениям подвергаются загрязнители, имеющиеся всегда в жидком топливе: бензине, дизтопливе, мазуте. Загрязнители топлива представлены водой, солями и продуктами коррозии железа: окись, закись двухвалентного железа. Воздействие магнитного поля вызывает серьезные

изменения состояния всех загрязнителей. Вода находится в виде стойкой эмульсии в нефтепродуктах (бензине, дизельном топливе, мазуте). Поэтому она плохо распыляется и ухудшает процесс горения (на ее нагрев и испарение требуется большая энергия). А в дизельных двигателях вода приводит еще и к заклиниванию плунжерных пар. Под воздействием магнитного поля эмульсии становятся неустойчивыми и легко распадаются за счет разрушения гидратных оболочек. В камеру сгорания входят уже чистые молекулы воды. Остальные загрязнения, в том числе содержащие железо, находятся в топливе в коллоидной форме. Эти загрязнения плохо распыляются и также ухудшают горение топлива. Они являются причиной ускорения образования нагара в поршневой группе, головке блока, на свечах накаливания и так далее. Соли, сернистые отложения и механические примеси являются абразивом, увеличивая износ всех деталей двигателя. Названные загрязнения в топливе находятся в коллоидной форме. Коллоидные частицы, попадая под действие магнитных силовых линий, сбрасывают с себя гидратные оболочки [5]. При этом железосодержащие частицы, после выхода из магнитного поля, сами становятся магнетиками, притягиваются друг к другу и, укрупнившись, задерживаются в топливном фильтре. Асфальто-смолисто-парафиновые отложения (АСПО) представлены вязкими частицами, имеющими более высокую температуру испарения, чем бензин и дизтопливо. Поэтому (АСПО) ухудшают процесс горения и являются причиной образования сажи. Сажа и вышеназванные твердые загрязнения (соли) вызывают более интенсивный износ поршневой группы и клапанов. Кроме этого, сажа с загрязнениями оседает в камере сгорания, на клапанах, в канавках поршневых колец и т. д. В результате этого клапана и кольца обгорают и по этой причине полностью не закрываются. Это дополнительно ухудшает горение, снижает общий КПД. Сажа проникает и в смазочное масло, ухудшая его качество. Двигатель начинает больше расходовать масла через запавшие поршневые кольца, сработавшую поршневую группу. Это масло выбрасывается вместе с выхлопными газами, дополнительно загрязняя окружающую среду. Налипшая на головке блока и камеры сгорания ДВС сажа приводит к ухудшению ее охлаждения (сажа – изолятор теплопередачи) и вызывает общий перегрев двигателя, что снижает его моторесурс. Под действием магнитного поля частички (АСПО) разукрупняются, уменьшаются силы адгезии, снижаются силы молекулярного притяжения. Так как сняты (или значительно уменьшены) силы адгезии, эти частицы не налипают на металлических поверхностях. Общим результатом воздействия магнитного поля является улучшение распыления АСПО, их более полное сгорание и снижение выброса сажи в атмосферу [4].

При магнитной обработке топлива поляризуется и масло в двигателе, частички масла меньше выбрасываются с выхлопными газами (особенно на старых судовых двигателях). Это обеспечивает снижение выброса вредных газов (в т. ч. СО и СН). За счет поляризации масла на деталях двигателя

образуется прочная маслянистая пленка. Это приводит к снижению износа деталей двигателя. Определена величина напряжённости, формы, состояния постоянного магнитного поля с использованием структурно-бинарного принципа, а также форма и скорость потока дизтоплива внутри магнитного поля при минимизации размеров и веса устройства с максимальной эффективностью и качеством обработки дизтоплива для его полного сгорания [6].

Особенно эффективно совместное воздействие на процесс горения обработка пламени сжигаемой активизированной топливной смеси переменным магнитным полем. Благодаря введению операции регулирования всех параметров горения (расхода топлива, окислителя, степени их активизации и интенсивности горения) по информации о токсичности выхлопных газов удается достичь эффективного горения практически всех известных топлив. Профессор Дудышев В. Д. говорит также об эффективности сочетания операций обработки самого пламени, выхлопных газов и воздуха (окислителя) переменным электрическим полем для эффективной очистки выхлопных газов [2]. Сущность такой дополнительной очистки выхлопных газов состоит в дроблении частиц сажи и дымности электрическими силами переменного магнитного поля, а также в доокислении некоторых токсичных окислов в среде озонированного окислителя.

Отметим также, что в опытах ученых по сжиганию углеводородных топлив в магнитных полях регулирование температуры факела пламени и его светимости достигалось при неизменном расходе топлива и окислителя. Вращение и стабилизацию факела пламени получали поперечным вращающимся электромагнитным полем, изменение высоты факела пламени осуществляли продольным электромагнитным полем. Профессор Дудышев В. Д. [2] доказывает, что именно магнитное поле, прямо воздействующее на пламя, и эмиссия потока электронов (идеальный тип окислителя) в пламя могут наиболее эффективно интенсифицировать процесс горения и сделать его экологически чистым и безвредным для человека и для окружающей среды. Экспериментально показано, что требуемые энергозатраты на создание и регулирование этого электрического поля и потока электронов для интенсификации и экологизации горения весьма малы по сравнению с энергией горения и составляют доли процента от энергии пламени. Таким образом, как ни парадоксально, опыты доказывают, что лучшие «окислители» и катализаторы горения – это не избыточный воздух и кислород, а электрон и электромагнитное поле [2].

Практичностью магнитной обработки углеводородного сырья является простота аппаратного оформления и осуществления метода с технической точки зрения, его компактность и минимальные затраты на обслуживание. Достоинством метода магнитной обработки углеводородного топлива является его безреагентность, что ведет к улучшению экологической ситуации в целом, а также безопасность для человека. Кроме того,

инвестиционные затраты невелики, а потребление электроэнергии очень мало (в случае применения постоянных магнитов – отсутствие) [6].

Вероятно, все это обусловило широкое распространение магнитной обработки углеводородных топлив. Из-за неполного сгорания топлива образуется CO – угарный газ, различные углеводородные газы  $C_nH_m$  и оксиды азота  $NO_x$ : закись, окись и двуокись азота (все они ядовиты). Но особенно опасен бензопирен, обязательный продукт выхлопных газов, обладающий канцерогенными свойствами. Кроме названного, в выхлопных газах много других вредных веществ: сернистый газ (ангидрид)  $SO_2$ , альдегиды. Анализ состава отработанных газов показал, что наиболее токсичными компонентами являются оксиды азота ( $NO^*$ ), углерода (CO,  $CO_2$ ) и серы ( $SO_x$ ), углеводороды (CH), твердые сажистые частицы. Известно, что их концентрация в отработавших газах дизеля зависит от многих причин, в том числе от конструкции камеры сгорания, частоты вращения коленчатого вала и от температуры горения. Известно, что низкооборотные двигатели вырабатывают больше отработавших газов, чем среднеоборотные или высокооборотные судовые двигатели.

На базе лаборатории ресурсосбережения при Херсонской государственной морской академии был также разработан магнитный активатор топлива (Магнитрон), который работает по принципу дискретно-градиентной обработки топлива. Он разработан для использования на топливной системе двигателей внутреннего сгорания (ДВС) судов, автомобилей, спецтехники. Также началось проведение серии исследований и экспериментов по влиянию магнитного поля при обработке углеводородного топлива. Нами проведено исследование зависимости магнитной индукции от расстояния магнитов, для обоснования максимально допустимого диаметра топливопровода при установке на него магнитного активатора топлива (Магнитрон), на основании этого построен график зависимости (рис. 1).

Для измерения магнитной индукции использовался прибор РШ1-10, который представляет собой переносной прибор, предназначенный для измерения индукции постоянных магнитных полей, электромагнитов и соленоидов. За основу взяты неодимовые магниты, неодим (химический символ Nd) является элементом № 60 в периодической таблице. Это редкоземельный металл и является одним из серии лантаноидов. При добавлении в железо (Fe) и бора (B) (химическая формула  $Nd_{14}Fe_{21}B$ ) неодимовые магниты иногда называют NdFeB, Нео, Neod. Природный неодим состоит из семи изотопов:  $^{142}Nd$  (27,2 %),  $^{143}Nd$  (12,2 %),  $^{144}Nd$  (23,8 %),  $^{145}Nd$  (8,3 %),  $^{146}Nd$  (17,2 %),  $^{148}Nd$  (5,7 %),  $^{150}Nd$  (5,6 %) – в скобках дано их содержание в природной смеси. Из них пять, насколько это известно, стабильны, а два слаборадиоактивны:  $^{144}Nd$  испытывает альфа-распад с периодом полураспада  $2,38 \times 10^{15}$  лет, а  $^{150}Nd$  – двойной бета-распад с периодом полураспада  $7 \times 10^{18}$  лет. На 2003 год известны 29

искусственных радиоизотопов неодима с массовым числом в диапазоне от 124 до 161, которые также имеют 13 метастабильных состояний.

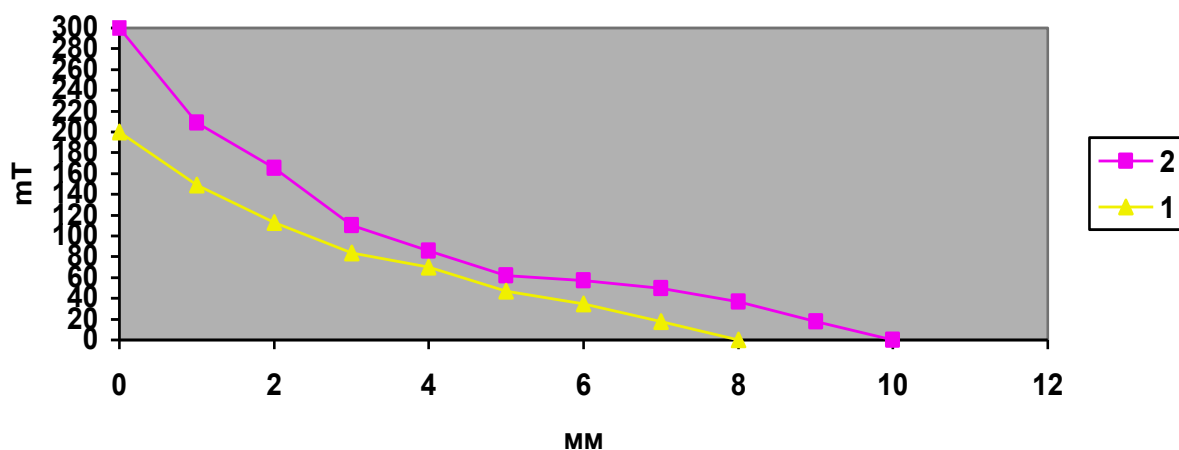


Рисунок 1– Графическое отображение результатов эксперимента

На графике (рис. 1) показана зависимость величины магнитной индукции (магнитного поля), которая измеряется в (mT) от расстояния магнитов (мм). При первом эксперименте величина магнитной индукции одного магнита (на графике – кривая 1) составляла – 200 mT. А во втором (на графике – кривая 2), при объединении магнитов, составляла – 300 mT. При отдалении измерителя от магнита на графике (рис. 1) показано, как величина магнитной индукции уменьшается в зависимости от расстояния до магнита. Исходя из этого можно сделать вывод: при увеличении расстояния от магнитов, сила магнитной индукция уменьшается. Вследствие чего можно сказать, что максимально эффективное влияние магнитного поля возможно на расстоянии не более 1 - 4 мм.

**Выводы и перспективы дальнейшего исследования.** Обосновывая полученные результаты эксперимента можно сказать, что максимальная величина диаметра топливопровода при установке на него магнитного активатора топлива (Магнитрон) при использовании в нем постоянных магнитов мощности (200 mT – 300 mT) должна быть не более 8 мм. В перспективе магнитная обработка приведет не только к уменьшению расхода топлива, но и к уменьшению концентрации токсичных и канцерогенных веществ в выхлопе. Обработка топлива магнитным полем может производиться как при заправке судна, так и в процессе эксплуатации двигателя непосредственно перед подачей его в цилиндры. По нашему мнению, несмотря на большое количество патентов (РФ № 2052652; 2140108; Патенты US № 5590158; 5816226; Заявки Японии № 2-301657(1989); 1-12175(1990) и другие.) и публикаций единой экспериментально математической базы воздействия магнитного поля на экологические показатели углеводородных топлив не обнаружено.

Поэтому, в перспективе – более полное исследование влияния магнитного поля на углеводородные топлива, а также проведение этих исследований на разных по мощностям магнитах. В статье описана и

раскрыта для понимания новая технология магнитной обработки углеводородных топлив для экологически чистого и эффективного сжигания любых видов топлив на водном транспорте.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дизели судовые, тепловозные и промышленные. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Нормы и методы определения : ГОСТ Р 51249:99. – [Введен. 01.01.2000]. – М. : ИПК «Изд-во стандартов», 1999. – 11 с.
2. Дудышев В. Д. Электроогневая технология-эффективный путь решения энергетических и экологических проблем / В. Д. Дудышев // Экология и промышленность России. – 1997. – №3. – С. 10-15
3. Унгер Ф. Г. Использование магнитронных устройств для омагничивания жидких сред / Ф. Г. Унгер, Л. Н. Андреева, Э. Р. Гейнц. // Электрон. и электромеханические системы и устройства : Сб. науч. трудов. – Томск : Науч. произв. центр «Полюс», 1997. – С. 179-183.
4. Третьяков И. Г. Влияние магнитного поля на физико-химические свойства топлив/ И. Г. Третьяков, В. А. Баленко // Электронная обработка материалов. – 1990. – №1. – С. 28-29.
5. Глебов А. Н. Магнетохимия: магнитные свойства и строение веществ / А. Н. Глебов, А. Р. Буданов. – М. : Химия, 1997. – 286 с.
6. Кудрявский Ю. П. Разработка и испытания аппаратов и устройств – фильтр модификаторов для обработки углеводородного топлива в магнитном поле. Выбор оптимальных конструкций, модификаторов, обеспечивающих снижение удельного расхода топлива на 10 - 20 % / Ю. П. Кудрявский, О. В. Погудин, В. И. Зеленин, В. А. Нечаев // Фундаментальные исследования. – 2006. – № 1. – С. 81-82.

**Малигін Б.В., Погорлецький Д.С., Васильченко Г.Ю., Сапронов О.О. МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ В ПРОЦЕСІ МАГНІТНОЇ ОБРОБКИ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ПАЛИВ ДЛЯ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ**

*У роботі розглядаються методи підвищення екологічної безпеки в процесі впливу магнітних полів на фізичні й хімічні властивості вуглеводневих палив. Магнітна обробка палив дозволяє істотно знизити викиди шкідливих речовин в атмосферу з вихлопними газами судових двигунів, знизити витрату палива, збільшити ресурс двигунів за рахунок очищення двигуна від нагару. Головним завданням статті є аналіз існуючих уявлень про вплив магнітних полів на структуру й властивості вуглеводневих палив, які дозволять намітити шляхи досліджень магнітного поля для поліпшення експлуатаційних показників судових двигунів, а особливо їх економічних і екологічних показників.*

*Ключові слова: магнітна обробка, екологічна безпека, витрата палива, судові двигуни, магнітна індукція.*

**Malygin B.V., Pogorletsky D.S, Vasilchenko G.U, Sapronov A.A. METHODS OF INCREASING ENVIRONMENTAL SAFETY IN THE PROCESS OF MAGNETIC TREATMENT OF HYDROCARBON FUELS FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINES**

*Methods for increasing environmental safety in the process of magnetic fields influence on physical and chemical properties of hydrocarbon fuels are considered. Magnetic treatment of fuels can significantly reduce harmful substances emissions into atmosphere from exhaust gases of ship engines, reduce fuel consumption and increase engine life by carbon cleaning of engine. The main objective of this paper is to analyze the existing ideas about magnetic fields influence on the structure and properties of hydrocarbon fuels that will help identify ways of researching magnetic field to improve the operational performance of ship engines and, especially, their economic and environmental factors.*

*Keywords: magnetic treatment, environmental safety, fuel consumption, ship engine, magnetic induction.*

## КАТОДНАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ ПРИ ПОТЕНЦИАЛЕ НЕЗАРЯЖЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ КАК СПОСОБ ЗАЩИТЫ СУДОКОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ КОРРОЗИОННО-МЕХАНИЧЕСКИХ РАЗРУШЕНИЙ В МОРСКОЙ ВОДЕ

*Ожиганов Ю.Г., Родькина А.В., Огородова А.А., Калинина О.И.,  
Севастопольский национальный технический университет*

*В статье рассматривается катодная поляризация как способ защиты стали в морской воде от коррозионно-механического разрушения, в том числе и его локальных форм. Причем предлагается, как защитный потенциал использовать потенциал незаряженной поверхности. То есть, исключается электростатическая адсорбция, а наблюдается специфическая адсорбция компонентов морской воды.*

*Ключевые слова: потенциал, катодная поляризация, незаряженная поверхность.*

**Введение.** Решение проблемы защиты от коррозии является важной задачей современной техники. Убытки от коррозии исчисляются миллиардами долларов ежегодно. Причем, потеря металла из-за коррозии не является определяющей. Гораздо большие потери составляет стоимость разрушившейся конструкции, затраты на защиту от коррозии, замена оборудования, его простои во время замены, вышедших из строя узлов. Зачастую большой ущерб наносится экологии.

Потери составляют 30% от годового производства стали. При этом 10% металла теряется безвозвратно, рассеиваясь в виде продуктов окисления [1]. Не учитываются все остальные затраты, связанные с выходом из строя агрегатов и металлических конструкций.

**Цель.** Исследование процесса катодной поляризации при потенциале незаряженной поверхности. И обоснование необходимости применения потенциала незаряженной поверхности как защитного потенциала в системах защиты от локальных коррозионно-механических разрушений судокорпусных конструкций в морской воде.

**Задачи исследования.** Рассмотрим коррозионно-механические разрушения стали в морской воде, их локальные проявления.

Незащищенная сталь подвержена коррозии в большинстве сред, но степень коррозионного разрушения зависит от ряда факторов, наиболее важными из которых являются состав и состояние поверхности металла, свойства самой коррозионной среды и локальные условия.

Состояние поверхности стали при погружении в морскую воду, как в электролит, имеет очень большое значение. Например, при наличии на поверхности вторичной окалины образуется гальваническая пара «окалина – чистая сталь», что приводит к дальнейшему питтингообразованию.

Присутствие в морской воде неорганических солей, особенно хлоридов, увеличивает проводимость воды, адсорбционную активность и тем самым усиливает процесс электрохимической коррозии [2].



Скорость коррозии металлических изделий в агрессивных средах при одновременном механическом воздействии на конструкцию значительно выше, чем при отсутствии этого воздействия. По своему происхождению механические напряжения могут быть внутренними, возникающими в результате деформации или термообработки металла, или внешними, вызванными приложенными извне нагрузками (постоянными или переменными). В зависимости от характера механического воздействия различают следующие типы коррозии: коррозионная усталость – разрушение при одновременном воздействии на металл агрессивной среды и знакопеременных напряжений; коррозионное растрескивание – местное разрушение металла при одновременном воздействии на металл растягивающих напряжений и коррозионной среды.

В условиях коррозионной усталости участки поверхности металла испытывают неодинаковые нагрузки. Имеются отдельные участки, испытывающие максимальные напряжения. Под действием этих напряжений легче разрушается металлическая связь между ион-атомами металла и электронами, легче разрушается поверхностная пленка. В этих участках поверхности локализуется коррозионный процесс и инициируется образование микродефекта и возможное развитие его в микротрещину. Локализация коррозионного процесса вызывает образование микродефектов, которые путем накопления пластической деформации, анодного растворения превращаются в трещины [3].

Коррозионное растрескивание (коррозия при статическом нагружении) представляет собой хрупкое разрушение металлов под одновременным воздействием коррозионно-активной среды и статических (как правило, растягивающих) напряжений [4].

Коррозионный локальный процесс приводит к появлению сравнительно узких трещин коррозионной усталости.

Поверхностные дефекты, развивающиеся в усталостные трещины на раннем этапе очень малы и трудно определимы, однако они уменьшают сечение образца и являются эффективными концентраторами.

Если в металле происходит развитие местного коррозионного разрушения в виде очень узких углублений, то растягивающие напряжения, перпендикулярные к направлению этих углублений, способствуют возникновению концентрации напряжений на дне их, причем, чем больше углубления и меньше радиус дна углублений, тем больше будет концентрация напряжений. При таком состоянии металла создаются все условия для разрушения его вдоль этих более или менее протяженных локальных коррозионных разрушений, и поэтому при достаточной концентрации напряжений металл может начать разрушаться за счет механического воздействия. В результате механического разрушения будет локально обнажаться свежая, незащищенная окисной пленкой поверхность металла, которая, будучи более анодной, подвергается интенсивному воздействию коррозионной среды, что приведет к увеличению тока между

дном углублений и неповрежденной поверхностью металла, а, следовательно, и к ускорению коррозии. Ускорение коррозионного процесса вызовет дальнейшее механическое разрушение, и, как результат, увеличится скорость развития трещин благодаря совместному действию коррозионной среды и растягивающих напряжений (рис. 1) [5]. Подобные особенности приводят к хрупкому разрушению стали в области предела прочности, а на пластичную – в область текучести.

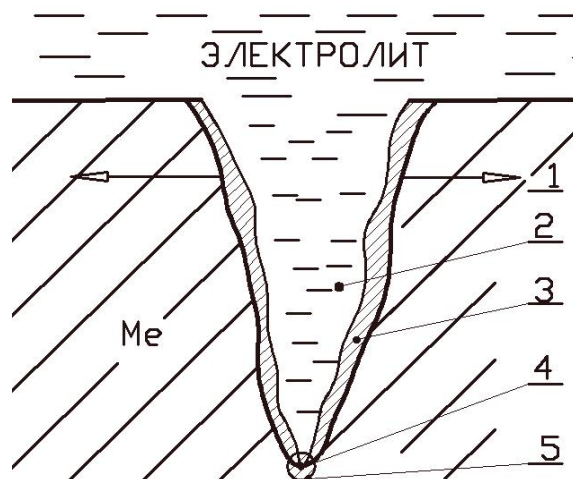


Рисунок 1 – Схема коррозионной трещины:

1 – направления растягивающих напряжений; 2 – трещина, заполненная электролитом; 3 – оксидная пленка (катод коррозионной пары); 4 – непрерывно обновляемое острие трещины (анод коррозионной пары); 5 – максимально напряженная зона металла.

Из вышесказанного следует необходимость защиты сталей от коррозионно-механического разрушения, причем, защита должна быть экономически обоснованной и максимально увеличить срок службы металлических изделий.

Продлить срок службы можно, в основном, тремя способами, используемыми в промышленной практике [6]:

1) изоляция поверхности металла от агрессивной среды:

- нанесение на поверхность слоя химически инертного относительно металла и агрессивной среды вещества неметаллического характера (лакокрасочные покрытия);

- образование на поверхности металла слоя малорастворимых продуктов коррозии, возникающих в результате обработки изделий специальными окислителями (фосфатирование);

- нанесение на изделия из малостойкого металла тонкого слоя другого металла, обладающего меньшей скоростью коррозии в данной среде;

- пассивация;

2) дезактивирующая обработка среды, снижающая ее агрессивность:

- дезактивирующая обработка агрессивной среды, приводящая к снижению концентрации окислителя;

- введение в агрессивную среду ингибиторов коррозии;

3) поддержание такого энергетического состояния металла, при котором окисление его термодинамически невозможно или сильно заторможено:

- постоянная катодная поляризация изделия, используемого в растворе электролита с достаточно большой электропроводностью;

- катодная поляризация, вызванная контактом изделия с металлом, обладающим электродным потенциалом (протекторная защита);

- анодная поляризация.

Однако все эти способы не всегда могут применяться для корпусов в море и не обеспечивают полноценную защиту от коррозии, в особенности не обеспечивается защита от локальных форм коррозии и коррозионного растрескивания.

Лакокрасочные покрытия защищают только от общей коррозии, и их защита не действует в местах разрушения покрытия, там и начинают образовываться локальные разрушения. А пористость малорастворимых продуктов коррозии снижает защитные свойства такого слоя.

Деактивирующая обработка среды и ингибиторы коррозии хорошо проявляют себя в замкнутых пространствах, но их применение проблематично в не закрытых объемах.

Протекторная защита конструктивно проста и имеет низкую первоначальную стоимость, но она не предотвращает распространение трещин.

Большинство способов защиты металлов от коррозионно-усталостных разрушений является по своей природе пассивными. Их защитное действие основано на изоляции металлической поверхности от морской воды. При разрушении, отслоении или нарушении сплошности покрытия металл со временем оказывается в соприкосновении с водой, где и протекает коррозионный процесс. Его неизбежная локализация в этом случае приводит к образованию концентраторов напряжения и снижению коррозионно-усталостной прочности.

**Катодная поляризация как способ защиты.** В основе катодной защиты лежит уменьшение скорости электрохимической коррозии путем катодной поляризации. Защищаемая конструкция подвергается катодной поляризации, которая смещает ее потенциал в отрицательное направление [6]. Катодная поляризация – это активный способ защиты металла от разрушений. Она позволяет использовать в самых широких интервалах потенциал и ток защиты, в ней заложены возможности регулирования параметров защиты, в том числе и автоматического. Эффективность катодной поляризации, в отличие от покрытий, не зависит от времени эксплуатации. При снижении потенциала на достаточную величину прекратятся токи между анодами и катодами коррозионных пар на поверхности металла, и коррозия прекратится. В условиях действия катодной защиты такое состояние поддерживается постоянно. При недостаточной силе

защитного тока коррозия будет продолжаться, но с меньшей интенсивностью, чем вообще без катодной защиты [8].

Катодная защита является единственно эффективным средством против наиболее локальных видов коррозии металлов (питтинговой, язвенной, щелевой, контактной, межкристаллитной, коррозионного растрескивания) и при этом предотвращает дальнейшее развитие уже имеющихся коррозионных разрушений, т. е. она одинаково эффективна как для строящихся, так и для находящихся в эксплуатации судов.

Однако в агрессивных средах для достижения защитного катодного потенциала необходимо прилагать высокую плотность тока, при которой на защищаемой поверхности происходит интенсивное выделение водорода, что может вызвать явление водородного охрупчивания [7].

Параметры поляризации электрическим током судостроительных металлов при катодной защите описаны во многих руководящих материалах и литературе: сдвиг потенциала стали от стационарного в морской воде на 0,05 - 0,1 В является условием предотвращения коррозии в морской воде. Однако, наличие на поверхности металла в воде лакокрасочного покрытия, продуктов коррозии или катодных солевых осадков не позволяет создать указанный сдвиг потенциала в микронеровностях, трещинах и других дефектах и обеспечить эффективную защиту. Поэтому в практике использования нестойкой поляризации явно видны случаи растрескивания сталей при эксплуатации в морской воде.

В последние годы все более широкое использование в исследовательской практике находит потенциостатическая поляризация. При потенциостатической поляризации, когда на поверхности металла поддерживается постоянный потенциал, характер электродного процесса в течение опыта не меняется. Имеется возможность осуществить катодную поляризацию с ионизацией кислорода или с выделением водорода. Это имеет принципиальное значение при изучении коррозионно-усталостного процесса в морской воде, когда наводороживание является фактором, понижающим коррозионно-усталостную прочность. Если произвести поляризацию образцов при постоянной плотности тока, то в морской воде происходит накопление продуктов коррозии или катодного осадка на поверхности, следовательно изменяется сопротивление поверхности. Соответственно потенциал смещается в отрицательном направлении, в результате чего электродный процесс может во время опыта изменить свой механизм: при невысоких потенциалах происходит ионизация кислорода, а когда потенциал смещается, еще отрицательнее начинается выделение водорода, что ведет к наводороживанию металла и дальнейшему охрупчиванию.

В результате получаем, что катодная поляризация восстанавливает предел усталости сталей разной прочности и дефектности в морской воде. Повышение предела коррозионной усталости при поляризации принято оценивать по степени защиты (1):

$$C = \frac{\sigma_{-13}^{\kappa} - \sigma_{-1}^{\kappa}}{\sigma_{-1}^{\kappa} - \sigma_{-1}^{\epsilon}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $C$  – степень защиты, %;

$\sigma_{-13}^{\epsilon}$  – предел усталости в среде с защитой, МПа;

$\sigma_{-1}^{\epsilon}$  – предел усталости в среде, МПа;

$\sigma_{-1}^{\kappa}$  – предел усталости в атмосфере, МПа.

Полученные путем исследования различных сталей значения степени защиты сталей показывают, что максимальное повышение предела усталости составляет 77 - 134 % при потенциалах минус 0,9 ÷ минус 1,25 В. Возможно, что такой разброс степени защиты объясняется в какой-то мере различием в состоянии поверхности сталей после обработки. В зависимости от особенностей структуры, технологического наследия могут иметь место неодинаковые для разных сталей концентраторы напряжения, субмикрордефекты в виде поверхностных трещин, в глубине которых потенциал ниже, чем на поверхности. Это, в свою очередь, определяет неполную защиту локальных дефектов.

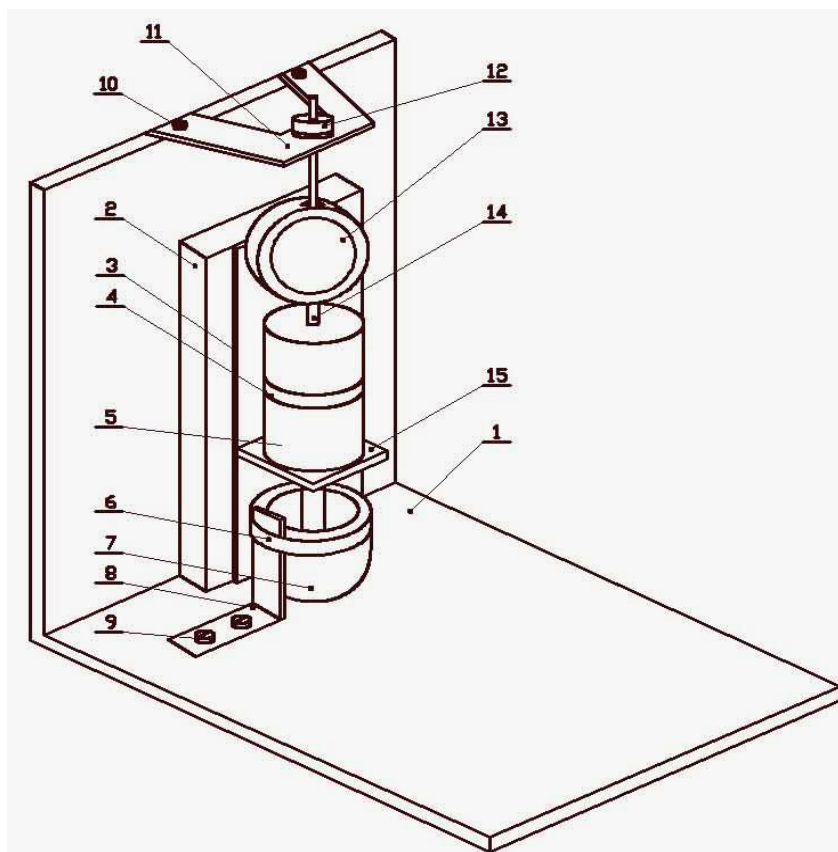


Рисунок 2 – Установка для непрерывной зачистки поверхности образца:  
 1 – основание; 2 – стальная станина; 3 – стальные полозья; 4 – хомут; 5 – двигатель Д-25-1; 6 – кольцо-держатель; 7 – стакан; 8 – крепежный уголок; 9 – болт М10; 10 – болт М6; 11 – кронштейн; 12 – крепежная шайба; 13 – индикатор нагрузки часового типа; 14 – шпилька.

При потенціалі поляризації мінус 0,9 В ступінь захисту знаходиться в межах 77-114%. В умовах інтенсивного виділення водорода при потенціалі мінус 1,4 В ступінь захисту, хоча і нижче, але знаходиться в межах 86-107%. Другими словами, поляризація, супроводжується виділенням водорода, також приводить до суттєвому підвищенню межі корозійної усталості сталей різної прочності.

Але в практичних цілях ці режими поляризації вряд чи можуть бути рекомендовані в зв'язі з існуючою небезпечністю водородного охрупчування сталей при тривалій експлуатації. Причому збільшення потенціалу поляризації в негативному напрямку від мінус 1,0 ÷ мінус 1,25 В для углеродистий і низколегированої і від мінус 0,95 В для корозійностійкої сталі влечет за собою зниження межі усталості.

Ураховуючи сказане, спроектована і виготовлена установка для визначення параметрів захисту сталі з допомогою катодної поляризації при неперервній зачистці поверхності (рис. 2) і різних потенціалах.

**Практичне застосування.** Застосування результатів дослідження на практиці здійснюється регулюванням і уточненням параметрів катодної поляризації в системах захисту від корозійно-механічних руйнувань морських судів і споруд різних типів для забезпечення найбільш ефективною і довготривалою захисту.

**Висновки.** Виходячи з вищесказанного, слід розглянути принципово новий спосіб захисту від локальних форм корозійного руйнування при потенціалі незарядженої поверхності металу. В даному стані металу визначаючу роль грає специфічна адсорбція, при якій мінімально сказується вплив аніонів і катіонів. В процесі корозії металу в морській воді визначаючим фактором є адсорбція на поверхності металу, яка змінюється – анодні і катодні процеси, але є одна точка незарядженої поверхності, де адсорбція аніонів і катіонів обмежена.

Металл виявляється незарядженим, і електростатична адсорбція (аніонів і катіонів) не виникає, а виникає специфічна адсорбція, яка не викликає корозії, усталості, виникнення растрескивання, ефекту Ребиндера.

Виконані роботи, які показали, що основні процеси руйнування відбуваються під поверхневою плівкою, а загальноприйнята катодна поляризація не викликає суттєвого впливу на захист локальних дефектів під плівкою. В нашому випадку потенціал незарядженої поверхності, зменшуючи електростатичну адсорбцію, створює захисні умови в дефектах сталевих поверхностей і забезпечує запобігання корозійно-механічних руйнувань.

З наведеного матеріалу можна зробити дуже важливий висновок: потенціал поляризації сталі для захисту від локальних руйнувань слід визначати по свіжообразованій поверхності, яка виступає в

качестве коррозионно-активного агента в локальных микроразрушениях и будущих микротрещинах.

Разработана новая теоретическая схема защиты стали в морской воде не только от коррозии, но и от коррозионно-механических разрушений (растрескивания, усталости), отвечающая следующим требованиям: подавление процесса адсорбции анионов; подавление процесса адсорбции катионов; предотвращение процесса растрескивания сталей из-за наводороживания; стабилизация процесса катодной поляризации при потенциале незаряженной поверхности, когда на поверхности стали не возникает заряда по отношению к морской воде и заторможена электростатическая адсорбция; создаются условия для специфической адсорбции (при потенциале минус 0,9В для стали), при которой нет эффекта Ребиндера, восстанавливается поверхностная прочность, предотвращается растрескивание, усталость, кавитация.

### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Томашов Н. Д. Теория коррозии и защиты металлов / Н. Д. Томашов // Изд. АН СССР, 1959. – С.10.
2. Коррозия : Справ. изд. / [Под ред. Л. Л. Шрайера и др.]. – М. : Металлургия, 1981. – 632 с.
3. Коррозия и защита судов : Справочник / [Под ред. Е. Я. Люблинского, В. Д. Пирогова]. – Л. : Судостроение, 1987. – 376 с.
4. Ожиганов Ю. Г. Усталостная прочность стали ЮЗ с поверхностными дефектами в морской воде / Ю. Г. Ожиганов, Ю. С. Горячко, О. Ф. Шевченко // Повышение надежности защиты судов от коррозии и обрастания. – К. : Знание, 1977. – С. 10-11.
5. Ожиганов Ю. Г. Предотвращение коррозионного растрескивания судостроительных сталей на морских судах и сооружениях / Ю. Г. Ожиганов, А. В. Родькина // Совершенствование проектирования и эксплуатации морских судов и сооружений : материалы IV Всеукраинской студенческой науч.-техн. конф., 2-5 декабря 2009 г. – Севастополь : Изд-во СевНТУ, 2009.
6. Скорчеллетти В. В. Теоретические основы коррозии металлов / В. В. Скорчеллетти. – Л. : Химия, 1973. – 264 с.
7. Рачев Х. Справочник по коррозии / Х. Рачев, С. Стефанова – М. : Мир, 1982. – 520 с.
8. Чендлер К. А. Коррозия судов и морских сооружений / К. А. Чендлер. – Л. : Судостроение, 1988. – 320 с.

**Ожиганов Ю.Г., Родькіна Г.В., Огородова О.А., Калініна О.І.** КАТОДНА ПОЛЯРИЗАЦІЯ ПРИ ПОТЕНЦІАЛІ НЕЗАРЯДЖЕНОЇ ПОВЕРХНІ ЯК СПОСІБ ЗАХИСТУ ВІД КОРОЗІЙНО-МЕХАНІЧНОГО РУЙНУВАННЯ В МОРСЬКІЙ ВОДІ

*У статті розглядається катодна поляризація як спосіб захисту сталі у морській воді від корозійно-механічного руйнування, в тому числі і його локальних форм. Причому пропонується, як захисний потенціал, використовувати потенціал незарядженої поверхні. Тобто виключається електростатична адсорбція, а спостерігається специфічна адсорбція.*

*Ключові слова: потенціал, катодна поляризація, незаряджена поверхня.*

**Ozhiganov J.G., Rod'kina A.V., Ogorodova A.A., Kalinina O.I.** CATHODIC POLARIZATION AT UNCHARGED SURFACE POTENTIAL AS A WAY OF PROTECTION FROM CORROSIVE-MECHANICAL DESTRUCTION IN SEA WATER

*Cathodic polarization as a way of steel protection in sea water from corrosive-mechanical destruction including its local forms is considered. Uncharged surface potential is proposed to be used as protective potential. That is, electrostatic adsorption is excluded, and specific adsorption is observed.*

*Keywords: potential, cathodic polarization, uncharged surface.*



## ВИКОРИСТАННЯ КРІОСКОПІЧНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ ДЛЯ ТОВАРОЗНАВЧОЇ ОЦІНКИ ПРОДУКТІВ

*Погожих М.І., Одарченко Д.М., Діденко О.В., Сподар К.В., Сюсель О.О.,  
Харківський державний університет харчування та торгівлі*

*Стаття присвячена дослідженню кріоскопічних властивостей плазми томатів, як об'єкта чутливого до дії низьких температур. Проведено пошук та наукове обґрунтування виявлених сигнатур для ґрунтових та парникових томатів.*

*Ключові слова: кріоскопічні дослідження, плазма.*

**Введення.** Проблемою сучасного світу є підвищення якості різноманітних груп товарів, тому вимоги до якості харчових продуктів стали жорсткішими. Важливо, щоб якість харчових продуктів була ідентична тим показникам, які закладено в державних стандартах і технічних умовах на їх виробництво.

На сучасному ринку традиційно великим попитом серед населення користуються овочеві культури. Проте умови їх вирощування у різні пори року суттєво відрізняються. Овочеві культури, що надходять до продажу у торговельну мережу в зимовий період, вирощуються в основному на закритому ґрунті (теплиці та парники). Проведені дослідження біохімічного складу томатів показали, що умови їх вирощування значно впливають на якість отриманої продукції [1].

Перспективи розвитку експертизи овочевої сировини тісно пов'язані з розробкою нових та удосконаленням існуючих фізико-хімічних методів аналізу та самого процесу проведення експертизи заморожених харчових продуктів [2].

У цьому випадку кріоскопічні властивості томатів можуть бути сигнатурою, яка допоможе визначити умови вирощування, безпеку та якість овочевої сировини.

**Постановка задачі.** Метою роботи було визначення та обґрунтування відмінностей основних термодинамічних величин, які б виступали у ролі сигнатур умов вирощування та товарознавчих показників якості й безпеки парникових та ґрунтових томатів.

**Вирішення задачі.** Об'єктом дослідження були кріоскопічні властивості розчинів плазми ґрунтових та парникових томатів, які підлягали низькотемпературному заморожуванню. Попередньою підготовкою до заморожування було центрифугування з наступними параметрами: тривалість ( $\tau$ ) – 15 хвилин, швидкість ( $v$ ) – 5000 об./хв. В результаті заморожування за температури мінус 20° С та центрифугування спостерігалось утворення двох фаз: рідкої та твердої. Рідка фаза (плазма) – частина цілого томату, яка виділяється шляхом центрифугування, а осад – тверда фаза. Рідка фаза використовувалася для приготування досліджуваних розчинів. Предметом дослідження була плазма ґрунтових і парникових томатів.

Для дослідження термодинамічних величин обрали розчини однакової концентрації (10 %): свіжі розчини плазми томатів, яку отримали в результаті попереднього центрифугування та розчини плазми томатів, яка була попередньо заморожена до мінус 20° С та відцентрифугована.

Після операцій попередньої підготовки розчини плазми томатів заморожували до мінус 70° С. Процес заморожування здійснювали за допомогою низькотемпературного калориметра. В якості хладоносія використовували пари рідкого азоту, які змішувалися в певній пропорції з повітрям для створення  $t = \text{мінус } 70^{\circ} \text{ С}$ .

Заморожуванню підлягали розчини плазми ґрунтових та парникових томатів масою 25 г, які поміщали в спеціальні пластмасові ємності циліндричної форми та занурювали в калориметр із заданою від'ємною температурою середовища. Процес заморожування вважався завершеним, коли температура в середині досліджуваного зразка дорівнювала температурі середовища. Після цього здійснювали процес розморожування продукту шляхом встановлення в камері калориметра температури оточуючого середовища. Експеримент вважався завершеним після досягнення температури у зразку  $+ 20 \pm 2^{\circ} \text{ С}$ .

Здійснювали контроль середньооб'ємної температури зразків розчинів, а також контролювали температуру вхідної та вихідної з камери калориметра суміші повітря й азоту. Реєстрацію здійснювали за допомогою хромелькопелевих термопар у поліетиленовій оболонці з діаметром спаювання 0,2 мм. Сигнал від термопар реєстрували цифровим потенціометром, з'єднаним з портом ПК. Статистичну обробку і апроксимацію бази даних проводили за допомогою програмного засобу Mathcad 14.

Загальний вигляд термограм при заморожуванні і нагріванні зразків представлено на рис. 1. Термограма розбита на два відрізки, відокремлених вертикальною лінією: ліва частина – ділянка заморожування до постійної температури (для мінус 70° С), права частина – нагрівання (дефростація) за постійної температури, що дорівнює температурі оточуючого середовища. Видно, що криві заморожування і розморожування приблизно симетричні відносно шкали часу: тривалість заморожування і розморожування приблизно однакова. На всіх кривих чітко прослідковуються характерні ділянки, які можна ідентифікувати за критичними точками: ділянка від початку заморожування до точки  $K_1$  характеризується охолодженням зразка до початку утворення льоду. Потім до точки  $K_2$  відбувається безпосередній процес кристалізації частки води, яку будемо називати «вимороженою» (точка  $K_2$ ). Проміжок між точками  $K_1$  і  $K_2$  вважається першим діапазоном кристалізації вимороженої води. Після точки  $K_2$  далі відбувається охолодження зразка до точки  $K_3$ , що характеризує початок кристалізації частки «вимороженої» води, що залишилась, до точки  $K_4$  – другий діапазон кристалізації вимороженої води. Після точки  $K_4$  відбувається охолодження зразка безпосередньо до температури заморожування.

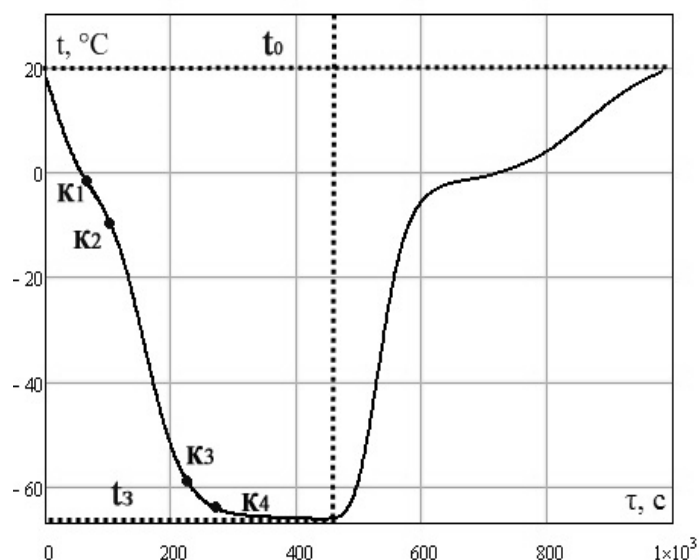


Рисунок 1 – Середня температура зразка при заморожуванні і нагріванні

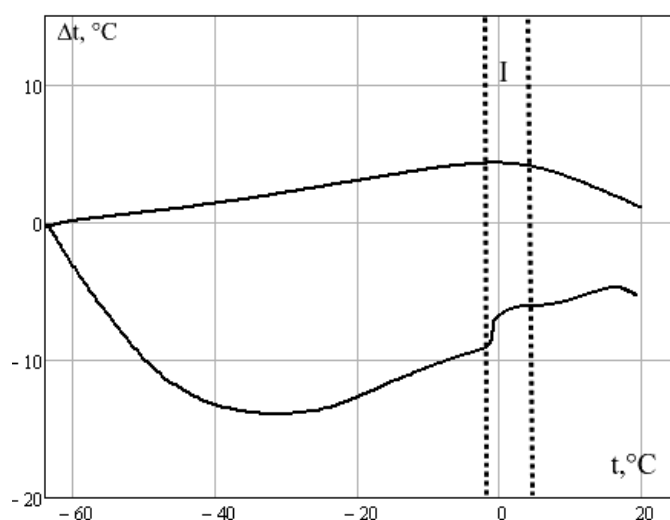


Рисунок 2 – Різниця температур вхід-вихід від температури зразка

На кривій нагрівання також можна ідентифікувати аналогічні ділянки, які зумовлені розморожуванням води (таненням льоду).

В методиці використовувався калориметр з достатньою чутливістю до реєстрації різниці температур суміші азоту та повітря між входом і виходом у робочу камеру  $\Delta t$ . Використовуючи рівняння теплового балансу визначалася кількість вимороженої води на різних ділянках за відносними величинами площ, що обмежені кривими  $\Delta t$ – $\tau$ .

На рис. 2 представлено типову криву в координатах  $\Delta t$  –  $t$  зразка для випадку заморожування свіжого розчину плазми томатів при мінус  $70^{\circ}\text{C}$ .

Верхня частина рисунка відносно  $\Delta t = 0^{\circ}\text{C}$  відповідає охолодженню і заморожуванню, а нижня частина – нагріванню. Як видно, в цій системі координат криві  $\Delta t=f(t)$  достатньо чутливі по відношенню до процесів кристалізації і рекристалізації води у зразках (ділянка I).

На рисунку 2 криві заморожування і розморожування розчинів плазми томатів не співпадають, тобто характер теплообміну при заморожуванні і розморожуванні різний.

В таблиці 1 представлені результати аналізу термограм процесу заморожування досліджуваних розчинів плазми ґрунтових та парникових томатів.

Таблиця 1 – Результати аналізу кривих заморожування розчинів плазми томатів

| Вид томатів                                                                  | $t_{\text{зам.}}, ^\circ\text{C}$ | $\Delta t_{\text{крис.}}, ^\circ\text{C}$ | $t_{\text{крис.}}, \text{K}$ | $m \text{ H}_2\text{O}, \%$ |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------|
| Свіжі розчини плазми томатів                                                 |                                   |                                           |                              |                             |
| Парникові                                                                    | -70                               | -3,6...-14,8                              | 269                          | 7,6                         |
| Ґрунтові                                                                     | -70                               | -0,2...-2,6                               | 273                          | 29,6                        |
| Розчини плазми томатів після першого заморожування і другого центрифугування |                                   |                                           |                              |                             |
| Парникові                                                                    | -70                               | -2,4...-10,6                              | 270                          | 28,4                        |
| Ґрунтові                                                                     | -70                               | -0,3...-1,4                               | 272                          | 22                          |

Встановлено, що маса вимороженої води залежить від виду попередньої обробки. Так у свіжих розчинах плазми томатів найбільшу масу вимороженої води мають ґрунтові томати, а в розчинах плазми томатів, що була попередньо заморожена до мінус  $20^\circ \text{C}$  та відцентрифугована – мають парникові.

Проведені кріоскопічні дослідження надали можливість визначити за другим законом Рауля середню молярну масу розчинених речовин, які спричиняють зміщення температури кристалізації води в область низьких температур. Цей закон надає можливість достатньо легко здійснювати експериментальне визначення молярних мас молекул деяких сполук, нездатних до дисоціації в даному розчиннику. Відповідно до цього закону:

$$\Delta T = k \cdot B = k \frac{g}{\mu}, \quad (1)$$

де  $\Delta T$  – зниження температури замерзання розчину,  $B$  – полярність розчину, моль/кг;  $k$  – кріоскопічна стала, кг/К;  $g$  – число грам розчиненої речовини в  $G$  грамах розчинника,  $\mu$  – молярна маса розчиненої речовини.

Величину кріоскопічної сталої можна визначити за емпіричною формулою [3]

$$k = \frac{2 \cdot T_0^2}{G \cdot r}, \quad (2)$$

де  $T_0$  – температура затвердіння розчину,  $r$  – теплота кристалізації,  $r = 33,3 \cdot 10^4 \text{ Дж / кг}$ .

З формули (1) визначається молярна маса речовин:

$$\mu = \frac{k \cdot g}{\Delta T}. \quad (3)$$

Середню молярну масу можна визначити, як

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{\sum_{i=1}^n \nu_i}, \quad (4)$$

де,  $m_i$  – маса  $i$ -го компонента,  $\nu_i$  – число молей  $i$ -го компонента.

Звідси видно, що  $\mu$  буде залежати від мольної частки компонента в суміші.

В загальному випадку слід враховувати, що досліджувані об'єкти містять дисоціюючі молекули. Тому в закон Рауля слід вводити поправку на так званий ізотонічний коефіцієнт  $i$  (фактор Вант-Гоффа). Це деякий безрозмірний параметр, який пов'язаний зі ступенем дисоціації молекул в розчині, тобто який враховує відносну зміну кількості часточок за рахунок дисоціації. Тому, визначена за цим законом величина  $\mu$  в приведених дослідженнях містить в більшій мірі якісну інформацію (сигнатуру), ніж інформацію про абсолютну величину  $\mu$ .

Кріоскопічна стала та молярна маса розчинених речовин у розчинах плазми ґрунтових та парникових томатів була визначена з похибкою 25...30% (табл. 2).

Таблиця 2 – Кріоскопічна стала та молярна маса розчинених речовин у розчинах плазми томатів

| Вид томатів                                                                  | Кріоскопічна стала ( $k$ ) | Молярна маса розчиненої речовини ( $\mu$ ), г / моль |
|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------------------|
| Свіжі розчини плазми томатів                                                 |                            |                                                      |
| Парникові                                                                    | 25±5                       | 60±15                                                |
| Ґрунтові                                                                     | 20±5                       | 415±105                                              |
| Розчини плазми томатів після першого заморожування і другого центрифугування |                            |                                                      |
| Парникові                                                                    | 25±5                       | 90±25                                                |
| Ґрунтові                                                                     | 20±5                       | 150±40                                               |

Кріоскопічні дослідження показали, що циклічність заморожування впливає на значення  $\mu$ : для парникових томатів  $\mu$  зростає, а для ґрунтових – зменшується (рис. 3). Це можна пояснити тим, що парникові томати містять більшу кількість низькомолекулярних речовин ніж ґрунтові. Крім того, при заморожуванні парникових томатів частина речовин, що не дисоціюють, видаляється, а залишаються речовини, що добре дисоціюють, й, з огляду на підвищення ролі фактору Вант-Гоффа, середня молярна маса зростає. Аналогічний механізм, мабуть, відбувається й для ґрунтових томатів, але вихідна величина  $\mu$  для цих томатів майже у 7 разів вища, тому при заморожуванні вона буде зменшуватись.

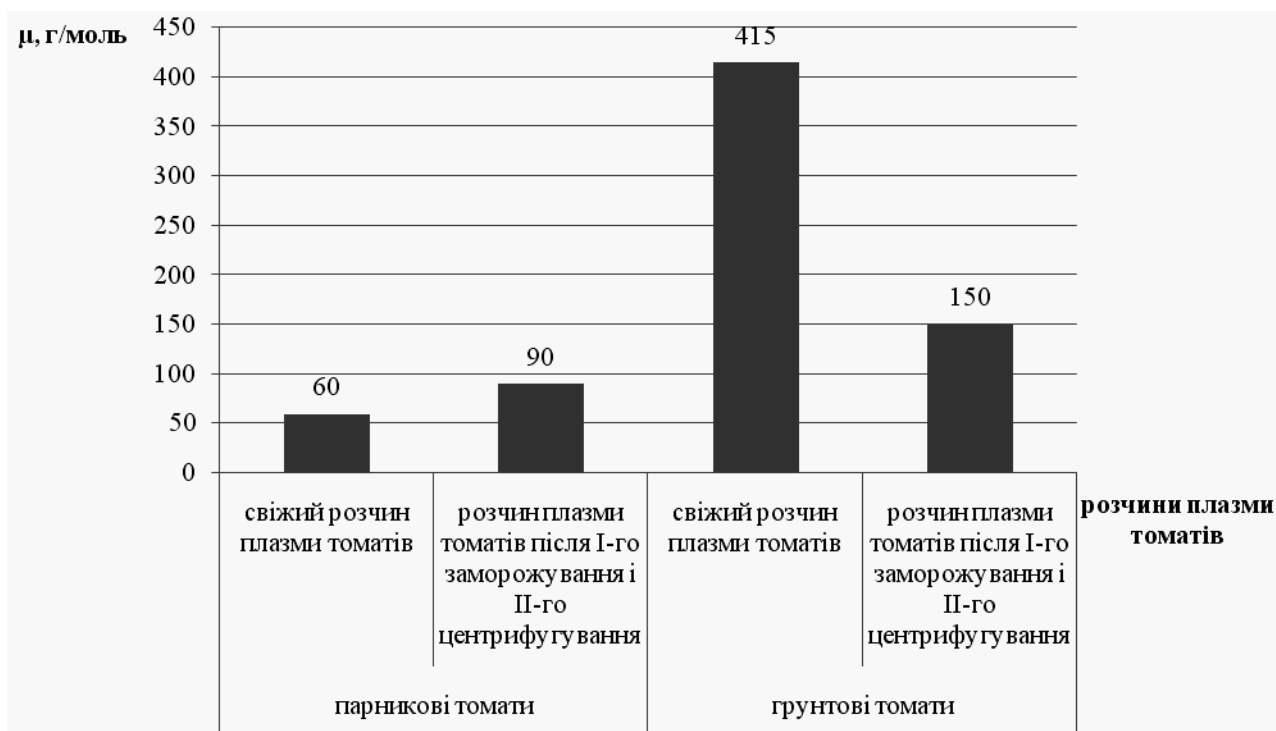


Рисунок 3 – Молярна маса розчинених речовин у розчинах плазми томатів

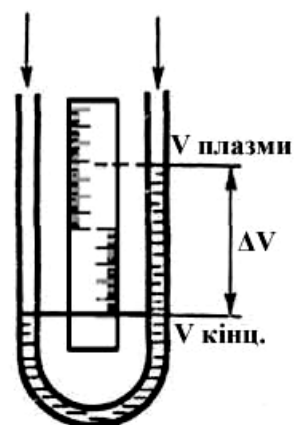


Рисунок 4 – Схема U-подібного манометру

Визначення парціального молярного об'єму води в плазмі ґрунтових та парникових томатів здійснювали за допомогою U-подібного манометру (рис. 4).

Парціальний молярний об'єм кожного компонента в розчині являється термодинамічною характеристикою багатокомпонентних систем, в тому числі й розчинів. При цьому загальний об'єм розчину  $V_0$  буде визначатися, як

$$V_0 = \sum_{i=1}^n n_i \cdot V_i, \quad (5)$$

де  $n_i$  – число молей  $i$ -ого компонента, моль;  $V_i$  – молярний парціальний об'єм, м<sup>3</sup>/моль.

U-подібний манометр – це рідинний манометр, що складається зі сполучених скляних посудин, в яких вимірювальний тиск визначають за одним або декількома рівнями рідини [4, 5].

Скляний манометр заповнюється плазмою томатів ( $V_{\text{плазми}} = 109,8$  мл) та визначається рівень рідини у ньому. Через певний проміжок часу додається 1,098 мл води ( $V_{\text{води}} = V_{\text{плазми}} / 100$ ) та вимірюється рівень отриманого розчину ( $V_{\text{кінц.}}$ ). Різницю між рівнями ( $\Delta V$ ) можна визначити, як:

$$\Delta V = V_{\text{кінц.}} - (V_{\text{плазми}} - V_{\text{води}}). \quad (6)$$

Візуальна оцінка рівня рідини у манометрі може впливати на похибку визначення, яка складала 10...15 %.

З формули (6) визначаємо парціальний молярний об'єм води в плазмі томатів:

$$\nu_{\mu} = \frac{V_{\text{води}} - \Delta V}{m_{\text{води}}} \cdot \mu_{\text{води}}. \quad (7)$$

де  $m_{\text{води}}$  – маса доданої води, кг;  $\mu_{\text{води}}$  – молярна маса води, кг/моль.

Розрахований парціальний молярний об'єм води в плазмі ґрунтових та парникових томатів наведений в таблиці 3, 4.

Таблиця 3 – Парціальний молярний об'єм води в плазмі ґрунтових томатів

| Плазма томатів                 | $\nu_{\mu}$ , мл/моль          |                                |                                |                                |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|                                | $\tau = 0$                     | $\tau = 30$ хв                 | $\tau = 60$ хв                 | $\tau = 90$ хв                 |
| Без заморожування              | $(18,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ | $(18,3 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ | $(18,6 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ | $(18,6 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ |
| Після першого заморожування    | $(18,6 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ | $(19,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ | $(19,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ | $(19,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ |
| Після другого заморожування    | $(18,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ | $(19,2 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ | $(19,2 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ | $(19,2 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ |
| Після третього заморожування   | $(19,2 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ | $(19,5 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ | $(19,5 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ | $(19,5 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ |
| Після четвертого заморожування | $(19,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ | $(19,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ | $(19,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ | $(19,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ |

Таблиця 4 – Парціальний молярний об'єм води в плазмі парникових томатів

| Плазма томатів                 | $v_{\mu}$ , мл/моль            |                                |                                |                                  |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
|                                | $\tau = 0$                     | $\tau = 30$ хв                 | $\tau = 60$ хв                 | $\tau = 90$ хв                   |
| Без заморожування              | $(21,3 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ | $(20,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ | $(20,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ | $(20,8 \pm 0,2)_3 \cdot 10^{-3}$ |
| Після першого заморожування    | $(19,6 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ | $(19,2 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ | $(19,2 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ | $(19,2 \pm 0,2)_3 \cdot 10^{-3}$ |
| Після другого заморожування    | $(19,2 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ | $(19,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ | $(19,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ | $(19,0 \pm 0,2)_3 \cdot 10^{-3}$ |
| Після третього заморожування   | $(18,9 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ | $(18,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ | $(18,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ | $(18,8 \pm 0,2)_3 \cdot 10^{-3}$ |
| Після четвертого заморожування | $(18,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ | $(18,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ | $(18,8 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ | $(18,8 \pm 0,2)_3 \cdot 10^{-3}$ |

З таблиці 4 видно, що у парникових томатів  $v_{\mu}$  більше, ніж у ґрунтових, це означає, що в них є речовини, які не зв'язують воду. Багаторазове заморожування призводить до збільшення  $v_{\mu}$  для ґрунтових томатів і зменшення цього показника для парникових. Очевидно, це обумовлено тим, що рідка фаза томатів містить іони різної природи: органічного та неорганічного походження, які вступають чи не вступають у взаємодію з розчинником (водою). Речовини органічного походження (високомолекулярні сполуки), вступаючи у взаємодію з водою, розчиняються.

Першою стадією розчинення є набухання. Це явище характерне для всіх високомолекулярних сполук та ніколи не спостерігається у низькомолекулярних. Набухання – це процес поглинання полімером низькомолекулярної рідини (наприклад, води), що супроводжується збільшенням маси, об'єму полімеру і зміною конформації його макромолекул. При набуханні молекули розчинника проникають між макромолекулами високомолекулярних сполук. Сильна взаємодія компонентів призводить до поступового зміщення та нечіткості меж розподілу фаз. Швидкість цього процесу визначається рухливістю молекул. Тому перехід макромолекул у фазу розчинника відбувається повільно, в той час як молекула розчинника швидко проникає у сітку полімеру, розсуваючи його ланцюги і тим самим збільшуючи об'єм, при цьому об'єм всієї системи



зменшується. Так у ґрунтових томатів зі збільшенням циклів заморожування парціальний молярний об'єм зростає приблизно на 10...15%, це свідчить про високу розчинність сполук, що залишилися в плазмі томатів, які будуть поводити себе обернено відносно заморожування.

Плазма томатів являє собою колоїдний розчин, що містить часточки невеликих розмірів, в результаті чого рідина може здаватися прозорою, проте ці часточки є не окремими молекулами, а їх скупченням. Колоїдні часточки знаходяться в постійному русі внаслідок безперервних ударів з молекулами розчинника.

Колоїдні розчини можна розпізнати, якщо пропустити крізь них промінь світла: вони здаються мутними. Дрібні частинки, що входять до складу колоїдного розчину, стають видимими, так як розсіюють світло. Розміри і форму кожної частинки визначити не можна, але всі вони в цілому дадуть можливість простежити шлях світла.

Проходження світла через колоїдну систему викликає три оптичні ефекти: поглинання, відображення і розсіювання променів. Поглинання властиво всім системам, тоді як відображення більш характерно для грубодисперсних систем (емульсій і суспензій), де розмір частинок більше, ніж довжина хвилі опромінення. Світлові промені, що проходять через грубодисперсну систему, не можуть обійти часточки суспензій або емульсій. Вони безладно відбиваються і заломлюються на межі розділу часток з середовищем, обумовлюючи мутність суспензій і емульсій, видиму неозброєним оком. Тож, на відміну від молекулярних і іонних розчинів, які не мають поверхні розділу фаз і оптично однорідні, колоїдні розчини розсіюють світло.

При пропусканні паралельного пучка світла через колоїдний розчин спостерігається конус розсіяного світла – ефект Тиндаля. За здатністю розсіювати світло можна визначати концентрацію колоїдних частинок в розчині [6].

Визначення кута розсіювання світла («ефект Тиндаля») проводили в плазмі ґрунтових і парникових томатів, що підлягала центрифугуванню та багаторазовому заморожуванню. Через прозору посудину (мірний циліндр) з досліджуваним зразком пропускають промінь світла та спостерігають розсіювання світла. Промінь повинен мати вигляд конуса чи трикутника, який видно на темному фоні. Потім вимірюють його довжину ( $b$ ) від вершини до будь-якої обраної точки та основу ( $a$ ) (рис. 5).

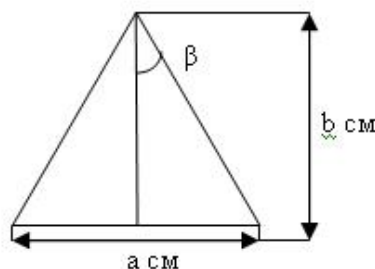


Рисунок 5 – Схема визначення кута розсіювання світла

Тангенс кута розсіювання світла розраховуємо за формулою:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{a}{2b}. \quad (8)$$

Отримані результати зображено на рис. 6.

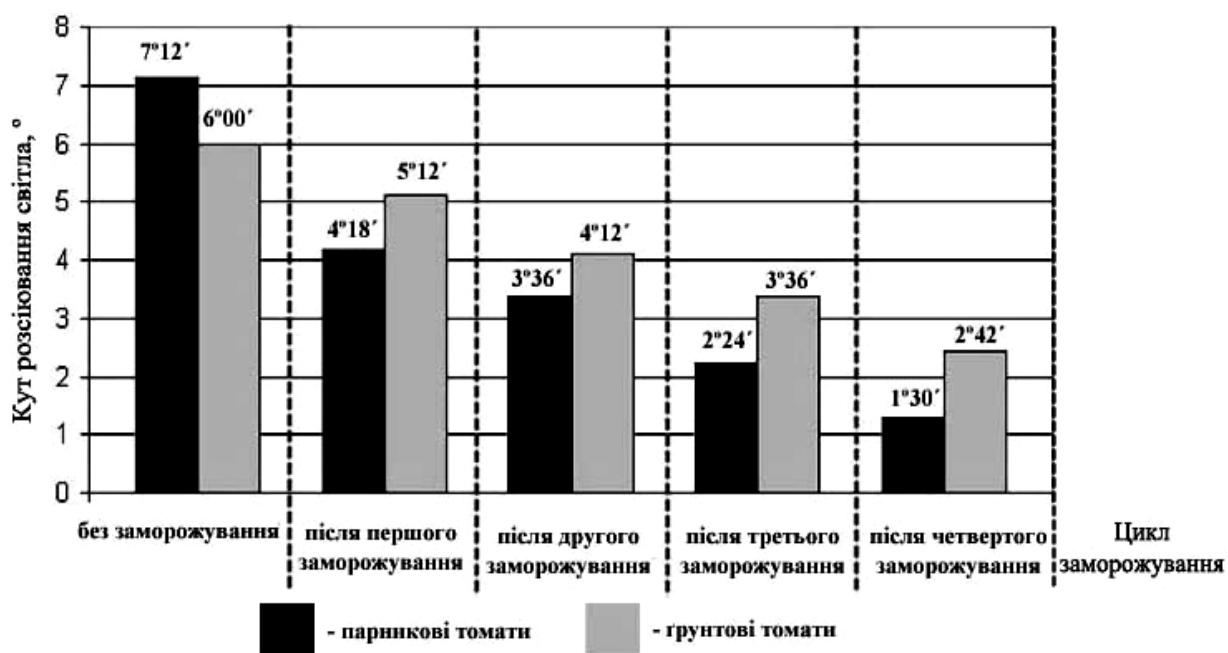


Рисунок 6 – Кут розсіювання світла в плазмі томатів

З рис. 6 видно, що циклічність заморожування однаково впливає на значення кута розсіювання світла в плазмі ґрунтових та парникових томатів:  $\beta$  зменшується зі збільшенням циклів заморожування. Це зумовлено тим, що після кожного наступного центрифугування та заморожування до  $-20^{\circ}\text{C}$  часточки, що здатні розсіювати світло, видаляються разом з утвореним осадом.

**Висновки.** Таким чином, проведені кріоскопічні дослідження плазми ґрунтових і парникових томатів показали, що:

1. Середня молярна маса речовин, які обумовлюють кріоскопічні температури в парникових і ґрунтових томатів, істотно відрізняється, що може використовуватися як сигнатура умов вирощування томатів.

Крім того, той факт, що середня молярна маса для парникових томатів дуже мала (область неорганічних сполук), вказує на те, що в процесі зростання томати «харчувалися» на штучному ґрунті (гідропоніка, мінеральна вата, торф, цеоліт або суміш торфу з цеолітом в різних співвідношеннях). Для ґрунтових томатів кількість речовин органічного походження суттєво більша.

Отже, середню молярну масу розчинених речовин, що була визначена кріоскопічним шляхом, необхідно вважати важливим товарознавчим показником якості і безпеки томатів.

2. Заморожування як технологічний прийом впливає на зміну парціального молярного об'єму води в плазмі томатів. Так, збільшення цього показника для ґрунтових томатів свідчить про наявність в них високомолекулярних сполук, а зменшення  $v_m$  – низькомолекулярних сполук у парникових томатах. Виходячи з цього, парціальний молярний об'єм води в плазмі томатів також можна вважати сигнатурою умов їх вирощування.

3. Кут розсіювання світла в свіжій плазмі парникових томатів на 10...15% більший, ніж у ґрунтових. Відмічено, що після четвертого заморожування та центрифугування кількість часточок, що знаходяться в плазмі ґрунтових томатів, у 2 рази більша, ніж у парникових. Очевидно, це обумовлено тим, що молекули речовин, які входять до складу парникових томатів, слабо зв'язані між собою і тому легше видаляються шляхом заморожування та центрифугування.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Улянич Е. Потребительская ценность и особенности технологии выращивания помидоров / Е. Улянич // АПК – Информ : Овощи и фрукты. – 2006. – № 3. – С. 11-14.

2. Смоляр В. І. Сучасні проблеми ідентифікації та фальсифікації харчових продуктів / В. І. Смоляр // Проблеми харчування. – Київ. – 2007. – № 2. – С. 15-21.

3. Телеснин Р. В. Молекулярная физика / Р. В. Телеснин. – М. : Высшая школа, 1965. – 297 с.

4. Харнед Г. Физическая химия растворов электролитов / Г. Харнед, Б. Оуэн – М., 1952. – 629 с.

5. Ефимов П. В. Предельный парциальный молярный объем одноатомных ионов в растворах / П. В. Ефимов // Вестник ХНУ. – Харьков. – 2008. – Вип. 16 (39). – № 820. – С. 303-306.

6. Кругляков П. М. Физическая и коллоидная химия : Учебное пособие / П. М. Кругляков, Т. Н. Хаскова. – М. : Высшая школа, 2005. – 319 с.

**Погожих Н.И., Одарченко Д.Н., Диденко О.В., Сподарь К.В., Сюсель Е.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КРИОСКОПИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЛЯ ТОВАРОВЕДЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПРОДУКТОВ**

*Статья посвящена исследованию криоскопических свойств плазмы томатов, как объекта чувствительного к действию низких температур. Произведен поиск и научное обоснование выявленных сигнатур для ґрунтовых и парниковых томатов.*

*Ключевые слова: криоскопические исследования, плазма.*

**Pogozhikh M.I., Odarchenko D.M., Spodar K.V., Syusel' O.O. USE OF CRYOSCOPIC RESEARCH METHODS FOR MERCHANDISING APPRAISAL OF PRODUCTS**

*Cryoscopic properties of tomatoes plasma as sensitive objects to low temperatures are researched. Search and scientific substantiation of the identified signatures for ground and hothouse tomatoes are performed.*

*Keywords: cryoscopic researches, plasma.*

## КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЛИКА СИСТЕМЫ АЭРОМОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА МЧС УКРАИНЫ

*Селиванов С.Е., Леонов В.Е.,*

*Херсонская государственная морская академия*

*Кулиш Ю.А.,*

*Харковский национальный университет гражданской защиты Украины*

*В работе рассматриваются научные основы формирования аэромобильного комплекса аварийно-спасательных и других неотложных работ, в виде разработки концептуальной модели формирования облика перспективного аэромобильного комплекса, исходя из основных положений и принципов системного подхода. Формирование облика перспективного аэромобильного комплекса в настоящей работе основывается на исследовании моделей, получаемых с помощью различных методов описания исследуемого объекта. Даны понятия функций аэромобильного комплекса.*

*Ключевые слова: аэромобильный комплекс, концептуальная модель, облик, мобильность, системный подход, функции системы.*

**Введение.** Для скорейшего реагирования на создавшуюся в определенном регионе чрезвычайную ситуацию (ЧС) используют авиационные средства для проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ (АСДНР) в связи, с чем согласно постановления Кабинета Министров Украины созданы Государственные авиационные поисково-спасательные службы [1]. Высокая мобильность, оперативность и дальность действия авиационных средств в сочетании с широкими возможностями специального спасательного оборудования и техники позволяет в кратчайшие сроки прибыть в зону возникновения ЧС и своевременно начать проведение АСДНР.

Учитывая, что перспективный аэромобильный комплекс (АМК) создается не как вновь проектируемая система, а на основе действующей авиации МЧС, применение известных методов оптимального проектирования систем не представляется возможным. Поэтому разрабатывается концептуальная модель формирования облика перспективного АМК АСДНР, исходя из основных положений и принципов системного подхода.

Концептуальная (содержательная) модель – это абстрактная модель, определяющая структуру моделируемой системы, свойства её элементов и причинно-следственные связи, присущие системе и существенные для достижения цели моделирования [2].

Концептуальная модель наиболее полно отвечает потребностям баз знаний и построена на ряде принципов, которые будем рассматривать.

Имея такие богатые возможности, концептуальная модель долгое время была не реализована. Авторами концептуальной модели были Смит и Смита – американские ученые, написавшие ряд статей в 1972 - 1976 годах, которые, по общему мнению, считались утопией. В сущности, человек мыслит именно концептуально.

В свете рассматриваемого исследования под обликом понимается общий внешний вид системы и определяется при каких условиях может изменяться облик этой системы. Формирование облика перспективного АМК основывается на исследовании моделей, получаемых с помощью различных методов описания исследуемого объекта. Поэтому выявление различных подходов к вопросам формообразования и формирования облика АМК на современном этапе представляется чрезвычайно важным и методически плодотворным ее направлением. На этапе формирования облика системы определяется рациональная структура, которая подлежит дальнейшей разработке, причем этот процесс требует тесного информационного взаимодействия.

На основе адаптации фундаментальных научных принципов к задачам формирования нового облика гражданской защиты в работе представлена исходная модель АМК в единой государственной системе предупреждения и реагирования (ЕГСР).

Важным обстоятельством научного характера при формировании нового облика АМК является возникшее и разрастающееся с необыкновенной скоростью сближение характеристик АМК мирного и военного времени для условий гражданской защиты. Для полного понимания значения аэромобильного комплекса в общей системе МЧС Украины важно знать понятие мобильность, которое дано в ГОСТе «Связь военная» [3]: определяется как «способность системы военной связи к своевременному развертыванию, наращиванию и изменению структуры в соответствии с обстановкой». Наиболее общее, но достаточно емкое определение мобильность дает «Энциклопедический словарь»: мобильность – готовность к быстрому выполнению заданий, подвижность [4].

**Цель работы и постановка задачи.** Целью настоящей работы является разработка научных основ формирования аэромобильного комплекса аварийно-спасательных и других неотложных работ (АСДНР).

Для достижения цели была поставлена частная задача – разработка концептуальной модели формирования облика перспективного АМК АСДНР.

Формирование облика перспективной аэромобильной системы целесообразно проводить на основе системного подхода к проектированию больших систем.

Согласно принятым взглядам [5] системный подход заключается в том, что требуется провести исследования по созданию нового объекта, с одной стороны, как единого целого или системы, включающей в себя другие составные элементы, находящиеся во взаимодействии. С другой стороны – как части другой системы более высокого уровня, в которой исследуемый объект находится в определенных отношениях с остальными подсистемами.

Предварительный анализ задач, стоящих перед мобильными формированиями МЧС, а также структура и состав уже действующих аэромобильных формирований показывают, что перспективный АМК может рассматриваться как большая и сложная система, а его проектирование может проводиться на основе методологии системных исследований.

Основная задача системного проектирования – это формирование структурной концепции системы без изменений детализации и непременно с увязкой требований и возможностей соответственно внешнего и внутреннего проектирования (задача формирования облика системы).

При проектировании сложных систем в соответствии с принципами системного подхода необходимо рассматривать как структурную, так и функциональную сторону проблемы формирования облика АМК.

В процессе обоснования структурных свойств АМК выявлены следующие шаги по формированию системы:

- анализ структуры действующей системы ЕГСПР;
- выявление структурных свойств замысла АМК;
- привязка структурных свойств замысла АМК к структуре действующей системы ЕГСПР;
- предварительное обоснование структуры АМК на основе сравнительного анализа с ранее существовавшими системами авиационного обеспечения;
- выделение базовой структуры АМК;
- перенос базовой структуры в различные условия функционирования;
- оценка степени соответствия базовой структуры требованиям решения целевых задач;
- корректировка базовой структуры АМК с целью удовлетворения требованиям решения целевых задач в особых условиях применения ЕГСПР.

При таком методическом подходе структурные свойства АМК характеризуются высокой устойчивостью. Структура АМК при этом изменяется в незначительных пределах.

Поскольку структурные отношения обладают большой устойчивостью, при таком подходе можно проводить исследования АМК, абстрагируясь от связей системы с внешней средой и системами более высокого уровня. Это позволяет уделить основное внимание структуре самой системы, провести исследования взаимосвязей внутри самой системы методами структурного анализа.

Вторым направлением системных исследований по формированию облика перспективной АМК является использование функционального подхода.

Сущность функционального подхода в применении к исследованию АМК заключается в рассмотрении системы не в виде конкретной структуры, а как совокупности функций, которые он должен выполнять .

Каждая из анализируемых целевых функций рассматривается с позиций возможных способов и принципов их выполнения с помощью совокупности средств с заданными тактико-техническими характеристиками.

Оценка вариантов построения облика перспективной системы АМК производится по критерию, учитывающему степень выполнения и значимость целевых функций.

Предлагаемый функциональный подход в дополнение к структурным методам формирования облика перспективной АМК позволяет с более широких позиций совершенствовать способы достижения цели системой в целом.

Применение функционального подхода позволяет концентрировать внимание при обосновании облика системы на общности функций, выполняемых системой для решения целевой задачи ликвидации последствий ЧС.

Так как функции системы могут быть реализованы только в структуре формируемой системы, то оценку выполнения целевой функциональной задачи АМК на последнем этапе функционального анализа облика системы необходимо проводить с учетом ее структурных свойств.

Процесс формирования облика системы АМК функциональным путем, основанный на поиске адекватных целевых функций, включает:

- выделение основных целевых функций АМК АСДНР;
- определение круга военно-прикладных задач, решаемых АМК АСДНР;
- разработку методов решения военно-прикладных задач;
- моделирование действий сил и средств АМК АСДНР по решению военно-прикладных задач с помощью разработанных методов и методик;
- оценку качества решения военно-прикладных задач;
- оценку достоверности полученных оценок качества решения военно-прикладных задач;
- выработку научно обоснованных способов применения АМК АСДНР для заданных условий функционирования комплекса;
- проверку возможностей АМК АСДНР по решению военно-прикладных задач в сложных условиях максимальной нагрузки;
- проверку степени выполнения комплекса военно-прикладных задач АМК со структурными свойствами, адаптированными к сложным условиям боевой обстановки;
- выработку предложений и рекомендаций по улучшению структурно-функциональных характеристик АМК АСДНР.

Анализ совместного использования структурных и функциональных методов при создании больших систем различного назначения позволил выявить следующие основные закономерности, которые можно рассматривать как основу для эволюционного синтеза больших систем. Здесь под понятием эволюционного синтеза будем понимать совокупность принципов создания больших организационно-технических систем на основе систем уже действующих [6], когда не производится проектирование и создание принципиально новой системы, а на основе уже действующей системы создается система, позволяющая решать более широкий круг задач.

Итак, создаваемая путем эволюционного синтеза система АМК будет обладать следующими свойствами:

- преемственностью функционально-структурной организации, достигаемой учетом предыдущих этапов развития системы ЕГСПР;

- адекватностью структурной организации системы ее реализуемым целевым функциям;
- ориентацией на широкое применение сил и средств, используемых при проведении аварийно-спасательных работ;
- возможностью дальнейшего развития организационно-технической системы более высокого уровня.

Формирование облика перспективного АМК в настоящей работе основывается на исследовании моделей, получаемых с помощью различных методов описания исследуемого объекта.

Под моделью в настоящем исследовании будем понимать мысленное логическое, графическое или математическое описание АМК. На основе разрабатываемых моделей АМК проводятся исследования по применению АМК в различных условиях функционирования, производится перебор возможных вариантов построения АМК, обосновываются тактико-технические характеристики комплекса, разрабатываются рекомендации по его применению.

В ходе проведения исследований используются следующие виды описания системы: структурное; функциональное; функционально-структурное.

Каждый вид описания порождает соответствующие типы моделей.

Общая задача структурного анализа – исходя из заданного описания элементов, получить некое представление о свойствах системы в целом и о свойствах подсистем.

Структурный вид описания ориентируется на материально-техническую структуру АМК и в первом приближении может быть представлен в виде таблицы сил и средств, используемых для создания комплекса.

Математически структурные свойства АМК могут быть представлены графом структуры комплекса или в виде матрицы отношений между его элементами.

Когда речь заходит о графе, большинство людей представляют себе график, т.е. нечто вроде диаграммы, отражающей какую-нибудь деятельность структуры, или гладкую кривую, позволяющую наглядно представить свойства какой-нибудь математической функции. Но для огромного (и все возрастающего) числа математиков слово «граф» означает нечто совсем иное.

Граф – это сложная нелинейная многосвязная динамическая структура, отображающая свойства и связи сложного объекта.

Наибольшей популярностью теоретико-графовые модели используются при исследовании систем сетевой структуры.

На основе теории графов в нашем случае вводится понятие графа мобильных связей, характеризующего вероятностные характеристики устойчивости мобильных связей между элементами структуры АМК в различных условиях его функционирования.

Сопоставление различных вариантов структуры АМК позволяет выделить различные уровни структурного описания АМК как системы,



выявить существенные связи между основными структурными элементами с определенной степенью упрощения.

Однако теоретико-графовые структурные модели АМК не дают достаточно полного представления о связях и отношениях в структуре АМК, возникающих в процессе его функционирования. Дело в том, что структура является как бы скелетом системы и отражает только наиболее явные и неизменные связи в системе [7].

Действительные связи в системе в наибольшей степени проявляются при ее применении по целевому назначению, то есть в процессе ее функционирования. Эти связи являются динамическими и их описание требует введения временных функций. Возможности описания динамических свойств значительно расширяются при функциональном описании АМК. Такое функциональное описание производится с помощью временных диаграмм, функциональных схем, алгоритмов работы системы, функциональных моделей.

Давая предварительное представление о процессах функционирования АМК, такие функциональные модели все же не позволяют четко определить свойства каждого звена функциональной модели и не в полной мере отражают всех существенных связей в системе.

Более подробную характеристику функциональных связей в с учетом логического взаимодействия отдельных элементов системы дают такие специальные методы исследования функционального анализа систем, как метод профессионального анализа, метод логической цепи, метод «черного ящика».

Метод профессионального анализа является наиболее старым и апробированным способом определения функций системы, при котором с помощью таких отработанных методов, как анализ, абстрагирование и использования профессионального опыта специалистов в данной и смежной областях исследований выявляются функции анализируемой системы.

Метод «черного ящика» в данном случае основывается на анализе различий между исходной позицией в динамике развития системы и выходной позицией, то есть состоянием системы в момент применения или после выполнения определенных целевых задач. Из анализа различий между двумя состояниями системы выявляется основная функция объекта исследований как целенаправленной системы.

Метод логической цепи основывается на постепенном раскрытии всей последовательности связанных функций, которые характеризуют структуру анализируемой системы. При таком подходе производится описание логических функций и их систематизация в процессе функционирования системы.

Примером такого подхода в исследования систем служит методика системного анализа функций FAST – один из наиболее сильных и простых инструментов анализа и классификации функций (автор – Ч. Байтуэй (США), 1965 г.) [8].

Методика FAST не гарантирует решения проблемы в том смысле, что ее применение выявит очевидное решение, но она идентифицирует

необходимые характеристики проблемы, логически выстраивает их и стимулирует процесс мышления, приводящий к лучшему пониманию аналитического процесса, озарению и выдвижению идей по осуществлению этих функций.

Инструментом стимулирования процесса творческого мышления и средством решения задач является диаграмма FAST, которая:

- отражает существо функций (т.е. задачи и проблемы) и позволяет формализовать приемы функционального подхода;
- позволяет проверить правильность проведенной классификации и принятых формулировок;
- дает возможность выявления взаимосвязи между функциями;
- позволяет быстро выявлять те функциональные зоны, в которых заложены наибольшие резервы снижения затрат;
- позволяет устанавливать понимание между специалистами различного профиля.

Таким образом, методика системного анализа функций FAST, основывается на применении детерминированной логики и предусматривает построение диаграмм функций, напоминающих сетевые графики. В такой системе линию критического пути составляют те функции, которые должны быть выполнены обязательно для реализации основной функции системы.

Наиболее полное отражение функционирования системы дает функциональная модель (ФМ) [9]. Она представляет собой логико-графическое изображение состава и взаимосвязей системы, получаемых путем их формулировки и установления порядка подчинения. Самым простым считается вариант построения функциональной схемы в виде связного графа, относящегося к графам дерева с несколькими иерархическими уровнями.

Для того, чтобы функциональная модель достаточно полно и адекватно отражала сущность функционирования системы, ее формирование осуществляется на основе определенных принципов и правил.

Главными принципами можно считать следующие:

- соответствие выделяемой функции частным целям данной составляющей системы, а также и общим целям системы в целом;
- целевой принцип заключается в четкой определенности специфики действий, обуславливающих содержание выделяемой функции;
- строгой согласованности целей и задач, определивших выделение данной функции, с действиями, составляющими ее содержание.

Следовательно, при формировании функциональной модели необходимо проверять, чтобы каждая выделяемая функция обладала конкретной целенаправленностью и определенностью содержания, учитывались бы внутрисистемные отношения каждой части системы, в содержании (формулировке) должны отражаться характерные особенности самой системы и системы более высокого уровня.

В этой связи необходимо провести предварительное обоснование требований к заданию функций, выполняемых АМК. В широком понимании функция – это деятельность, назначение, выполняемая работа.

Применительно к АМК под функцией, выполняемой АМК, будем понимать внешнее проявление свойств АМК по отношению ко всей системе ЕГСПР. В данном случае можно говорить о совокупности свойств АМК как сложной системы. К ним мы уже отнесли мобильную компоненту как одну из важнейших функций, выполняемых АМК.

При формулировании функций будем руководствоваться следующими основными принципами: точность, краткость, обобщенность определения, полнота.

Точность. Функция должна отражать действительное содержание процесса (действия), для выполнения которого предназначен АМК.

Краткость. Функция АМК должна быть определена как можно более кратко. Это один из главных принципов правильного определения функции, хотя и не самоцель.

Обобщенность определения. Обобщенность формы определения функции позволяет уменьшить ограничения на варианты реализации АМК. Следствием этого является создание достаточно больших возможностей для появления новых решений. Противоположная тенденция, проявляющаяся в излишней конкретизации проблем, ведет, наоборот, к ограничению выбора вариантов построения АМК. Соблюдение принципа обобщенности при формулировании функций, выполняемых АМК, состоит в следующем: при определении функций необходима максимальная обобщенность, но в рамках соответствующего системного класса.

Полнота – наличие в модели всех наиболее существенных факторов, позволяющих однозначно идентифицировать состояние анализируемой системы и исследуемой проблемы.

Определяя функции, фактически выполняемые АМК, следует указывать все реализуемые им функции, даже те, для которых он и не предназначался. Это правило имеет принципиальное значение. Оно помогает выявить потенциальные функции и свойства, найти дополнительные области применения АМК. Так, например, такими новыми функциями АМК в процессе исследований выявлены следующие: разведка погоды и организация связи в зоне ЧС.

Неполнота модели проявляется в конце анализа, когда обнаруживается, что полученные результаты не отражают всей сути исследуемой проблемы и существуют какие-то дополнительные важные факторы, не принятые во внимание аналитиком.

Разнообразные функции, выполняемые АМК, целесообразно сгруппировать, исходя из следующих соображений.

По области проявления и отношению к объекту исследований как к системе функции АМК можно подразделить на внешние и внутренние. Внешние (общесистемные) функции выполняются АМК в целом и отражают функциональные отношения между АМК и сферой его применения (ликвидация ЧС). Внутренние (внутриобъектовые) функции определяются составом действий и взаимосвязей внутри объекта и выполняются его структурными составляющими.

Среди внешних функций АМК в зависимости от их роли можно выделить главные и второстепенные. Главную функцию АМК будем определять из тех соображений, что она должна характеризовать назначение, сущность и смысл существования АМК в целом. Второстепенные функции должны отражать побочные цели создания АМК.

Среди внутренних (внутриобъектовых) функций АМК необходимо выделить, в зависимости от их роли в целевом применении, основные и вспомогательные функции. Основная функция играет ведущую роль в обеспечении применения АМК, создает необходимые условия для осуществлении главной функции.

В качестве основной функции АМК целесообразно, на наш взгляд, выбрать функцию поддержания высокой готовности к применению системы.

Вспомогательные функции способствуют выполнению основных функций, обеспечивают их реализацию.

Совокупность рассмотренных понятий дает возможность многоаспектного представления функций АМК и способствует более точному определению облика формируемой мобильной системы.

Наряду с понятием функции АМК в работе рассматриваются и другие понятия, тесно связанные с первичным понятием. К таким понятиям относятся понятия: качество функционирования, функциональная отдача, функциональная устойчивость.

Под качеством функционирования понимается минимизация потерь информации, что в конечном итоге трансформируется в обеспечение высокой верности передачи. Под качеством АМК будем понимать множество свойств системы, проявляющихся через его функции.

Функциональная отдача АМК определяется по показателям его эффективности. Функциональная устойчивость АМК оценивается по устойчивости выполняемых системой функций в условиях действия заданной совокупности возмущений.

Последнее свойство АМК характеризует его способность выполнять свои функции как в мирное, так и в военное время.

#### **Выводы.**

1. Разработана концептуальная модель формирования облика перспективного АМК АСДНР. В основу концептуальной модели положен структурно-функциональный подход к проектированию больших и сложных систем. В отличие от принятых подходов к проектированию вновь создаваемых систем, концептуальная модель формирования облика перспективного АМК АСДНР основывается на эволюционном развитии действующей структуры авиации МЧС. При таком методическом подходе структура АМК в процессе формирования облика систем изменяется в незначительных пределах.

2. Основное внимание при формировании облика АМК АСДНР уделяется методам описания динамических свойств комплекса. С этой целью разработаны основные положения функционального подхода к созданию перспективного АМК АСДНР.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. О главном центре координации авиационных работ по поиску и спасению Министерства Украины по вопросам чрезвычайных ситуаций и по делам защиты населения от последствий Чернобыльской катастрофы / Постановление Кабинета Министров Украины от 19 января 1998 г. № 41.
2. Концептуальная модель [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://ru.wikipedia.org/wiki/Концептуальная\\_модель](http://ru.wikipedia.org/wiki/Концептуальная_модель).
3. Связь военная. Термины и определения : ГОСТ. – М.: Госстандарт, 1982.
4. Энциклопедический словарь. – М.: «БСЭ», 1954. – С. 402.
5. Первозванский А. А. Декомпозиция, агрегирование и приближенная оптимизация / А. А. Первозванский, В. Г. Гайцгори. – М. : Наука, 1979. – 342 с.
6. Балашов Е. П. Эволюционный синтез систем / Е. П. Балашов. // Радио и связь. – 1985. – №8 – С. 16-24.
7. Малышев Н. Г. Структурно-автоматные модели технических систем / Н. Г. Малышев. – М. : Радио и связь, 1986. – 166 с.
8. Кузьмин А. М. Методика системного анализа функций / А. М. Кузьмин // Методы менеджмента качества. – 2004. – № 4. – С. 32.
9. Кузьмина Е. А. Функциональное моделирование / Е. А. Кузьмина, А. М. Кузьмин // Машиностроитель. – 2002. – № 2. – С. 40-47.

**Селіванов С.Є., Леонов В.Є., Куліш Ю.О. КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ ВИГЛЯДУ СИСТЕМИ АЕРОМОБІЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ МНС УКРАЇНИ**

*У роботі розглядаються наукові основи формування аеромобільного комплексу аварійно-рятувальних і інших невідкладних робіт, у вигляді розробки концептуальної моделі формування вигляду перспективного аеромобільного комплексу, виходячи з основних положень і принципів системного підходу. Формування вигляду перспективного аеромобільного комплексу в даній роботі ґрунтується на дослідженні моделей, одержуваних за допомогою різних методів опису досліджуваного об'єкта. Дані поняття функцій аеромобільного комплексу.*

*Ключові слова: аеромобільний комплекс, концептуальна модель, вигляд, мобільність, системний підхід, функції системи.*

**Selivanov S.E., Leonov V.E., Kylish U.A. CONCEPTUAL MODEL FORMATIONS OF SHAPE OF SYSTEM OF THE AEROMOBILE COMPLEX THE MINISTRY OF EMERGENCY MEASURES OF UKRAINE**

*In work scientific bases of formation of an aeromobile complex of rescue and other urgent works, in the form of working out of conceptual model of formation of shape of a perspective aeromobile complex, proceeding from substantive provisions and principles of the system approach are considered. Formation of shape of a perspective aeromobile complex in the present work is based on research of the models received by means of various methods of the description of investigated object. Concepts of functions of an aeromobile complex are given.*

*Keywords: an aeromobile complex, conceptual model, shape, mobility, the system approach, system functions.*

## НОВИЙ ПІДХІД ДО КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМ ВПУСКУ ДВИГУНА ПРИ РОБОТІ НА АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВНИХ ГАЗАХ

*Швець І.А., Литвин С.М.,*

*Первомайський політехнічний інститут Національного університету кораблебудування*

*Розглянуто питання підвищення ефективності сумішоутворення в газових двигунах шляхом застосування пристрою типу циклон. Одночасно з підвищенням якості сумішоутворення забезпечується очищення робочої суміші від пилу та механічних домішок. Виконано математичний опис даних процесів.*

*Ключові слова: сумішоутворення, газовий двигун, змішувач, надлишок повітря, перетворення енергії.*

**Вступ.** Застосування паливних газів альтернативного походження в ДВЗ сьогодні обмежено внаслідок їх специфічних особливостей – перемінного складу, наявності домішок та баласту. Використання таких газів як шахтний метан, попутний нафтовий газ, звалищний, біогаз в «чистому» вигляді без попередньої їх обробки, підготовки та очищення, а також без виконання заходів з удосконалення та налаштування системи впуску двигунів не можливе.

Стійкість та надійність роботи двигуна при роботі на вищезазначених паливних газах залежить від багатьох чинників. На першому плані – фізико-хімічні властивості, відсоткове співвідношення паливо/повітря та рівномірність розподілу сумішей, що вони утворюють в замкненому просторі в циліндрі. Так, для газових двигунів правильна організація процесів сумішоутворення буде безпосередньо впливати на характер протікання процесів згоряння та тепловиділення, а, відповідно, визначати ефективність протікання робочого циклу в цілому, що дасть можливість отримати необхідні вихідні параметри.

**Актуальність дослідження.** Для забезпечення потрібної ефективності перемішування газоповітряної суміші в циліндрі необхідно забезпечити рівномірність концентраційного співвідношення газ/повітря та стабільність середнього коефіцієнту надлишку повітря в циліндрі. Саме вони, в першу чергу, будуть впливати на протікання процесів згоряння та теплообміну. Тому вирішення проблем сумішоутворення в газових двигунах є на сьогодні одним з пріоритетних завдань.

**Мета дослідження.** Визначити потенційні можливості апаратів типу циклон щодо покращення ефективності процесів сумішоутворення та покращення якості їх фільтруючих властивостей при їх встановленні в системах впуску газових двигунів.

**Викладення основного матеріалу.** Одним з перспективних шляхів вирішення даної проблеми є використання кінетичної енергії руху потоку газу та повітря. Після їх змішування потік робить різку зміну напрямку руху з високою швидкістю, що стимулює процеси турбулізації в ньому. Таким

чином з'являється можливість підвищити ефективність процесів сумішоутворення, та відповідно покращити параметри робочого циклу двигуна.

В джерелі [1] для вирішення питань з ефективності процесів сумішоутворення в системі впуску газового двигуна було запропоновано до використання дотичний принцип подачі газового палива в камеру змішувального пристрою. Згідно даних результатів, представлених в даній роботі, використання зазначеного принципу подачі значно підвищує ефективність процесів сумішоутворення за рахунок значного покращення концентраційного розподілу по перетину змішувальної камери на виході. Але внаслідок застосування такого принципу подачі газу є необхідність зміни кута нахилу газового каналу, що завжди супроводжується незначним збільшенням величини гідравлічного опору змішувального пристрою.

Вищезазначений принцип вже частково реалізований на двигунах великої потужності, на яких застосовується наддув. Зокрема, на газовій машині модифікації 6ГЧН 25/34, яка випускається на підприємстві «Первомайськдизельмаш». Особливістю реалізації даного принципу є те що, змішувальний пристрій з щільним підводом газу встановлюють на вхідний патрубок проточної частини компресора. Під час обертання колеса компресора отримана суміш потрапляє на його лопатки, і під час процесів компримування суміш здійснює її якісне перемішування. Застосування такої схеми забезпечує достатнє розрідження в змішувальній камері та дає можливість забезпечити стабільність коефіцієнту надлишку повітря на номінальному режимі роботи.

На даний момент планується проведення експериментальних робіт з заміни змішувача з щільною подачею на змішувач з дотичним напрямом розташування каналів підводу газу. В цьому випадку планується поєднати ефективну роботу змішувача з дотичним розташуванням каналів та принцип домішування суміші в компресорі. Очікується отримання ефективного заповнення живого перетину впускного колектору сумішшю і, як наслідок, покращення сумішоутворення в цілому.

Але для двигунів, якіне застосовують наддув, проблема залишкового домішування суміші залишається. В цьому випадку для забезпечення якісного домішування отриманої газоповітряної суміші необхідне застосування кінетичного перетворення потоку. Для вирішення цієї проблеми пропонується на вході в системі впуску встановити циклон.

Конструктивне виконання циклонного апарату передбачає наявність великої камери з дотичним розташуванням трубопроводу для підводу газоповітряної суміші. При входженні в камеру циклона газоповітряний потік змінює напрям руху з осьового на обертальний, і, завдяки цьому, відбувається зміна кінетичної енергії руху потоку, що призводить до ефективного перемішування газу та повітря. Як свідчить досвід, при конструюванні апаратів даного типу правильний вибір геометричних параметрів циклону забезпечує високу швидкість руху газоповітряного

поток в циклоні, що призводить до появи турбулентності, інтенсифікації процесів перемішування та при цьому дає можливість здійснювати ефективне очищення потоку від механічних домішок та конденсату.

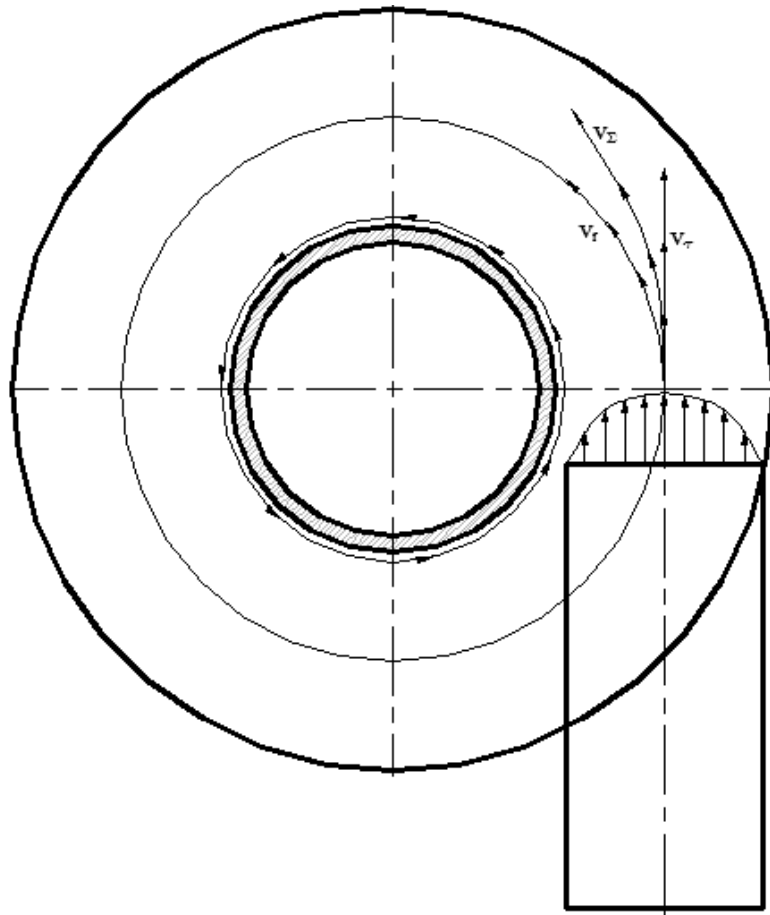


Рисунок 1 – Розподіл швидкостей в робочому перетині циклону

Так, згідно даних, наведених для шахтного метану, їх характерною особливістю можна вважати наявність часток високої дисперсності пилу та вологи пов'язаних з умовами його видобутку.

У попутного нафтового газу його основна структура складається з елементів, отриманих внаслідок характеру розташування родовища. Серед основних компонентів даного газу присутній також конденсат.

В найгіршому становищі, з точки зору вмісту домішок, можна вважати звалищний та біогаз. Крім присутності в них конденсату, також необхідно звернути увагу на наявність мікроорганізмів – метанотворних бактерій.

Саме тому є необхідність використання принципу відцентрового очищення газоповітряного потоку в циклоні.

В роботі [2] представлені рекомендації щодо проектування та вибору геометричних розмірів циклонів та основні математичні залежності для їх розрахунку. Так для газоповітряного потоку при зміні напрямку його руху, (як наприклад в нашому випадку рух потоку в циклоні) можна виділити дотичну складову швидкості  $v_\tau$ , а також радіальну складову швидкості потоку  $v_r$ . Саме вони в сумі визначають величину та напрямок вектору  $v_\Sigma$ . При цьому для визначення  $v_\Sigma$  коректним можна рівняння:



$$v_{\Sigma}^2 = v_{\tau}^2 + v_r^2, \quad (1)$$

де  $v_{\Sigma}$  – сумарний вектор швидкості потоку;

$v_{\tau}$  – дотична складова швидкості потоку;

$v_r$  – радіальна складова швидкості потоку.

При цьому на виході з вхідного патрубку циклону основна роль лягає на дотичну складову швидкості потоку. Можна вважати, що в перетині на виході з патрубка  $v_{\tau} = \max$  і відповідно  $v_r = 0$ . При цьому газоповітряний потік має енергію, яка дорівнює:

$$E_{n.p.} = \frac{m_n \times v_{\tau}^2}{2}, \quad (2)$$

де  $m_n$  – маса газоповітряного потоку;

$E_{n.p.}$  – кінетична енергія осьового руху потоку.

Так як поступово змінюється напрям руху, що призводить до зміни в співвідношенні між складовими вектору швидкості. Тоді в довільному перетині робочого об'єму циклону ми маємо:  $v_{\tau} = 0$  і відповідно  $v_r = \max$ . В цьому випадку енергія потоку дорівнює:

$$E_{o.p.} = \frac{\omega}{2} \times \sum_{i=1}^n m_{n,i} r_i^2, \quad (3)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість потоку;  $\omega = \frac{v_r}{r_i}$ ;

$m_{n,i}$  – маса газоповітряного потоку в  $i$ -му перерізі;

$E_{o.p.}$  – кінетична енергія обертального руху потоку;

$r_i$  – радіус до центру ваги  $i$ -го перетину.

Таким чином, повна кінетична енергія газоповітряного потоку в циклоні представляє собою суму кінетичних енергій осьового руху та обертання, між якими під час руху потоку змінюється співвідношення. Вона буде дорівнювати:

$$E_{n.p.} = E_{n.p.} + E_{o.p.}, \quad (4)$$

### Висновки:

1) Високоефективне перемішування газоповітряної суміші в ДВЗ забезпечується в два етапи: початкове змішування в високоефективному змішувальному пристрої та домішуванням за рахунок використання перетворення кінетичної енергії потоку із застосуванням в системі впуску компресору або циклону;

2) Застосування циклону в системі впуску газового двигуна забезпечить як очищення газоповітряного потоку від пилу, механічних домішок та конденсату, так і підвищить гомогенність самої суміші.

**Перспективи подальшого використання результатів досліджень.**

В ході проведеної роботи стало очевидним, що застосування апаратів типу циклон може бути невід'ємною складовою системи впуску газових двигунів без наддуву та зовнішнім сумішоутворенням. В процесі подальших досліджень необхідно буде уточнити кут нахилу отворів подачі газу на вході та виході з циклону.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Швець І. А. Підвищення ефективності утворення газоповітряної суміші за рахунок дотичної подачі газового палива / І. А. Швець // Матеріали V-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Суднова енергетика: стан та проблеми». – НУК, 2010. – С. 44-46.
2. Ватин Н. И. Очистка воздуха при помощи аппарата типа циклон : Методическое пособие к расчету аппаратов типа циклон / Н. И. Ватин, К. И. Стрелец. – СПбПУ, 2003.
3. Швець І. А. Дослідження взаємодії повітряного та газового потоків в газоповітряних змішувачах з різною геометрією за допомогою програмного комплексу Flow Vision / І. А. Швець // Матеріали IV-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Суднова енергетика: стан та проблеми». – НУК, 2009. – С. 124-126.
4. Швець І. А. Вплив вихроутворення в пристроях змішування на процеси сумішоутворення / І. А. Швець, С. М. Литвин // Матеріали IV-ої Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні проблеми двигунобудування: стан, ідеї, рішення». – ППІ НУК, 2011. – С. 93-94.

**Швец И.А., Литвин С.Н. НОВЫЙ ПОХОД К КОНСТРУИРОВАНИЮ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМ ВПУСКА ДВИГАТЕЛЯ ПРИ РАБОТЕ НА АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТОПЛИВНЫХ ГАЗАХ**

*Рассмотрены вопросы повышения эффективности смесеобразования в газовых двигателях путем применения устройства типа циклон. Одновременно с повышением качества смесеобразования обеспечивается очистка рабочей смеси от пыли и механических примесей. Выполнено математическое описание данных процессов.*

*Ключевые слова: смесеобразование, газовый двигатель, смеситель, избыток воздуха, преобразование энергии.*

**Shvets I.A., Litvin S.N. NEW APPROACH TO CONSTRUCTING OF SYSTEM ELEMENTS FOR ENGINE START WHEN RUNNING ON ALTERNATIVE FUEL GASES**

*Issues of improving the efficiency of mixture formation in gas engines by using cyclone type devices are considered. Alongside with the increase of mixture forming quality, dusting and mechanical impurities cleaning of gas mixture are ensured. Mathematical description of these processes is presented.*

*Keywords: mixture formation, gas engine, mixer, excess air, energy conversion.*

**ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ**

УДК 621.9.025.14

**ПРОЕКТУВАННЯ ЗМІННИХ ВІДРІЗНИХ РІЗАЛЬНИХ ПЛАСТИН  
СИСТЕМНИМИ МЕТОДАМИ**

***Бабій М.В., Настасенко В.О.,***

*Херсонська державна морська академія*

*В роботі показано практичне застосування евристичних методів для проектування металорізального інструменту, зокрема змінних непереточуваних пластин для відрізних та канавкових різців. На їх базі знайдені нові технічні рішення з удосконалення їх конструкцій та підвищення продуктивності на винахідницькому рівні. На наглядному прикладі відображена прогресивність та ефективність даних системних методів.*

*Ключові слова: збірний відрізний різець, змінні непереточувані різальні пластини, тверді сплави, механічне кріплення пластин, евристичні методи проектування.*

**Вступ.** Робота відноситься до області сучасних технологій в ремонтному та промисловому виробництві продукції суднобудування, зокрема – до збірних відрізних і канавкових різців з механічним кріпленням змінних непереточуваних пластин та до різальних пластин для їх оснащення.

**Актуальність, наукова новизна і практична значущість роботи.** У сьогоденні до найбільш прогресивних інструментів для відрізки деталей і формування різного виду канавок при виконанні ремонтних робіт, в тому числі в судноремонтних цехах та у промисловому виробництві продукції суднобудування і машинобудування, відносять види відрізних різців, які оснащені змінними непереточуваними пластинами (ЗНП) з механічним кріпленням їх до корпусу різця [1]. Дані види різців забезпечують можливість швидкої заміни ЗНП без зняття інструменту з верстата і не вимагають виконання переточувань, що особливо важливо при їх використанні у морі на судах, в ремонтному та інших видах виробництва, де відсутня централізована заточка різальних інструментів. Головні їх переваги представлені на рис. 1 [2].

Недоліками відомих пластин є: обмеження кількості різальних кромek; нераціонально великі витрати твердого сплаву; висока їх вартість з розрахунку на одне різальне лезо, яка вища, ніж у звичайних багатограних непереточуваних пластин (БНП) в 1,5 і більше разів, і досягає від 8 до 12 \$ за одну різальну пластину, що є істотною перешкодою їх використання у рамках сучасного вітчизняного виробництва. Тому питанням підвищення продуктивності ЗНП та зменшення їх вартості приділяється все більше уваги, що підтверджує актуальність і важливість виконуваної роботи.

**Постановка задачі.** Завданнями даної роботи є застосування евристичних методів проектування змінних непереточуваних пластин для відрізних та канавкових різців з метою знаходження нових технічних рішень по удосконаленню їх конструкцій та підвищенню продуктивності.

Базою для проектування вже відомих, або принципово нових видів інструментів, є поелементний принцип проектування. Інструмент, що проектується, розглядається як сукупність елементів, що мають конкретне функціональне призначення. Кожен елемент може мати декілька конструктивних виконань, що дає можливість знайти велику кількість нових технічних рішень [2].

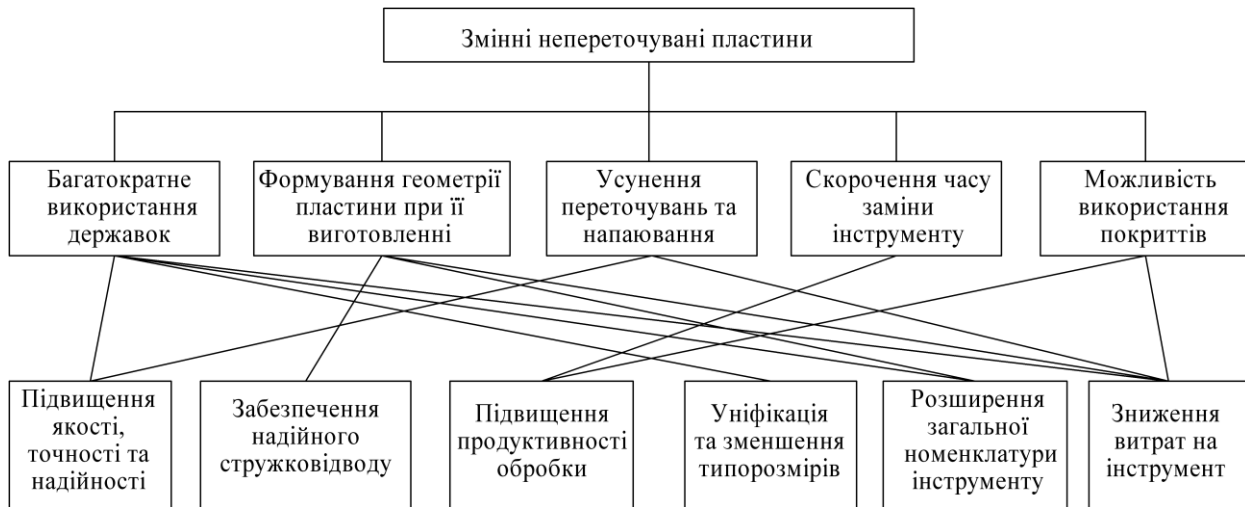


Рисунок 1 – Переваги змінних непереточуваних пластин

У процесі проектування відрізна змінна непереточувана пластина (П) розглядається як частина технологічної системи, яка взаємодіє із зовнішнім середовищем (ЗС) та оброблювальною деталлю (Д). Різальна пластина трактується як складна система, яка складається з окремих елементів, які виконують визначені функції (табл.1). Організаційна модель відрізної змінної непереточуваної пластини у вигляді графу, типу «дерево», представлена на рис. 2. При підвищенні рівня системи елементи конкретизуються.

Функціональну структуру відрізної змінної непереточуваної пластини можна представити у вигляді орієнтованого графу, вершинами якого є елементи, а ребрами – їх функції. З кожної вершини виходить стільки ребер, скільки цей елемент має функцій. Ребра можуть мати один «вихід» та декілька «входів». Функціональні структури другого, третього, четвертого та п'ятого рівнів приведені на рис. 3 - 6.

Таблиця 1 – Елементи відрізної різальної пластини та їх функції

| Елемент       |                            | Функція                          |                                                         |
|---------------|----------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Код           | Найменування               | Код                              | Призначення                                             |
| 1             | 2                          | 3                                | 4                                                       |
| Перший рівень |                            |                                  |                                                         |
| П             | Пластина відрізна різальна | Ф <sub>1</sub><br>Ф <sub>2</sub> | Відрізка матеріалу<br>Формоутворення<br>поверхні деталі |

Продовження табл. 1

| 1                  |                                          | 2 |  | 3                                                                                                                 |                                                                                                                                                                          | 4 |  |
|--------------------|------------------------------------------|---|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---|--|
| Другий рівень      |                                          |   |  |                                                                                                                   |                                                                                                                                                                          |   |  |
| E <sub>0</sub>     | Робоча частина                           |   |  | Φ <sub>01</sub><br>Φ <sub>02</sub><br>Φ <sub>03</sub>                                                             | Відрізка матеріалу<br>Формоутворення<br>поверхні деталі<br>Видалення стружки<br>із зони різання                                                                          |   |  |
| E <sub>1</sub>     | Закріплювально-<br>приєднувальна частина |   |  | Φ <sub>11</sub><br>Φ <sub>12</sub><br><br>Φ <sub>13</sub><br><br>Φ <sub>14</sub>                                  | Забезпечення<br>базування<br>Забезпечення<br>закріплення<br>Забезпечення<br>зв'язку робочої<br>частини E <sub>0</sub> із<br>зовнішнім<br>середовищем<br>Відведення тепла |   |  |
| Третій рівень      |                                          |   |  |                                                                                                                   |                                                                                                                                                                          |   |  |
| E <sub>0-1</sub>   | Різальний                                |   |  | Φ <sub>0-11</sub> = Φ <sub>01</sub><br>Φ <sub>0-12</sub> = Φ <sub>02</sub><br>Φ <sub>0-13</sub> = Φ <sub>03</sub> | Відведення тепла<br>Забезпечення<br>базування<br>Відведення тепла<br>Забезпечення<br>закріплення<br>Відведення тепла                                                     |   |  |
| E <sub>0-2</sub>   | Калібруючий                              |   |  | Φ <sub>0-21</sub> = Φ <sub>02</sub><br>Φ <sub>0-22</sub>                                                          |                                                                                                                                                                          |   |  |
| E <sub>1-1</sub>   | Зона базування                           |   |  | Φ <sub>1-11</sub><br>Φ <sub>1-12</sub>                                                                            |                                                                                                                                                                          |   |  |
| E <sub>1-2</sub>   | Зона закріплення                         |   |  | Φ <sub>1-21</sub><br><br>Φ <sub>1-22</sub>                                                                        |                                                                                                                                                                          |   |  |
| Четвертий рівень   |                                          |   |  |                                                                                                                   |                                                                                                                                                                          |   |  |
| E <sub>0-1-1</sub> | Головна різальна кромка                  |   |  | Φ <sub>0-1-11</sub> = Φ <sub>01</sub><br>Φ <sub>0-1-12</sub> = Φ <sub>02</sub><br>Φ <sub>0-1-13</sub>             | Відведення тепла                                                                                                                                                         |   |  |
| E <sub>0-2-1</sub> | Допоміжна різальна кромка                |   |  | Φ <sub>0-2-11</sub> = Φ <sub>02</sub><br>Φ <sub>0-2-12</sub>                                                      | Відведення тепла                                                                                                                                                         |   |  |
| E <sub>1-1-1</sub> | Поверхня базування                       |   |  | Φ <sub>1-1-11</sub><br>Φ <sub>1-1-12</sub>                                                                        | Забезпечення<br>базування<br>Відведення тепла                                                                                                                            |   |  |
| E <sub>1-2-1</sub> | Поверхня закріплення                     |   |  | Φ <sub>1-2-11</sub><br>Φ <sub>1-2-12</sub>                                                                        | Забезпечення<br>закріплення<br>Відведення тепла                                                                                                                          |   |  |

Продовження табл. 1

| 1             | 2                        | 3                                                                                   | 4                |
|---------------|--------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| П'ятий рівень |                          |                                                                                     |                  |
| $E_{0-1-1-1}$ | Передня поверхня         | $\Phi_{0-1-1-11} = \Phi_{01}$<br>$\Phi_{0-1-1-12} = \Phi_{02}$<br>$\Phi_{0-1-1-13}$ | Схід стружки     |
| $E_{0-1-2-1}$ | Задня поверхня           | $\Phi_{0-1-2-11} = \Phi_{02}$<br>$\Phi_{0-1-2-12}$                                  | Відведення тепла |
| $E_{0-2-1-1}$ | Допоміжна задня поверхня | $\Phi_{0-2-1-11} = \Phi_{02}$<br>$\Phi_{0-2-1-12}$                                  | Відведення тепла |
| $E_{1-1-1-1}$ | Поверхня базування       | $\Phi_{1-1-1-11} = \Phi_{1-1-11}$<br>$\Phi_{1-1-1-12}$                              | Відведення тепла |
| $E_{1-2-1-1}$ | Поверхня закріплення     | $\Phi_{1-2-1-11} = \Phi_{1-2-11}$<br>$\Phi_{1-2-1-12}$                              | Відведення тепла |

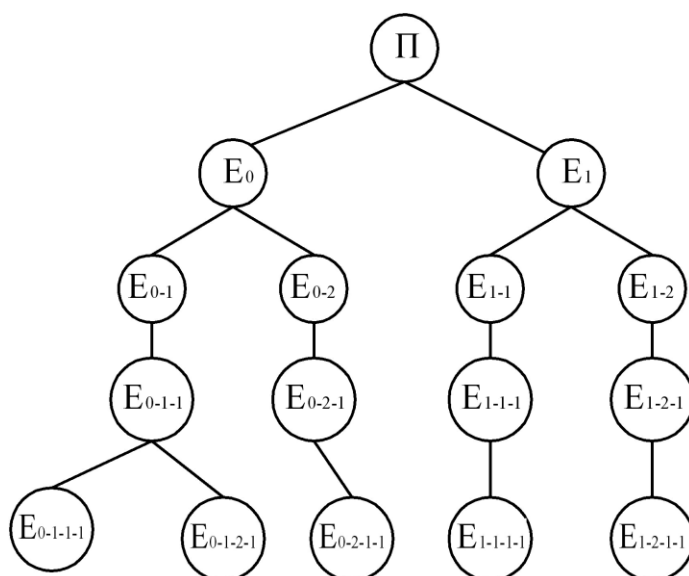


Рисунок 2 – Граф організаційної структури відрізної різальної пластини

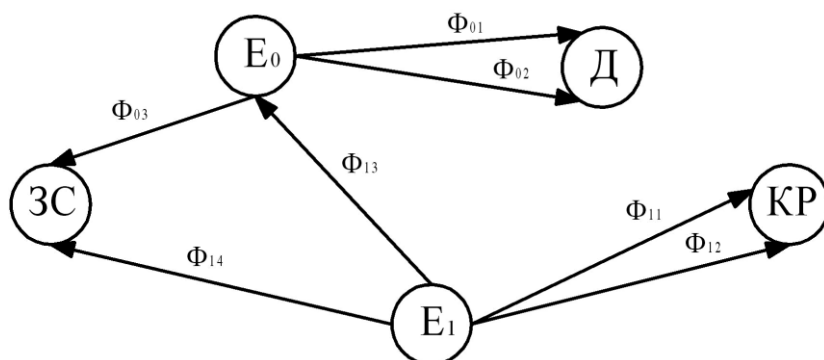


Рисунок 3 – Елементи графу функціональної структури відрізної різальної пластини (другий рівень)

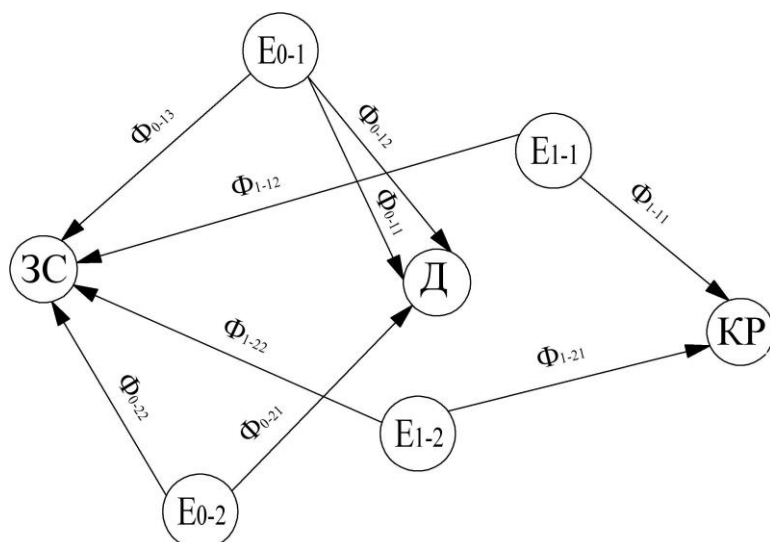


Рисунок 4 – Елементи графу функціональної структури відрізної різальної пластини (третій рівень)

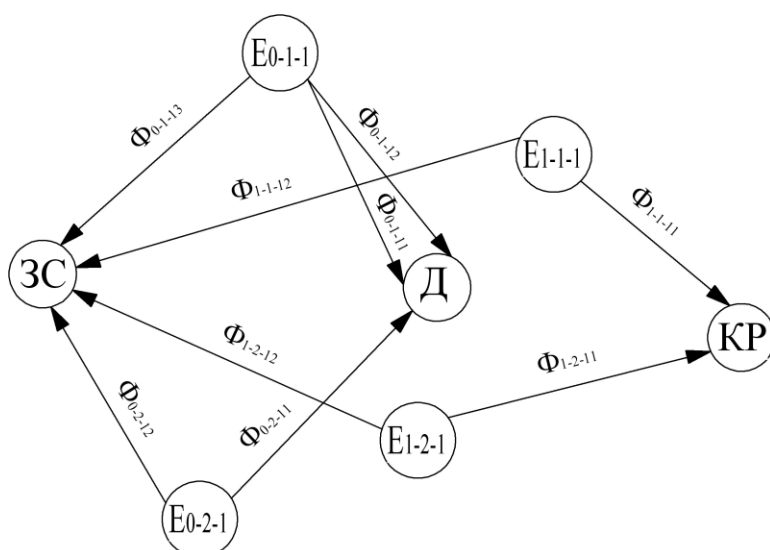


Рисунок 5 – Елементи графу функціональної структури відрізної різальної пластини (четвертий рівень)

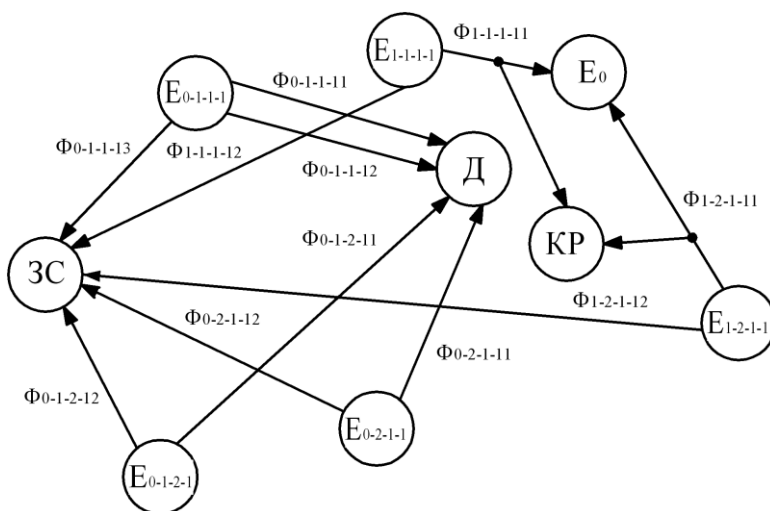


Рисунок 6 – Елементи графу функціональної структури відрізної різальної пластини (п'ятий рівень)

Кожен елемент різальної пластини має певні ознаки, варіювання якими дає можливість трансформувати одного технічного рішення у інше (рис. 7, табл. 2). Оскільки метою аналізу є вдосконалення конструкції відрізної різальної пластини, у якості головних були відібрані геометричні ознаки елементів.

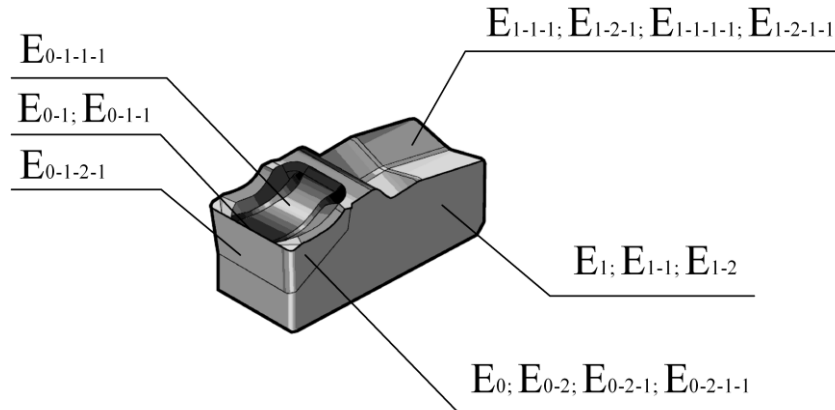


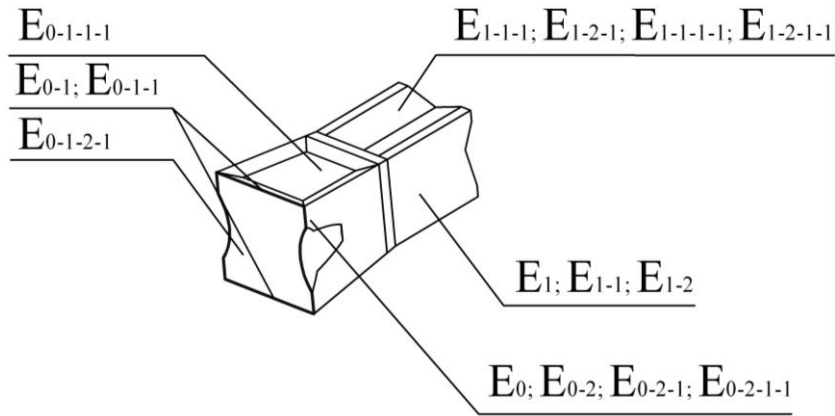
Рисунок 7 – Елементи відрізної різальної пластини

Таблиця 2 – Аналіз конструкції відрізної змінної непереточуваної пластини

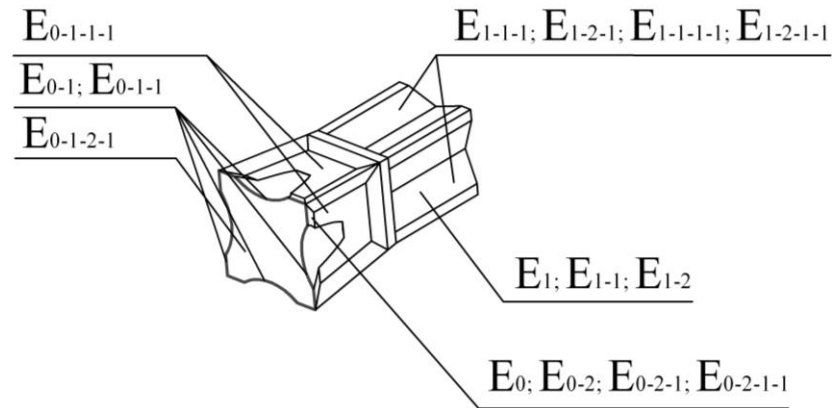
| Елемент              | Ознака       |        |        |        |          |         |            |
|----------------------|--------------|--------|--------|--------|----------|---------|------------|
|                      | Криволінійна | Похила | Кутова | Пласка | Увігнута | Випукла | Дзеркальна |
| E <sub>0</sub>       | +            |        |        |        | +        |         | +          |
| E <sub>1</sub>       |              | +      | +      |        | +        |         | +          |
| E <sub>0-1</sub>     |              |        |        | +      |          |         | +          |
| E <sub>0-2</sub>     |              | +      |        | +      |          | +       | +          |
| E <sub>1-1</sub>     |              |        | +      | +      | +        |         | +          |
| E <sub>1-2</sub>     |              |        | +      |        | +        |         | +          |
| E <sub>0-1-1</sub>   |              |        |        | +      |          |         | +          |
| E <sub>0-2-1</sub>   |              | +      |        | +      |          |         | +          |
| E <sub>1-1-1</sub>   |              |        | +      | +      | +        |         | +          |
| E <sub>1-2-1</sub>   |              |        | +      |        | +        |         | +          |
| E <sub>0-1-1-1</sub> | +            |        |        |        | +        |         | +          |
| E <sub>0-1-2-1</sub> |              | +      |        | +      |          |         | +          |
| E <sub>0-2-1-1</sub> |              | +      |        | +      |          |         | +          |
| E <sub>1-1-1-1</sub> |              |        | +      | +      | +        |         | +          |
| E <sub>1-2-1-1</sub> |              |        | +      |        | +        |         | +          |

Проведений аналіз, за допомогою використання поелементного методу проектування, дав можливість отримати нові конструкції відрізних різальних пластин, які перевершують по своїм якостям використовуваний прототип. На рис. 8 зображені односторонні [3, 4], а на рис. 9 [5, 6] двосторонні змінні непереточувані різальні пластини, у яких, за допомогою ознаки елемента «дзеркальна», була збільшена кількість головних різальних кромок у 2 та у 4 рази.



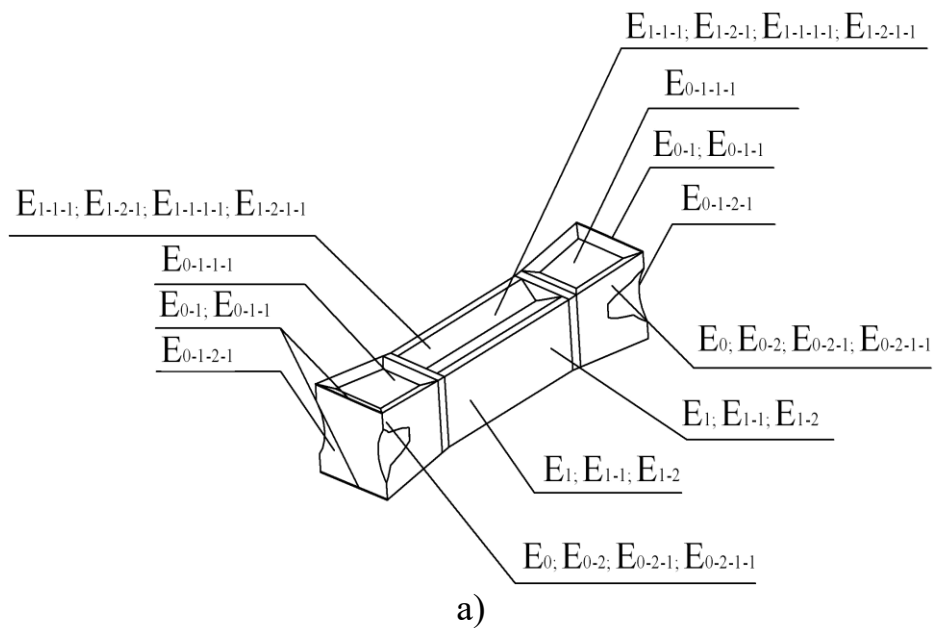


а)



б)

Рисунок 8 – Одностороння відрізна змінна непереточувана пластина з двома (а) та чотирма різальними кромками (б)



а)

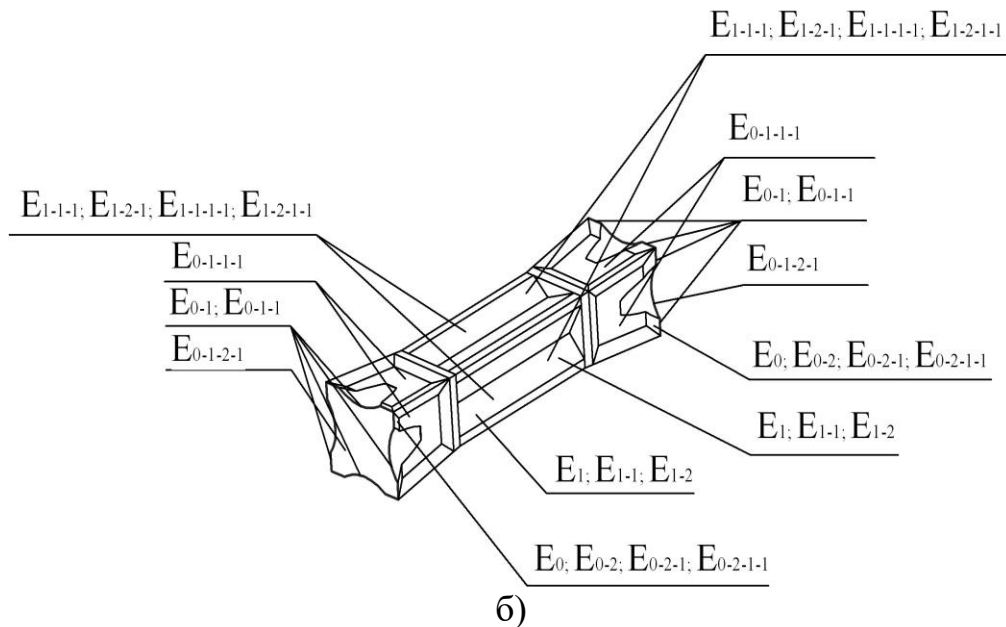


Рисунок 9 – Двостороння відрізна змінна непереточувана пластина з чотирма (а) та вісьмома (б) різальними кромками

Отримані конструкції змінних відрізних різальних пластин дозволяють зменшити нераціонально великі витрати твердого сплаву (рис. 10) і тим самим зменшити відносну вартість даних пластин з розрахунку на одне різальне лезо від 50 до 75 %, що особливо важливо в умовах вітчизняного виробництва.

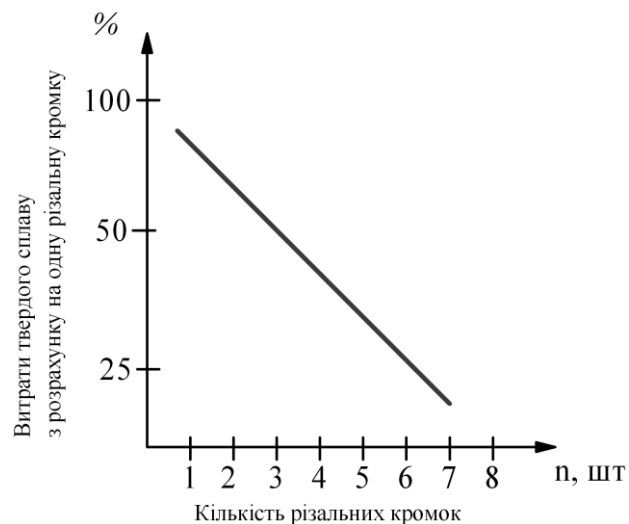


Рисунок 10 – Залежність витрат твердого сплаву від кількості різальних кромок

**Висновки.** Застосування системних методів проектування є прогресивним напрямом у розробці різальних інструментів, як вже відомих, так і принципово нових. З наявного прикладу видно, що даний системний метод дає можливість генерувати значну кількість нових технічних рішень, при якісному аналізі яких з'являється можливість їх реального впровадження у виробництво. На їх базі розроблені різальні пластини, які захищені патентами на корисні моделі України.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Желтобрюх Н. Д. Технология и организация судоремонта / Н. Д. Желтобрюх. – Л. : Судострой, 1990. – 235 с.
2. Фельдштейн Е. Э. Металлорежущие инструменты : справочник конструктора / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. – Минск : Новое знание, 2000. – 1039 с.
3. Патент України на корисну модель МПК В23В 27/16, № 59986. Багатогранна одностороння ріжуча пластина / Бабій М. В., Настасенко В. О.; заявник Херсонський державний морський інститут. – у 201013091 від 04.11.10 ; опубл. 10.06.11, Бюл. № 11, 2011.
4. Патент України на корисну модель МПК В23В 27/16, № 58965. Багатогранна одностороння ріжуча пластина до збірних відрізних та канавкових різців. / Бабій М. В., Настасенко В. О.; заявник Херсонський державний морський інститут. – у 201013095 від 04.11.10 ; опубл. 26.04.11, Бюл. № 8, 2011.
5. Патент України на корисну модель МПК В23В 27/16, № 59987. Багатогранна двостороння ріжуча пластина. / Бабій М. В., Настасенко В. О.; заявник Херсонський державний морський інститут. – у 201013092 від 04.11.10 ; опубл. 10.06.11, Бюл. № 11, 2011.
6. Патент України на корисну модель МПК В23В 27/16, № 59988. Багатогранна двостороння ріжуча пластина до збірних відрізних та канавкових різців. / Бабій М. В., Настасенко В. О.; заявник Херсонський державний морський інститут. – у 201013093 від 04.11.10 ; опубл. 10.06.11, Бюл. № 11, 2011.

**Бабій М.В., Настасенко В.А. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СМЕННЫХ ОТРЕЗНЫХ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН СИСТЕМНЫМИ МЕТОДАМИ**

*В работе показано практическое применение эвристических методов для проектирования металлорежущего инструмента, в частности сменных неперетачиваемых пластин для отрезных и канавочных резцов. На их базе найдены новые технические решения по усовершенствованию их конструкций и повышению производительности на изобретательском уровне. На наглядном примере отображена прогрессивность и эффективность данных системных методов.*

*Ключевые слова: сборный отрезной резец, сменные неперетачиваемые режущие пластины, твердые сплавы, механическое крепление пластин, эвристические методы проектирования.*

**Babiy M.V., Nastasenko V.O. DESIGNING REPLACEABLE CUTTING TIPS WITH SYSTEM METHODS**

*Practical application of heuristic methods for designing a metal-cutting tool, in particular, replaceable throw-away tips for cutting and grooving tools, is shown. As an inventive step, new technical decisions for improving their structural design and increasing productivity at inventive level are found. Progressiveness and efficiency of the given system methods is demonstrated on an illustrative example.*

*Keywords: modular cutting tool, replaceable throw-away tips, firm alloys, mechanical mounting of tips, heuristic design methods*

## ДО ПИТАННЯ ПРО СТРУКТУРУВАННЯ ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИТІВ У ФІЗИЧНИХ ПОЛЯХ

*Боярська І.В., Савчук П.П., Кашицький В.П.,  
Луцький національний технічний університет*

*В статті проаналізовано особливості структурування епоксидних композитів при їх формуванні в зовнішніх фізичних полях. Зафіксовано підвищення ступеня структурування, ударної міцності та зносостійкості композитів у результаті термоелектродного та ІЧ-нагріву, а також зниження залишкових напружень. Показано, що комбінована термічна обробка є оптимальною для даних матеріалів. Ключові слова: епоксидний композит, ударна міцність, зносостійкість.*

**Вступ.** На сьогодні питання заміни металевих конструкцій полімеркомпозитами є досить актуальними, що пов'язано з їх конкурентоспроможністю як рівноцінного за функціональними показниками матеріалу, а також значною економією матеріальних та енергетичних ресурсів.

**Актуальність досліджень.** Полімерні композиційні матеріали (ПКМ) здатні задовольняти широкий діапазон вимог, що ставляться на даний час до сучасних матеріалів. Для отримання таких матеріалів з високими фізико-механічними та експлуатаційними властивостями в їх склад вводять поліфункціональні наповнювачі. Поєднуючи індивідуальні властивості компонентів ПКМ здатні забезпечити більш якісний комплекс властивостей [1]. Важливим аспектом отримання ПКМ є спосіб їх формування.

На даний час формування полімерних композицій здійснюють ефективніше при використанні зовнішніх фізичних полів. Така обробка в процесі формування матеріалів та покриттів на їх основі підвищує характеристики за рахунок регулювання параметрів надмолекулярної структури полімеру й орієнтованого розподілу часток наповнювача на межі розділу фаз [2, 3].

Вплив зовнішніх полів на епоксидні композиції в процесі тверднення [4] дає змогу знизити трудомісткість процесу і підвищити експлуатаційні характеристики матеріалів.

**Постановка задачі.** Метою даної роботи є встановлення впливу зовнішніх полів на підвищення фізико-механічних властивостей епоксикомпозитних матеріалів при невеликому часі їх структурування та дослідження поведінки даного матеріалу при динамічному навантаженні.

**Матеріали і методи досліджень.** Як вихідний матеріал використано епоксидно-діанову смолу марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84). Даний олігомер характеризується високою адгезійною здатністю і когезійною міцністю. Для зшивання епоксидних композицій використано твердник ПЕПА (ТУ 6-02-594-70). Він забезпечує структурування епоксидних композицій при

кімнатній та знижених температурах, а також в умовах підвищеної вологості [5].

Як наповнювач використали порошок оксиду алюмінію (ТУ 6-09-426-75). Композиції на основі даного інгредієнта володіють підвищеними електричними характеристиками, теплопровідністю, хімічною стійкістю, твердістю і зносостійкістю, а також зниженим термічним коефіцієнтом розширення [6].

Для встановлення оптимального впливу зовнішніх полів вибрано методики досліджень фізико-механічних властивостей, ступені структурування та зносостійкості даного матеріалу.

Ударну міцність покриттів на сталевих пластинах розміром  $60 \times 200$  мм визначали згідно методики [7], суть якої полягає у кількісному визначенні енергії удару, необхідної для наскрізного пошкодження захисних покриттів при падінні з певної висоти бійниці з наконечником каліброваного розміру ( $d = 8$  мм). Для визначення міцності захисних покриттів при ударі застосовували прилад УТ-1 (ГОСТ 25812-83).

Внутрішні напруження визначали консольним методом [8] за ГОСТ 13036-67. Ступінь тверднення матеріалів і покриттів визначали за вмістом гель-золь-фракції. Метод оснований на здатності частини матеріалу (плівки), не зв'язаної в полімерну сітку, вимиватися органічним розчинником в екстракторі Сокслета [8]. Екстракцію зразків у формі пластин розміром  $40 \times 70$  мм товщиною до 0,5 мм проводили в ацетоні протягом 8 год з наступним сушінням при температурі 393 К до постійної маси. Масу зразків до і після екстракції визначали на аналітичних лабораторних вагах з точністю до 0,0001 г.

Дослідження зносостійкості проводили при швидкості ковзання 0,163 м/с та питомому навантаженні 44,1 Н епоксикомпозитів з різним ступенем наповнення. Режими трибонавантаження вибрано, враховуючи властивості матеріалу, оскільки при низьких навантажувально-швидкісних параметрах не можливо було зафіксувати зміну досліджуваної характеристики, а при жорстких режимах відбувалось катастрофічне руйнування композиту [9].

**Результати досліджень.** Експериментально встановлено, що вміст гель-фракції в наповнених епоксикомпозитах, термічно оброблених при термоелектродному та ІЧ-нагріванні, є вищим, порівняно з комбінованою термічною обробкою, та поступово підвищується пропорційно вмісту наповнювача. При цьому різке зниження показника характерне для епоксикомпозитів з вмістом наповнювача 50 мас. ч. (рис. 1).

Найвищі значення досліджуваної характеристики ( $G = 95,1\%$ ) спостерігаються при обробці термоелектродним нагріванням при вмісті наповнювача 100 мас. ч., що вказує на високу здатність системи утворювати міцні фізичні та хімічні зв'язки. Найнижчі значення ступеню структурованості ( $G = 87,3\%$ ) епоксикомпозиту зафіксовані для комбінованої термічної обробки із ступенем наповнення 100 мас. ч.

Найвищі внутрішні напруження ( $\sigma_{\text{вн}} = 0,85$  МПа) зафіксовано для епоксикомпозиту зі ступенем наповнення 100 мас. ч. при використанні термоелектродного нагріву, а найнижчі ( $\sigma_{\text{вн}} = 0,11$  МПа) – при комбінованій термічній обробці з аналогічним вмістом наповнювача (рис. 2).

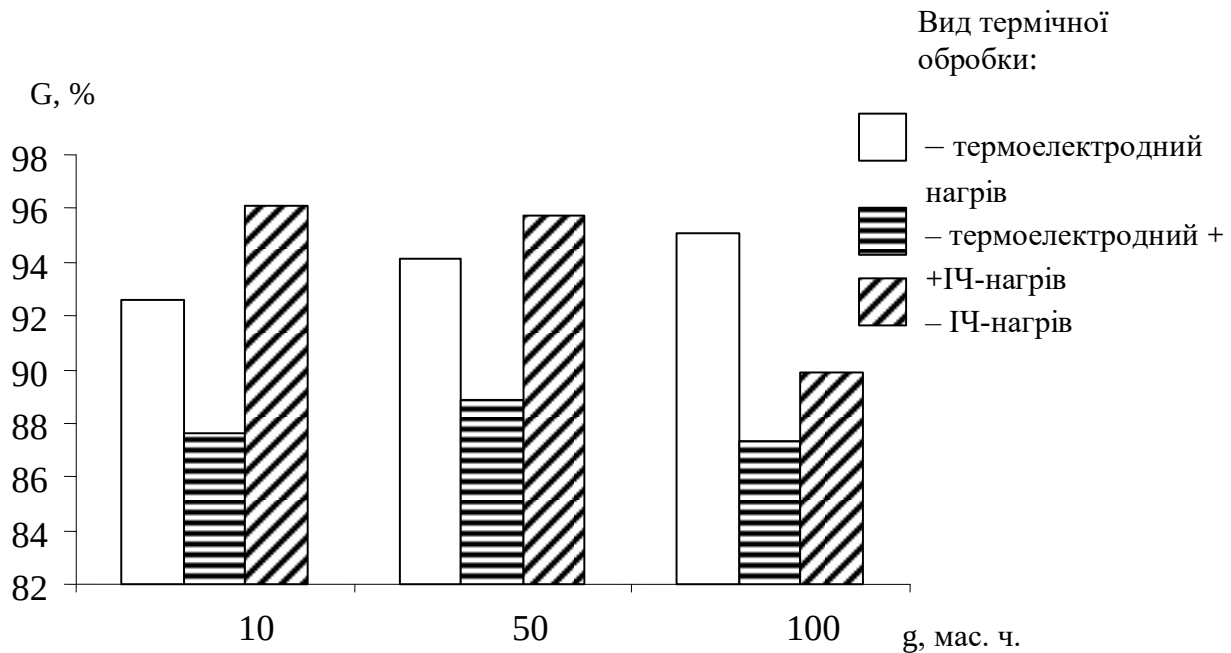


Рисунок 1 – Вплив кількості порошку оксиду алюмінію на ступінь структуривання епоксидного композиту

Високі значення досліджуваної характеристики пов'язані з локальним зшиванням макромолекул матриці, при цьому процес відбувається хаотично та нерівномірно, відповідно, частина системи знаходиться в напруженому стані.

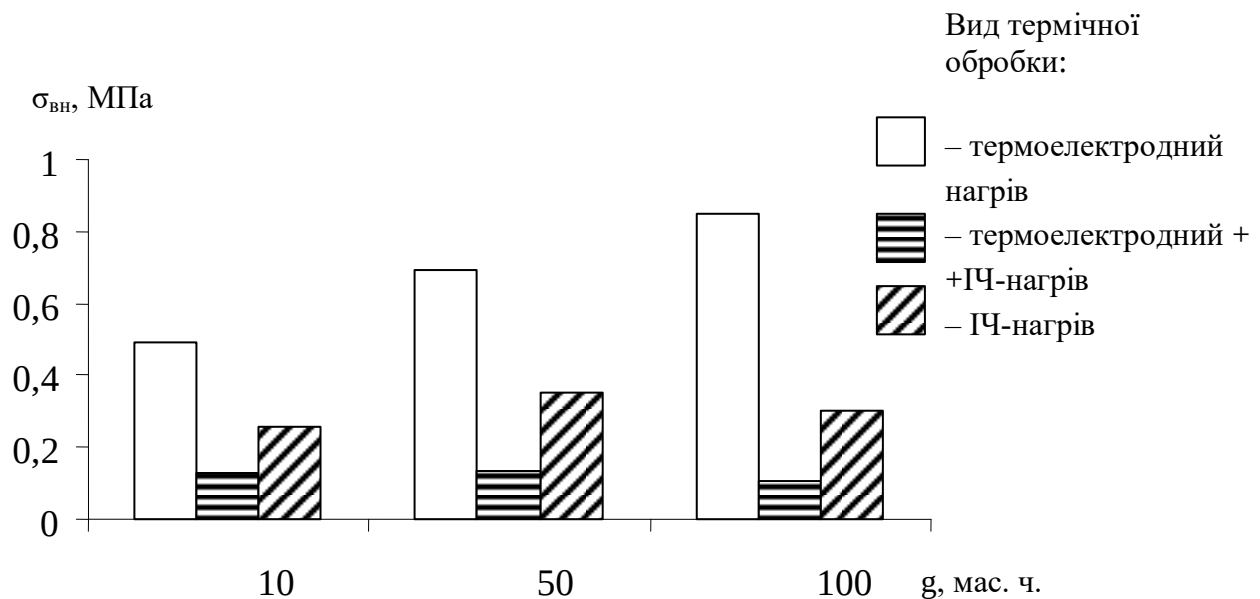


Рисунок 2 – Вплив кількості порошку оксиду алюмінію на внутрішні напруження в епоксикомпозиті

Показано, що епоксикомпозити після комбінованої термічної обробки характеризуються вищою межею ударної міцності (рис. 3), порівняно з епоксикомпозитами, що були оброблені при термоелектродному та ІЧ-нагріваннях (при вмісті наповнювача 100 мас. ч.: при комбінованій –  $A = 16,8$  Дж; при термоелектродному та ІЧ-нагріваннях –  $A = 11,6$  Дж та  $14,7$  Дж відповідно). Це пояснюється утворенням вільних радикалів на поверхні наповнювача, що сприяє утворенню більшої кількості вузлів зшивання [9].

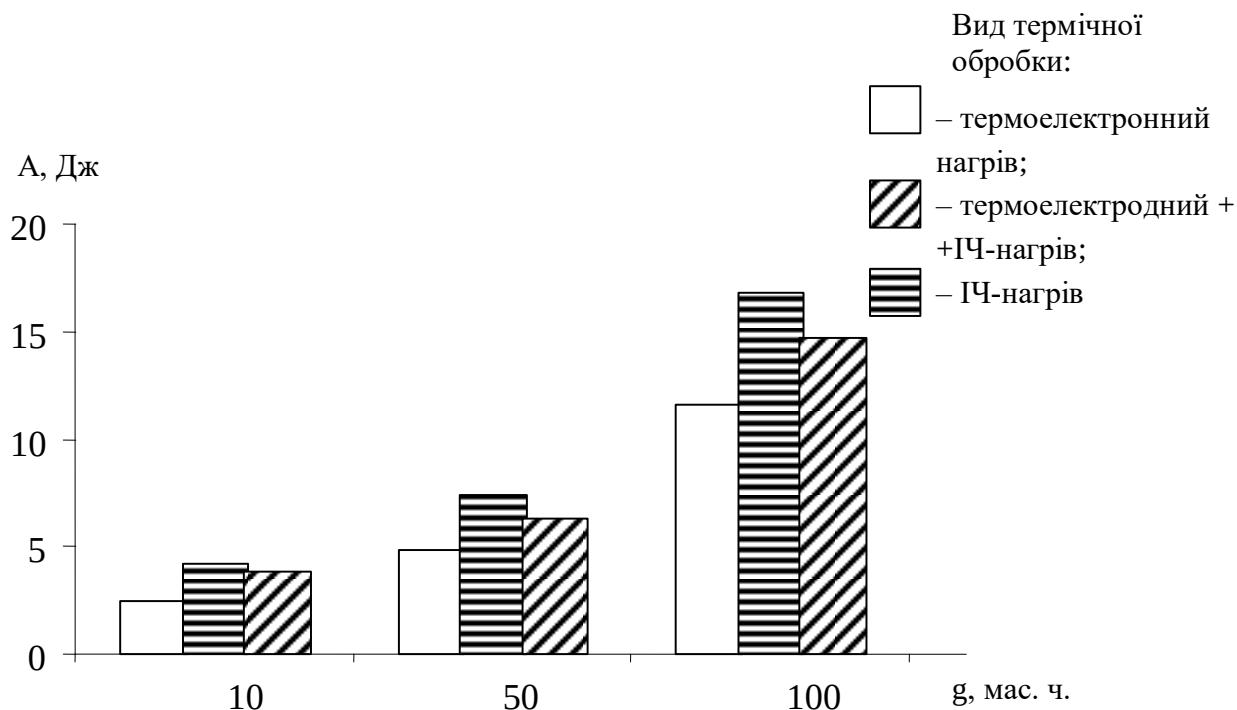


Рисунок 3 – Вплив кількості порошку оксиду алюмінію на ударну міцність епоксидного композиту

Випробування на ударну міцність показали, що максимальне значення границі міцності при динамічному навантаженні характерне для зразка епоксикомпозиту з вмістом наповнювача 100 мас. ч. серед зразків, які піддавали комбінованій термічній обробці, що видно по незначній зоні руйнування епоксикомпозитного покриття. При вмісті наповнювача 10 мас.ч. та 50 мас. ч. відповідно спостерігається поширення тріщин в локальній зоні руйнування.

Для групи зразків, що оброблялись ІЧ-нагріванням, найвищий показник межі міцності при динамічному навантаженні також зафіксовано для зразка з вмістом порошку 100 мас. ч., найнижчий, аналогічно комбінованій термічній обробці – 10 мас. ч.

Ударна міцність епоксикомпозитної системи зростає при застосуванні комплексної термічної обробки, яка забезпечує вищий ступінь однорідності композиту внаслідок інтенсифікації взаємодії складових системи та зниження дефектності системи в цілому.

Дослідження зносостійкості епоксикомпозитів показало (рис. 4), що для зразка, обробленого ІЧ-нагрівом, мінімальне значення вагового

зношування спостерігається при вмісті наповнювача 100 мас. ч. ( $I_g = 0,96\%$ ). Максимальне – при зменшенні кількості порошку оксиду алюмінію до 10 мас. ч. ( $I_g = 2,45\%$ ). Суттєве зменшення інтенсивності вагового зношування спостерігається для зразків, оброблених при комбінованій термічній обробці з вмістом наповнювача 100 мас. ч. ( $I_g = 0,51\%$ ).

При аналізі зразків після комбінованої термічної обробки в епоксикомпозитах з ступенем наповнення 50 мас. ч. виявлено сітку дрібних втомних тріщин, які виникають через недостатню кількість порошку оксиду алюмінію в епоксидній матриці. Для епоксикомпозитів, з вмістом порошку оксиду алюмінію 100 мас. ч. спостерігається класична поверхня лунки невеликої глибини, що свідчить про вищу зносостійкість матеріалу.

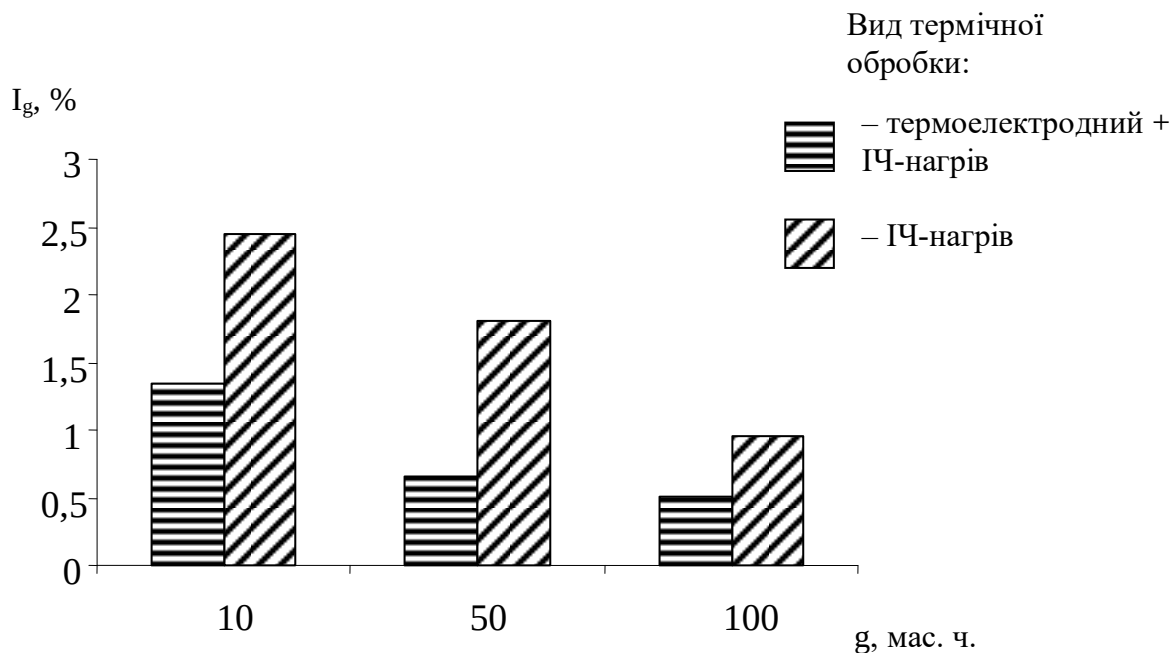


Рисунок 4 – Залежність інтенсивності зношування епоксикомпозитних покриттів від ступеня наповнення та виду термічної обробки

**Висновки.** Експериментально встановлено, що при оптимальному вмісті оксиду алюмінію (100 мас. ч.) спостерігається ріст досліджуваних характеристик, що вказує на високу здатність системи утворювати міцні фізичні та хімічні зв'язки.

У результаті досліджень встановлено, що комбінована термічна обробка є оптимальною для розроблених матеріалів, оскільки, при даній обробці спостерігається відносно високий ступінь структурування ( $G = 87,8\%$ ) матеріалу при малих внутрішніх напруженнях ( $\sigma_{вн} = 0,11$  МПа). Отже, формування тривимірної сітки відбувається рівномірно з достатнім часом для конформаційних перетворень.

Також показано, що епоксикомпозити після комбінованої термічної обробки характеризуються вищою межею ударної міцності порівняно з



матеріалами, що були оброблені при термоелектродному та ІЧ-нагріваннях при вмісті наповнювача 100 мас. ч.

Загалом, введення більшої кількості порошку оксиду алюмінію, який виступає бар'єром для поширення тріщин та використання комбінованої термічної обробки, сприяє підвищенню ударної міцності системи, що є позитивним фактором при розробці захисного покриття, яке здатне піддаватися дії динамічних навантажень.

Наведені результати експериментальних досліджень впливу кількості порошку за різних видів термічної обробки на інтенсивність зношування вказують, що при ІЧ-нагріві інтенсивність зношування епоксидного композиту вища, ніж при комбінованій термічній обробці, що пояснюється початком процесів термоокислювальної деструкції та виникненням додаткових внутрішніх напружень в системі.

Надалі заплановано дослідити вплив режимів термообробки на фізико-механічні властивості матеріалів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Терхунов А. Г. Комбинированные металлополимерные покрытия и материалы / А. Г. Терхунов, М. И. Черновол, В. М. Типунов. – К. : Техника, 1983. – 168 с.
2. Стухляк П. Д. Вплив граничних прошарків на властивості полімерних композитних матеріалів (огляд) / П. Д. Стухляк, М. М. Митник, В. О. Орлов // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2001. – №1. – С. 69 – 75.
3. Букетов А. В. Фізико-хімічні процеси при формуванні епоксикомпозитних матеріалів / А. В. Букетов, П. Д. Стухляк, Є. М. Кальба. – Тернопіль : Збруч, 2005. – 182 с.
4. Полімерні композиційні матеріали в ракетно-космічній техніці: Підручник / Є. О. Джур, Л. Д. Кучма, Т. А. Манько та ін. – К. : Вища освіта, 2003. – 399 с.
5. Кардашов Д. А. Полимерные клеи. Создание и применение / Д. А. Кардашов, А. П. Петрова. – М. : Химия, 1983. – 256 с.
6. Яковлев А. Д. Порошковые полимерные материалы и покрытия на их основе / А. Д. Яковлев, Ю. Н. Зенченко. – Л. : Химия, 1971. – 254 с.
7. Карякина М. И. Лабораторный практикум по испытанию лакокрасочных материалов и покрытий / М. И. Карякина. – М. : Химия, 1977. – 234 с.
8. Санжаровский А. Т. Физико-механические свойства полимерных и лакокрасочных покрытий / А. Т. Санжаровский. – М. : Химия, 1978. – 184 с.
9. Савчук П. П. Наукові і технологічні основи створення та керованого функціонування епоксидних композитів з різним ступенем наповнення : дис.... д-ра техн. наук: 05.02.01 – Київ : ІПМ, 2010. – 320 с.

**Боярская И.В., Савчук П.П., Кашицкий В.П. К ВОПРОСУ О СТРУКТУРИЗАЦИИ ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИТОВ В ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЯХ**

*В статье проанализированы особенности структуризации эпоксидных композитов при их формировании во внешних физических полях. Зафиксировано повышение степени структуризации, ударной прочности и износостойкости композитов в результате термоэлектронного и ИК-нагрева, а также снижения остаточных напряжений. Показано, что комбинированная термическая обработка является оптимальной для данных материалов.*

*Ключевые слова: эпоксидный композит, ударная стойкость, износостойкость.*

**Boyarskaya I.V., Savchuk P.P., Kashitskiy V.P. TO THE PROBLEM OF STRUCTURIZING EPOXY COMPOSITES IN PHYSICAL FIELDS**

*Peculiarities of epoxy composites structurization when formed in external physical fields are analysed. Increase of structurization degree, impact strength and wear resistance of composites, as a result of thermionic and IR heating as well as lowering residual voltage, are registered. Combined thermal processing is shown to be optimal for the given materials.*

*Keywords: epoxy composites, impact strength, wear resistance.*

## АНАЛІЗ СТАНІВ ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ЗМІНИ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ

*Добротвор І.Г.,*

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

*Проведений аналіз фізико-механічних властивостей наповнених епоксикомпозитів на основі чотиримірних діаграм залежностей залишкових напружень від об'єму зовнішніх поверхневих шарів, їх густини та ступеню наповнення.*

*Ключові слова: епоксидний композит, наповнювач, залишкові напруження, об'єм, густина.*

**Постановка задачі.** Епоксикомпозитні полімери та створені на їх основі композитні матеріали забезпечують необхідний комплекс фізико-механічних властивостей, експлуатаційних характеристик за рахунок покриття поверхонь деталей композитами, створених з використанням дисперсних наповнювачів різної природи.

**Об'єктом дослідження** вибрано епоксидіановий олігомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84), який характеризується незначною усадкою, високою адгезійною та когезійною міцністю, технологічністю при нанесенні на довговимірні поверхні складного профілю, розвинутою сировинною базою. Більшість таких матеріалів, створених на основі епоксидного зв'язувача, використовують у вигляді покриттів. Враховуючи умови їх формування, для зшивання епоксидного зв'язувача використано твердник поліетиленполіамін (ТУ 6-05-241-202-78).

**Метою досліджень** є оцінка залежностей залишкових напружень композиту з наповнювачем електрокорунд від товщини покриття та ступеня наповнення матеріалу. Авторами [1, 2] показано, що важливим при розробці КМ з високими показниками когезійних характеристик є врахування залишкових напружень.

Одним із способів вирішення даної проблеми є розробка методик отримання інформації про міжфазову взаємодію макромолекул зв'язувача з активними центрами на поверхні мінерального наповнювача при формуванні матеріалу, а також визначення впливу такої взаємодії на властивості епоксикомпозитних матеріалів при експлуатації. Важливим є дослідження процесів утворення зон міжфазної взаємодії (ЗМВ) між наповнювачем та зв'язувачем, властивості матеріалу яких відрізняються від властивостей матриці, а також процесу їх формування при структуроутворенні матеріалів на межі поділу фаз «наповнювач – зв'язувач». Дослідження характеристик таких зон описано параметрами зовнішніх поверхневих шарів (ЗПШ), що дозволить направлено регулювати властивості матеріалу при його формуванні. Як правило, у більшості випадків властивості таких шарів визначають властивості матеріалу в цілому. Ступінь зшивання у зовнішніх поверхневих шарах також суттєво впливає на адгезійну та когезійну міцність епоксидних композитних матеріалів і визначає їх фізико-механічні та

теплофізичні властивості. Результати досліджень дають змогу формувати матеріали та покриття з наперед заданими експлуатаційними характеристиками.

**Методика досліджень.** Виготовлення композиту виконували шляхом введення у матрицю (епоксидна смола марки ЕД-20) дисперсних наповнювачів: карбідів кремнію та бору, оксидів алюмінію та міді, фериту із ефективним діаметром часток 63 мкм та коричневого шламу із ефективним діаметром часток 40 - 60 мкм після чого здійснювали суміщення компонентів протягом 5 хвилин з додаванням твердника (ПЕПА). Залишкові напруження у покриттях визначали залежно від природи та вмісту наповнювачів, використовуючи консольний метод [4]. Покриття формували на сталій основі з товщиною  $\delta = 0,3\text{мм}$ .

Одночасно проводили дослідження по визначенню об'єму ЗППШ та їх густини для кожного із наповнювачів при різних їх концентраціях у КМ. При цьому використовували результати попередніх досліджень по оцінках товщини ЗППШ навколо зерен дисперсного наповнювача [5]. Для визначення середньої надлишкової маси  $\Delta m$  у одиниці об'єму зон міжфазної взаємодії КМ навколо зерен досліджуваних наповнювачів, розв'язували рівняння:

$$\Delta m + (1 - z(q)/100) \cdot v_o \cdot \rho_o + nz(q) \cdot \rho_z = q + q_0, \quad (1)$$

де:  $z(q)$  – відсотковий вміст олігомеру, що перейшов у стан ЗППШ,  $nz(q)$  – кількість часток наповнювача в одиниці об'єму матеріалу,  $q$  – вміст наповнювача у матеріалі,  $q_0$  – вміст олігомеру,  $v_o$  – об'єм олігомеру,  $\rho_o$  – густина олігомеру,  $\rho_z$  – густина матеріалу зерен (часток) наповнювача.

Підрахунки для кожного із наповнювачів дали оцінку  $\Delta m \equiv \Delta \rho = 0,118\text{г/см}^3$ , що вказує на незалежність цієї характеристики структури ЗППШ відносно природи наповнювачів. Густина ЗППШ шукали по формулі:

$$\rho(q) = 100 \cdot \Delta m / z(q) + \rho_o. \quad (2)$$

Величина  $\rho(q)$ , що характеризує ступінь зшивання КМ, залежить від природи наповнювача і від його відсоткового вмісту у матеріалі. Тому вона може бути використана в якості фактору для оцінок експлуатаційних характеристик епоксикомпозитів.

**Обговорення результатів експерименту.** Отримали результати залишкових напружень епоксикомпозитів з наповнювачами дисперсністю 63 мкм (карбіди кремнію та бору, оксиди алюмінію та міді, ферит) і 40-60 мкм (коричневий шлам) для різних концентрацій  $q$  (від 0 до 80) у масових частинах наповнювача на 100 масових частин (мас. ч.) олігомера. Отримали також оцінки відсоткового вмісту ЗППШ як прояву зон міжфазної взаємодії та їх густину для різного вмісту наповнювачів. Це дало змогу побудувати чотирифакторні діаграми станів матриці зшитого композиту для наповнювачів різної природи і запропонувати класифікацію наповнювачів по відношенню до їх впливу на структуру ЗМВ.

Присутність точок перегину (сідловин) на чотиримірних діаграмах композитів (рис.1), де в ролі наповнювачів вибрані карбіди, вказує на нестійку рівновагу структуроутворення для даного рівня наповнення. Для карбіду кремнію точка перегину відповідає наповненню 10 мас. ч. на 100 мас. ч. олігомера. Тоді об'єм ЗПШ досягає 64% від загального об'єму матриці.; густина ЗПШ –  $1,36 \text{ г/см}^3$ , залишкові напруження досягають 3,6 МПа. Сідловина для випадку наповнення карбідом бору відповідає об'єму ЗПШ близько 35%. Тоді об'єм ЗПШ досягає 45% від загального об'єму матриці; густина ЗПШ –  $1,48 \text{ г/см}^3$ , залишкові напруження досягають 3,5 МПа. Відсотковий вміст наповнення становить 10 мас. ч. Композити з вказаним складом мають оптимальні демпфуючі властивості, що приводить до зміни густини ЗПШ при зміні зовнішнього навантаження.

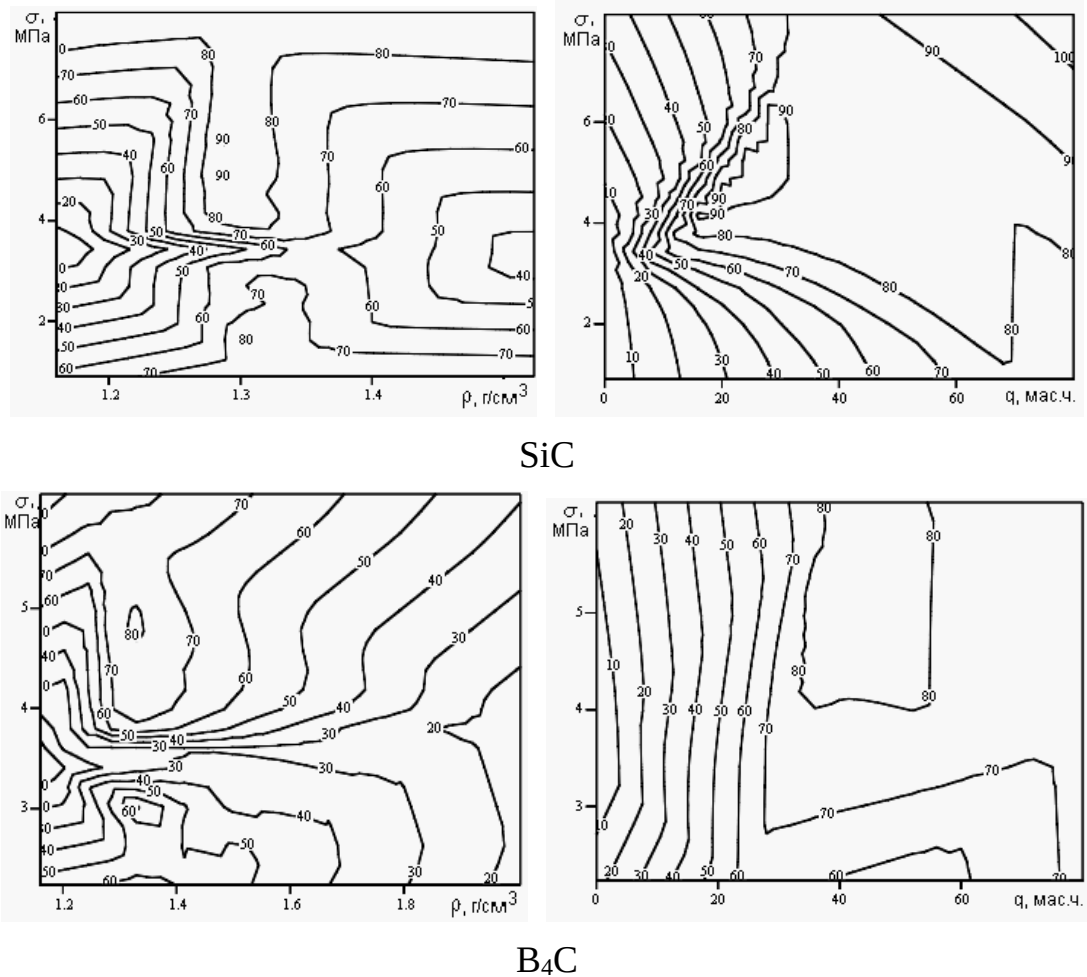


Рисунок 1 – Діаграмні залежності залишкових напружень  $\sigma$  (МПа) епоксикомпозитів від відсоткового вмісту  $z$  (%) ЗПШ у матеріалі, густини ЗПШ  $\rho$  (г/см<sup>3</sup>) та концентрацій  $q$  (мас. ч.) для карбідів кремнію (SiC) та бору (B<sub>4</sub>C). Лінії рівня відповідають відсотковому вмісту  $z$  об'єму ЗПШ у КМ.

Характеристикою діаграм композитів, із наповнювачами-карбідами є точка, що відповідає густині ЗПШ, яка критично перевищує на величину  $\Delta m$  густину олігомеру без наповнення при умові мінімуму залишкових напружень. Тоді для карбіду бору об'єм ЗПШ досягає 20% від загального

об'єму матриці.; густина ЗПШ –  $1,28 \text{ г/см}^3$ , залишкові напруження досягають 3,43 МПа при наповненні 10 мас. ч. на 100 мас. ч. олігомера. Для карбіду кремнію в такій точці об'єм ЗПШ досягає 20% від загального об'єму матриці.; густина ЗПШ –  $1,22 \text{ г/см}^3$ , залишкові напруження досягають 3,45 МПа при наповненні 8 мас. ч. на 100 мас. ч. олігомера. Матеріали з такими властивостями відповідають покращеним адгезійним властивостям покриттів на їх основі.

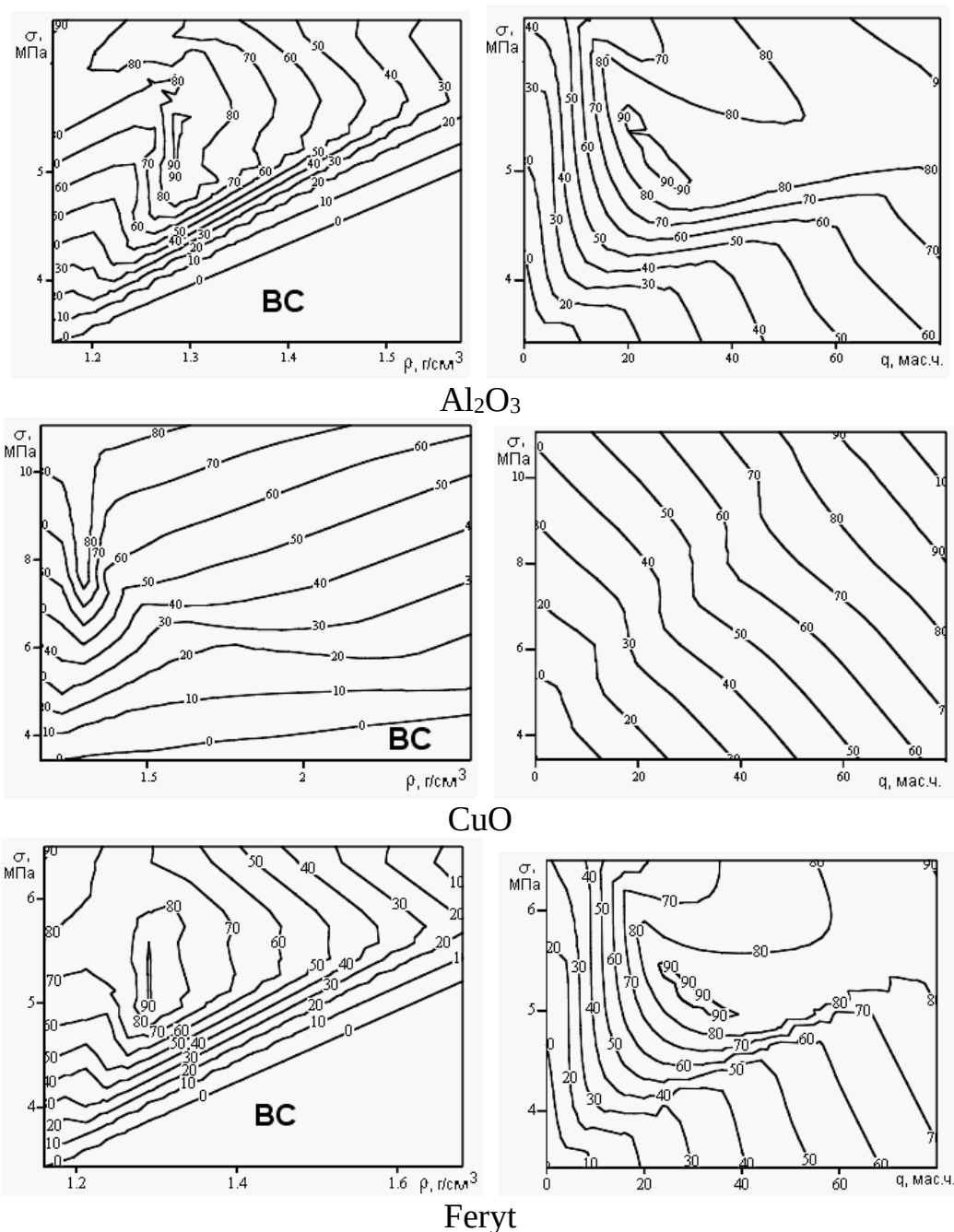


Рисунок 2 – Діаграмні залежності залишкових напружень  $\sigma$  (МПа) епоксикомпозитів від відсоткового вмісту  $z$  (%) ЗПШ у матеріалі, густини ЗПШ  $\rho$  (г/см³) та концентрацій наповнювача  $q$  (мас. ч.) для оксиду алюмінію ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), оксиду міді ( $\text{CuO}$ ) і фериту (Feryt). Лінії рівня відповідають відсотковому вмісту  $z$  об'єму ЗПШ у КМ.

Корозійно стійкий матеріал отримуємо в околі екстремумів об'ємів ЗПШ (80 - 90 %), що відповідають області діаграм (рис.1) із густинами ЗПШ:  $1,3 \text{ г/см}^3$  для карбіду кремнію та  $1,33 \text{ г/см}^3$  карбіду бору. Діапазон залишкових напружень у матеріалі становить 4 - 6,3 МПа (SiC) та 4,5 – 5,2 (B<sub>4</sub>C) і досягається відповідно при 20 - 35 мас. ч. та 35 - 58 мас. ч. наповнювачів на 100 мас. ч. олігомера.

Діаграми для композитів, наповнювачами яких є оксиди металів, в тому числі і ферит, (рис. 2), не мають сідлових точок, для них властиві чітко виражені екстремуми, що вказує на стійку рівновагу структур ЗМВ.

Екстремуми відповідають 80-90% матеріалу олігомера у стані, який описується параметрами ЗПШ. Окрім того, на отриманих діаграмах спостерігаються зони відсутності структуроутворення (ВС) композитів, для значень параметрів яких формування матеріалу є неможливим і займає праву нижню частину діаграми ( $\rho$ ,  $\sigma$ ,  $z$ ). Екстремуми, що забезпечують найвищу корозійну тривкість при 80% олігомеру у стані ЗПШ для наповнювача оксид алюмінію та ферит відповідають густині  $1,28 \text{ г/см}^3$ , а для оксиду міді –  $1,23 \text{ г/см}^3$ . Тоді спостерігають залишкові напруження 4,6 МПа, 4,8 МПа та 7,4 МПа відповідно, які досягаються для 30, 36 та 65 мас. ч. на 100 мас. ч. олігомера для наповнювачів оксид алюмінію, ферит та оксид міді.

**Висновки.** Проведені дослідження свідчать про те, що вміст наповнювача у матеріалі захисного покриття суттєво впливає на залишкові напруження, яка, у свою чергу, впливає на когезійну міцність КМ. Можна стверджувати, що у діапазоні вмісту наповнювача для матеріалу покриттів: 30...80 мас.ч. на 100 мас. ч. олігомера формується структура КМ з значними показниками залишкових напружень епоксидної матриці, а отже і високим ступенем зшивання у всьому досліджуваному спектрі товщини покриттів. При цьому невисокі значення залишкових напружень свідчать про пластифікуючу дію вказаного наповнювача при формуванні матеріалу. Це проявляється у рівномірному розподілі часток наповнювача у матеріалі з подальшим формуванням ЗПШ значної протяжності.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сухарева Л. А. Долговечность полимерных покрытий / Л. А. Сухарева – М. : Химия, 1984. – 368 с.
2. Зубов П. И. Структура и свойства полимерных покрытий / П. И. Зубов, Л. А. Сухарева. – М. : Химия, 1982. – 256 с.
3. Похмурский В. И. Повышение долговечности деталей машин с помощью дифузионных покрытий / В. И. Похмурский, В. Б. Далисов, В. М. Голубец – К. : Наукова думка, 1980. – 188 с.
4. Букетов А. В. Вплив активності наповнювача на властивості епоксидних матеріалів / А. В. Букетов, П. Д. Стухляк, В. І. Бадищук // Вісник ТДТУ. – 2003. – № 4. – С. 12-20.
5. Маркин В. Б. Расчетная оценка вязкоупругих характеристик межфазных слоев и закономерности их влияния в полимерных

композиционных материалах / В. Б. Маркин, Л. Н. Аникеева, А. В. Тарасов // Труды международной научно-технической конференции «Композиты – в народное хозяйство России» (Композит-95). – Барнаул : АлтГТУ им. И. И. Ползунова, 1995. – С. 86-92.

6. Добротвор І. Г. Вплив об'єму зовнішніх поверхневих шарів на залишкові напруження в епоксикомпозитах / І. Г. Добротвор, П. Д. Стухляк, А. В. Букетов, І. Т. Сорівка // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – Луцьк, 2011. – Випуск № 31. – С. 375-379.

**Добротвор І.Г. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЙ ЭПОКСИКОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ИЗМЕНЕНИЙ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ**

*Проведен анализ физико-механических свойств наполненных эпоксикомпозитов на основании четырехмерных диаграмм зависимостей остаточных напряжений от объема внешних поверхностных слоев, их плотности и степени наполнения.*

*Ключевые слова: эпоксидный композит, наполнитель, остаточные напряжения, объем, плотность.*

**Dobrotvor I.G. ANALYSIS OF THE EPOXY COMPOSITES STATES ON THE BASIS OF REMAINING STRAINS CHANGES**

*Physical and mechanical properties of filled epoxy composites on the basis of 4D diagrams of remaining strains dependences on the volume of external superficial layers, their density and degree of filling are analyzed.*

*Keywords: epoxy composite, filler, remaining strains, volume, density.*



## ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ І РЕЖИМІВ ФОРМУВАННЯ ЕПОКСИКОМПОЗИТНИХ ПОКРИТТІВ

*Долгов М.А.,*

*Інститут проблем міцності ім. Г.С.Писаренка НАН України,*

*Букетов А.В., Безбах О.М.,*

*Херсонська державна морська академія,*

*Зубрецька Н.А.,*

*Київський національний університет технологій та дизайну,*

*Алексенко В.Л.,*

*Херсонська державна морська академія*

*Досліджено адгезійну міцність модифікованих у комплексі магнітним полем і ультрафіолетовим опроміненням епоксикомпозитних покриттів, наповнених дисперсними частками різної фізичної природи. Методом математичного планування експерименту оптимізовано склад і режими формування захисних епоксикомпозитних покриттів.*

*Ключові слова: епоксикомпозитне покриття, магнітна обробка, ультрафіолетове опромінення.*

**Постановка проблеми.** Більшість досліджень у галузі полімерного матеріалознавства упродовж останніх десятиліть присвячено вивченню зміни адгезійної міцності внаслідок попередньої обробки матеріалу зовнішніми полями [1-4]. Однак комплексний вплив зовнішніх полів на адгезійну міцність композитних матеріалів (КМ) і композитних покриттів (КП) на їх основі вивчено ще не достатньо. Тому важливими є дослідження впливу комплексної магнітної обробки (МО) і ультрафіолетового опромінення (УФО) композицій на адгезійну міцність КП. Зауважимо, що виходячи з технології процесу формування захисних покриттів проводили поетапну обробку магнітним полем наповнювача і композицій, а також УФО епоксидної смоли і композицій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Створення нових матеріалів на основі епоксидних систем потребує глибокого вивчення механізму їх формування в умовах впливу різних зовнішніх факторів, врахування комплексу фізико-механічних явищ, які визначають процеси міжфазної взаємодії, а також забезпечення конструкторсько-технологічних процесів їх формування. У зв'язку зі складним характером структурних характеристик і, як наслідок, властивостей КП у сформованому вигляді, необхідністю врахування впливу на швидкість перебігу процесів зшивання під впливом енергетичних полів і дисперсних часток різної фізичної природи, багатофакторністю процесів формування композитних систем, до теперішнього часу відсутній єдиний науково-обґрунтований підхід до оцінки різних методів їх отримання [4, 5].

**Мета роботи** – дослідити вплив дисперсних наповнювачів різної фізичної природи і режимів обробки композицій на адгезійну міцність КМ та

оптимізувати склад і технологічні аспекти формування покриттів з поліпшеними властивостями.

**Матеріали і методика дослідження.** Покриття формували на основі епоксидного олігомера марки ЕД-20 (100 мас.ч.), який зшивали твердником поліетиленполіаміном ПЕПА (10 мас.ч.). Для поліпшення адгезійних властивостей КП у композицію вводили дисперсні частки. Як основний наповнювач вибрано порошок коричневого шламу (КШ) дисперсністю 63 мкм, а додатковий – оксид хрому дисперсністю 10-20 мкм.

МО композиції здійснювали на розробленій установці [6]. Композиції обробляли до введення твердника упродовж 5-7 хв. УФО композиції здійснювали за допомогою розробленого ультрафіолетового випромінювача з використанням бактерицидної лампи ДРБ-8-1 [6]. Тривалість опромінення композицій (без твердника) становила  $t = 20 \pm 0,2$  хв. Наважка опромінених композицій становила  $200 \pm 10$  г. Опряміювали композицію, що мала товщину шару  $h = 25-30$  мм.

Затверджували КП за експериментально встановленим режимом: формування зразків та їх витримка упродовж 2 год при температурі  $293 \pm 2$  К; нагрівання до температури 443 К і витримка упродовж 2,0 год; охолодження до температури  $293 \pm 2$  К. З метою стабілізації структурних процесів у матриці зразки витримували упродовж 60 год на повітрі при температурі  $293 \pm 2$  К [6, 7].

Дослідження адгезійних властивостей проводили згідно ГОСТу 14760-69, вимірюючи опір відриву клейових з'єднань сталевих зразків на розривній машині Р-5 при швидкості навантаження 10 Н/с. Оптимізацію складу компонентів КП і режимів їх обробки енергетичними полями проводили, використовуючи метод багатфакторного планування експерименту [8].

**Обговорення експериментальних результатів дослідження.** Відомо, що введення інгредієнтів при оптимальному вмісті і з різною дисперсністю у композицію забезпечує максимальне поліпшення властивостей КМ [5-7]. Тому у роботі при формуванні КМ використано двокомпонентний полідисперсний наповнювач. Вміст основного наповнювача вибрано на основі результатів досліджень адгезійної міцності і фізико-механічних властивостей КМ. Показано, що оптимальний вміст основного наповнювача з дисперсністю 63 мкм становить 80 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидної смоли [6]. З метою поліпшення міжфазової взаємодії і, відповідно, для підвищення адгезійних та когезійних характеристик матеріалу у КП додатково вводили дрібнодисперсний наповнювач у межах від 5 до 80 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидної смоли.

Для опису процесу поліномом другого порядку вибрано план повного факторного експерименту  $2^3$ . Параметром оптимізації вибрано адгезійну міцність захисних покриттів. Незалежними змінними (факторами) процесу формування матеріалів було вибрано:  $X_1$  – вміст основного наповнювача;  $X_2$  – вміст додаткового наповнювача;  $X_3$  – спосіб комплексного оброблення композицій енергетичними полями.

Фактор  $X_3$  вибрано на основі попередніх досліджень адгезійної міцності захисних покриттів з двокомпонентним полідисперсним наповнювачем. Попередньо встановлено, що для покриття, яке містить частки КШ і оксиду хрому, оптимальними встановлено два варіанти комплексного оброблення (табл. 1). Враховуючи результати дослідження адгезійної міцності захисних покриттів при оптимальному вмісті часток, можна стверджувати, що обробка композиції за першим варіантом забезпечує поліпшення адгезійної міцності у 1,110 рази. Відповідно, прийняли фактор  $X_3$  для варіанту 2 рівним 1,000, а  $X_3$  для варіанту 1 рівним 1,110.

Таблиця 1 – Режими формування та вміст вихідних інгредієнтів захисних покриттів

| Вид і вміст наповнювача<br>(мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидної смоли) |                       | Режим модифікування                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Основний наповнювач                                                | Додатковий наповнювач |                                                                                                  |
| КШ (80)                                                            | Оксид хрому (40)      | 1 – УФО смоли ЕД-20 з подальшим МО наповнювача;<br>2 – МО композиції з подальшим УФО композиції. |

Кодування факторів незалежних змінних для КП наведено у табл. 2. Відповідно до плану експерименту досліджували 15 режимів формування КП. Розширену матрицю планування та результати експерименту наведено у табл. 3. Послідовність статистичного аналізу даних реалізовано у середовищі MS Excel. Результати моделювання адгезійної міцності захисного покриття залежно від складу та режимів отримання композиції наведено у табл. 4.

Таблиця 2– Кодування факторів незалежних змінних для покриттів

| Вихідні дані експерименту             | Фактори змінних |       |       |
|---------------------------------------|-----------------|-------|-------|
|                                       | $X_1$           | $X_2$ | $X_3$ |
| Центр плану, $X_{0i}$                 | 80              | 40    | -     |
| Інтервал варіацій, $\Delta X_i$       | 20              | 10    | -     |
| Верхній рівень фактора ( $X_i = +1$ ) | 100             | 50    | 1,110 |
| Нижній рівень фактора ( $X_i = -1$ )  | 60              | 30    | 1,000 |
| Зіркова точка ( $+\alpha = +1,215$ )  | 104             | 52    | -     |
| Зіркова точка ( $-\alpha = -1,215$ )  | 56              | 28    | -     |

Перевірка результатів експерименту за критерієм Кохрена [8] для фіксованої ймовірності  $\alpha = 0,05$  підтвердила відтворюваність дослідів. Дисперсія, що характеризує розсіювання результатів дослідів на  $i$ -му поєднанні рівнів факторів:  $S_u^2 = 14,21$ .

Таблиця 3 – Розширена матриця планування та результати досліджень адгезійної міцності покриттів  $\sigma_a$ , МПа

| №  | $X_0$ | $X_1$  | $X_2$  | $X_3$  | $X_1^2-0,73$ | $X_2^2-0,73$ | $X_3^2-0,73$ | $X_1X_2$ | $X_1X_3$ | $X_2X_3$ | $X_1X_2X_3$ | Покриття |          |
|----|-------|--------|--------|--------|--------------|--------------|--------------|----------|----------|----------|-------------|----------|----------|
|    |       |        |        |        |              |              |              |          |          |          |             | $Y_{21}$ | $Y_{22}$ |
| 1  | +1    | -1     | -1     | +1     | 0,27         | 0,27         | 0,27         | +1       | -1       | -1       | +1          | 48,3     | 49,1     |
| 2  | +1    | +1     | -1     | -1     | 0,27         | 0,27         | 0,27         | -1       | -1       | +1       | +1          | 56,1     | 56,9     |
| 3  | +1    | -1     | +1     | -1     | 0,27         | 0,27         | 0,27         | -1       | +1       | -1       | +1          | 62,4     | 62,7     |
| 4  | +1    | +1     | +1     | +1     | 0,27         | 0,27         | 0,27         | +1       | +1       | +1       | +1          | 56,4     | 56,6     |
| 5  | +1    | -1     | -1     | -1     | 0,27         | 0,27         | 0,27         | +1       | +1       | +1       | -1          | 60,1     | 60,7     |
| 6  | +1    | +1     | -1     | -1     | 0,27         | 0,27         | 0,27         | -1       | -1       | +1       | +1          | 63,3     | 63,8     |
| 7  | +1    | -1     | +1     | +1     | 0,27         | 0,27         | 0,27         | -1       | -1       | +1       | -1          | 54,2     | 54,7     |
| 8  | +1    | +1     | +1     | -1     | 0,27         | 0,27         | 0,27         | +1       | -1       | -1       | -1          | 50,8     | 51,7     |
| 9  | +1    | -1,215 | 0      | 0      | 0,74         | -0,73        | -0,73        | 0        | 0        | 0        | 0           | 51,2     | 55,4     |
| 10 | +1    | +1,215 | 0      | 0      | 0,74         | -0,73        | -0,73        | 0        | 0        | 0        | 0           | 58,4     | 59,2     |
| 11 | +1    | 0      | -1,215 | 0      | -0,73        | 0,74         | -0,73        | 0        | 0        | 0        | 0           | 61,1     | 61,8     |
| 12 | +1    | 0      | +1,215 | 0      | -0,73        | 0,74         | -0,73        | 0        | 0        | 0        | 0           | 53,3     | 55,7     |
| 13 | +1    | 0      | 0      | -1,215 | -0,73        | -0,73        | 0,74         | 0        | 0        | 0        | 0           | 61,7     | 62,4     |
| 14 | +1    | 0      | 0      | +1,215 | -0,73        | -0,73        | 0,74         | 0        | 0        | 0        | 0           | 56,2     | 56,5     |
| 15 | +1    | 0      | 0      | 0      | -0,73        | -0,73        | -0,73        | 0        | 0        | 0        | 0           | 60,2     | 60,7     |

Розрахункове значення критерію Кохрена:  $G_{(0,05; 15; 1)} = 0,2$ . Табличне значення критерію Кохрена:  $G_{(0,05; 15; 1)} = 0,47$ . Після підтвердження відтворюваності експерименту визначали коефіцієнти регресії (табл. 5).

Таблиця 5 – Коефіцієнти регресії для побудови моделі адгезійної міцності покриття

| $b_0$ | $b_1$ | $b_2$ | $b_3$ | $b_{11}$ | $b_{22}$ | $b_{33}$ | $b_{12}$ | $b_{13}$ | $b_{23}$ |
|-------|-------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 57,38 | 0,76  | -1,18 | -0,13 | -2,23    | -0,93    | -0,1     | -2,53    | -0,22    | -4,01    |
| 59,69 |       |       | н/з   |          |          | н/з      |          | н/з      |          |

Значущість коефіцієнтів регресії визначали за критерієм Стюдента [8]. Табличне значення коефіцієнту Стюдента:  $t_{(0,05; 15)} = 2,13$ . Дисперсія відтворення (помилка досліду):  $S^2(y) = 0,95$ . Розрахункове значення критерію Стюдента:  $\Delta b_i = 0,54$ .

За отриманими експериментальними даними для покриття рівняння регресії з урахуванням відкидання незначущих коефіцієнтів має вигляд:

$$Y = 57,38 + 0,76X_1 - 1,18X_2 - 2,53X_1X_2 - 4,01X_2X_3 - 2,23(X_1^2 - 11/15) - 0,93(X_2^2 - 11/15)$$

Величина вільного члена  $b_0$  рівняння регресії згідно становить:

$$b_0 = 57,38 - 0,73(-2,23 - 0,93) = 59,69$$

З урахуванням перетворення квадратичної змінної рівняння регресії має вигляд:

$$Y = 59,69 + 0,76X_1 - 1,18X_2 - 2,53X_1X_2 - 4,01X_2X_3 - 2,23X_1^2 - 0,93X_2^2$$

Адекватність отриманої математичної моделі перевіряли за критерієм Фішера [8]. Розрахункове значення дисперсії адекватності  $S_{ad}^2 = 2,59$ . Розрахункове значення критерію Фішера:  $F_p = 2,74$ . Табличне значення критерію Фішера при 5%-ному рівні значущості:  $F_{(0,05; f_{ad}; f_u)} = F_{(0,05; 5, 4)} = 6,26$ .

Оскільки  $F_p < F_m$ , то можна вважати, що рівняння адекватно описує вплив складу та режимів отримання композиції на їхні експлуатаційні характеристики. Графічну інтерпретацію отриманого рівняння регресії відносно експериментальних значень адгезійної міцності захисного покриття наведено на рис. 1.

Найбільшими значущими факторами є вміст основного наповнювача, співвідношення між вмістом основного і додаткового наповнювачів і спосіб модифікування композиції. Виходячи з цього, вміст основного наповнювача можна збільшити до 100 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидної смоли, при цьому вміст додаткового наповнювача слід регулювати у межах 50-60 мас.ч. Спосіб модифікування композиції слід вибрати за варіантом 1: УФО смоли ЕД-20 з подальшим МО наповнювача.

Таблиця 4 – Результати моделювання адгезійної міцності захисного покриття залежно від складу та режимів

| №  | X <sub>0</sub> | X <sub>1</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>3</sub> | X <sub>1</sub> <sup>2</sup> -<br>0,73 | X <sub>2</sub> <sup>2</sup> -<br>0,73 | X <sub>3</sub> <sup>2</sup> -0,73 | X <sub>1</sub> X <sub>2</sub> | X <sub>1</sub> X <sub>3</sub> | X <sub>2</sub> X <sub>3</sub> | Y <sub>11</sub> | Y <sub>12</sub> | Y <sub>1</sub> | S <sup>2</sup> u | Y'    | razn   |
|----|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|-------|--------|
| 1  | +1             | -1             | -1             | -1             | 0,27                                  | 0,27                                  | 0,27                              | -1                            | -1                            | +1                            | 48,3            | 49,1            | 48,70          | 0,32             | 52,71 | 16,10  |
| 2  | +1             | -1             | -1             | -1             | 0,27                                  | 0,27                                  | 0,27                              | -1                            | -1                            | +1                            | 56,1            | 56,9            | 56,50          | 0,32             | 59,30 | 7,83   |
| 3  | +1             | +1             | +1             | -1             | 0,27                                  | 0,27                                  | 0,27                              | -1                            | +1                            | -1                            | 62,4            | 62,7            | 62,55          | 0,05             | 63,43 | 0,78   |
| 4  | +1             | +1             | +1             | -1             | 0,27                                  | 0,27                                  | 0,27                              | +1                            | -1                            | -1                            | 56,4            | 56,6            | 56,45          | 0,01             | 59,89 | 11,85  |
| 5  | +1             | -1             | -1             | +1             | 0,27                                  | 0,27                                  | 0,27                              | +1                            | -1                            | -1                            | 60,1            | 60,7            | 60,40          | 0,18             | 60,73 | 0,11   |
| 6  | +1             | -1             | -1             | +1             | 0,27                                  | 0,27                                  | 0,27                              | -1                            | +1                            | -1                            | 63,3            | 63,8            | 63,55          | 0,13             | 67,31 | 14,14  |
| 7  | +1             | +1             | +1             | +1             | 0,27                                  | 0,27                                  | 0,27                              | -1                            | -1                            | +1                            | 54,2            | 54,7            | 54,45          | 0,13             | 55,42 | 0,94   |
| 8  | +1             | -1             | +1             | +1             | 0,27                                  | 0,27                                  | 0,27                              | +1                            | +1                            | +1                            | 50,8            | 51,7            | 51,25          | 0,41             | 51,88 | 0,40   |
| 9  | +1             | -1,215         | 0,000          | 0,000          | 0,74                                  | -0,73                                 | -0,73                             | 0                             | 0                             | 0                             | 51,2            | 55,4            | 53,30          | 8,82             | 57,79 | 20,18  |
| 10 | +1             | +1,215         | 0,000          | 0,000          | 0,74                                  | -0,73                                 | -0,73                             | 0                             | 0                             | 0                             | 58,4            | 59,2            | 58,80          | 0,32             | 59,64 | 0,71   |
| 11 | +1             | 0,000          | -1,215         | 0,000          | -0,73                                 | 0,74                                  | -0,73                             | 0                             | 0                             | 0                             | 61,1            | 61,8            | 61,45          | 0,24             | 62,05 | 0,36   |
| 12 | +1             | 0,000          | +1,215         | 0,000          | -0,73                                 | 0,74                                  | -0,73                             | 0                             | 0                             | 0                             | 53,3            | 55,7            | 54,50          | 2,88             | 59,19 | 22,02  |
| 13 | +1             | 0,000          | 0,000          | -1,215         | -0,73                                 | -0,73                                 | 0,74                              | 0                             | 0                             | 0                             | 61,7            | 62,4            | 62,05          | 0,24             | 61,99 | 0,00   |
| 14 | +1             | 0,000          | 0,000          | +1,215         | -0,73                                 | -0,73                                 | 0,74                              | 0                             | 0                             | 0                             | 56,2            | 56,5            | 56,35          | 0,04             | 61,99 | 31,78  |
| 15 | +1             | 0              | 0              | 0              | -0,73                                 | -0,73                                 | -0,73                             | 0                             | 0                             | 0                             | 60,2            | 60,7            | 60,45          | 0,13             | 61,99 | 2,36   |
|    |                |                |                |                |                                       |                                       |                                   |                               |                               |                               |                 |                 | 860,75         | 14,21            |       | 129,55 |

Продовження табл. 4

| №  | $X_0Y_1$ | $X_1Y_1$ | $X_2Y_1$ | $X_3Y_1$ | $(X_1^2 - 0,73) \cdot Y_1$ | $(X_2^2 - 0,73) \cdot Y_1$ | $(X_3^2 - 0,73) \cdot Y_1$ | $X_1X_2 \cdot Y_1$ | $X_1X_3 \cdot Y_1$ | $X_2X_3 \cdot Y_1$ | Значення коефіцієнтів    |
|----|----------|----------|----------|----------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------|
| 1  | 48,70    | -48,70   | -48,70   | -48,70   | 13,15                      | 13,15                      | 13,15                      | 48,7               | 48,7               | 48,7               | Kohren r0,20             |
| 2  | 56,50    | 56,50    | -56,50   | -56,50   | 15,26                      | 15,26                      | 15,26                      | -56,5              | -56,5              | 56,5               | Kohren t 0,47            |
| 3  | 62,55    | -62,55   | 62,55    | -62,55   | 16,89                      | 16,89                      | 16,89                      | -62,55             | 62,55              | -62,55             |                          |
| 4  | 56,45    | 56,45    | 56,45    | -56,45   | 15,24                      | 15,24                      | 15,24                      | 56,45              | -56,45             | -56,45             | $S^2y$ 0,95              |
| 5  | 60,40    | -60,40   | -60,40   | 60,40    | 16,31                      | 16,31                      | 16,31                      | 60,40              | -60,40             | -60,40             | $S^2ad$ 2,591            |
| 6  | 63,55    | 63,55    | -63,55   | 63,55    | 17,16                      | 17,16                      | 17,16                      | -63,55             | 63,55              | -63,55             | fad 5                    |
| 7  | 54,45    | -54,45   | 54,45    | 54,45    | 14,70                      | 14,70                      | 14,70                      | -54,45             | -54,45             | 54,45              |                          |
| 8  | 51,25    | 51,25    | 51,25    | 51,25    | 13,84                      | 13,84                      | 13,84                      | 51,25              | 51,25              | 51,25              | Student 2,13             |
| 9  | 53,30    | -64,76   | 0,00     | 0,00     | 39,44                      | -38,91                     | -38,91                     | 0                  | 0                  | 0                  | 0,0631                   |
| 10 | 58,80    | 71,44    | 0,00     | 0,00     | 43,51                      | -42,92                     | -42,92                     | 0                  | 0                  | 0                  | koren 0,2513             |
| 11 | 61,45    | 0,00     | -74,66   | 0,00     | -44,86                     | 45,47                      | -44,86                     | 0                  | 0                  | 0                  | Delta b 0,54             |
| 12 | 54,50    | 0,00     | 66,22    | 0,00     | -39,79                     | 40,33                      | -39,79                     | 0                  | 0                  | 0                  |                          |
| 13 | 62,05    | 0,00     | 0,00     | -75,39   | -45,30                     | -45,30                     | 45,92                      | 0                  | 0                  | 0                  | Fish <sub>5,4</sub> 2,74 |
| 14 | 56,35    | 0,00     | 0,00     | 68,47    | -41,14                     | -41,14                     | 41,70                      | 0                  | 0                  | 0                  | k1=5                     |
| 15 | 60,45    | 0,00     | 0,00     | 0,00     | -44,13                     | -44,13                     | -44,13                     | 0                  | 0                  | 0                  | k2=4                     |
|    | 860,75   | 8,33     | -12,89   | -1,48    | -9,7105                    | -4,051                     | -0,4495                    | -20,25             | -1,75              | -32,05             | Fish t 6,26              |

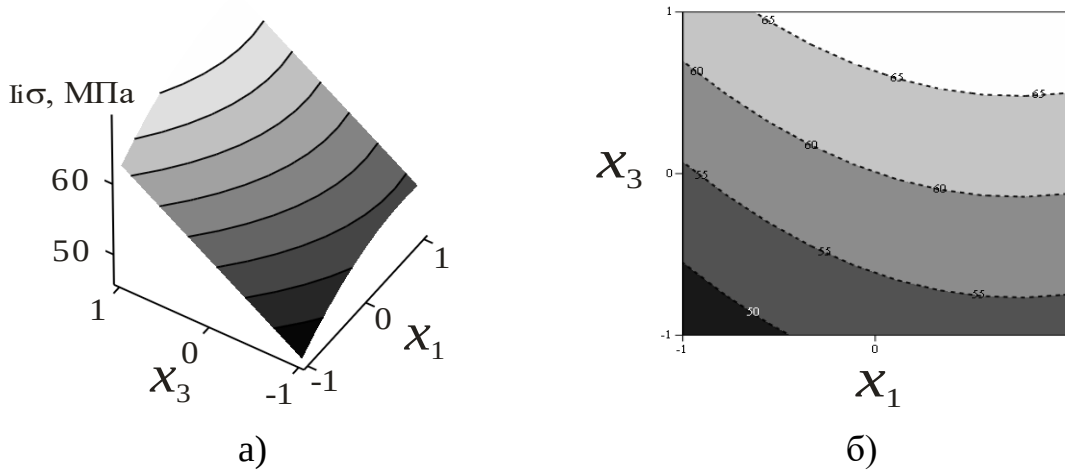


Рисунок 1 – Поверхня відклику (а) і ліній рівнів (б) адгезійної міцності покриття залежно від факторів (при  $X_2 = -1$ ).

**Висновки.** Методом математичного планування експерименту визначено оптимальні технологічні режими, а також вміст інгредієнтів композиції, що дає можливість отримати захисні покриття з прогнозованими властивостями. Розроблено способи модифікування епоксидних композицій і матеріали для захисних покриттів, сформованих за запропонованими технологіями. Для кожного з варіантів покриттів встановлено оптимальний вміст двокомпонентного полідисперсного наповнювача, а також схема попередньої комплексної обробки композицій енергетичними полями, що дозволяє регулювати експлуатаційні характеристики матеріалів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Radhakrishnan S. Epoxy powder coatings containing polyaniline for enhanced corrosion protection / S. Radhakrishnan, N. Sonawane, C. R. Siju // *Progress in Organic Coatings*. – 2009. – V.64, No 4. – P. 383-386.
2. Shao Y. Corrosion protection of Mg-5Li alloy with epoxy coatings containing polyaniline / Y. Shao, H. Huang, T. Zhang, G. Meng, F. Wang // *Corrosion Science*. – 2009. – V.51, No 12. – P. 2906-2915.
3. Buketov A. V. Effect of the nature of fillers and ultraviolet irradiation on the mechanical properties of epoxy composite coatings / A. V. Buketov, P. D. Stukhlyak, I. G. Dobrotvor, N. M. Mytnyk, N. A. Dolgov // *Strength of materials*. – 2009. – V.41, No 4. – P. 431-435.
4. Buketov A. V. Physical and Chemical Processes in Forming Epoxy Composite Materials / A. V. Buketov, P. D. Stukhlyak, E. M. Kal'ba // *Zbruch, Ternopil*. – 2005. – 182 p.
5. Buketov A. V. Improvement of the accuracy of evaluation of the dynamic characteristics of epoxy composites / A. V. Buketov // *Materials Science. Chemistry and Materials Science*. – New York. – Volume 42, Number 4 / July. – 2006. – P. 569-571.



6. Стухляк П. Д. Епоксикомпозитні матеріали, модифіковані енергетичними полями / П. Д. Стухляк, А. В. Букетов, І. Г. Добротвор. – Тернопіль : Збруч, 2008 – 208 с.
7. Стухляк П. Д. Епоксикомпозитні матеріали, модифіковані ультрафіолетовим опроміненням / П. Д. Стухляк, А. В. Букетов. – Тернопіль : Збруч, 2009. – 237 с.
8. Винарский М. С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М. С. Винарский, М. В. Лурье. – К. : Техніка, 1975. – 168 с.

**Долгов М.А., Букетов А.В., Безбах О.Н., Зубрецкая Н.А., Алексенко В.Л.  
ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА И РЕЖИМОВ ФОРМИРОВАНИЯ  
ЭПОКСИКОМПОЗИТНЫХ ПОКРЫТИЙ**

*Исследовано адгезионную прочность модифицированных в комплексе магнитным полем и ультрафиолетовым облучением эпоксикомпозитных покрытий, наполненных дисперсными частицами различной физической природы. Методом математического планирования эксперимента оптимизировано содержание и режимы формирования защитных эпоксикомпозитных покрытий.*

*Ключевые слова:* эпоксикомпозитное покрытие, магнитная обработка, ультрафиолетовое облучение.

**Dolgov M.A., Buketov A.V., Bezbakh O.M., Zubretska N.A., Aleksenko V.L.  
OPTIMIZATION OF COMPOSITION AND CONDITIONS OF FORMING EPOXY  
COMPOSITE COATINGS**

*Adhesion strength of epoxy composite coatings filled with disperse particles of different physical nature and modified with magnetic field and ultraviolet irradiation is researched. Content and conditions of forming protective epoxy composite coatings are optimized with the method of mathematical planning of experiment.*

*Keywords:* epoxy composite coating, magnetic treatment, ultraviolet irradiation.

## ЗБІЛЬШЕННЯ РУШІЙНОЇ СИЛИ ПРОЦЕСУ ТЕПЛООБМІНУ ПРИ ВИКОРИСТАННІ РОЗПОДІЛЬНИХ ВСТАВОК

*Луняка К.В., Ключев О.І., Русанов С.А., Ардашев В.О.,  
Херсонський національний технічний університет*

*Представлено розрахунок рушійної сили процесу теплообміну в кожухотрубних теплообмінниках при використанні розподільних вставок.*

*Ключові слова: гідродинаміка руху рідини в трубах теплообмінника, рівномірність розподілу швидкості, розподільні пристрої, математичне моделювання.*

**Вступ.** Вирівнювання швидкості руху теплоносія по трубах кожухотрубного теплообмінника з одночасною турбулізацією потоку сприяє збільшенню коефіцієнтів тепловіддачі, що рівнозначно підвищенню ефективності роботи цього виду апаратів. Відомі різні конструктивні рішення, що реалізують вказаний ефект. Значною частиною таких рішень є використання розподільних вставок різного типу, що встановлюють в міжтрубному просторі апарату. Наприклад, у комірках коридорного пучка труб встановлюються турбулізуючі стрижні [1], використовують плоскі охолоджуючі турбулізуючі перегородки, що частково перекривають переріз каналу [2]. В роботі [3] пропонується використовувати суцільні та перфоровані нахилені перегородки, орієнтовані уздовж і проти потоку, та інші рішення.

Нами запропонована конструкція теплообмінника, в якому верхня і нижня колекторні камери містять розподільні пристрої, що складаються з циліндричних вставок і перфорованого диска на спрямовуючих стержнях з пружинами з можливістю переміщення (рис. 1) [4-6]. Така конструкція дає можливість вводити рідину в колекторну камеру апарату тангенціально, що забезпечує більш рівномірний розподіл швидкостей теплоносія, ніж при осьовому введенні.

Циліндричні вставки у верхній і нижній колекторних камерах поділяють площу поверхні трубних решіток на дві поверхні – зовнішнього кільця і внутрішньої частини, яка знаходиться у середині вставки.

Перфорований диск дозволяє вирівняти швидкість рідини перед частиною трубної решітки теплообмінника, яка знаходиться в межах внутрішнього простору циліндричної вставки, в залежності від витрати рідини.

При використанні в кожухотрубному теплообміннику одночасно циліндричної і плоскої вставок ми отримуємо двоходовий теплообмінник, в одній частині якого теплоносії рухаються прямотечією, а в іншій – протитечією. У тій частині теплообмінника, де спостерігається прямотечійний рух теплоносіїв, при використанні двох названих вставок відбувається зміна характеру руху теплоносія: замість прямотечії (рис. 2, а) маємо змішану течію – по одній частині поверхні теплообміну потоки проходять прямотечійно, а по іншій – протитечією (рис. 2, б).

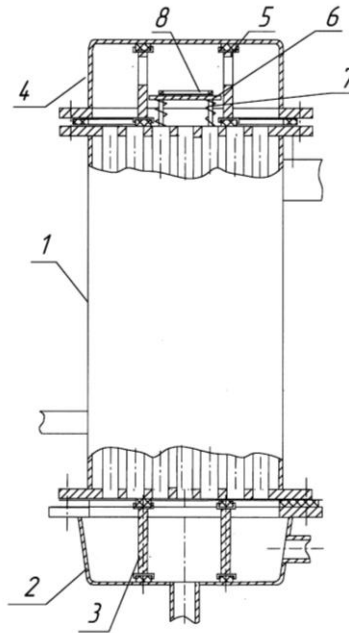


Рисунок 1 – Кожухотрубний теплообмінник зі встановленими у ньому циліндричною і плоскою вставками:

1 – кожух; 2 – нижня колекторна камера; 3 – циліндрична вставка; 4 – верхня колекторна камера; 5 – отвори циліндричної вставки; 6 – перфорований диск; 7 – спрямовуючі стержні; 8 – кільцева основа.

**Мета роботи.** Представляє інтерес, як впливає встановлення таких вставок на основну характеристику процесу теплообміну – середню різницю температур теплоносіїв. Знаходження вказаної рушійної сили процесу є метою даної публікації.

**Рішення задачі.** Задача про розподіл температур теплоносіїв у багатоходових теплообмінних апаратах за умови припущення сталого температурного режиму і сталості коефіцієнта теплопередачі та теплоємностей середовищ була вирішена в роботі [7]. Використовуючи даний підхід, ми провели розрахунки температур теплоносія на виході з апарату при проточній і змішаній течії теплоносіїв.

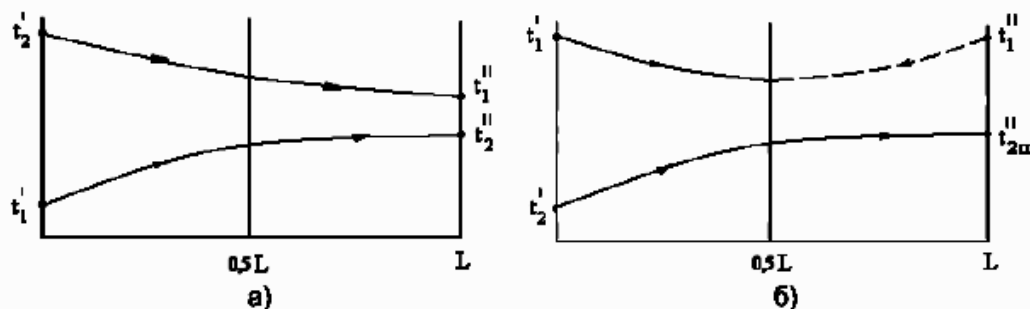


Рисунок 2 – Зміна температур теплоносіїв: а – при прямотечії; б – при змішаній течії теплоносія.

Температура «холодного» теплоносія на виході з апарату при проточній:

$$t_2'' = t_2' + (t_1' - t_2') \cdot \Pi \cdot \frac{G_1 \cdot c_1}{G_2 \cdot c_2}. \quad (1)$$

Температура холодного теплоносія у проміжній точці після проходження поверхні нагріву:

$$t_2 = t_2' + (t_1' - t_2') \cdot \Pi_1 \cdot \frac{G_1 \cdot c_1}{G_2 \cdot c_2}. \quad (2)$$

Температура холодного теплоносія після проходження першої половини поверхні нагріву в прототечії, а другої половини поверхні нагріву в протитечії:

$$t_{2\Pi}'' = t_2 + (t_1' - t_2) \cdot Z \cdot \frac{G_1 \cdot c_1}{G_2 \cdot c_2}. \quad (3)$$

Величини  $\Pi$ ,  $\Pi_1$ ,  $Z$  являють собою функції, які визначаються по табличним даним [8]:

$$\begin{aligned} \Pi &= f\left(\frac{G_1 \cdot c_1}{G_2 \cdot c_1}; \frac{k \cdot \bar{f}}{G_1 \cdot c_1}\right), \\ \Pi_1 &= f\left(\frac{G_1 \cdot c_1}{G_2 \cdot c_2}; \frac{k \cdot f_1}{G_1 \cdot c_1}\right), \\ Z &= f\left(\frac{G_1 \cdot c_1}{G_2 \cdot c_2}; \frac{k \cdot f_1}{G_1 \cdot c_1}\right). \end{aligned} \quad (4)$$

Теплова продуктивність теплообмінника визначається з рівнянь теплового балансу:

$$\begin{aligned} Q &= G_1 \cdot c_1 (t_1' - t_1''), \\ Q &= G_2 \cdot c_2 (t_2'' - t_2'), \\ Q &= G_1 \cdot c_1 (t_1' - t_1'') = Q = G_2 \cdot c_2 (t_2'' - t_2'), \\ \frac{G_1 c_1}{G_2 c_2} &= \frac{(t_2'' - t_2')}{(t_1' - t_1'')}. \end{aligned} \quad (5)$$

Підставимо значення  $t_2$  з рівняння (2) у рівняння (3) і отримаємо:

$$\begin{aligned} t_{2\Pi}'' &= \left[ t_2' + (t_1' - t_2') \cdot \Pi_1 \cdot \frac{G_1 \cdot c_1}{G_2 \cdot c_2} \right] + \left\{ t_1' - \left[ t_2' + (t_1' - t_2') \cdot \Pi_1 \cdot \frac{G_1 \cdot c_1}{G_2 \cdot c_2} \right] \right\} Z \cdot \frac{G_1 c_1}{G_2 c_2} = \\ &= t_2 + (t_1' - t_2) \cdot Z \cdot \frac{G_1 \cdot c_1}{G_2 \cdot c_2}. \end{aligned} \quad (6)$$

Для теплообмінника із заданою величиною поверхні нагріву  $F$  і постійним коефіцієнтом теплопередачі  $k$  приймемо відношення

$$\frac{k \cdot F}{G_1 \cdot c_1} = 1. \quad (7)$$

При русі теплоносія за змішаною течією за умови, що холодний теплоносіє проходить половину поверхні нагріву в прямотечії, а другу половину – у протитечії, маємо:

$$\frac{kF}{G_1 c_1} = \frac{2kF_1}{G_1 c_1} = 1; \text{ або } \frac{2kF_1}{G_1 c_1} = \frac{1}{2} = 0,5. \quad (8)$$

Задаємося температурами теплоносіїв:

$$t_1' = 100^\circ \text{C}; \quad t_1'' = 100^\circ \text{C}; \quad t_2' = 20^\circ \text{C}; \quad t_2'' = 50^\circ \text{C}.$$

Відношення

$$\frac{G_1 c_1}{G_2 c_2} = \frac{50 - 20}{100 - 70} = \frac{30}{30} = 1,0$$

За таблицею [8, с. 50-51] визначаємо функції  
- для прямотечії:

$$\frac{G_1 c_1}{G_2 c_2} = 1,0 \wedge \frac{k \cdot F}{G_1 \cdot c_1} = 1,0 \Rightarrow \Pi = 0,43; \quad \frac{G_1 c_1}{G_2 c_2} = 1,0 \wedge \frac{k \cdot F_1}{G_1 \cdot c_1} = 0,5 \Rightarrow \Pi_1 = 0,32$$

- для протитечії:

$$\frac{G_1 c_1}{G_2 c_2} = 1,0 \wedge \frac{k \cdot F_1}{G_1 \cdot c_1} = 0,5 \Rightarrow Z = 0,43;$$

тоді

$$t_2 = t_2' + (t_1' - t_2') \cdot \Pi_1 \cdot \frac{G_1 c_1}{G_2 c_2} = t_2' + (t_1' - t_2') \cdot 0,32 \cdot 1 = 0,68 \cdot t_2' + 0,32 t_1'$$

$$t_{2n}'' = t_2 + (t_1' - t_2) \cdot Z \cdot \frac{G_1 c_1}{G_2 c_2} = t_2 + (t_1' - t_2) \cdot 0,34 \cdot 1 = 0,66 t_2 + 0,34 t_1'$$

Побудуємо графік залежності  $t_{2n}'' = f(t_1')$  і  $t_2'' = f(t_1')$

Таблиця 1 – Дані для побудови графіку залежності  $t_{2n}'' = f(t_1')$  і  $t_2'' = f(t_1')$

|                            |      |      |      |      |      |
|----------------------------|------|------|------|------|------|
| $t_1', ^\circ\text{C}$     | 80   | 90   | 100  | 110  | 120  |
| $t_{2n}'', ^\circ\text{C}$ | 53,1 | 58,6 | 64,1 | 69,6 | 75,1 |
| $t_2'', ^\circ\text{C}$    | 45,8 | 50,1 | 54,4 | 58,7 | 63   |
| $t_2, ^\circ\text{C}$      | 39,2 | 42,4 | 45,6 | 48,8 | 52   |

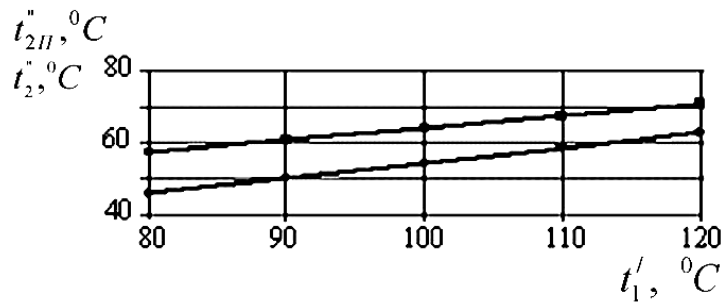


Рисунок 3 – Графік залежності  $t''_{2n} = f(t'_1)$  і  $t''_2 = f(t'_1)$ . Верхня лінія – для змішаної течії, нижня – для прямотечії.

Як бачимо з отриманих залежностей (рис. 3), для теплообмінних апаратів з розподільчими вставками в цілому зберігається пріоритет змішаній течії теплоносія за рахунок більш високої рушійної сили процесу.

**Висновки.** Таким чином, при змішаній течії теплоносія, яку забезпечує використання одночасно циліндричної і плоскої вставок, отримуємо на виході температуру на  $10^0$  вищу, ніж при прямотечії, що обіцяє значні економічні вигоди, та може бути рекомендовано для впровадження.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Буглаев В. Т. Интенсификация теплообмена при поперечном обтекании коридорного пучка труб с различными схемами размещения в его ячейках турбулизирующих стержней / В. Т. Буглаев, А. А. Анисин // Интенсификация работы теплоэнергетических установок. Сборник научных трудов. – Брянск : Изд-во БГТУ. – 2000. – С. 9-20.
2. Пермяков А. Б. Повышение эффективности гладкотрубных конвективных поверхностей нагрева при использовании турбулизаторов / А. Б. Пермяков, С. М. Сергеев // Изв. Акад. Пром. Экол. – 1998 – № 3 – С. 54-58.
3. Heat transfer coefficient enhancement with perforated baffles / Dutta S., Dutta P., Jones. R. E., Khan J. A. // trans. ASME. J. Heat Transfer. – 1998. – 120, № 3. – P. 795-797.
4. Ключев О. І. Дослідження розподілу рідини по трубах кожухотрубчастого теплообмінника і методи вирівнювання швидкостей при радіальному введенні рідини в апарат / О. І. Ключев, К. В. Луняка, Г. А. Чумаков // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – Частина 1, Т. 1. – С. 86-89.
5. Ключев О. І. Дослідження будови пристроїв для вирівнювання швидкостей теплоносія в трубах кожухотрубчастого теплообмінника / О. І. Ключев, К. В. Луняка, Г. А. Чумаков // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь, 2005. – Випуск 34. – С. 68-73.
6. Декларативний патент на корисну модель. №11299, МПК F28D3/04. Теплообмінний апарат / Ключев О. І., Луняка К. В., Смагін П. В. – Заявлено 21.06.2005; Опубл. 15.12.2005, Бюл. № 12. – 4 с.

7. Математическое моделирование и системный анализ теплообменного оборудования : материалы всесоюзного совещания. – К. : Наукова думка, 1978. – 354 с.

8. Лебедев П. Д. Тепломассообменные, сушильные и холодильные установки / П. Д. Лебедев – М. : Энергия, 1972. –319 с.

**Луняка К.В., Ключев О.И., Русанов С.А., Ардашев В.О. УВЕЛИЧЕНИЕ ДВИЖУЩЕЙ СИЛЫ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ВСТАВОК**

*Представлен расчет движущей силы процесса теплообмена в кожухотрубных теплообменниках при использовании распределительных вставок.*

*Ключевые слова: гидродинамика движения жидкости в трубах теплообменника, равномерность распределения скорости, распределительные устройства, математическое моделирование.*

**Lunyaka K.V., Kluev O.I., Rusanov S.A., Ardashev V.A. INCREASE OF MOTIVE FORCE OF HEAT EXCHANGE PROCESS WHEN USING DISTRIBUTIVE INSERTIONS**

*Calculation of motive force of heat exchange processes in shell-and-tube heat exchangers when using distributive insertions is represented.*

*Keywords: hydrodynamics of liquid movement in heat exchangers pipes, speed distribution uniformity, switching devices, mathematical modelling.*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРОКИПАЮЩЕГО СЛОЯ ИОНИТА (ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ)

*Лянна О.В., Луняка К.В., Русанов С.А.,*

*Херсонский национальный технический университет*

*Рассматриваются проблемы, связанные с регенерацией катионита, применяемого при промышленной подготовке воды. Предлагается регенерацию проводить в кипящем слое ионита.*

*Ключевые слова: химическая технология, катионит, виброкипение, обессоливание воды.*

**Постановка задачи.** В настоящее время обогрев жилых и технических помещений обеспечивается централизованно за счет работы ТЭЦ. Для обеспечения заданного качества питательной воды котлов ТЭЦ используется широкий спектр исходных вод, которые нуждаются в очищении и обессоливании. В настоящее время водоподготовительные установки ТЭЦ в Украине ежегодно вырабатывают свыше 80 млн. тонн обессоленной воды и свыше 200 млн. тонн умягченной воды. Традиционная ионообменная технология водоподготовки предусматривает несколько ступеней фильтрования и длительное время обеспечивала нормативные воднохимические режимы паровых котлов ТЭЦ. Однако эта технология, базирующаяся на применении параллельноточных ионообменных фильтров, морально устарела. Для загрузки ионообменных фильтров водоподготовительных установок ТЭС ежегодно приобретается 2-3 тыс. тонн отечественных и 1,2-1,8 тыс. тонн импортных ионообменных смол, стоимость которых превышает 8 млн. долларов США. При этом эксплуатационные расходы реагентов в 2-4 раза превосходят необходимое количество, большая часть их сбрасывается со сточными водами, загрязняя гидросферу [1].

Основными технологическими процессами предварительной очистки воды являются коагуляция (укрупнение) коллоидных примесей и известкование, которые обычно совмещаются в одном аппарате – осветлителе – в целях улучшения суммарного технологического эффекта и снижения денежных затрат [2]. Вода, прошедшая предочистку, практически не содержит в себе грубодисперсных примесей и в значительной степени освобождена от коллоидных. Однако основная часть примесей в истинно-растворенном состоянии остается в этой воде и должна быть удалена из нее. Для этого применяют ионный обмен (обессоливание). Обессоливание воды означает уменьшение содержания в ней растворенных солей. Этот процесс называют также деионизацией или деминерализацией. Для многих процессов в теплоэнергетике требуется вода, содержащая минимальные количества солей, вплоть до сверхчистой, которая практически их не содержит. Существует несколько способов обессоливания: термический; ионообменный; мембранный; обратноосмотический; электродиализ и др.



Наиболее часто обессоливание воды производят ионным обменом. Это наиболее отработанный и надежный метод [1].

Подбирая иониты, степень их регенерации и количество ступеней очистки, можно добиться необходимой глубины очистки воды практически любого исходного состава. Материалы для очистки делятся на катионитные и анионитные. В данной статье будут рассматриваться только катионитные материалы ввиду их наиболее широкого применения на Херсонской ТЭЦ.

Катионитовыми материалами являются: глауконит, сульфоуголь и синтетические смолы. Наибольшим распространением в настоящее время пользуется сульфоуголь, который получается после обработки бурого или каменного угля дымящейся серной кислотой. В результате израсходования материала Na-катионов их требуется восстанавливать путем регенерации. Регенерация производится 5–10 %-ным раствором поваренной соли, пропускаемым через катионитовый материал. В результате указанной регенерации действие сульфоугля восстанавливается [3].

При существенных различиях в химическом составе и структуре для всех ионитов характерен один и тот же принцип построения (рис. 1): они имеют каркас, несущий избыточный заряд, и подвижные противоионы. У ионообменных смол каркас, называемый матрицей, состоит из высокополимерной пространственной сетки углеводородных цепей в отдельных местах, которой закреплены функционально-активные гидрофильные группы. Между углеводородными цепями есть поперечные связи (мостики), препятствующие разъединению цепей, но допускающие их деформацию.

С течением времени в слое работающего материала в результате его постепенного разрушения может накапливаться все больше и больше мелкой фракции, от которой слой ионита частично освобождается при взрыхлении. Взрыхление катионита при одновременной его регенерации происходит в противоточных фильтрах (рис. 2).



Рисунок 1 – Структура гранулы катионита

В рабочем цикле зерна ионитов сжимаются. При проведении регенерации зерна ионитов расширяются. И набухание, и сжатие происходят под действием осмотического давления воды. Это в свою очередь приводит к появлению в зерне микротрещин, которые в конечном результате приводят к

раскалыванию зерна ионита. К раскалыванию треснувшего зерна ведут также и механические нагрузки, происходящие в процессе трения зерен друг о друга или о стенки аппаратов или трубопроводов, а также имеющие место при взрыхлении или гидравлических перегрузках ионитов [4].

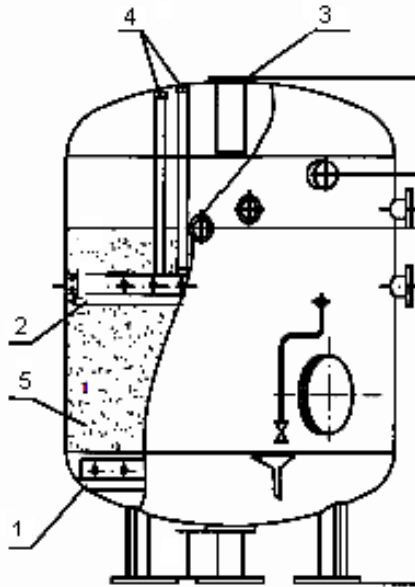


Рисунок 2 – Конструкция противоточного фильтра: 1 – нижнее РУ; 2 – среднее РУ; 3 – верхнее РУ; 4 – тяги; 5 – фильтрующий слой.

**Цель исследований.** Целью данных исследований являются интенсификация ионного обмена между сульфоуглем и раствором  $NaCl$  за счет применения виброкипения.

**Решение задачи.** Для дальнейшего улучшения работы противоточных фильтров требуется новый способ взрыхления материала в фильтре. Таким способом может быть виброкипение.

Виброкипящий слой – это такое состояние дисперсной системы, когда состояние кипящего слоя достигается путем передачи вибрации этой системе. Этот способ позволяет ускорить многие химические процессы [5].

Несмотря на значительные преимущества кипящего слоя перед другими способами организации процесса, он, как и любой другой, не является универсальным и имеет ряд существенных недостатков. Один из них заключается в том, что кипящий слой создается только при определенных скоростях газа и жидкости, которые в ряде случаев являются далеко не оптимальными для хода физико-химического процесса и не дают возможности работать с материалом широкого гранулометрического состава. Кроме того, перевести слой некоторых материалов в состояние кипения вообще не удастся, что особенно характерно для частиц, склонных к агрегированию [5].

Рассматривая процесс перемешивания сыпучего материала в виброкипящем слое, видим значительные преимущества последнего. Однако среди исследователей нет единого мнения относительно параметров

вибрації і кипіння, таких як відносне прискорення вібрації і швидкість газу (табл. 1).

Таблиця 1 – Прискорення вібрації і швидкості потоку газу, при яких утворюється оптимальна структура вибрируючого шару порошків полімерів

| Матеріал                  | Відносне прискорення вібрації | Швидкість газу, см/с |       |
|---------------------------|-------------------------------|----------------------|-------|
|                           |                               | $v_1$                | $v_2$ |
| Поликапроамід             | 0,8-1,0                       | 1,5                  | 2,0   |
| Капролон В                | 0,8-1,0                       | 2,8                  | 4,0   |
| Капролон С                | 0,6-0,8                       | 0,8                  | 1,8   |
| Поліетилен низького тиску | 0,8-1,2                       | 3,5                  | 5,0   |
| Полипропілен              | 0,8-1,2                       | 2,5                  | 3,5   |
| Полиформальдегід          | 0,6-0,8                       | 1,0                  | 2,2   |

В таблиці наведені емпіричні дані, що лежать в достатньо широкому діапазоні. Це дає можливість передбачити, що для мало дослідженого речовини (наприклад, іоніта) потрібен цілий ряд досліджень, пов'язаних з властивостями його вибрикування. Це ускладнює застосування процесу вибрикування для регенерації іоніта в процесі водопідготовки.

В дослідженнях наведена емпірична формула для розрахунку питомої поверхні теплообміну [6]:

$$S = N_q \cdot \pi \cdot d^2 = \frac{6 \cdot (1 - \varepsilon)}{d}, \text{ м}^2 / \text{м}^3, \quad (1)$$

де  $N_q$  – кількість частинок в кубометрі шару;  $d$  – діаметр частинок, м.

При використанні цієї формули виникають складності, пов'язані з розрахунком кількості частинок в кубометрі шару. Також залишаються невідомими оптимальні параметри частоти і амплітуди коливань, а також швидкості дисперсійного середовища, які є ключовими для правильного проведення експериментів.

Таблиця 2 – Експериментальні дані

| Вплив                                             | Висота шару, мм | $\varepsilon$ | Степінь відновлення іоніта за 2 години, % |
|---------------------------------------------------|-----------------|---------------|-------------------------------------------|
| Незрухований шар                                  | 50              | 0,4           | -                                         |
| Подача розчину <i>NaCl</i> під шар                | 52              | 0,42          | 60                                        |
| При подачі розчину <i>NaCl</i> і впливі вібратора | 60              | 0,47          | 75                                        |

**Результаты экспериментов.** Были проведены следующие эксперименты: в аппарат, представляющий собой цилиндрическую колонну с опорной решеткой с размерами отверстий 0,3 мм насыпался слой сульфогля с размерами частиц 0,5-1 мм. Под слой частиц подавался раствор  $NaCl$ , который приводил данный слой в псевдооживленное состояние. Сверху в слой на глубину 16 мм опускалось виброустройство, при его включении наблюдалось разрыхление слоя, что приводило к более интенсивному омыванию частиц раствором  $NaCl$  и сокращению времени регенерации. Получены экспериментальные данные, представленные в табл. 2.

Вышеуказанные результаты дают основания для дальнейшего исследования процесса интенсификации ионного обмена между катионитом и раствором  $NaCl$  при вибрационном воздействии.

**Вывод.** Таким образом, при использовании виброоживления наблюдается увеличение степени регенерации ионита, что в дальнейшем позволит использовать его в течение более длительного времени. В связи с этим представляет интерес дальнейшее изучение поведения ионита в виброкипящем слое.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электронный ресурс. – Режим доступа: [www.himvoda.ru](http://www.himvoda.ru)
2. Елизаров Д. П. Теплоэнергетические установки электростанций / Д. П. Елизаров. – М. : Энергоиздат, 1982.
3. Кульский Л. А. Технология очистки природных вод / Л. А. Кульский, П. П. Строкач – К. : Вища школа, 1981. – 325 с.
4. Справочник химика. Т. IV – Л. : Химия, 1968. – 974 с.
5. Членов В. А. Виброкипящий слой / В. А. Членов, Н. В. Михайлов. – М. : Наука, 1972. – 340 с.
6. Аэров М. Э. Гидравлические и тепловые основы работы аппаратов со стационарным и кипящим зернистым слоем / М. Э. Аэров, О. М. Тодес. – Л. : Химия, 1968.

**Лянна О.В., Луняка К.В., Русанов С.А.** ДОСЛІДЖЕННЯ ВІБРОКИПЛЯЧОГО ШАРУ ІОНІТУ (ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ)

*Розглядаються проблеми, пов'язані з регенерацією катіоніта, вживаного при промисловій підготовці води. Пропонується регенерацію проводити в киплячому шарі іоніту.*

*Ключові слова: хімічна технологія, катіоніт, віброкипіння, знесолення води.*

**Lyanna A.V., Lunyaka K.V., Rusanov S.A.** RESEARCH OF IONITE VIBROBOILING LAYER (PROBLEM STATEMENT)

*Problems related to regeneration of cationite used at industrial preparation of water are examined. Regeneration is proposed to be conducted in the boiling layer of ionite.*

*Keywords: chemical technology, cationite, vibroboiling, deionization of water.*

## ВПЛИВ ТОЧНОСТІ ШПОНКОВИХ З'ЄДНАНЬ НА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ БАГАТОКОНТУРНИХ ЛАНЦЮГОВИХ ПЕРЕДАЧ

Ляшук О.Л.,

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

*Отримано аналітичні залежності для визначення допустимого тиску в шарнірах ланцюгів двоконтурної передачі при заданому рівні надійності, розрахунку підбору роликів і втулкових ланцюгів. Представлено конструктивну схему двоконтурної ланцюгової передачі, яка залежить, в першу чергу, від кількості ланок у її ведучій гілці, точності розмірних параметрів шпонкового з'єднання, допустимого зусилля. Ключові слова: багатоконтурна ланцюгова передача, шпонкові з'єднання, зірочка.*

**Постановка проблеми.** Одним із найважливіших параметрів багатоконтурних ланцюгових передач є точність шпоночних з'єднань. Тому питання розроблення методики і здійснення теоретичного обґрунтування точності шпонкових з'єднань на несучу здатність багатоконтурних ланцюгових передач і є актуальним і потребує свого вирішення.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Питаннями проектування двоконтурних ланцюгових передач найбільш повно розглянута в роботах [2, 4, 8]. В загальному в працях [1, 3, 5] шпонкові з'єднання рекомендовано виконувати за схемою, яка регламентує певні посадки спряжуваних поверхонь.

**Мета роботи.** Метою роботи є розроблення конструкції і теоретичне обґрунтування точності шпонкових з'єднань багатоконтурних ланцюгових передач.

Робота виконується в рамках пріоритетних напрямків розвитку науки і техніки і Постанови Кабінету Міністрів України «Новітні та ресурсощадні технології в промисловості, енергетиці та агропромисловому комплексі» на 2010 - 2015 роки.

**Реалізація результатів роботи.** Багатоконтурні ланцюгові передачі, як складові елементи, наприклад, транспортерів, знайшли широке застосування в сучасному машинобудуванні.

На рис. 1 схематично зображена чотириконтурна ланцюгова передача, яка зокрема може використовуватись у транспортері.

Враховуючи [2, 4, 8] можемо констатувати, що довжини, які виміряні між відповідними точками на профілях зубців зірочок  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ ,  $L_4$ , чотириконтурної ланцюгової передачі є величини випадкові з нормальним законом розподілу і залежать від зазорів у шпонкових з'єднаннях. Якщо розглянути такий стан, що на зірочках 9 і 12 віддаль  $L_1$  найменша, а на зірочках 6, 14  $L_2$  – найбільша, а віддалі  $L_3$  і  $L_4$  мають проміжні значення між  $L_1$  і  $L_2$ , то можна стверджувати, що несучу здатність такої передачі буде визначати точність шпонкових з'єднань на першому  $L_1$  і другому  $L_2$  контурах, тобто як для двоконтурної ланцюгової передачі, яка схематично показана на рис. 2.

Встановлення впливу точності шпонкових з'єднань на несучу здатність двоконтурної ланцюгової передачі як одного із технічних обмежень дасть можливість здійснити розрахунок та підбір приводних роликів ланцюгів для таких передач і є актуальною задачею.

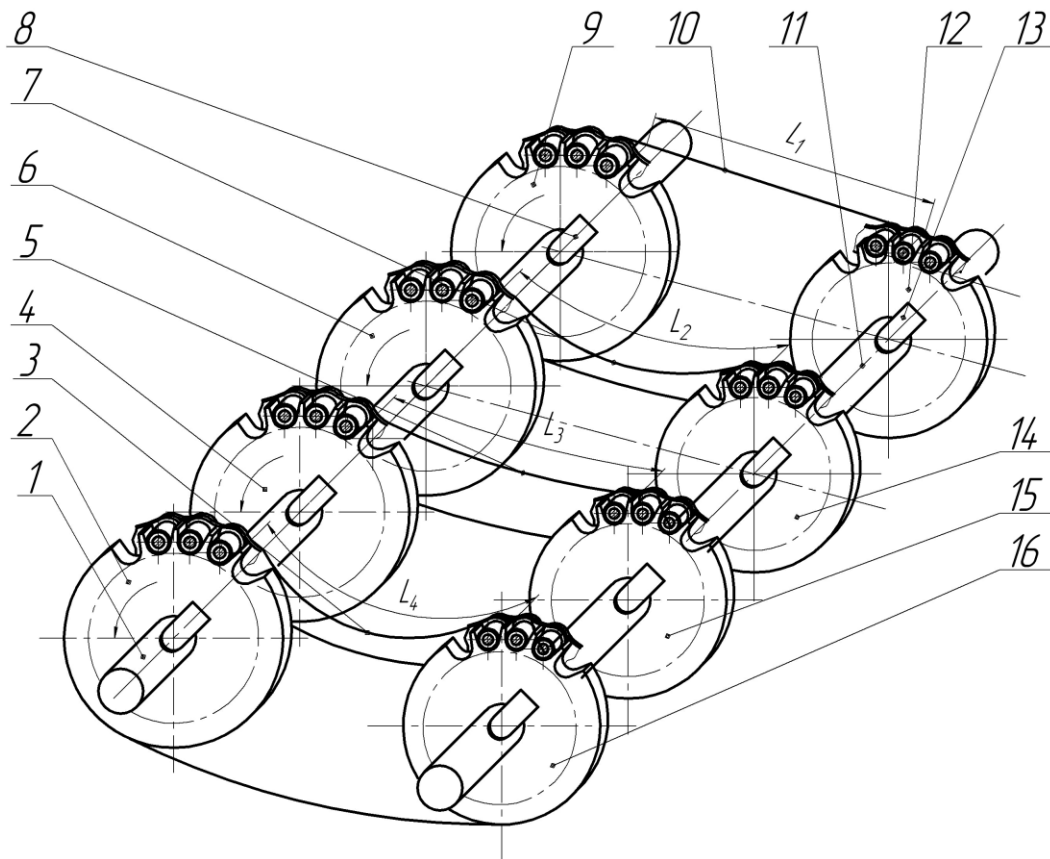


Рисунок 1 – Схема багатоконтурної (4-х рядної) ланцюгової передачі: 1 – ведучий вал, 2, 4, 6-9 – ведучі зірочки, 3, 5, 7, 10 – робочі гілки відповідних контурів передачі, 8 і 13 відповідно шпонки на ведучому 1 і веденому 11 валах, 13, 14, 15 і 16 – ведені зірочки

Несуча здатність двоконтурних ланцюгових передач (рис. 2) найбільш повно розглянута в роботах [2, 4, 8]. Визначальним критерієм несучої здатності таких передач приймемо допустимий тиск  $[p_0]$  в шарнірах приводних роликів втулкових ланцюгів. Проте при аналізі існуючих літературних джерел та розгляді цього питання встановлено, що на даний час при розрахунку несучої здатності двоконтурних ланцюгових передач не враховують появу можливих зазорів у шпонкових з'єднаннях (зірочка – шпонка – вал), можливого кутового зміщення однієї відносно іншої зірочки і впливу точності шпонкових з'єднань на несучу здатність двоконтурної ланцюгової передачі. З метою виключення впливу різнорозмірності довжин робочих гілок першого і другого контурів припустимо, що довжина робочих гілок приводних ланцюгів I та II контурів однакова, тобто  $L_I = L_{II}$ , і ці величини постійні (рис. 2).

Взагалі, відповідно до [1, 3, 5] шпонкові з'єднання рекомендовано виконувати за схемою, яка регламентує певні посадки спряжуваних

поверхонь (рис. 4). Прийняті позначення: I і II – відповідно перший і другий контури; 1I і 2I – відповідно перша і друга зірочка першого контуру; 1II і 2II – відповідно перша і друга зірочка другого контуру.

В табл. 1 подані комбінації можливих розміщень зазорів у шпонкових з'єднаннях зірочок з валами двоконтурної ланцюгової передачі.

На рис. 3 подані схеми розміщення зазорів у шпонкових з'єднаннях зірочок з валами для ідеального і найнесприятливішого варіантів. Із табл. 1 випливає, що внаслідок появи у шпонковому з'єднанні зазора  $z$ , під дією крутного моменту  $M_{кр}$  та моменту опору  $M_{он}$  відбудеться поворот валу відносно зірочки, і довжина  $L_{II}$ , яка дорівнює віддалі між двома суміжними точками профілю відповідних зубів зірочок контура, набуде значення

$$L_{II} = L_I + \Delta L_{1II} + \Delta L_{2II}, \quad (1)$$

де  $L_I$  – віддаль між двома суміжними точками профілю відповідних зубів зірочок першого контура, тобто  $L_I = L_{p.6.I} = L_{p.6.II} = L$ ;

$\Delta L_{1II}, \Delta L_{2II}$  – відповідно приріст віддалі між двома суміжними точками профілю на першій і другій зірочках другого контура.

Розглянемо ймовірну зміну віддалі  $\Delta L$  між двома суміжними точками контакту роликів ведучої гілки приводного ланцюга із зубами зірочок в нормальному до осі валиків перерізі за рахунок можливого виникнення зазора в одному із шпонкових з'єднань зірочка – шпонка – вал.

Скористаємось розрахунковою схемою, яка подана на рис. 4. Внаслідок випадкового характеру величин  $b$  і  $L$  у шпонковому з'єднанні може виникнути зазор  $z = L - b$ . При наявності зазору  $z$ , припустивши рівність довжин дуги і хорди на ділільному колі, що визначаються центральним кутом  $\alpha$ , величина  $\Delta L$  буде дорівнювати:

$$\Delta L = R_\delta \cdot \alpha, \quad (2)$$

де  $R_\delta$  – радіус ділільного кола зірочки;  $\alpha$  – центральний кут в радіанах.

Визначивши із  $\triangle ABO$  сторону  $AO$ , значення кута  $\beta$  виразимо залежністю:

$$\beta = \arcsin \frac{b}{\sqrt{b^2 + (2R + h)^2}}, \quad (3)$$

де  $b$  – товщина шпонки;  $R$  – номінальний радіус валу;  $h$  – номінальна висота шпонки.

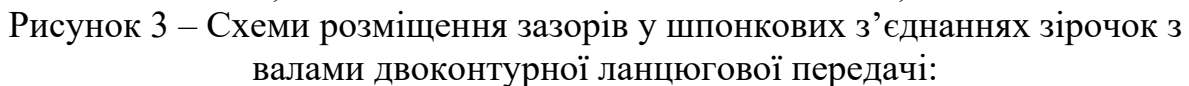
Використавши  $\triangle CDO$  і врахувавши, що  $\alpha = \delta - \beta$ , отримаємо:

$$\alpha = \arcsin \frac{2L - b}{\sqrt{b^2 + (2R + h)^2}} - \arcsin \frac{b}{\sqrt{b^2 + (2R + h)^2}}, \quad (4)$$

де  $L$  – ширина шпонкового паза в отворі зірочки.

Тоді рівняння (2) із врахуванням (4) набуде вигляду:

У рівнянні (5) величини  $R_0$ ,  $L$ ,  $b$ ,  $R$ ,  $h$  – випадкові, які підкоряються нормальному закону розподілу.

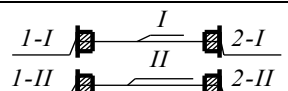
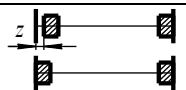
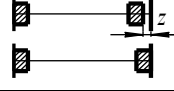
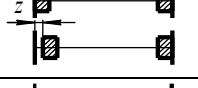
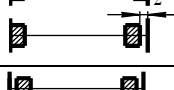
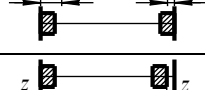
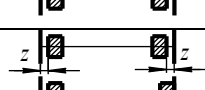
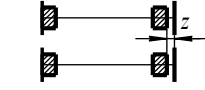
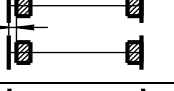
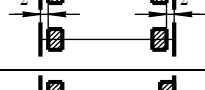
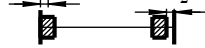


---

Науковий вісник ХДМІ № 2 (5), 2011



Таблиця 1 – Схеми комбінацій можливих розміщень зазорів у шпонкових з'єднаннях зірочок з валами двоконтурної ланцюгової передачі

| №<br>п/п | Наявність - «z»,<br>відсутність - «0»<br>зазорів<br>у шпонкових<br>з'єднаннях<br>зірочок з валами у<br>контурах: |      |          |        | Сумарний зазор<br>у шпонкових<br>з'єднаннях<br>зірочок<br>з валами у<br>контурах |    | Схеми розміщення зазорів<br>в шпонкових з'єднаннях<br>зірочок з валами                | Сумарний<br>макси-<br>мальний<br>зазор у<br>шпонко-<br>вих<br>з'єднан-<br>нях |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----------|--------|----------------------------------------------------------------------------------|----|---------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
|          | I                                                                                                                |      | II       |        |                                                                                  |    |                                                                                       |                                                                               |
|          | 1- I                                                                                                             | 2- I | 1-<br>II | 2 - II | I                                                                                | II |                                                                                       |                                                                               |
| 1        | 0                                                                                                                | 0    | 0        | 0      | 0                                                                                | 0  |     | 0                                                                             |
| 2        | z                                                                                                                | 0    | 0        | 0      | z                                                                                | 0  |     | z                                                                             |
| 3        | 0                                                                                                                | z    | 0        | 0      | z                                                                                | 0  |    | z                                                                             |
| 4        | 0                                                                                                                | 0    | z        | 0      | 0                                                                                | z  |    | z                                                                             |
| 5        | 0                                                                                                                | 0    | 0        | z      | 0                                                                                | z  |  | z                                                                             |
| 6        | z                                                                                                                | z    | 0        | 0      | 2z                                                                               | 0  |   | 2z                                                                            |
| 7        | 0                                                                                                                | z    | z        | 0      | z                                                                                | z  |   | 0                                                                             |
| 8        | 0                                                                                                                | 0    | z        | z      | 0                                                                                | 2z |   | 2z                                                                            |
| 9        | z                                                                                                                | z    | z        | 0      | 2z                                                                               | z  |   | z                                                                             |
| 10       | 0                                                                                                                | z    | z        | z      | z                                                                                | 2z |   | z                                                                             |
| 11       | 0                                                                                                                | z    | 0        | z      | z                                                                                | z  |  | 0                                                                             |
| 12       | z                                                                                                                | 0    | z        | 0      | z                                                                                | z  |   | 0                                                                             |
| 13       | z                                                                                                                | z    | z        | z      | 2z                                                                               | 2z |   | 0                                                                             |
| 14       | z                                                                                                                | 0    | 0        | z      | z                                                                                | z  |   | 0                                                                             |

Враховуючи те, що густина розподілу величини  $C_1 = \sqrt{b^2 + (2R + h)^2}$  визначиться як густина розподілу величини  $C_1^x$ , де  $x=1/2$ , а густина розподілу величини  $C_2 = \frac{2L - b}{\sqrt{b^2 + (2R + h)^2}}$  – відповідно як густина частки двох випадкових величин, причому величина  $C_3 = 2L - b$  підкоряється нормальному закону розподілу, а величини  $\delta$  і  $\alpha$  підпорядковані закону розподілу арксинуса, то визначення густини розподілу величини  $\Delta L = f(\Delta L)$  є досить складною задачею.

Взявши до уваги те, що значення  $z$  дуже малі, і припустивши, що  $z \approx L_{AC}$ , де  $L_{AC}$  – довжина дуги AC (рис. 4), а  $AO = R_1$ , можемо отримати спрощену залежність для визначення величини  $\Delta L$ :

$$\Delta L = C_4 \cdot z, \quad (6)$$

де  $C_4 = R_o''/R_1''$ ; тут  $R_o''$  і  $R_1''$  – відповідно номінальні значення радіусів ділильного кола зірочки і кола, яке описує найвіддаленіша від осі валу точка A на шпонці.

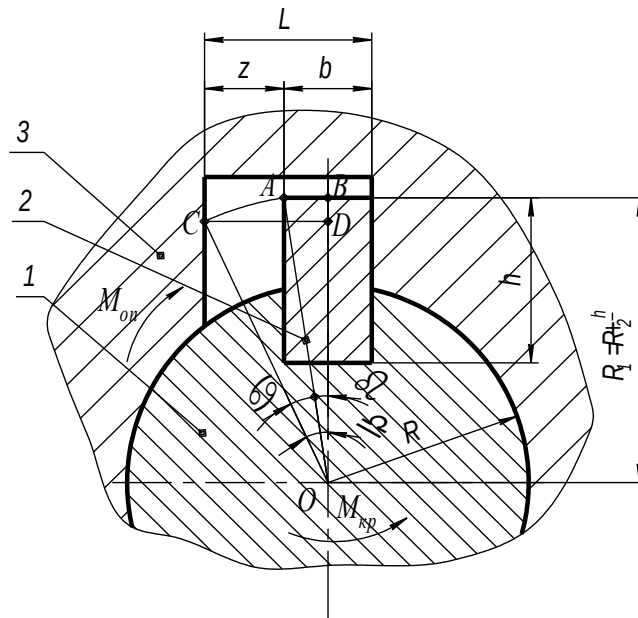


Рисунок 4 – Розрахункова схема для визначення можливого значення кута повороту зірочки: 1 – вал; 2 – шпонка; 3 – зірочка

Величину  $C_4$  прийемо для певного конкретного випадку постійною, тобто  $C_4 = \text{const}$ .

Із врахуванням останнього і того, що величина  $z$  підпорядкована нормальному закону розподілу з густиною

$$f(z) = \frac{1}{\sigma_z \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(z - \bar{z})^2}{2\sigma_z^2}} \quad (7)$$

де  $\sigma_z$  – середнє квадратичне відхилення розсіювання зазору;  $\bar{z}$  – середнє значення зазору і, взявши до уваги, що  $0 \leq z_i \leq z_{\max}$ , а  $\sigma_z = z_{\max} / 6$  і  $\bar{z} = z_{\max} / 2$ , залежність (7) після спрощення набуде вигляду:

$$f(z) = \frac{2,382}{z_{\max}} e^{-\frac{4,5(2z_i - z_{\max})^2}{z_{\max}^2}}. \quad (8)$$

Величина  $\Delta L$  буде випадковою з характеристиками: середнє значення  $\Delta \bar{L} = C_4 \cdot \frac{z_{\max}}{2}$ ; середньоквадратичне відхилення  $\sigma_{\Delta L} = C_4 \cdot \sigma_z$ .

$$f(\Delta L) = \frac{1}{C_4 \sigma_z \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\Delta L_i - C_4 \bar{z})^2}{2(C_4 \sigma_z)^2}} \quad (9)$$

Врахувавши, що  $\bar{z} = \frac{z_{\max}}{2}$ ;  $\sigma_z = \frac{z_{\max}}{6}$ , а  $C_4 = \frac{R_o''}{R_1''}$ , залежність (9) набуде вигляду:

$$f(\Delta L) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \frac{R_o''}{R_1''}} e^{-\frac{\left(\Delta L_i - \frac{R_o'' \cdot z_{\max}}{2R_1''}\right)^2}{2\left(\frac{R_o'' \cdot z_{\max}}{6R_1''}\right)^2}} \quad (10)$$

Аналізуючи комбінації можливих розміщень зазорів у шпонкових з'єднань (табл. 1 та рис.3), визначимо ймовірність виникнення беззазорного з'єднання у всіх спряженнях механізму –  $P(z=0)$ , ймовірність появи максимального сумарного зазору, який дорівнює  $z$ , а також ймовірність появи зазорів як на ведучому, так і на веденому валах (позиції №№ 6 і 8 табл. 1) –  $P(z)$ :

$$P(z=0) = \frac{n_{z=0}}{N_3} \cdot 100\% = 42,8\%; \quad P(z) = \frac{n_z}{N_3} \cdot 100\% = 42,8\%;$$

$$P(2z) = \frac{n_{2z}}{N_3} \cdot 100\% = 14,2\%;$$

Тут  $n_{z=0}$ ,  $n_z$  і  $n_{2z}$  – відповідно кількість можливих випадків появи нульового зазору, зазорів, які відповідно дорівнюють  $z$  і  $2z$ ;  $N_3$  – загальне число комбінацій зазорів у шпонкових з'єднаннях передачі.

Розглянемо випадок, коли шпонкові з'єднання двоконтурної передачі з ймовірністю  $P(2z) = 14,2\%$  забезпечують появу максимального зазору  $2z$ .

Загальна величина  $\Delta L_{II3}$  приросту віддалі між двома суміжними точками профілю на першій та другій зірочках контуру на основі табл. 1 і рис. 2 буде:

$$\Delta L_{II3} = \Delta L_{II\text{ведуч.}} + \Delta L_{II\text{веден.}}$$

Закон розподілу величини  $\Delta L_{II3}$  також буде нормальним з характеристиками: середнє значення –  $\Delta \bar{L}_3 = \Delta \bar{L}_{II\text{ведуч.}} + \Delta \bar{L}_{II\text{веден.}} = 2C_4 \bar{z}$ ; середньоквадратичне відхилення –  $\sigma(\Delta L_3) = \sqrt{2}C_4 \sigma_z$ .

Густина розподілу величини  $\Delta L_{II3}$  виразиться залежністю:

$$f(\Delta L_{II3}) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}C_4\sigma_z} \cdot e^{-\frac{(\Delta L_{II3i} - 2C_4\bar{z})^2}{4C_4^2 \cdot \sigma_z^2}}. \quad (11)$$

Аналогічною буде і густина розподілу величини  $\Delta L_{I3}$  на першому контурі.

Тоді ймовірна різниця віддалей між двома суміжними точками профілю на першому і другому контурах (ймовірна різниця довжин контурів) при припущенні, що довжини ведучих віток I та II контурів постійні і рівні між собою, буде:

$$\Delta L_3 = \Delta L_{II3} - \Delta L_{I3}. \quad (12)$$

Густина розподілу величини  $\Delta L_3$  виразиться на основі [6, 7] із врахуванням того, що випадкові величини  $\Delta L_{II3}$  і  $\Delta L_{I3}$  підпорядковані нормальному закону розподілу з однаковими характеристиками розсіювання: середні значення  $\Delta \bar{L}_{II3} = \Delta \bar{L}_{I3}$ ; середньоквадратичні відхилення  $\sigma(\Delta L_{I3}) = \sigma(\Delta L_{II3})$ ;

$$f(\Delta L_3) = \frac{1}{2\sqrt{2\pi}C_4\sigma_z} \cdot e^{-\frac{\Delta L_{3i}^2}{8C_4^2 \cdot \sigma_z^2}} \quad (13)$$

при  $-C_4 \cdot Z_{\max} \leq \Delta L_{3i} \leq C_4 \cdot Z_{\max}$ .

Для визначення впливу точності шпонкових з'єднань на несучу здатність двоконтурної ланцюгової передачі нас цікавлять тільки значення  $\Delta L_3 \geq 0$ , тобто значення  $|\Delta L_3|$ .

Тоді густина розподілу величини  $|\Delta L_3|$  на основі [7] буде:

$$f(|\Delta L_3|) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot C_4 \cdot \sigma_z} \cdot e^{-\frac{\Delta L_{3i}^2}{8C_4^2 \cdot \sigma_z^2}} \quad (14)$$

при  $0 \leq \Delta L_3 \leq C_4 \cdot Z_{\max}$ , а характеристики розсіювання – математичне сподівання, яке приблизно дорівнює середньому значенню  $\Delta \bar{L}_3$ ,

$$M|\Delta L_3| \approx |\Delta \bar{L}_3| = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot 2C_4 \cdot \sigma_z \text{ і дисперсія } D(|\Delta L_3|) = 4C_4^2 \sigma_z^2 \left(1 - \frac{2}{\pi}\right).$$

Несучу здатність двоконтурної ланцюгової передачі згідно з рекомендаціями [4, 5] визначимо за питомим тиском у шарнірі ланцюга двоконтурної передачі:

$$[p_0]_2 = [p_0] \cdot K_m, \quad (15)$$

де  $[p_0]$  – допустимий тиск в шарнірі ланцюга одноконтурної ланцюгової передачі;  $K_m$  – коефіцієнт контурності;  $m$  – кількість ланцюгових контурів. У нашому випадку  $m = 2$ .

Використавши [4], величину  $K_m$  виразимо залежністю:

$$K_m = 1 + \frac{2\Delta_{\psi}}{|\Delta L_3| + 2\Delta_{\psi}}, \quad (16)$$

де  $\Delta_{\psi}$  – деформація робочої гілки ланцюга з нульовим зазором у шпонковому з'єднанні при передачі ланцюгом заданого зусилля  $F$  для одноконтурної передачі.

Аналізуючи залежність (16) і знаючи, що величина  $|\Delta L_3|$  випадкова з густиною розподілу  $f(|\Delta L_3|)$ , а величина  $\Delta_{\psi}$  при певному  $F$  постійна, можемо стверджувати, що й величина  $K_m$  буде випадковою. Так як нас цікавить мінімальне значення  $K_m$ , яке менше 2, то із залежності (16) випливає, що  $|\Delta L_3|$  повинно бути більшим від нуля. Задавшись ступенем ризику 5% і використавши залежність (14), знайдемо значення  $|\Delta L_{3,0,05}|$  і, підставивши його в (16), знайдемо значення  $K_{m,0,05}$ , яке відповідає надійності 95 %.

Тоді допустимий тиск в шарнірах ланцюгів двоконтурної передачі буде:

$$[p_0]_2 = [p_0] \cdot K_{m,0,05} \quad (17)$$

Використавши [4], залежність (17) подамо у вигляді

$$[p_0]_2 = [p_0] \left( 1 + \frac{2 \cdot \alpha \cdot F^x \cdot N^y}{|\Delta L_{3,0,05}| + 2\alpha F^x \cdot N^y} \right) \quad (18)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт пропорційності;  $N$  – кількість ланок у ведучій гілці передачі;  $x$  і  $y$  – показники степенів, які показують вплив  $F$  і  $N$  на величину деформації  $\Delta_{\psi}$  ланцюга певного розміру.

Аналіз отриманої залежності показує, що у випадку, коли шпонкове з'єднання беззазорне, тобто  $\Delta L_{3,0,05} = 0$ , сумарний допустимий тиск в шарнірах ланцюгової двоконтурної передачі  $[p_0]_2 = 2[p_0]$ . Із збільшенням діаметрів валів, а значить і ділильних діаметрів зірочок і ширини шпонки  $b$  величина  $\Delta L_{3,0,05}$  буде зростати і, якщо вона стане рівною  $2\Delta_{\psi}$ , тобто  $\Delta L_{3,0,05} = 2 \cdot \alpha \cdot F^x \cdot N^y$ , тоді  $[p_0]_2 = 1.5[p_0]$ . Аналіз стандартизованих даних

чисел зубців і кроків зірочок показує, що для найбільш поширених ланцюгових передач, які використовуються у сільськогосподарському машинобудуванні  $\Delta L_{30,05}$  є величиною другого порядку по відношенні до величини  $2\Delta_{\mu}$  і тому її вплив на  $[p_0]_2$  незначний.

**На основі вищевикладеного можна зробити наступні висновки:**

1. Отримана, виходячи із стохастичного характеру розмірів шпонкового з'єднання, залежність для визначення допустимого тиску в шарнірах ланцюгів двоконтурної передачі при заданому рівні надійності, яка є основоположною при розрахунку та підборі роликів і втулкових ланцюгів для двоконтурної передачі.

2. Встановлено, що допустимий тиск в шарнірах ланцюгів двоконтурної передачі залежить, в першу чергу, від кількості ланок у її ведучій гілці, точності розмірних параметрів шпонкового з'єднання і допустимого зусилля, яке передається робочою гілкою.

3. Для використовуваних ланцюгових передач в сільськогосподарському машинобудуванні з кроками приводних роликів та втулкових ланцюгів меншими 50,8 мм і числом зубців зірочок менше 40 вплив точності шпонкових з'єднань на несучу здатність багатоконтурних передач незначний, і тоді можна припускати, що шпонкові з'єднання вал-шпонка-втулка-безззорні і не враховувати при розрахунку несучої здатності багато контурних ланцюгових передач.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Анурьев В. И. Справочник конструктора-машиностроителя / В. И. Анурьев – Кн. 2. – М. : Машиностроение.
2. Дубиняк С. А. Рядная разноразмерность и нагрузочная способность двухрядных цепей с ориентированными втулками / С. А. Дубиняк, П. Д. Кривый, А. В. Куцевич // Вестник машиностроения. – 1984. – № 10. – С. 14-16.
3. Допуски и посадки : Справочник. / [В. Д. Мягков, М. А. Малей, А. Б. Романов, В. А. Бранигский]. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. – Ч. 1. – 543 с.
4. Кривий П. Несуча здатність двоконтурних паралельнорядних ланцюгових передач / П. Кривий, С. Дубиняк, А. Куцевич // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 1999. – Том 4, число 3. – С. 102-108.
5. Решетов Д. Н. Детали машин / Д. Н. Решетов – М. : Машиностроение, 1974. – 655 с.
6. Рушинский Л. З. Элементы теории вероятностей / Л. З. Рушинский – М. : Наука, 1976. – 238 с.
7. Теория вероятностей : сборник задач / [Дороговцев А. Я., Сильвестров Д. С., Скороход А. В., Ядренко М. И.] – К. : Изд-во «Вища школа», 1976. – 384 с.

8. Petro P. Kryvy, Ihor M. Bey, Oksana I. Shymanska, Petro Kryvy. Probability of load-carrying ability of two-profile chain drives / Proceedings of ASME DETS 2000: 8<sup>th</sup> International ASME Power Transmission and Gearing Conference September 10-13, 2000, Baltimor, Maryland. – P. 172-177.

**Ляшук О.Л.** ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ ШПОНОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ МНОГОКОНТУРНЫХ ЦЕПНЫХ ПЕРЕДАЧ

*Получены аналитические зависимости для определения допустимого давления в шарнирах цепей двухконтурной передачи при заданном уровне надежности, расчета подбора роликовых и втулочных цепей. Представлена конструктивная схема двухконтурной цепной передачи, которая зависит, в первую очередь, от количества звеньев в ее ведущей ветви, точности размерных параметров шпоночного соединения, допустимого усилия.*

*Ключевые слова: многоконтурная цепная передача, шпоночные соединения, звездочка.*

**Layshuk O.L.** INFLUENCE OF WELD KEY CONNECTIONS ACCURACY ON THE BEARING CAPACITY OF MULTIPLANIMETRIC CHAIN DRIVES

*Analytical dependences for determining the allowable pressure in the chain joints of dual circuit transmission at a given level of reliability, calculation of selecting roller and hub chains are received. Construction scheme of dual circuit chain transmission which depends primarily on the number of links in its host branch, accuracy of dimensional parameters of weld key connection, and allowable effort is presented.*

*Keywords: multiplanimetric chain drive, weld key connection, sprocket.*

## НОВЫЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ ПРИБОР ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ, А ТАКЖЕ ДРУГИХ МЕХАНИЗМАХ НА ТРАНСПОРТЕ И ФЛОТЕ

*Малыгин Б.В., Кавун А.В.,*

*Херсонская государственная морская академия*

*В статье изложена методика использования прибора металлодиагностики на основе сенсорного радиозондирования. Предлагаемые в статье методы, эффективны для оперативного анализа вероятных разрушений, что особенно важно при ранней диагностике состояния изделий и механизмов.*

*Ключевые слова: вероятностное разрушение, металлодиагностика, сенсорное зондирование.*

**Введение.** Известна важность бесконтактного обнаружения неисправностей в деталях машин и механизмах. Особенно это важно для механических служб транспорта и флота. В Херсонской государственной морской академии исследовались, разрабатывались и изготавливались диагностические установки серии «Металл-Детектор», позволяющие решать поставленные задачи.

Аппараты прошли промышленную проверку в течении 1990 - 2011 гг. на более чем 80 предприятиях и рекомендованы к применению. Рекомендации по применению аппаратов данной серии для машиностроения Украины изложены в Лицензии № 9191-ЮР от 05.01.96 г.

Опыты показали, что методика диагностики на аппаратах системы «Металл-Детектор» базируется на аналитическом сравнении излучения радиологического поля (энергетический спектр объекта), которое излучает конкретный образец со значением энергетического спектра поля изделия при его оптимальном состоянии.

Методика контроля по спектру поля конкретных участков объекта называется сенсорным зондированием. Контроль состояния проводился с учетом реакции обратных связей в энергосистеме объекта изделия. Разработанная в ХГМА методика, нашла применение в космонавтике и в специальной технике.

В передовых зарубежных странах подобные методы применяются при стратегических исследованиях объектов, в некоторых разделах металлодиагностики, а также экстрасенсорике второго, третьего и четвертого уровней.

В опытах эталонные нормальные значения энергии спектра поля конкретных изделий общеизвестны, поэтому их закладывали при изготовлении и настройке приборов. Методика диагностики на аппаратах системы «Металл-Детектор» технологически универсальна, абсолютно безопасна и безвредна. Предлагаемая диагностика дополнялась и корректировалась традиционными методами неразрушающего контроля. При



этом результаты на аппаратах данной серии могут сочетаться с уточняющими результатами таких традиционных методов контроля как рентген, УЗИ, металлография и т.п., что облегчит задачу классического анализа и позволяет вести более качественный контроль.

Предлагаемые методы и аппараты были эффективными для оперативного анализа вероятных разрушений. Кроме этого, они оказались незаменимыми при ранней диагностике состояния изделий и механизмов на флоте.

**Изложение основного материала.** Исследования показали, что аппаратура и технология металлодиагностики на основе сенсорного радиозондирования была запатентована на Украине и аналогов в мире не имела.

В исследованиях определялись возможности приборов, т.е. область их применения. Опыты показали, что:

1. Назначение аппарата – выполнить общий и специальный предварительный контроль состояния изделия, отдельных его участков или узла в целом.

2. Принцип действия аппарата – интегральный анализ суммарного радиоспектра излучения конкретного участка изделия, по результатам которого можно судить о степени его работоспособности или безотказности.

3. Диагностика проста и осуществляется локально, объемно или поверхностно, что зависит от программы работ.

4. Заключение о нарушениях в отдельных участках или объекта в целом по результатам работы аппарата делает специалист-механик, отвечающий за работу механизма.

При помощи аппаратов серии «Металл-Детектор» можно также:

- проверить общее состояние инструмента или детали машин;
- установить наличие нарушений, как в отдельных участках изделия, так и в его общей структуре;
- определить предрасположенность механизма к выработке ресурса;
- определить наличие мест вероятного разрушения при эксплуатации;
- определить наличие в конкретных изделиях особо опасных участков, локальных мест возможных аварий и т.п.;
- определить степень надежности, а также локализацию нарушений и концентраций внутренних напряжений механизма;
- определить недостатки термообработки заготовок, деталей, инструмента, образцов;
- определить наличие уплотнений или неоднородностей в металлических образцах или деталях машин;
- установить область начального разрушения;
- определить наличие микрорадиационных включений (если таковые имеются);
- определить недостатки конструкции при работе ее «на отказ»;

– дать предварительное заключение о вероятной работоспособности изделия.

Разработанные ХГМА аппараты, выпускаются двух типов: «Металл-Детектор-универсал» и «Магнитрон-Элита» – специализированный шестиканальный диагностический аппарат повышенной избирательности и чувствительности, предназначенный как для промышленности, так и для научно-исследовательской работы.

Таблица 1 – Техническая характеристика аппаратов

| №  | Показатели                                                | М-Универсал | М-Элита       |
|----|-----------------------------------------------------------|-------------|---------------|
| 1  | Напряжение питания постоянным током                       | 9           | 9             |
| 2  | Диапазон энергии, Мэв                                     | 0,01...1,5  | 0,012...1,2   |
| 3  | Чувствительность суммарная, Мкв / мин                     | 0,1...1000  | 0,001...10000 |
| 4  | Чувствительность по микропотенциалу Мкв / мин             | 0,05...100  | 0,01...20     |
| 5  | Время установления рабочего режима, сек                   | 40...50     | 20...60       |
| 6  | Время диагностики конкретного участка изделия, сек        | 20...40     | 30...50       |
| 7  | Программа анализа (число контролируемых параметров):      |             |               |
|    | а) образцы металла                                        | 10...22     | 10...56       |
|    | б) инструмент                                             | 84...00     | 84...100      |
|    | в) детали машин                                           | 20...135    | 20...400      |
| 8  | Глубина анализа, мм.                                      | 0,5...200   | 0,5...200     |
| 9  | Время полного анализа, мин. (макс)                        | 24...72     | 24...72       |
|    | Селективного анализа, мин.                                | 1...3       | 3...5         |
| 10 | Количество проверяемых образцов (изделий), единиц / смена | 100...1000  | 50...400      |
| 11 | Масса, не более, г                                        | 300         | 460           |
| 12 | Гарантийный срок службы, мес.                             | 24          | 24            |
| 13 | Погрешность, не более %                                   | 10...20     | 10...20       |

Практика показала, что основная погрешность при работе аппаратов не превышала 10..20%.

Аппараты системы «Металл-Детектор» состоят из силового блока, блока управления, блока измерения интегрального излучения конкретных участков металлических изделий и блока информации. Аппарат управляется микропроцессором. Внешний вид аппарата и устройств управления показан на рис. 1.

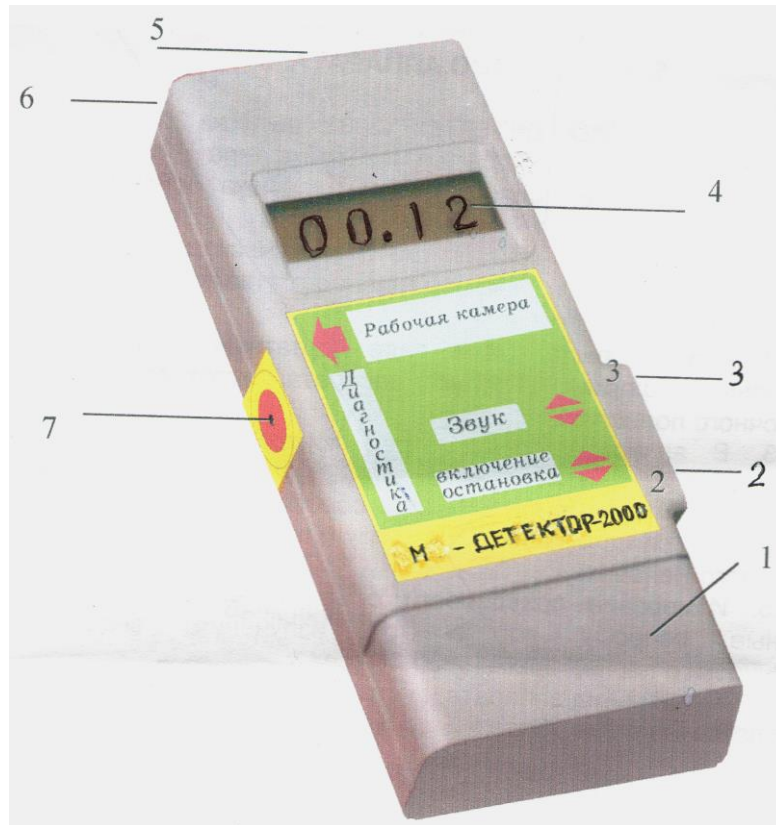


Рисунок 1 – Внешний вид аппарата и устройства управления его работой:  
1 – источник питания (9 В); 2 – кнопки пуска и остановки; 3 – звуковая информация; 4 – цифровое табло; 5 – индикатор напряжения; 6 – кнопка сброса информации; 7 – рабочая камера (центр)

В аппарате предусмотрен контроль напряжения батареи питания. Блок информации аппарата обеспечивает цифровую и звуковую сигнализацию при контроле излучения объекта. Измерение ведется автоматически за период 30...60 сек.

Промышленные испытания показали, что по степени защиты от поражения электрическим током аппарат соответствует II классу и при эксплуатации не требует заземления. Распространение электромагнитного поля аппарата во внешнюю среду незначительно. По воздействию поля на обслуживающий персонал аппарат является практически безопасным. При интенсивной работе по диагностированию состояния деталей, особенно на механизмах транспорта, батарею необходимо менять каждые 10 дней.

Процедура диагностирования базируется на сравнении интегрального спектра радиофизического излучения конкретного участка в лабильном состоянии с аналогичным излучением его при нормальном, стабильном состоянии. Исходный норматив спектра излучения образца интерполируется с его естественным радиоизлучением (при высококачественном изготовлении).

Среднестатистические цифровые значения этих параметров-нормалей для некоторых образцов изделий приведены в таблице 2. Указанные параметры радио-спектра излучения закладывались в программу работы

аппарата в качестве исходных данных. В микропроцессоре аппарата заложено 14 рабочих программ. Последовательность диагностирования происходит автоматически в порядке перевода программы 1, 2, 3...14.

Таблица 2 – Значения микрорадиоизлучения образцов изделий при ненагруженном состоянии

| № п/п | Наименование сплава образцов  | Условные единицы |
|-------|-------------------------------|------------------|
| 1     | Стали углеродистые            | 13...14          |
| 2     | Чугун серый и специальный     | 10...15          |
| 3     | Сплавы меди                   | 9...14           |
| 4     | Сплавы титана                 | 10...14          |
| 5     | Малоуглеродистые стали        | 10...16          |
| 6     | Автоматные стали              | 12...14          |
| 7     | Хромистые стали               | 12...15          |
| 8     | Хромоникелевые стали          | 9...14           |
| 9     | Хромоникельмолибденовые стали | 8...15           |
| 10    | Цементируемые хромистые стали | 10...14          |
| 11    | Улучшаемые хромистые стали    | 9...15           |
| 12    | Сталь 08X22H6T                | 12...14          |
| 13    | Сталь 08X26H6M2T              | ТО...15          |
| 14    | Сталь 08X18H10                | 10...14          |
| 15    | Сталь 08X18H10T               | 13...14          |
| 16    | Образцы сплава титана (BT-2)  | 10...15          |
| 17    | Образцы хрома CX-28           | 10...14          |
| 18    | Стали 08X17H13M2T             | 10...14          |
| 19    | Никель (штейн)                | 13...14          |
| 20    | Лопатки турбин (ГРЗС)         | 12...16          |
| 21    | Лопатки турбин (АЗС)          | 12...14          |
| 22    | Лопатки турбин после МИО      | 8...10           |

Программа № 4 (резерв) представляет запасной аналитический блок, который предназначен для научных исследований. По желанию Заказчика программа настраивается для проведения уточнений специальных исследований или прецизионной информации о состоянии образца. Программа может служить исходной нормалью при перестройке любой из программ.

При измерении камеру прибора можно перемещать в пределах 10...50 мм. Такое перемещение на конечный результат измерения не влияет.

Электроника аппарата в течение 30...60 сек зафиксировывает микрорадиоизлучение, проинтегрирует его и переведет электронную информацию в цифровую. По полученным цифрам сравнивается показания спектра излучения нормативным. Для достоверности измерения проводятся 2 - 3 раза.

По результатам сравнения делается заключение о состоянии металлического образца, инструмента или другого изделия. Схема ведения контроля показана на рис. 2.

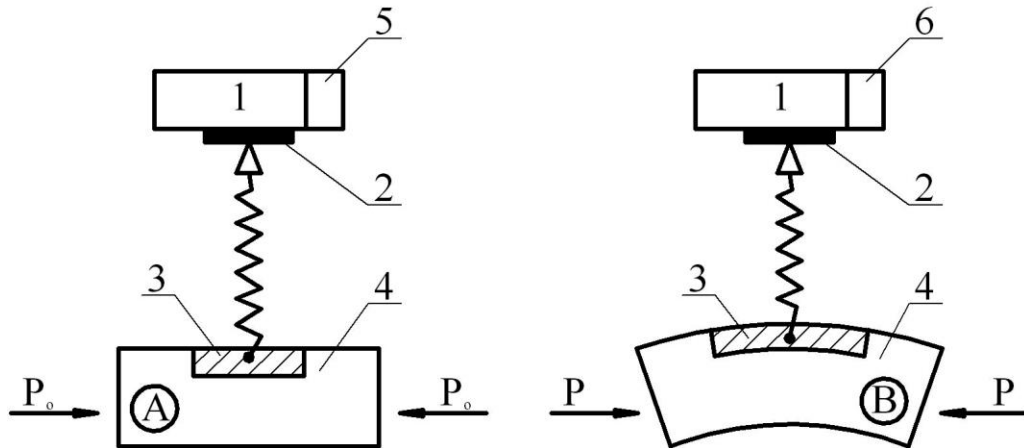


Рисунок 2 – Схема неразрушающего контроля состояния изделия (образец, инструмент, деталь):

1 – прибор «Металл-Детектор»; 2 – рабочая камера; 3 – контролируемый участок; 4 – изделие (А, В); 5, 6 – световое табло (информация W); А – оптимальные концентрации напряжений; В – опасные концентрации напряжений;  $P_0 = 0; P \neq 0; P = P_1$   $W_5 \neq W_6$

**Выводы.** В заключение следует отметить, что:

1. При получении на табло аппарата цифр близких к нормали излучения, можно сделать заключение, что изделие соответствует стандартам и может эксплуатироваться согласно программы.

2. Если величина цифр отличается в большую сторону – в образце (локальном участке изделия) концентрации напряжений завышенные.

3. При отрицательном значении разницы, полученный результат минус нормаль (т.е. отличие в меньшую сторону), можно сделать вывод, что изделие пригодно для работы.

4. Значения полученных цифр, которые в 1,6...3,0 раза превышают величину нормаль, указывают на то, что в данном образце существует вероятность поломки или разрушения. В этом случае необходим специальный контроль.

Следует иметь в виду, что методика и аппаратура данной серии не являются абсолютно универсальными, так как они указывают на перспективу уточняющих анализов. Предварительная система неразрушающего микрорадиоконтроля обуславливает оперативную оценку изделия и комплекса необходимой диагностики, позволяющей выбрать в машиностроении систему «наработки на отказ», повысить ресурс и надежность деталей машин и механизмов на транспорте и флоте.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Малыгин Б. В. Магнитное упрочение изделий (теория и практика) : монография / Б. В. Малыгин, А. П. Бень. – Херсон : Издательство Херсонского государственного морского института, 2009. – 352 с.
2. Малыгин Б. В. Теория и практика магнитного упрочнения / Б. В. Малыгин, К. Б. Лемещенко. – Херсон : «ВАСТ», 2003. – 368 с.
3. Малигін Б. В. Практичне застосування прикладного магнетизму в науці та техніці : матеріали конференції [«Ресурсозберігаючі технології та апаратура у гірничодобувній промисловості»]. – Кривий Ріг : «ООО ІнГок», 2005. – 36 с.
4. Патент на корисну модель 44538 України, МПК C21D 1/04. Пристрій для магнітної обробки виробів / Бень А. П., Офіцеров О. С., Малигін Б. В. ; заявник і патентовласник Херсонський державний морський інститут. – № u 2009 03434; заявл. 29.12.2008; опубл. 12.10.2009, Бюл. № 19.

**Малигін Б.В., Кавун А.В.** НОВИЙ ДІГНОСТИЧНИЙ ПРИЛАД ДЛЯ БЕЗКОНТАКТНОГО ВИЯВЛЕННЯ НЕПОЛАДОК У ДВИГУНАХ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ, А ТАКОЖ ІНШИХ МЕХАНІЗМАХ НА ТРАНСПОРТІ І ФЛОТІ

*У статті викладена методика використання приладу металодіагностики на основі сенсорного радіозондування. Запропоновані у статті методи, ефективні для оперативного аналізу ймовірних руйнувань, що особливо важливо при ранній діагностиці стану деталей та механізмів.*

*Ключові слова: розподіл руйнувань, металодіагностика, сенсорне зондування.*

**Malygin B.V., Kavun A.V.** NEW DIAGNOSTIC DEVICE FOR NONCONTACT FAULT DETECTION IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES AS WELL AS OTHER GEARS AT TRANSPORT AND FLEET

*Methodology of using the metal diagnostics device on the basis of sensor radio sounding is considered. The proposed methods are effective for on-line analysis of probable damages that is especially important for early diagnosing the condition of gears and their parts.*

*Keywords: damage distribution, metal diagnostics, sensor sounding.*

## СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРА РЕШІТКИ КУБІЧНИХ КРИСТАЛІВ

*Моїсєєнко Л.Л.,*

*Херсонська державна морська академія*

*В роботі наведений простий спосіб визначення параметра решітки кубічних кристалів, що ґрунтується на вимірюванні взаємного відносного кутового положення двох сусідніх інтерференційних рефлексів, які відповідають різним індексам інтерференції рентгенівських променів.*

*Визначені запропонованим способом параметри решіток кубічних додекаборидів РМЗ відповідають літературним джерелам, що підтверджує правильність методики та доцільність її використання в якості експрес метода для промислових лабораторій через легкість експерименту.*

*Ключові слова:* параметр решітки, кубічні кристали, дифрактограми, інтерференційні рефлекси, додекабориди РЗМ, рентгенівська установка.

**Вступ і постановка задачі.** В роботі приведена методика спрощеного експрес-методу визначення параметра (періоду) решітки кубічних кристалів.

Відомі існуючі способи [1] визначення параметра решітки  $\alpha$  кубічних кристалів ґрунтуються на визначенні положення дифракційної лінії відносно початку відліку або лінії еталона. Зазначений спосіб визначення параметра решітки по положенню дифракційної лінії відносно початку відліку має низку недоліків, що приводять до значних похибок.

Застосування еталону ускладнює експеримент і потребує додаткових затрат часу.

Спосіб визначення параметра решітки кубічних кристалів, що пропонується в даній роботі, ґрунтується на вимірюванні взаємного відносного кутового положення двох сусідніх інтерференційних рефлексів, які відповідають різним індексам інтерференції рентгенівських променів, що дифраговані досліджуваною речовиною.

**Результати дослідження.** Для цього на рентгенівській установці (скажімо, УРС-50И з використанням гоніометра ГУР-3) в межах великих кутів дифракції ( $\Theta > 60^\circ$ ) записується ділянка дифрактограми (рис. 1) від двох сусідніх рефлексів (наприклад,  $hkl$ : 642 і 731) і потім вимірюється відстань між ними, що відповідає різниці дифракційних кутів:

$$\Delta\Theta = \Theta_{731} - \Theta_{642}.$$

Для кожного із зазначених кутів відбиття можна записати ще два рівняння типу:

$$\frac{2a\sin\Theta_i}{\sqrt{h_i^2 + k_i^2 + l_i^2}} = \lambda_{\alpha 1}$$

де  $a$  – період решітки досліджуваного кубічного кристалу,  $\lambda_{\alpha 1}$  – довжина хвилі  $\alpha_1$ -випромінювання,  $\Theta_i$  – кут дифракції, що відповідає індексам  $h_i k_i l_i$ .

Сумісне рішення приведених рівнянь дозволило одержати вираз для параметра решітки, в який входить різниця кутів відбиття  $\Delta\Theta$ :

$$\hat{a} = \frac{\lambda_{\alpha 1} N_{i+1}}{2 \cdot \sqrt{\frac{\sin^2 \Delta\Theta}{\sin^2 \Delta\Theta + (N_{i+1} \cos \Delta\Theta - N_i)^2}}},$$

де  $N_i = \sqrt{h_i^2 + k_i^2 + l_i^2}$ ,

$N_{i+1} = \sqrt{h_{i+1}^2 + k_{i+1}^2 + l_{i+1}^2}$ , (наприклад,  $h_i k_i l_i = 642$ ,  $h_{i+1} k_{i+1} l_{i+1} = 731$ ).

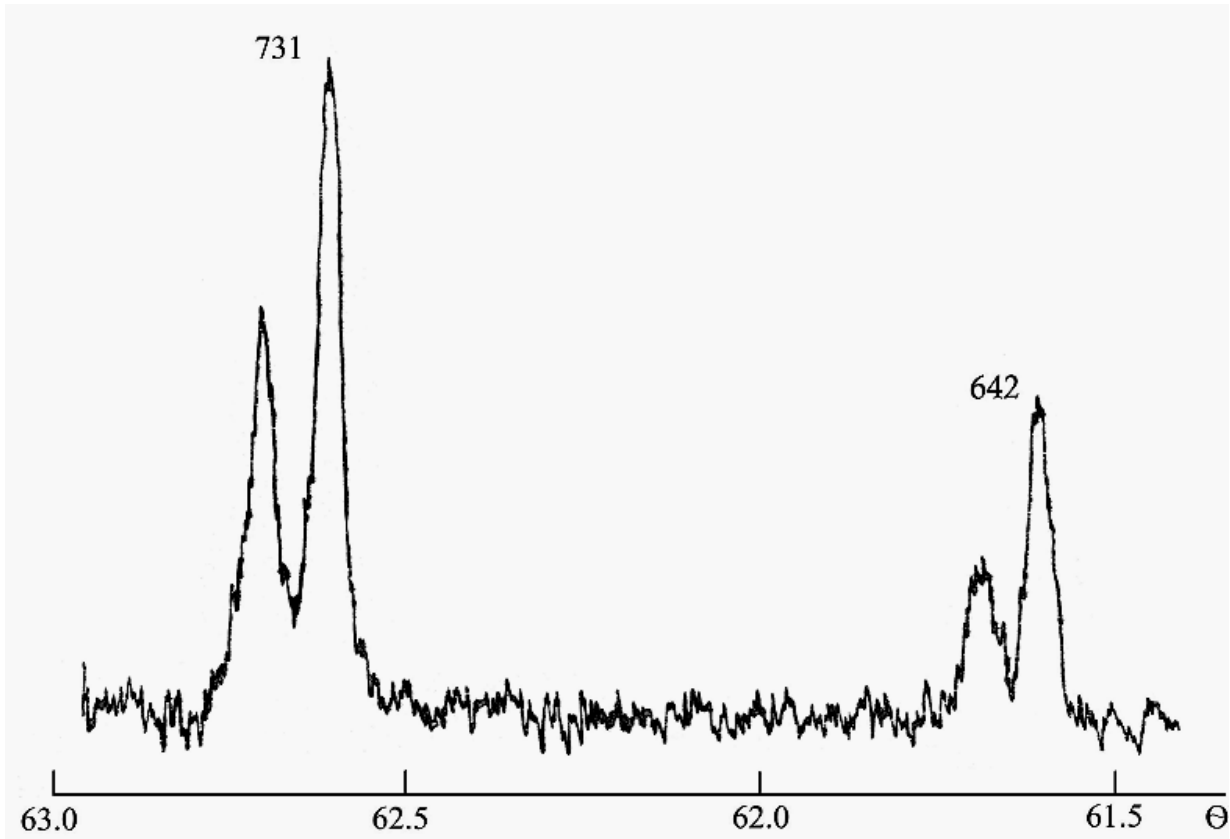


Рисунок 1 – Ділянка дифрактограми  $\text{MeV}_{12}$  в  $\text{CoK}_{\alpha}$  – випромінюванні.

Похибки у визначенні відстані  $\Delta\Theta$  між дифракційними лініями за способом, що пропонується, майже на два порядки менше, ніж при визначенні положення дифракційної лінії відносно початку відліку, наприклад:

а) при відхиленні поверхні зразка від поверхні, що фокусує:

$$\delta\Theta \sim \text{Ctg } \Theta, \quad \delta(\Delta\Theta) = \Delta(\delta\Theta) \sim \frac{\sin \Delta\Theta}{\sin^2 \Theta},$$

$$\frac{\delta(\Delta\Theta)}{\delta\Theta} = \frac{2\sin \Delta\Theta}{\sin 2\Theta}.$$

$$\text{При } \Theta = 60^\circ \text{ і } \Delta\Theta = 1^\circ \quad \frac{\delta(\Delta\Theta)}{\delta\Theta} = 0,04;$$



б) при зміщенні площини зразка від осі гоніометра:

$$\delta\Theta \sim \cos \Theta, \quad \delta(\Delta\Theta) \sim 2 \sin \Theta \cdot \sin \frac{\Delta\Theta}{2},$$

$$\frac{\delta(\Delta\Theta)}{\delta\Theta} = 2 \sin \frac{\Delta\Theta}{2} \cdot \operatorname{tg} \Theta; \quad \frac{\delta(\Delta\Theta)}{\delta\Theta} = 0,03;$$

в) внаслідок поглинання рентгенівських променів у зразку:

$$\delta\Theta \sim \sin 2\Theta, \quad \delta(\Delta\Theta) \sim 2 \cos 2\Theta \cdot \sin \Delta\Theta,$$

$$\frac{\delta(\Delta\Theta)}{\delta\Theta} = 2 \operatorname{ctg} \Theta \cdot \sin \Delta\Theta; \quad \frac{\delta(\Delta\Theta)}{\delta\Theta} = 0,02.$$

Аналогічні оцінки одержані і для інших систематичних похибок.

Визначені за запропонованим способом параметри решіток кубічних кристалів добре узгоджуються з літературними даними [2] на прикладі кубічних додекаборидів рідкоземельних металів (РЗМ) – таблиця 1. Зйомка дифрактограми здійснювалась в кобальтовому (фільтр *Fe* товщиною 20 мкм) випромінюванні на установці УРС-50И в камері РКД-57.

Таблиця 1 – Періоди решіток кубічних додекаборидів РЗМ

| Кристал           | Період решітки, Å                     |                             |
|-------------------|---------------------------------------|-----------------------------|
|                   | за способом, що пропонується в роботі | за літературними даними [2] |
| YB <sub>12</sub>  | 7,503                                 | 7,500                       |
| TeB <sub>12</sub> | 7,505                                 | 7,504                       |
| DyB <sub>12</sub> | 7,499                                 | 7,501                       |
| HoB <sub>12</sub> | 7,495                                 | 7,492                       |
| ErB <sub>12</sub> | 7,484                                 | 7,484                       |
| TmB <sub>12</sub> | 7,476                                 | 7,476                       |
| YbB <sub>12</sub> | 7,471                                 | 7,469                       |
| LuB <sub>12</sub> | 7,463                                 | 7,464                       |

**Висновки.** Запропонований спосіб дозволяє спростити процес визначення параметра решітки кубічних кристалів, зменшити вплив різних похибок на кінцевий результат, виключити додаткові труднощі при роботі з еталоном.

Даний метод можна рекомендувати в якості експресного для промислових лабораторій.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Русаков А. А. Рентгенография металлов / А. А. Русаков – М. : Атомиздат, 1977. – 480 с.
2. 2 La Placa S., Binder J., Post B. Binary dodecaborides. – J. Inorg. Nucl. Chem. – 1961. – v. 18, № 4. – p. 113-118.

**Мойсеенко Л.Л. СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРА РЕШЕТКИ КУБИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛОВ**

*В работе приведен простой способ определения параметра решетки кубических кристаллов, основанный на измерении взаимного относительного углового положения двух соседних интерференционных рефлексов, соответствующих разным индексам интерференции рентгеновских лучей.*

*Определенные предложенным способом параметры решеток кубических додекаборидов РЗМ хорошо согласуются с литературными данными, что подтверждает правильность методики и целесообразность её использования в качестве экспрессного метода для промышленных лабораторий ввиду простоты эксперимента.*

*Ключевые слова: параметр решетки, кубические кристаллы, дифрактограммы, интерференционные рефлексы, додекабориды РМЗ, рентгеновская установка.*

**Moyseenko L.L. METHOD FOR DETERMINING THE PARAMETER OF CUBIC CRYSTALS LATTICE**

*Simple method for determining the parameter of cubic crystals lattice based on measuring mutual relative angle position of two adjacent interference reflexes that correspond to different indexes of x-rays interference is considered.*

*Parameters of RZM cubic dodecaborids lattice determined with the proposed method are in good conformity with literary data proving the methodology accuracy and suitability of application as an express method for industry laboratories because of the experiment simplicity.*

*Keywords: lattice parameter, cubic crystals, diffraction patterns, interference reflexes, dodecaborids RZM, X-ray unit.*

## НОВЫЙ ФИЗИЧЕСКИЙ СМЫСЛ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ КОНСТАНТЫ СКОРОСТИ

*Настасенко В.А.,*

*Херсонская государственная морская академия*

*В работе показано, что свет, за счет зависимости от среды распространения и невозможности проникания вглубь вещества, снижает уровень фундаментальности константы скорости, которой считается скорость света в вакууме, по сравнению с гравитационной постоянной и постоянной Планка, проявляющихся всегда и везде, что противоречит реальной сущности фундаментальных физических констант. В данной работе указанные недостатки устранены на основе квантовых принципов строения и изменения материального мира и найден новый физический смысл фундаментальной физической константой скорости.*

*Ключевые слова: фундаментальные физические константы, скорость света, скорость времени, Планковские величины.*

**Введение.** Связь проблемы с основными научными направлениями. Работа относится ко всем областям физики, где используется константа скорости – скорость света в вакууме  $c$ , в частности – к квантовой физике, к физике твердого тела, к оптической физике, физике электромагнитных полей и волн, она предусматривает уточнение понимания истинного физического смысла данной фундаментальной физической константы. Ее значение в общей системе мироздания адекватно таким фундаментальным физическим константам, как постоянная Планка  $h$  и гравитационная постоянная  $G$ , что, в свою очередь, определяет уровень ее практического применения. Однако скорость света зависит от среды распространения, что отличает ее от данных констант, поэтому требуется более точное понимание ее физического смысла. Решение указанной проблемы отвечает интересам науки в целом, интересам всех ведущих научных организаций и ученых всех стран мира, проводящих исследования в области прикладной и теоретической физики, поскольку оно влияет на понимание основ мироздания и выяснение вытекающих из этого законов, закономерностей, эффектов и явлений, присущих в большом числе природных и технических систем.

**Анализ состояния проблемы и постановка задач.** Вначале октября 2011 года ученые, работающие на Большом Адронном Коллайдере (БАК), на основе проведенных экспериментальных исследований заявили о возможности превышения скорости света в вакууме [1], что ведет к противоречиям со сложившимися теориями современной физики. Однако за две недели до этого заявления была опубликована статья [2], теоретически доказывающая такую возможность.

В этом случае большой интерес представляет понимание истинного физического смысла данной константы и реальная оценка ее возможностей.

Анализ истинного физического смысла константы скорости и его уточнение составляет главную цель выполняемой работы. Решение данной задачи составляет ее научную новизну. В рамках проводимых исследований на БАК и современного развития наук о материальном мире, с учетом сферы приложения константы  $c$ , описывающей многие законы, явления и эффекты материального мира, решение данной проблемы является актуальным и имеет большой научный и практический интерес, значение которого трудно переоценить.

В основу выполняемой работы положены: 1) сложившееся в настоящее время определение физического смысла константы скорости, как скорости света в вакууме [3]; 2) открытая в работе [4] реальность Планковских величин длины  $l_p$ , времени  $t_p$  и массы  $m_p$ ; 3) установленная в работе [5] возможность выражения фундаментальных физических констант  $h$  (1),  $G$  (2),  $c$  (3) через их собственную размерность и Планковские параметры  $l_p^\circ$  (5),  $t_p^\circ$  (7),  $m_p^\circ$  (9), рассчитанных на базе круговой постоянной Планка  $\hbar$  (4), или Планковские параметры  $l_p$  (6),  $t_p$  (8),  $m_p$  (10), рассчитанные на базе постоянной Планка  $h$  (1); 4) квантово-механические принципы строения материи и материального мира [3]; 5) новое понимание истинного физического смысла гравитационной постоянной  $G$  [6] и постоянной Планка  $h$  [7].

Здесь:

$h$  – постоянная Планка:

$$h = 6,62607554 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}, \quad (1)$$

$G$  – гравитационная постоянная:

$$G = 6,67390 \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2}, \quad (2)$$

$c$  – скорость света в вакууме:

$$c = 0,299792458 \cdot 10^9 \frac{\text{м}}{\text{с}}, \quad (3)$$

$\hbar$  – круговая постоянная Планка:

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = \frac{6,62607554 \cdot 10^{-34} (\text{Дж} \cdot \text{с})}{2\pi} = 1,05457266 \cdot 10^{-34} (\text{Дж} \cdot \text{с}), \quad (4)$$

$l_p^\circ, l_p$  – Планковская длина, м:

$$l_p^\circ = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = \sqrt{\frac{1,05457266 \cdot 10^{-34} (\text{Дж} \cdot \text{с}) \cdot 6,67390 \cdot 10^{-11} \left( \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2} \right)}{\left( 0,299792458 \cdot 10^9 \left( \frac{\text{м}}{\text{с}} \right) \right)^3}} = 1,61621 \cdot 10^{-35} (\text{м}), \quad (5)$$

$$l_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = \sqrt{\frac{6,62607554 \cdot 10^{-34} (\text{Дж} \cdot \text{с}) \cdot 6,67390 \cdot 10^{-11} \left( \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2} \right)}{\left( 0,299792458 \cdot 10^9 \left( \frac{\text{м}}{\text{с}} \right) \right)^3}} = \quad (6)$$

$$= 4,05123 \cdot 10^{-35} (\text{м}),$$

$t_p^\circ, t_p$  – Планковское время:

$$t_p^\circ = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}} = \sqrt{\frac{1,05457266 \cdot 10^{-34} (\text{Дж} \cdot \text{с}) \cdot 6,67390 \cdot 10^{-11} \left( \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2} \right)}{\left( 0,299792458 \cdot 10^9 \left( \frac{\text{м}}{\text{с}} \right) \right)^5}} = \quad (7)$$

$$= 5,39109 \cdot 10^{-44} (\text{с}),$$

$$t_p = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}} = \sqrt{\frac{6,62607554 \cdot 10^{-34} (\text{Дж} \cdot \text{с}) \cdot 6,67390 \cdot 10^{-11} \left( \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2} \right)}{\left( 0,299792458 \cdot 10^9 \left( \frac{\text{м}}{\text{с}} \right) \right)^5}} = \quad (8)$$

$$= 13,51345 \cdot 10^{-44} (\text{с}),$$

$m_p^\circ, m_p$  – Планковская масса:

$$m_p^\circ = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} = \sqrt{\frac{1,05457266 \cdot 10^{-34} (\text{Дж} \cdot \text{с}) \cdot 0,299792458 \cdot 10^9 \left( \frac{\text{м}}{\text{с}} \right)}{6,67390 \cdot 10^{-11} \left( \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2} \right)}} = \quad (9)$$

$$= 2,17650 \cdot 10^{-8} (\text{кг}),$$

$$m_p = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} = \sqrt{\frac{6,62607554 \cdot 10^{-34} (\text{Дж} \cdot \text{с}) \cdot 0,299792458 \cdot 10^9 \left( \frac{\text{м}}{\text{с}} \right)}{6,67390 \cdot 10^{-11} \left( \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2} \right)}} = \quad (10)$$

$$= 5,455678 \cdot 10^{-8} (\text{кг}).$$

Скорость света практически представляет собой реальную величину – скорость распространения электромагнитных волн [3]. В настоящее время фундаментальной физической константой скорости принято считать скорость света в вакууме  $c = 0,299792458 \cdot 10^9 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , этой величиной ограничена скорость всех физических взаимодействий, которые считаются реальными. При этом физический смысл данной константы является одним из наиболее простых и

понятных в современной физике (это расстояние, которое свет в вакууме проходит за время в 1 секунду) по сравнению с другими фундаментальными физическими константами, в т.ч. гравитационной постоянной  $G$  (связующий коэффициент между силой гравитационного взаимодействия и параметрами массы и расстояния между физическими телами) и постоянной Планка  $h$  (квант действия, отражающий специфику закономерностей в микромире и играющий фундаментальную роль в квантовой механике) [3].

Однако на этом «позитивные отличия» данной константы от других фундаментальных физических констант, в т.ч. –  $h$  и  $G$ , ограничиваются, поскольку их величины ( $h = 6,6260755 \cdot 10^{-34}$  Дж·с и  $G = 6,67390 \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2}$ ) сохраняются постоянными в любых условиях, независимо от среды, тогда как скорость света зависит от них. Мало того, встретив светонепроницаемое препятствие, она фактически перестает действовать, тогда как константы  $h$  и  $G$  действуют всегда и везде в любое время, в т.ч., как показала работа [7], на любых, а не только внутренних уровнях материи. Совокупность приведенных ограничений, в рамках общих принципов и подходов в науке, умалает уровень фундаментальности константы скорости и является существенным ее недостатком.

Следует учесть, что в ранее выполненной работе [6] физический смысл гравитационной постоянной  $G$  был уточнен (11), (12) – это размерно-массовая характеристика Вселенной, обусловленная ее текущим радиусом  $R_T$  и массой  $M_T$  в рамках любого времени  $T$  ее существования (т.е. возраста):

$$G \left( \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2} \right) = \frac{l_p^3}{m_p t_p^2} = \frac{(4,051231 \cdot 10^{-35} \text{ м})^3}{5,455678 \cdot 10^{-8} \text{ кг} \cdot (13,51345 \cdot 10^{-44} \text{ с})^2} = 6,67390 \cdot 10^{-11} \left( \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2} \right), \quad (11)$$

$$G = \frac{l_p^3}{m_p t_p^2} = \frac{c^2 (l_p n)}{m_p n} = \frac{c^2 l_p \left( \frac{T}{t_p} \right)}{m_p \left( \frac{T}{t_p} \right)} = \frac{c^2 R_T}{M_T} = 6,67390 \cdot 10^{-11} \left( \frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2} \right), \quad (12)$$

где  $l_p$  – Планковская длина (6),  $t_p$  – Планковское время, (8),  $m_p$  – Планковская масса, (10),  $T$  – средний возраст наблюдаемой Вселенной, с,  $R_T$  – средний радиус наблюдаемой Вселенной возраста  $T$ , м,  $M_T$  – средняя масса наблюдаемой Вселенной возраста  $T$ , кг,  $n$  – количество Планковских слоев  $l_p$ , формирующих Вселенную возраста  $T$ .

В ранее выполненной работе [7] также был уточнен физический смысл постоянной Планка  $h$ , расширяющий область ее применения от микромира к макромиру, за счет ее толкования, как кванта энергии  $E_\nu$  системы в одном ее частотном импульсе  $\nu$  (13):

$$h = \frac{E_\nu}{\nu} = \frac{E_p \frac{\nu}{\nu_p}}{\nu} = \frac{E_p}{\nu_p} = E_p t_p = 6,6260755 \cdot 10^{-34} (\text{Дж} \cdot \text{с}), \quad (13)$$

где  $E_p$  – Планковская энергия:

$$E_p = \sqrt{\frac{hc^5}{G}} = \sqrt{\frac{6,62607544 \cdot 10^{-34} (\text{Дж} \cdot \text{с}) \cdot \left(0,299792458 \cdot 10^9 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)\right)^5}{6,67390 \cdot 10^{-11} \left(\frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2}\right)}} = 4,90332 \cdot 10^9 (\text{Дж}), \quad (14)$$

$\nu$  – частота импульсов системы,  $\text{с}^{-1}$ ,  $\nu_p$  – Планковская частота колебаний,  $\text{с}^{-1}$ .

$$\nu_p = \frac{1}{t_p} = \frac{1}{13,51345 \cdot 10^{-44} (\text{с})} = 0,074000 \cdot 10^{44} (\text{Гц}). \quad (15)$$

Таким образом, указанное выше «преимущество» константы скорости – реальность и простота толкования, теряет свою значимость, поскольку новые толкования гравитационной постоянной и постоянной Планка также обрели реальность и простоту. При этом возможен поиск нового, более реального определения физического смысла константы скорости, отвечающего всем признакам фундаментальности – всеобщности и независимости от среды, что является главной задачей дальнейших исследований данной работы.

**Поиск путей решения поставленной задачи.** В основу дальнейшего поиска положен вывод работы [6], что решение проблемы возможно только на том уровне материального мира, к которому она относится.

В данном случае константа скорости является глобальной величиной, относящейся ко всей Вселенной, поэтому для ее определения также требуется выход к уровню Вселенной, в частности – к разработке моделей ее развития. В первую очередь к ним следует отнести модель Большого взрыва [8], как одну из более реальных, среди признанных в настоящее время. В ее рамках Вселенная возникла в результате взрыва сосредоточенного в малом объеме сверхплотного первичного вещества и далее расширялась в форме шара. Это расширение было впервые теоретически обосновано на базе специальной теории относительности и затем было доказано математически в 20-е годы XX века русским ученым Фридманом, а также было экспериментально подтверждено проф. Хабблом на базе эффекта Доплера – удлинения волн света, вызванного разлетом большинства видимых звездных систем. При этом расширяющаяся шаровая модель неизбежно вела к выводу, что вначале она была меньшим шаром, чем сейчас, а предельно возможной величиной уменьшения шара является точка, поэтому ее исходное состояние должно быть связано с точечным.

В настоящее время из астрономических исследований установлено [8], что скорость  $v_t$  разлета Вселенной во все стороны после Большого взрыва растет для наиболее удаленных от наблюдаемых с Земли звездных систем и может достигать 50% от скорости света в вакууме  $c$ .

Однако величину скорости разлета  $v_t = \frac{1}{2}c$  нельзя считать конечной, поскольку возникшая в результате Большого взрыва Вселенная имеет как вещественную, так и полевую компоненты, в виде волн вспыхнувшего при взрыве света и подобных ему излучений электромагнитного и других, известных в настоящее время, физических полей, имеющих скорость распространения, равную скорости света в вакууме  $c$ . Рожденные затем этими полями легкие и тяжелые элементарные частицы, атомы, молекулы, космическая пыль, планеты, звезды и другие вещественные объекты Вселенной отстали от границ реликтового волнового излучения, однако остались заполняющие ее пространство вещественные фотоны и гравитоны, нулевая масса которых позволяет им передвигаться со скоростью света. Тогда скорость расширения Вселенной следует считать равной скорости  $c$  света в вакууме.

Схематично пространственно-временная модель Вселенной показана на рис. 1. С учетом реального течения времени в координатах Пространство-Время (на плоскости с ними связаны оси  $OX$ ,  $OY$  и  $OZ$ , которые относятся, как минимум, к четырехмерной системе, состоящей из пространственной  $OXYZ$ , и временной системы координат  $O_6X_6Y_6Z_6$ , движущейся вдоль исходной оси  $OY$  пространства), новая модель Вселенной представляет шар исходной модели, движущийся и трансформирующийся в створе конуса времени (что в общем виде соответствует направленному взрыву).

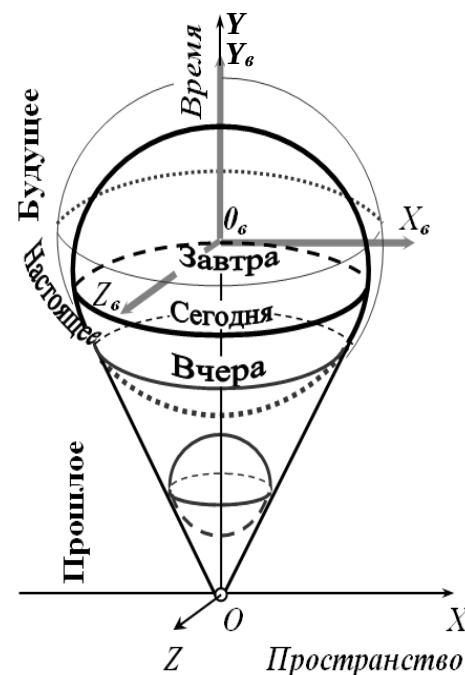


Рисунок 1 – Четырехмерная пространственно-временная модель Вселенной



В данной четырехмерной пространственно-временной системе время является абсолютным, а шаровидная Вселенная движется от прошлого через настоящее в будущее со скоростью ее расширения, т.е. – со скоростью света в вакууме. В этом случае можно строго судить о скорости времени  $v_t$  как о величине, численно равной скорости света в вакууме:

$$v_t = c = 0,299792458 \cdot 10^9 \left( \frac{m}{c} \right). \quad (16)$$

Такое определение скорости времени  $v_t$  (6) предложено впервые, при этом преодолено противоречие формализованного подхода, по которому скорость какого-либо процесса определяют как результат деления показателя этого процесса на время  $t$ , что для времени ведет к делению самого на себя, или  $t / t$ , а это, в конечном итоге, исключает саму размерность скорости, что принципиально недопустимо, исходя из условия строгой формализации всех признаков скорости.

**Обоснование новой фундаментальной константы скорости.** При решении данной задачи учитывали, что константа скорости, как любая иная фундаментальная физическая константа, является глобальной величиной, поэтому должна действовать всегда и на всех известных уровнях материального мира. Поэтому к ним следует добавить Планковский уровень, в основу которого положены фундаментальные физические константы  $c$ ,  $G$ ,  $\hbar$  и сформированные из них Планковские параметры длины (6), времени (8), массы (10) и другие параметры [9-12]. При этом реальность Планковских параметров впервые обоснована в работе [4] их связью с Планковскими сферами, послойно охватывающими всю Вселенную, что сводит Планковский и глобальный уровни в единый, подобно плоскости – вдоль она бесконечна, поперек – имеет нулевые размеры, которыми в реальной Вселенной можно считать минимально возможную величину  $l_p^\circ$  (5).

Объясняется это тем, что на данном уровне научных знаний меньших значений для размеров пока не найдено [13], а т.к. величина  $l_p^\circ$  получена на базе строгой закономерности (5), состоящей из трех фундаментальных физических констант  $\hbar$ ,  $G$  и  $c$ , то до тех пор, пока не будут найдены новые закономерности и константы аналогичного им фундаментального уровня, дающие меньшую величину длины, чем  $l_p^\circ = 1,61621 \cdot 10^{-35}$  м (5), ее следует считать минимально возможной в материальном мире или квантом длины. Аналогичны выводы – для Планковского времени  $t_p^\circ = 5,49109 \cdot 10^{-44}$  с (7), которое также следует считать минимально возможным квантом времени [13].

Поскольку из схемы развития Вселенной, приведенной на рисунке 1, вытекает, что настоящее является переходным состоянием между прошлым и будущим, поэтому можно строго утверждать, что оно представляет собой квантовый переход, имеющий Планковские параметры – толщины  $l_p^\circ = 1,61621 \cdot 10^{-35}$  м и времени  $t_p^\circ = 5,39109 \cdot 10^{-44}$  с, тогда его скорость может быть определена, как скорость времени  $v_t$  по зависимости (17):

$$\nu_t = \frac{l_p^o}{t_p^o} = \frac{1,61621 \cdot 10^{-35} (м)}{5,39109 \cdot 10^{-44} (с)} = 0,2997925 \cdot 10^9 \left( \frac{м}{с} \right), \quad (17)$$

Аналогічні результати будуть отримані для Планківських параметрів довжини  $l_p = 4,05123 \cdot 10^{-35}$  м і часу  $t_p = 13,51345 \cdot 10^{-44}$  с:

$$\nu_t = \frac{l_p}{t_p} = \frac{4,05123 \cdot 10^{-35} (м)}{13,51345 \cdot 10^{-44} (с)} = 0,2997925 \cdot 10^9 \left( \frac{м}{с} \right). \quad (18)$$

Отримані величини швидкості часу  $\nu_t$  (17), (18) на новій основі повторюють величину швидкості світла в вакуумі  $c = 0,299792458 \cdot 10^9 \frac{м}{с}$ , а її більш низька точність викликана меншою точністю вихідних параметрів  $l_p^o$ ,  $l_p$  і  $t_p$ , точність яких обмежена лише п'ятьма знаками після коми, тому її слід прийняти чисельно рівною швидкості світла в вакуумі  $c$ , визначеної експериментальним шляхом за існуючими методиками.

Таким чином, є всі підстави замінити константу швидкості світла  $c$  на константу швидкості часу  $\nu_t = c$ , яка, як і константи  $h$ ,  $G$ , діє всюди, все час, в т.ч. всередині матеріальних утворень і на всіх рівнях світобудови, що краще відображає істинний фізичний зміст даної константи. Враховуючи важливість константи швидкості  $\nu_t$ , ця робота повинна бути широко представлена в науково-технічній літературі і увійти до всіх підручників фізики.

Підтвердженням вірності запропонованого вибору константи швидкості  $\nu_t$  є традиційне обмеження в її перевищенні з причини виходу подій в інше часовий стан, а також пояснення парадоксальних взаємодій елементарних частинок, наслідки яких проявляються раніше, ніж відбуваються необхідні для цього дії. При цьому нове розуміння істинного фізичного змісту нової константи швидкості, як проходження квантової величини відстані  $l_p$  за квантовий час  $t_p$ , не складніше попереднього [3], а її чисельне отримання буде зводитися до тих же фізичних принципів, що і для отримання величини швидкості світла в вакуумі  $c$ , однак фізичний зміст всіх законів і закономірностей, в які входить швидкість світла  $c$ , слід переглянути.

### Общие выводы и сделанные открытия:

1. Сведение величины скорости света к фундаментальным физическим константам не является строгим, поскольку ее значение зависит от условий внешней среды и сферы ее воздействия, что не соответствует уровню других фундаментальных физических констант, в частности – постоянной Планка  $h$  и гравитационной постоянной  $G$ , к которым она относится.

2. Константой скорости, по строгим формальным признакам, следует считать скорость времени  $\nu_t$ , численно равную скорости света в вакууме  $c$ :

$$v_t = c = 0,299792458 \cdot 10^9 \left( \frac{m}{c} \right). \quad (16)$$

3. Фундаментальность новой константы скорости времени  $v_t$  строго подтверждают результаты квантовых переходов в материальном мире между настоящим и прошлым, настоящим и будущим, выраженные в виде закономерности (18), составленной из квантовых элементов пространства  $l_p$  и времени  $t_p$  этого перехода:

$$v_t = \frac{l_p}{t_p} = \frac{4,05123 \cdot 10^{-35} (m)}{13,51345 \cdot 10^{-44} (c)} = 0,2997925 \cdot 10^9 \left( \frac{m}{c} \right). \quad (18)$$

4. Таким образом, можно строго утверждать, что *скорость времени  $v_t$  является реальной фундаментальной физической константной скорости, которая численно равна скорости света в вакууме  $c = 0,299792458 \cdot 10^9$  м/с и представляет квантовый переход между прошлым, настоящим и будущим, имеющим во Вселенной Планковские параметры: толщины  $l_p = 4,05123 \cdot 10^{-35}$  м, и времени  $t_p = 13,51345 \cdot 10^{-44}$  с, что точнее отражает истинный физический смысл данной константы. К ней не надо извинительно добавлять «в вакууме», как это раньше имело место для скорости света  $c$ , поскольку она проявляется одинаково всегда и везде – в пустоте космоса, во мраке подземелья и внутри вещества, недоступном для проникновения света, и становится равноправной в ряду с другими фундаментальными физическими константами, такими, как гравитационная постоянная  $G$  и постоянная Планка  $h$ . При этом с ее помощью можно строго опередить, что на самом деле происходит в ряде физических экспериментов с элементарными частицами.*

Таким образом, все поставленные в работе задачи решены и отражают ранее неизвестные и объективно существующие в материальном мире законы и закономерности (16, 17, 18), которые существенным образом изменяют и расширяют имеющиеся научные знания, что полностью соответствует всем составляющим критериям научного открытия, поэтому они могут быть признаны таковыми.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электронный ресурс. – Режим доступа: [www.ukr.net/.../v\\_bolshom\\_adronnom\\_kollaidere\\_zafiksirovana\\_](http://www.ukr.net/.../v_bolshom_adronnom_kollaidere_zafiksirovana_)
2. Настасенко В. А. Определение максимально возможной скорости передачи информации для систем искусственного интеллекта / В. А. Настасенко, Е. В. Настасенко // Искусственный интеллект. – Донецк : ИПИИ МОН и НАН Украины. – 2011. – № 3. – С. 67-78.
3. Физический энциклопедический словарь / [Под общ. ред. А.М.Прохорова] ; Д. М. Алексеев, А. М. Бонч-Бруевич, А. С. Воронов-Романов и др. – М. : Сов. энциклопедия, 1983. – 928 с.

4. Настасенко В. А. Эталон массы в элементах квантовой физики / В. А. Настасенко // Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века : сб. трудов VII Междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе. – Донецк : ДонГТУ, 2000. – Т 1. – С. 95-100.
5. Настасенко В. А. Открытие предельно возможных величин волновых параметров / В. А. Настасенко // 10-я Юбил. Междунар. конф. «Теория и техника передачи, приема и обработки информации» : сб. тез. докл. Ч.1. – Харьков : ХНУРЕ, 2004. – С. 30-31.
6. Настасенко В. А. Открытие истинного физического смысла гравитационной постоянной и его значение для исследования Вселенной / В. А. Настасенко, Е. В. Настасенко // Авиация и космонавтика – 2004 : тез. докл. 3-й Междунар. науч.-техн. конф. в г. Москве. – М. : Нац. университет России «МАИ», 2004. – С. 27.
7. Настасенко В. А. Новый принцип разделения объектов микро- и макро мира / В. А. Настасенко // VII Всеукраїнська наук.-техн. конф. «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів» – Кременчук : КДПУ, 2008. – С. 70-71.
8. Силк Дж. Большой взрыв : пер. с англ. / [Под ред. И. Д. Новикова] – М. : Мир, 1982. – 391 с.
9. Настасенко В. А. Определение естественных констант для производных механических единиц измерения / В. А. Настасенко // Машиностроение и техносфера XXI века : сб. трудов XII Междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе. – Донецк : ДонНТУ, 2005. – Т 2. – С. 299-305.
10. Настасенко В. А. Определение естественных констант для производных электрических и магнитных единиц измерения / В. А. Настасенко // Машиностроение и техносфера XXI века: сб. трудов XIII Междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе. – Донецк : ДонГТУ, 2006. – Т3. – С. 85-92.
11. Настасенко В. А. Определение естественных констант для основной и производных теплотехнических единиц измерения / В. А. Настасенко // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Т.1. – Херсон : ХДМІ, 2010. – С. 180-188.
12. Настасенко В. А. Естественные константы светотехнических величин / В. А. Настасенко // Науковий вісник ХДМІ –Херсон : Видавництво ХДМІ. – 2010. – № 2 (3). – С. 197-209.
13. Настасенко В. О. Аналіз гранично можливих шаруватих структур / В. О. Настасенко // Фізика і хімія твердого тіла. – Івано-Франківськ : Прикарп. нац. ун-т, 2006. – Т. 7, № 4. – С. 793-797.

**Настасенко В.О. НОВИЙ ФІЗИЧНИЙ ЗМІСТ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЇ ФІЗИЧНОЇ КОНСТАНТИ ШВИДКОСТІ**

*У роботі показано, що світло, за рахунок залежності від середовища розповсюдження і неможливості проникнення углиб речовини, знижує рівень фундаментальності константи швидкості, за яку вважається швидкість світла у вакуумі, у порівнянні з гравітаційною сталою і сталою Планка, які проявляються всюди і завжди, що суперечить реальній сутності фундаментальних фізичних констант. У даній роботі вказані недоліки, усунені на основі квантових принципів будови і зміни матеріального світу, і знайдений новий фізичний зміст фундаментальної фізичної константи швидкості.*

*Ключові слова: фундаментальні фізичні константи, швидкість світла, швидкість часу, Планковські величини.*

**Nastasenko V.A. NEW PHYSICAL CONTENT OF FUNDAMENTAL PHYSICAL SPEED CONSTANT**

*It is shown that due to dependence on distribution environment and impossibility of penetration into substance, light decreases the fundamentality level of speed constant which is supposed to be speed of light in vacuum, as compared to gravitation constant and Planck constant that are apparent everywhere and always, but it contradicts the real essence of fundamental physical constants. The mentioned drawbacks have been removed on the basis of quantum principle of the material world construction and change, and new physical content of fundamental physical speed constant has been found.*

*Keywords: fundamental physical constants, the speed of light, the rate of time value of Planck.*

## ПРИРОДА ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ ДОДЕКАБОРИДІВ РІДКІСНОЗЕМЕЛЬНИХ МЕТАЛІВ ЗІ СТРУКТУРОЮ ТИПУ $UB_{12}$

**Одінцов В.В.,**

*Херсонський державний університет*

*В роботі на однофазних додекаборидах різноземельних матеріалів  $YB_{12}$ ,  $TbB_{12}$ ,  $TuB_{12}$ ,  $HoB_{12}$ ,  $ErB_{12}$ ,  $TuB_{12}$ ,  $LuB_{12}$ ,  $ZrB_{12}$  досліджено температурну залежність питомого опору вказаних фаз і проведено теоретичний розрахунок енергетичного спектру електронів методом ГО-ЛКАО. Зроблено висновок, що додекабориди вказаних металів металоподібні сполуки, електропровідність в яких обумовлена направленим рухом електронів.*

*Ключові слова: рідкоземельні метали, питомий опір, електропровідність*

**Постановка проблеми.** Сучасна техніка, виробництво відчувають дефіцит традиційних тугоплавних матеріалів типу вольфрама, молібдена тощо, що мають високу температуру плавлення поруч з високою теплопровідністю та електропровідністю ( $\approx 27 \times 10^{-8} \text{ Ом}\cdot\text{м}$ ,  $\approx 126 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$  відповідно). В природі їх залишилося не так і багато. Тому науковці-дослідники шукають такі сполуки-замінники вказаним матеріалам, які б мали відповідні фізичні властивості. Серед таких сполук можна виділити додекабориди рідкісноземельних металів зі структурою типу  $UB_{12}$ .

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Однофазні додекаборидні фази нами отримувались боротермічним відновленням за методикою, розробленою авторами робіт [1, 2]. Зразки для досліджень готували методом горячого спікання в тиглях з дибориду цирконія в середовищі очищеного аргону при температурі 0,8 Тпл.

Зразки додекаборидів рідкісноземельних металів  $YB_{12}$ ,  $TbB_{12}$ ,  $TuB_{12}$ ,  $HoB_{12}$ ,  $ErB_{12}$ ,  $TuB_{12}$ ,  $LuB_{12}$ ,  $ZrB_{12}$  та  $UB_{12}$  мали пористість 15-20 %.

Для з'ясування природи електропровідності додекаборидних фаз нами було здійснене експериментальне дослідження температурної залежності питомого опору вказаних фаз та проведено теоретичний розрахунок енергетичного спектру електронів в додекаборидах рідкісноземельних металів.

**Мета роботи** – дослідити температурну залежність питомого опору та провести теоретичний розрахунок енергетичного спектру електронів в додекаборидах рідкісноземельних металів.

**Обговорення експериментальних результатів.** Розрахунки електронного спектра додекаборидів  $YB_{12}$ ,  $YbB_{12}$ ,  $LuB_{12}$  і гіпотетичного кубічного  $AlB_{12}$  здійснили методом ГО-ЛКАО (сильний зв'язок) у одноелектронному наближенні з урахуванням участі електронних станів не тільки атомів бора: 2s-, 2p-, як це зроблено авторами у роботі [2], але й атомів металів ns-, np-, (n – 1)d.

У методі ГО-ЛКАО орбіталі  $\psi_r$  записуються у наступному вигляді:

$$\psi_r = \sum_r c_{ri} \varphi_i,$$

де  $\psi_r$  – групові орбіталі,  $\varphi_i$  – атомні орбіталі. Загальне секулярне рівняння має вигляд:

$$(\alpha(i) - E)c_{ri} + \sum (\beta(i, j) - Es(i, j))c_{ri} = 0.$$

Матричні елементи виражаються через ефективний одноелектронний гамільтоніан  $\hat{H}$ :

– кулонівський інтеграл

$$\alpha(i) = \langle \varphi_i | \hat{H} | \varphi_i \rangle;$$

– резонансний інтеграл

$$\beta(i, j) = \langle \varphi_i | \hat{H} | \varphi_j \rangle;$$

– інтеграл перекриття

$$s(i, j) = \langle \varphi_i | \varphi_j \rangle.$$

Для складання групових орбіталей був взятий фрагмент кристалічної ґратки додекаборидів (Рис.1).

Повне секулярне рівняння отрималось 102 порядку.

$$\begin{aligned} \psi = & \sum_{i=1}^{12} c_i^{(1)} \varphi_{2s} + \sum_{i=1}^{12} c_i^{(2)} \varphi_{2p_x} + \sum_{i=1}^{12} c_i^{(3)} \varphi_{2p_y} + \sum_{i=1}^{12} c_i^{(4)} \varphi_{2p_z} + \sum_{i=1}^6 c_i^{(5)} \varphi_{ns} + \\ & + \sum_{i=1}^6 c_i^{(6)} \varphi_{p_x} + \sum_{i=1}^6 c_i^{(7)} \varphi_{p_y} + \sum_{i=1}^6 c_i^{(8)} \varphi_{p_z} + \sum_{i=1}^6 c_i^{(9)} \varphi_{md_{xy}} + \sum_{i=1}^6 c_i^{(10)} \varphi_{md_{xz}} + \\ & + \sum_{i=1}^6 c_i^{(11)} \varphi_{md_{yz}} + \sum_{i=1}^6 c_i^{(12)} \varphi_{md_z} + \sum_{i=1}^6 c_i^{(13)} \varphi_{md(x^2-y^2)}. \end{aligned}$$

Для спрощення і для можливості розв'язати рівняння у відповідності до групи симетрії вибраного фрагмента структури  $O_h$  вікове рівняння було розбито на частинні секулярні рівняння:

– для кубооктаедра бора:

$$12 \times 2s \rightarrow A_{1g} + E_g + T_{1u} + T_{2g} + T_{2u};$$

$$12 \times 2p \rightarrow A_{1g} + A_{2g} + A_{2u} + 2E_g + 2T_{1g} + 3T_{1u} + 2T_{2g} + 2T_{2u};$$

– для октаедра метала:

$$6 \times ns \rightarrow A_{1g} + E_u + T_{1u};$$

$$18 \times np \rightarrow A_{1g} + E_g + T_{1g} + 2T_{1u} + T_{2g} + T_{2u};$$

$$12 \times ((n-1)dz^2, (x^2 - y^2)) \rightarrow A_{1g} + A_{2g} + 2E_g + T_{1u} + T_{2u};$$

$$18 \times (n-1)d_{xy, xz, yz} \rightarrow A_{2u} + E_u + T_{1g} + 2T_{2g} + T_{2u}$$

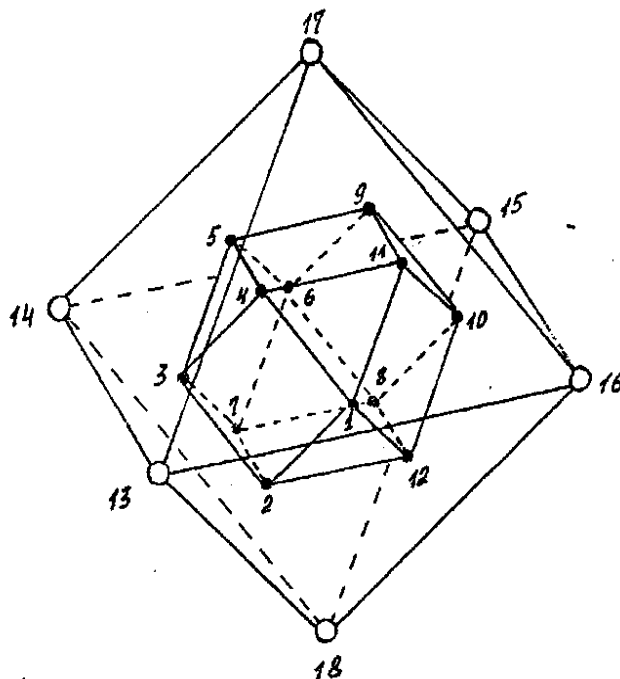


Рисунок 1 – Фрагмент структури кубічного додекаборида: о – метал, • – бор

Матричні елементи секулярного рівняння визначаються у наближенні Малікена [3].

Потенціали іонізації бралися згідно [4 – 6]. Чисельні значення інтегралів розраховувались за методикою, викладеною у роботі [3]. З отриманих матричних елементів склалися матриці 2 – 9 порядку, розв'язання яких на ЕВМ дозволило отримати власні числа і значення векторів матриць, що дали змогу оцінити значення енергетичних рівнів і коефіцієнтів при базисних функціях молекулярних орбіталей. Значення енергій і заповнення окремих рівнів представлено у вигляді спектра на рис.2.

На основі розрахунків встановлено, що додекаборидні фази, крім  $\text{YbB}_{12}$ , повинні бути з'єднаннями з типовою металічною провідністю. Це саме слідує з теоретичного розрахунку і пов'язане, згідно зонної теорії, з частковим заповненням електронами енергетичних рівнів  $(2t_{2g})^2$ ,  $(4t_{1u})^4$ ,  $(1t_{1g})^2$  відповідно.

У  $\text{YbB}_{12}$  за розрахунками (рис. 2) рівень  $(3l_g)^4$  повністю заповнений електронами і знаходиться на відстані 0,120eВ і 0,121eВ від рівнів  $1a_{2u}$  і  $2t_{2g}$ . Це, за уявленнями зонної теорії провідності, відповідає властивостям вузькозонних напівпровідників.

Проведені нами дослідження температурної залежності електричного опору додекаборидів, крім  $\text{YbB}_{12}$  рис. 3. вказують на металічний характер



провідності в додекаборидах рідкісноземельних металів. Питомий опір додекаборидів  $\text{Yb}_{12}$ ,  $\text{Tb}_{12}$ ,  $\text{Tu}_{12}$ ,  $\text{Ho}_{12}$ ,  $\text{Er}_{12}$ ,  $\text{Tu}_{12}$ ,  $\text{Lu}_{12}$ ,  $\text{Zr}_{12}$  менший ніж у чистих рідкісноземельних металів  $(60 \div 90) \times 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$  [8] і становить 17, 12, 14, 15, 16, 17, 14,  $22 \times 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$  відповідно.

Додекаборидні фази характеризуються малими значеннями коефіцієнтів термічного розширення ( $5 \times 10^{-6} \text{ К}^{-1}$ ), високими температурами плавлення (2800 – 3200) К, значними характеристичними температурами (800 – 1000) К, підвищеними значеннями мікротвердості (20 - 30) ГПа, низькими величинами середньоквадратичних коливань комплексів з атомів у кристалічній ґратці. Все це вказує на наявність жорсткого каркасу структури додекаборидів рідкісноземельних металів

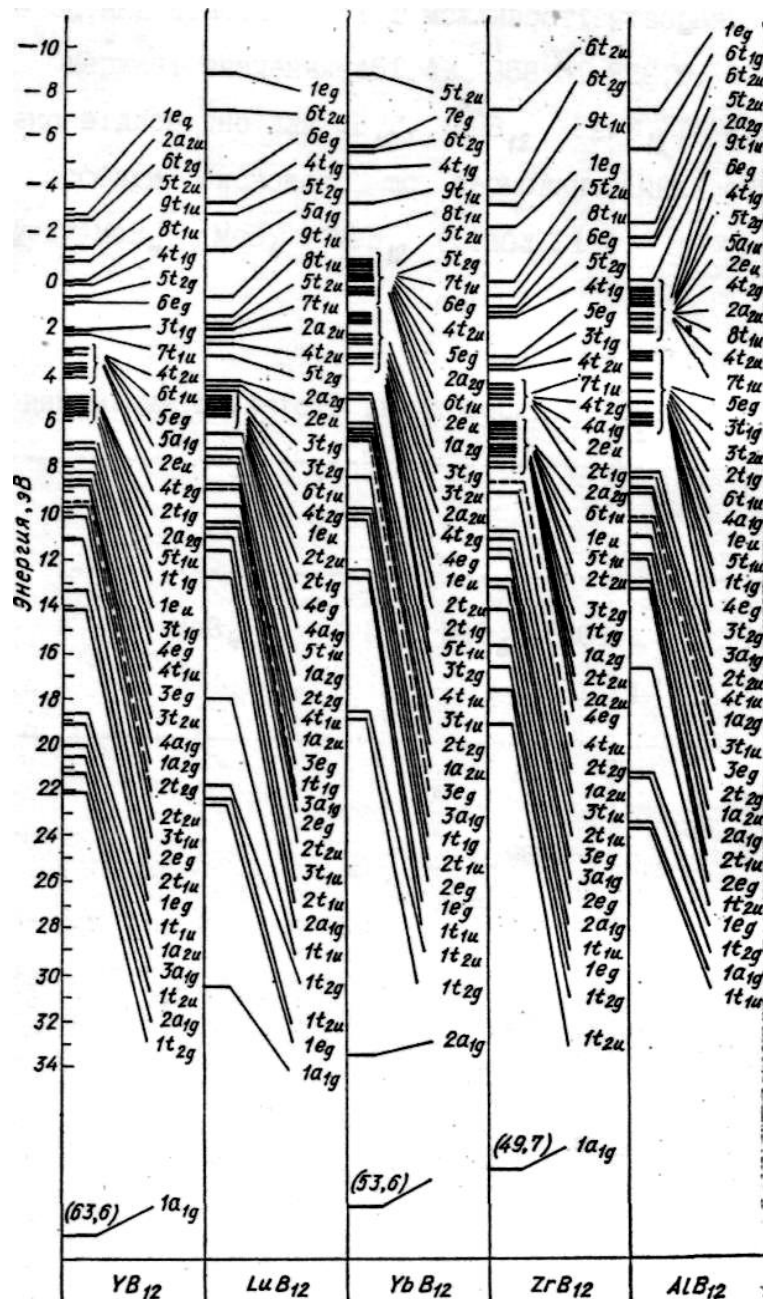


Рисунок 2 – Енергетичний спектр додекаборидів металів (пунктиром вказано положення останнього рівня, що заповнюється електронами)

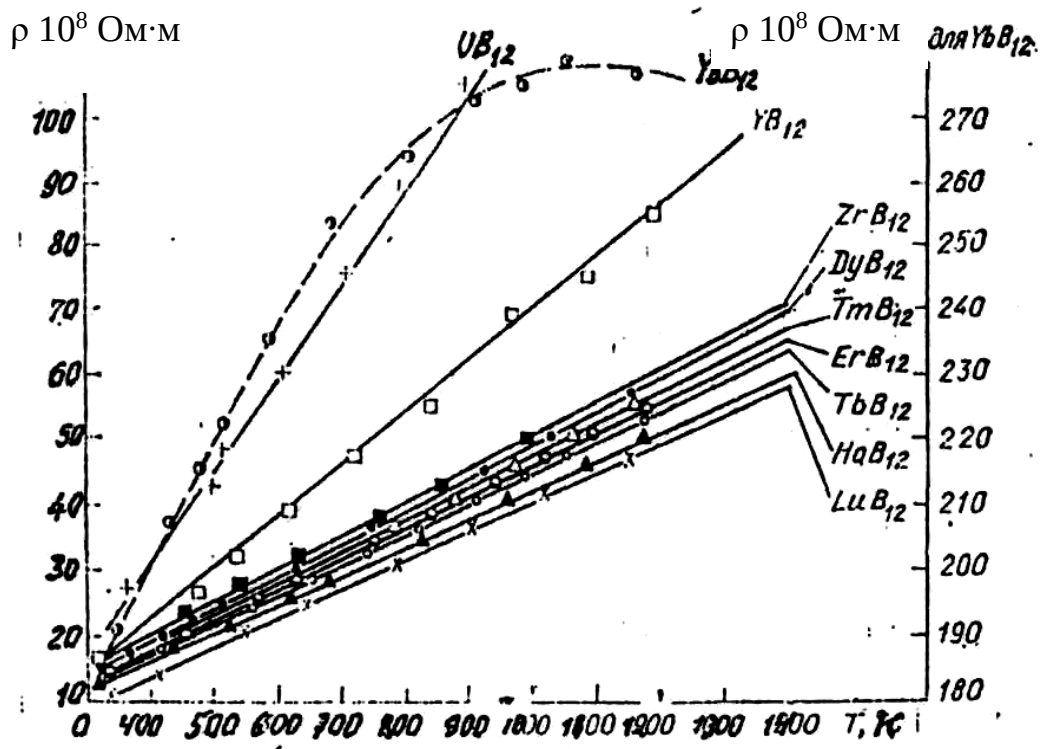


Рисунок 3 – Залежність електроопору додекаборидів РЗМ від температури

**Висновки:** Згідно теоретичних розрахунків розподілу електронів виконаного методом ГО-ЛКАО (сильний зв'язок) і зонної теорії провідності провідників у співставленні з експериментальними дослідженнями температурної залежності електричного питомого опору додекаборидів можна зробити висновок, що додекаборидні фази рідкісноземельних металів зі структурою типу  $UB_{12}$  є металічними провідниками, електропровідність в яких пов'язана з направленим рухом основних носіїв-електронів тобто провідність має електронну природу.

Висока електропровідність додекаборидів тривалентних рідкісноземельних металів пояснюється підвищеною рухливістю носіїв струму (при концентрації електронів  $10^{28} \text{ м}^{-3}$ ) та незначним розсіянням останніх на фононах (жорстка ґратка) у досліджуваних додекаборидах.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Падерно Ю. Б. Исследование условий получения и электрофизические свойства додекаборидов металлов / Ю. Б. Падерно, В. В. Одинцов // VII Всесоюзный симпозиум по физическим свойствам и электронному строению окислов металлов, их сплавов и соединений – Киев. : ИПМ АН Украины, 1964. – С. 113-114.
2. Падерно Ю. Б. Получение додекаборидов металлов боротермическим восстановлением окислов металлов. / Ю. Б. Падерно, В. В. Одинцов // Металлотермические процессы в химии и металлургии. – Новосибирск, 1971. – С. 39-43.
3. W. Lipscomb, D. Britton, J. Chem. – Phys., 1960. – 33. – p. 275

4. Бацанов В. С. Интегралы перекрывания и проблема эффективных зарядов / В. С. Бацанов, Р. А. Звячина. – Т. 1. – Новосибирск : Наука, 1966.
5. Зоммерфельд А. Строение атома и спектры / А. Зоммерфельд. – Т. 1, 2. – М. : ГИТТЛ, 1956.
6. Ельяшевич М. А. Спектры редких металлов / М. А. Ельяшевич – М. : ГИТТЛ, 1956.
7. Herman F. Skillman. Atomic structure calculations // Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs. – New Jersey, 1948, 1952.
8. Физико-химические свойства элементов : справочник / [Под редакцией Самсонова Г. В.] – К. : Наук. думка, 1965. – 505 с.

**Одинцов В.В. ПРИРОДА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ ДОДЕКАБОРИДОВ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ МЕТАЛЛОВ СО СТРУКТУРОЙ ТИПА UB12**

*В работе на однофазных додекаборидах редкоземельных материалов YB12, TbB12, TyB12, HoB12, ErB12, TuB12, LuB12, ZrB12 исследовано температурную зависимость удельного сопротивления указанных фаз и проведен теоретический расчет энергетического спектра электронов методом ГО-ЛКАО. Сделан вывод, что додекабориды указанных металлов металлоподобные соединения, электропроводность в которых обусловлена направленным движением электронов.*

*Ключевые слова: редкоземельные металлы, удельное сопротивление, электропроводность.*

**Odintsov V.V. ELECTROCONDUCTIVITY NATURE OF DODECABORIDS OF RARE-EARTH METALS OF UB12 STRUCTURE TYPE**

*On single-phase dodecaborids of rare-earth metals YB12, TbB12, TyB12, HoB12, ErB12, TuB12, LuB12, ZrB12, temperature dependence the specified phases resistivity is researched and theoretical calculation of electrons energy spectrum with GO-LKAO method is done. Dodecaborids of the specified metals are concluded to be metal-like compounds which conductivity is due to directed motion of electrons.*

*Keywords: rare-earth metals, resistivity, conductivity.*

## УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ДВИГУНА СТІРЛІНГА РОТОРНОГО ТИПУ

**Рижова В.Ю.,**

*Миколаївський політехнічний інститут*

*Запропонована вдосконалена схема двигуна Стірлінга роторного типу. Наведено принцип роботи двигуна, при якому збільшуються потужність і коефіцієнт корисної дії, а масо-габаритні показники зменшуються.*

*Ключові слова: двигун Стірлінга, коефіцієнт корисної дії, потужність, матеріаломісткість, робоче тіло двигуна.*

**Постановка проблеми.** При виникненні можливостей використання двигуна Стірлінга встають проблеми, пов'язані з його матеріаломісткістю, малою потужністю та невеликим коефіцієнтом корисної дії (ККД). Ці проблеми слід вирішувати шляхом удосконалення схеми двигуна роторного типу, що дозволить збільшити ККД і потужність. Ефективних технічних рішень з принципів схем на сьогодні не розроблено.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В двигун Стірлінга, розроблений ще у 1816 році шотландцем Робертом Стірлінгом [1], постійно вносяться інноваційні рішення для поліпшення його експлуатаційних характеристик. У 1937 - 1938 рр. фірма «Філіпс» вносить нові розробки з замкнутим циклом, який працює на підігрітому повітрі та призначений для електрогенераторів малої потужності [2]. У 1953 р. Мейер винайшов ромбічний привід, що дозволило використовувати більш високий робочий тиск [3]. У 1964 р. на автомобілі марки «Кал вер» був випробуваний двигун Стірлінга потужністю 23 кВт, тепла енергія для якого поступала від теплового акумулятора енергії на основі окислу алюмінію [4]. В кінці 1972 р. були досягнуті значні успіхи в розробці двигуна Стірлінга, що працює на рідкому природному паливі з призначенням для використання на легкових та вантажних автомобілях. У Росії, на основі двигуна Стірлінга потужністю 10 кВт та 36-лепесткового сонячного концентратора діаметром 10 м, розроблена сонячна енергетична установка для міжпланетної космічної станції «Альфа» [5]. Науковим інститутом «Архімед» ведуться дослідно-конструкторські роботи з спрощення та зниження вартості виробництва двигунів. У 2000-2001 роках фірмою «Міцубіші дзюкоге» на кораблебудівній верфі «Кобе» проведено роботи з оснащення підводного човна «Асасіо» енергетичною установкою замкнутого циклу з двигуном Стірлінга [6]. Дослідні зразки двигунів Стірлінга провідних зарубіжних фірм хоч і працездатні, але вони займають весь підкапотний простір моторного відсіку легкового автомобіля і важчі ДВС в 2 рази. Значна кількість пропозицій з модернізації двигуна Стірлінга, питання щодо його удосконалення для зменшення масо-габаритних розмірів, підвищення ККД та потужності до

останнього часу не вирішені і не вирішують існуючі проблеми. Тому ці дослідження є актуальними, що підтверджується спільним наказом Міністерства освіти і науки та Національної академії наук України від 26 листопада 2009 р. № 1066 «Про затвердження Основних наукових напрямів та найважливіших проблем фундаментальних досліджень у галузі природничих, технічних і гуманітарних наук на 2009-2013 роки», (пункт 1.6. Фізико-технічні проблеми матеріалознавства; пункт 1.3.3.1. Динаміка, стійкість і оптимізація взаємодіючих дискретно-континуальних механічних систем).

**Мета статті.** Висвітлення принципів рішень з удосконалення схеми двигуна Стірлінга, які підвищують ККД та потужність за рахунок вирішення ряду складних задач технічного характеру.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для виконання поставленої мети було проведено аналітичне дослідження, вирішені задача забезпечення герметичності двигуна за рахунок спеціального введення обертання та проблема матеріаломісткості виключенням кривошипно-шатунного механізму (так як двигун роторний). На рис. 1 наведена схема роторного двигуна без клапанів та поршнів, принцип роботи якого складається з низки термодинамічних процесів.

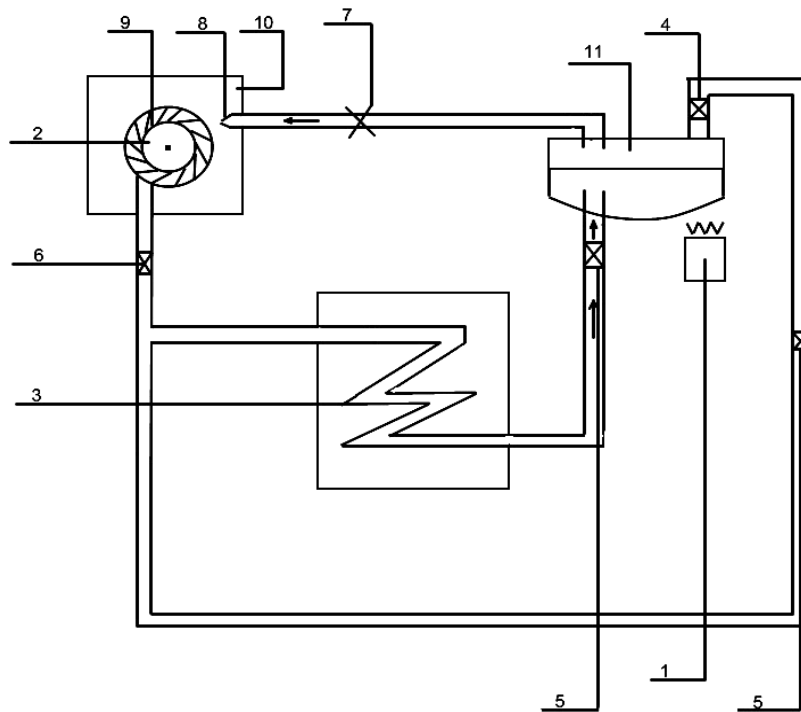


Рисунок 1 – Схема роторного двигуна без клапанів і поршнів:

1 – топка; 2 – турбіна; 3 – радіатор; 4 – перепускний клапан; 5, 6 – зворотний клапан; 7 – дросельна заслінка; 8 – сопла; 9 – лопатки турбіни; 10 – корпус; 11 – балон з робочим газом

При роботі двигуна нагрів робочого газу створює робочий тиск в балоні (11), при надмірному тиску спрацьовує перепускний клапан (4) і газ йде через зворотні клапани (5,6) на радіатор (3). Охолоджуючись, газ йде в балон (11). Для запуску двигуна відкривається дросельна заслінка (7), яка дає подачу газу через сопла (8) на лопатки турбіни (9), що приводить до обертання турбіни (2). Відпрацьований газ проходить через зворотний клапан (5,6) на радіатор (3). Охолоджуючись в радіаторі, відпрацьований газ поступає в робочий балон (11). Тиск в балоні знижується до робочого. Перепускний клапан (4) закривається, газ повністю працює на обертанні турбіни.

У запропонованій конструкції циліндри абсолютно герметичні, завдяки чому досягається запобігання витокам робочого тіла і підвищується ККД двигуна. Відпадає необхідність підживлення робочим тілом, тобто двигун спрощується в експлуатації і може працювати роками без присутності обслуговуючого персоналу.

Розглянутий двигун можна виконати з навантаженням на колінчастий вал, а не на систему шестерінок, шатунів і важелів, як це завжди робилося. А це вже серце для автомобільного двигуна. Двигун здатний працювати і при малих ступенях стиснення, створює менше шуму і вібрацій, простіший в експлуатації і виготовленні, пожежо- і вибухобезпечний, має колосальний, практично безмежний ресурс роботи. Нова конструкція забезпечує демпфування ударних навантажень. Основна перевага розробленої конструкції – це високий ККД. Підвищення ККД, в свою чергу, зменшує емісію токсичних продуктів (оксидів азоту і вуглецю) на одиницю потужності.

Розраховане значення ККД майже удвічі перевищує ККД двигуна внутрішнього згоряння. Конструкція двигуна виконується компактно, що є найважливішою умовою його встановлення на автомобіль. Такий роторний двигун Стірлінга без клапанів і поршнів має вигідні експлуатаційні показники.

Запропонована схема дозволяє підвищити потужність і швидкість обертання колінчастого валу, надійність двигуна за рахунок зменшення градієнта температур по довжині циліндра і робочого поршня, зменшення витоків через ущільнення між порожнинами циліндрів і повної ліквідації зовнішніх витоків робочого тіла.

Перспективним також є використання двигуна для виробництва електроенергії на місцевій сировині у віддалених районах або як резервні станції в лікарнях, радіо- і телецентрах, в аеропортах і військових об'єктах. Показана доцільність їх експлуатації у медичній практиці, у системах механічного приводу апаратів «штучне серце», на автотранспорті, у складі криогенних газових машин, у рефрижераторних установках, на морських судах.

Властивості ДС визначені притаманною тільки йому характеристикою робочих циклів. Двигун працює за замкнутим термодинамічним циклом, в якому циклічні процеси стиснення і розширення відбуваються при різних рівнях температур, а управління потоком робочого тіла здійснюється шляхом зміни його об'єму. В роботі двигуна мають місце: високі значення середнього тиску газу, вільний від масла робочий простір, відсутність клапанного механізму, а передача тепла проводиться через стінки циліндра або теплообмінник.

В двигуні використовується цикл Стірлінга, який з термодинамічною ефективністю не поступається циклу Карно, і навіть має перевагу, так як складається з ізотерм і адіабат, які мало відрізняються між собою [3]. Практична реалізація цього циклу малоперспективна. Цикл Стірлінга складається з чотирьох фаз і розділений двома перехідними фазами: нагрів, розширення, перехід до джерела холоду, охолодження, стиснення і перехід до джерела тепла. На рис. 2. наведена діаграма «тиск-об'єм», що ідеалізує цикл Стірлінга.

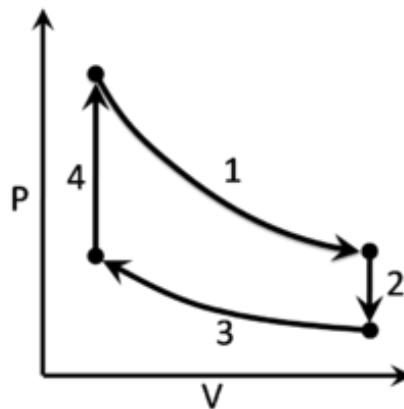


Рисунок 2 – Діаграма «тиск-об'єм», що ідеалізує цикл Стірлінга

Таким чином, при переході від теплового джерела до холодного відбувається розширення і стиснення газу, що знаходиться в циліндрі. При цьому змінюється тиск, за рахунок чого можна одержати корисну роботу. Нагрів і охолодження робочого тіла (ділянки 4 і 2) проводиться рекуператором. В ідеалі кількість тепла, що віддається і відбирається рекуператором, однакова. Корисна робота проводиться тільки за рахунок ізотерм, тобто залежить від різниці температур нагрівача і охолоджувача, як в циклі Карно.

Цикл Стірлінга дозволив одержати працюючий двигун із значним зменшенням масо-габаритних показників.

З розрахунку на один моль робочого тіла тепло, підведене за цикл від нагрівача, визначається виразом

$$Q_{1-2} = RT_1 \ln(V_2/V_1),$$

де  $R$  – універсальна газова постійна,  $V_1$  – початковий об'єм речовини,  $V_2$  – отриманий об'єм речовини.

У ізохорному процесі (2-3) такого циклу тепло відводиться від робочого тіла безпосередньо до холодильника, а в процесі 4-1 – підводиться від нагрівача. ККД такого циклу визначатиметься виразом

$$\eta = \frac{Q_{1-2} - Q_{3-4}}{Q_{1-2} + Q_{4-1}}$$

Неважко побачити, що цей вираз при ненульовому  $Q_{4-1}$  і при тих же значеннях  $Q_{1-2}$  і  $Q_{3-4}$ , що і в циклі з регенератором, має меншу величину. Пройдений у зворотному напрямі (4-3-2-1-4) цикл Стірлінга описує холодильну машину. При цьому напрями передачі тепла,  $Q_{4-3}$ ,  $Q_{3-2}$ ,  $Q_{2-1}$  і  $Q_{1-4}$  міняються на протилежні [4]. Наявність регенератора є необхідною умовою здійснення холодильного циклу Стірлінга, оскільки згідно другому початку термодинаміки в ізохорному процесі (3-2) неможливо нагріти робоче тіло від холодильника, що має нижчу температуру, або передати тепло в процесі (1-4) від робочого тіла нагрівачу, що має вищу температуру.

При цьому двигун є перетворювачем енергії, що відноситься до типу теплових двигунів, які здійснюють механічну роботу на вихідному валу при підводі до них теплової енергії. Корисна робота в робочому циклі Стірлінга здійснюється, як і в інших теплових двигунах, через стиснення робочого тіла (гелій, водень) при низькій температурі і розширенні того ж робочого тіла після нагріву при вищій температурі [5].

### Висновки

1. Вдосконалена схема двигуна Стірлінга, в якій відсутні клапани та поршні, дозволяє збільшити потужність та швидкість обертання колінчастого валу.

2. Запропоновано технічні рішення: підвищують надійність двигуна за рахунок зменшення градієнту температур по довжині циліндру; зменшують витоки через ущільнення між порожнинами циліндрів та повністю ліквідують зовнішні витоки робочого тіла; за рахунок спрощення конструкції зменшують матеріаломісткість двигуна; збільшують термін служби двигуна за рахунок запобігання витоків робочого тіла та підвищення ККД.

3. Результати дослідження підтверджують ефективність запропонованої принципової схеми і показують доцільність експлуатації двигуна в широкому спектрі технологій реального сектора виробництва.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ридер Г. Двигатели Стирлинга / Г. Ридер, Ч. Хупер : [пер. с англ.]. – М. : Мир, 1986. – 367 с.
2. Уокер Г. Машины, работающие по циклу Стирлинга : [пер. с англ.]. – М. : Энергия, 1978. – 452 с.



3. Уокер Г. Двигатели Стирлинга : [пер. с англ.]. – М. : Машиностроение, 1985. – 285 с.
4. Бродянский В. М. Двигатели Стирлинга / В. М. Бродянский – М. : Мир, 1975. – 423 с.
5. Круглова М. Г. Двигатели Стирлинга / М. Г. Круглова, В. Н. Даниличев, С. И. Ефимов. – М. : Машиностроение, 1977. – 370 с.
6. Патент РФ № 2099564, F 02 G 5/00. – Бюл. № 35 от 20.12.97.
7. Заявка ЕПВ № 0457399 // Реферативный журнал «Изобретение стран мира» – Выпуск В - 65, № 5, 1993. – С. 13.

**Рыжова В.Ю. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ ДВИГАТЕЛЯ СТИРЛИНГА РОТОРНОГО ТИПА**

*Предложена усовершенствованная схема двигателя Стирлинга роторного типа. Приведён принцип работы двигателя, при котором увеличиваются мощность и коэффициент полезного действия, а массогабаритные показатели уменьшаются. Ключевые слова: двигатель Стирлинга, коэффициент полезного действия, мощность, материалоемкость, рабочее тело двигателя.*

**Ryzhova V.U. IMPROVEMENT OF THE PRINCIPAL DIAGRAM OF ROTARY TYPE STIRLING ENGINE**

*The improved diagram of rotary type Stirling engine is proposed. The principle of engine operation to increase the capacity and efficiency and to decrease the overall indices is given. Keywords: Stirling engine, efficiency, capacity, materials consumption, engine working medium.*

## АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ СХЕМ СТРУМЕНЕВИХ ЗАХОПЛЮВАЛЬНО-ОРІЄНТУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ

*Савків В.Б., Бізус В.В., Савків Г.В.,*

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя*

*В статті представлений аналіз конструктивних схем безконтактних струменевих захоплювально-орієнтуючих пристроїв, що забезпечують необхідну для виробництва кутову орієнтацію циліндричних об'єктів маніпулювання. Запропоновано базові формули для розрахунку сили в'язкого тертя потоку повітря до поверхні об'єктів маніпулювання та крутного моменту, що забезпечує необхідну кутову орієнтацію об'єктів. Наведено графік для визначення коефіцієнта в'язкого тертя потоку повітря до поверхні об'єктів.*

*Ключові слова: безконтактний захоплювальний пристрій, сопло, аеродинамічний ефект.*

**Постановка проблеми.** Струменеві захоплювально-орієнтуючі пристрої створюють ряд додаткових можливостей і переваг над існуючими методами захоплення та орієнтації: безконтактне притягування та утримування об'єктів; кутову орієнтацію об'єктів; точне позиціонування об'єктів для подальшої обробки; надійність роботи [1, 2]. Однак важливою проблемою постає відсутність конструктивних схем, за якими безпосередньо можна було б розробляти пристрої, для безконтактного маніпулювання та орієнтації циліндричних об'єктів [3, 4].

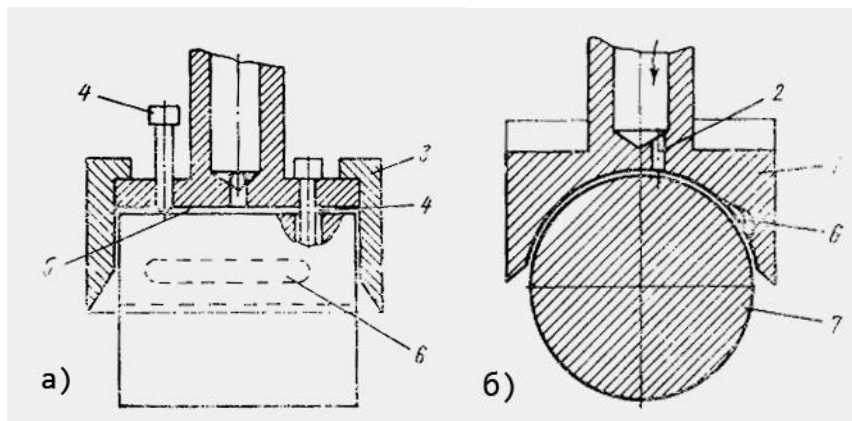


Рисунок 1 – Струменевий захоплювач для транспортування та орієнтації виробів: а) поздовжній розріз; б) поперечний розріз

**Аналіз результатів досліджень.** Із проведеного аналізу конструкцій захоплювально-орієнтуючих пристроїв для циліндричних деталей типовим прикладом є струменевий захоплювач поданий на рис. 1 [5]. Він містить корпус з отвором для підведення стиснутого повітря і змонтовані на корпусі фіксатори 4. З метою забезпечення кутової орієнтації, шляхом обертання захопленої деталі навколо власної осі, отвір для підведення стиснутого повітря розміщений концентрично до зони руху деталі. На робочій поверхні захоплювача виконана впадина, яка не з'єднана з отвором підводу стиснутого повітря. Недоліком даної конструкції є наявність постійного механічного

контакту фіксаторів 4 з деталлю 6, можливість перекосів та заклинювання деталей.

**Мета роботи.** Запропонувати конструктивні схеми захоплювально-орієнтуючих пристроїв з можливістю позиціонування над і під циліндричним об'єктом маніпулювання. Показати вплив основних параметрів газового потоку на силу в'язкого тертя повітря до поверхні об'єктів маніпулювання та крутний момент, що забезпечує необхідну кутову орієнтацію об'єктів.

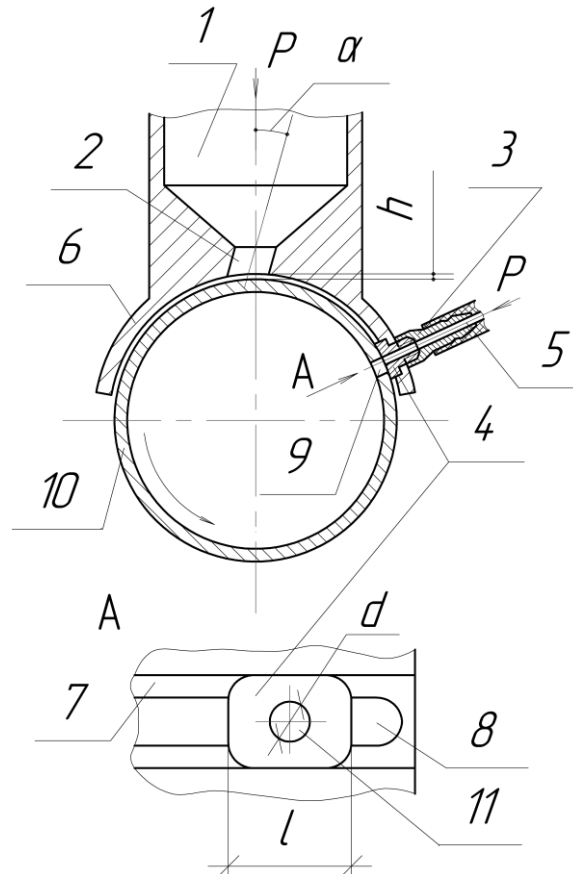


Рисунок 2 – Струменевий захоплювально-орієнтуючий пристрій із позиціонуванням над деталлю

**Основна частина.** Для забезпечення безконтактного утримування та кутової орієнтації об'єктів маніпулювання, авторами запропоновано ряд конструктивних схем захоплювально-орієнтуючих пристроїв. Основні типові конструктивні схеми представлені на рис. 2, 3, 4. Зокрема на рис. 2 показаний струменевий пристрій, який поєднує функції захоплення і орієнтації об'єктів типу «втулки з наскрізними отворами». Пристрій містить камеру 1, що виконана в корпусі 6, і призначена для нагнітання стиснутого повітря в силове сопло 2, поздовжній паз 7 на боковій поверхні захоплювальної частини, необхідний для забезпечення переміщення орієнтуючої втулки-сопла 4 вздовж зони захоплення. В тілі втулки 4 виконано отвір 11 діаметром  $d = (0,5..1)$  мм і нарізано різьбу для з'єднання із штуцером 3, через який по каналу 5 подається стиснуте повітря.

В процесі роботи пристрою передбачається його попереднє позиціонування над об'єктом. Стиснуте повітря від пневмомагістралі

одночасно поступає в камеру 1 і подається в канал 5. Через отвір 11 у втулці 4 і сопло 2 стиснуте повітря витікає в навколишнє середовище. За рахунок зростання швидкості потоку між поверхнями захоплювального пристрою і об'єкта 10 створюється зона пониженого тиску, що зумовлює виникнення аеродинамічного ефекту, під дією якого об'єкт 10 притягнеться до корпусу 6. При цьому, із зменшенням відстані між поверхнями захоплювача та об'єкта до величини  $h < 0,05$  мм, між цими поверхнями утворюється пружна пневматична подушка. Під дією сил в'язкого тертя, що спричинені витікаючим з сопла 2, орієнтованого під кутом  $\alpha = (5..15)^\circ$ , струменя повітря, об'єкту 10 передається крутний момент, який приводить до його провертання навколо власної осі. У момент, коли отвори 9 і 11 співпадуть, пневматична подушка зникне, так як витікаючий із отвору 11 у втулці 4 струмінь повітря вільно пройде через отвір 9 у об'єкті 10. В результаті, об'єкт 10 притягнеться до втулки 4 і зафіксується у зорієнтованому положенні за рахунок сил тертя. Слід відзначити, що осі отворів 2 і 9 не повинні лежати в одній площині. Від зміщень втулки в осьовому напрямку у конструкції передбачено бокові упори (ролики).

На рис. 3 показаний струменевий пристрій, який також поєднує функції захоплення і орієнтації об'єктів типу «втулки з наскрізними отворами», але відрізняється від попереднього пристрою способом позиціювання відносно об'єкта захоплення. Пристрій містить корпус 3, камери 5 і 7, що з'єднані між собою трубою 4 для нагнітання стиснутого повітря в сопло 2 і отвір 9, поздовжній паз 6 на боковій поверхні захоплюючої частини та поздовжній паз 16 для забезпечення переміщення втулки 10 вздовж зони захоплення. В тілі втулки 10 виконано отвір 9 діаметром  $d = (0,5..1)$  мм і нарізано різьбу для з'єднання із камерою 5, через яку по каналу 15 подається стиснуте повітря.

Принцип роботи даного захоплювально-орієнтуючого пристрою аналогічний попередньому. Слід відзначити, що осі отворів 2 і 9 не повинні лежати в одній площині. За допомогою зміни положення гвинта 14 можна змінювати позицію захоплення об'єктів. Для сталених деталей може бути використано наступний пристрій. На рис. 4 показаний струменевий пристрій, який поєднує функції захоплення і орієнтації об'єктів типу тіла обертання, що може бути використаний не тільки для деталей із наскрізними отворами, але також з іншими асиметричними елементами. Пристрій містить корпус 3, камеру 1 для нагнітання стиснутого повітря в сопло 2, поздовжній паз 7 на боковій поверхні захоплюючої частини для забезпечення переміщення втулки-електромагніта 4 вздовж зони захоплення. В тілі втулки нарізано різьбу для з'єднання із фотоелементом 10, через який подається сигнал на ввімкнення електромагніта 4, а також вмонтовано джерело концентрованого світлового потоку 5.

В процесі роботи пристрою передбачається його попереднє позиціювання над об'єктом. Стиснуте повітря поступає в камеру 1, звідти подається в сопло 2. Із зменшенням відстані  $h$ , між поверхнею захоплення і об'єктом 9 утворюється пружна пневматична подушка і одночасно

активується схема керування електромагнітом 4 через фотоелемент 10 завдяки попаданню на нього відбитого від поверхні об'єкта 9 концентрованого світлового потоку (рис. 5). Під дією сил в'язкого тертя відбувається провертання об'єкта навколо власної осі. У момент, коли проміжок між джерелом світлового потоку 5 і фотоелементом 10 та отвір 8 співпадуть, оптичний сигнал на фотоелементі 10 зникне, тому що світловий потік із джерела 5 пройде крізь отвір 8 і не відіб'ється на фотоелемент 10. Спрацює електромагніт 4, який притягне до себе об'єкт 9 і зафіксує в даному положенні. Після цього можна припинити подачу стиснутого повітря в камеру 1. Даний принцип орієнтації можна використати і для випадку позиціонування під деталлю.

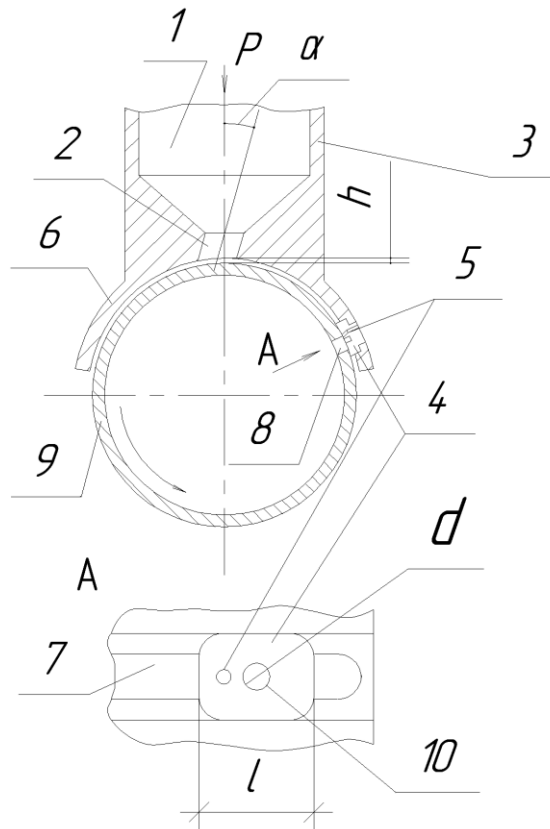


Рисунок 4 – Струменевий захоплювально-орієнтуючий пристрій із оптичною системою і електромагнітом

Силу тертя потоку повітря до поверхні об'єкта маніпулювання слід обчислювати за формулою [6]:

$$F_m = C_D \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 S, \quad (1)$$

де  $C_D$  – коефіцієнт в'язкого тертя, який залежить від числа Рейнольдса та шорсткості поверхні об'єкта маніпулювання;  $\rho$  – густина потоку повітря;  $v$  – середня швидкість потоку повітря;  $S$  – площа активної поверхні об'єкта маніпулювання.

На рис. 6 показано графік зміни коефіцієнта  $C_D$  залежно від значення числа Рейнольдса [7].

Для розрахунку крутного моменту можна використати таке рівняння [6]:

$$M = C_D \cdot \frac{1}{2} \rho v^2 S R, \quad (2)$$

де  $R$  – зовнішній радіус об’єкта маніпулювання.

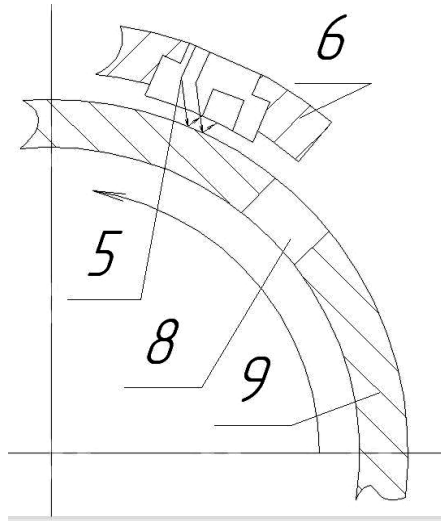


Рисунок 5 – Зона електромагніту і фотоелемента в збільшеному масштабі

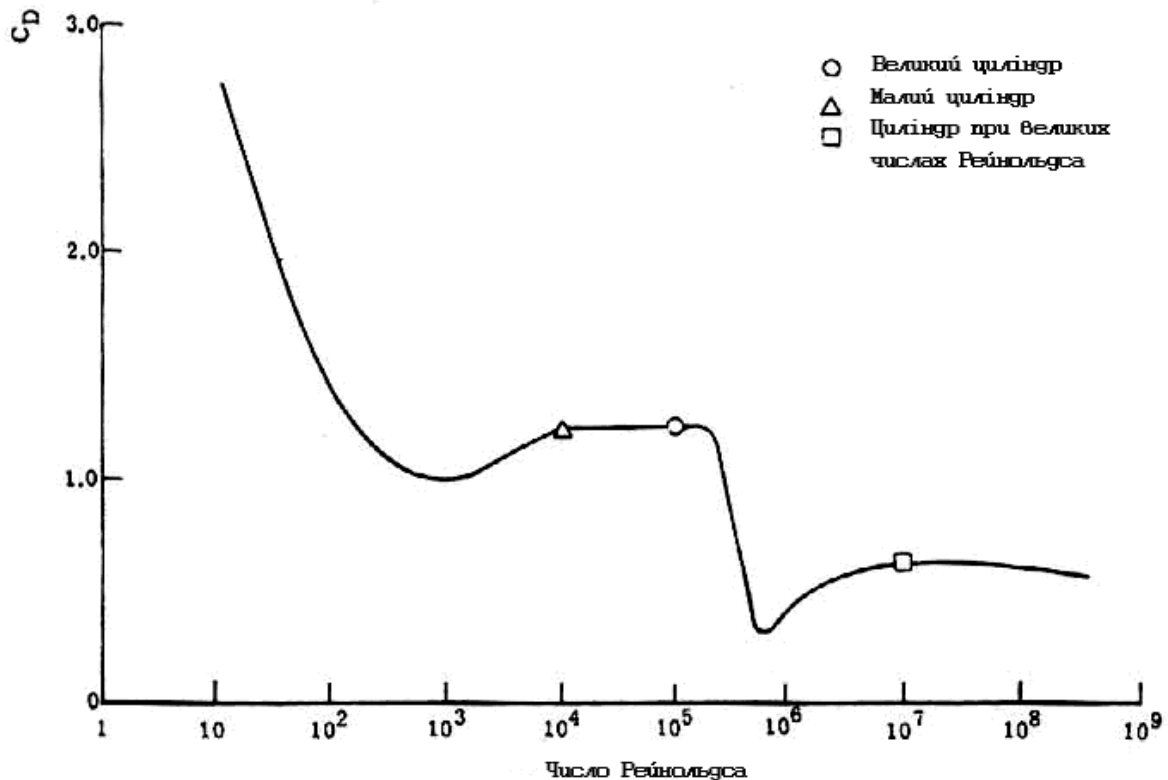


Рисунок 6 – Значення коефіцієнта в'язкого тертя залежно від числа Рейнольдса

**Висновки.** Запропоновано конструктивні схеми захоплювально-орієнтуючих пристроїв з можливістю позиціонування над і під циліндричним об’єктом маніпулювання. Дані пристрої мають невисоку собівартість

виготовлення і забезпечують довговічність роботи при дотриманні високої точності позиціонування. Показано вплив основних параметрів газового потоку на силу в'язкого тертя повітря до поверхні об'єктів маніпулювання та крутний момент, що забезпечує необхідну кутову орієнтацію об'єктів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. D. Biegelsen, W. Jackson, A. Berlin and P. Cheung Air jet arrays for precision positional control of flexible media // Proc. International Conference on Micromechatronics for Information and Precision Equipment, Tokyo, Japan, 1997. – Vol. 97-207. – pp. 631-634.
2. A. Berlin, D. Biegelsen, P. Cheung, M. Fromherz, D. Goldberg, W. Jackson, E. Panides, B. Preas, J. Reich and L. Swartz Paper Transport using Modulated Air Jet Arrays // Proceedings of NIP15 : The International Conference on Digital Printing Technologies, October 1999.
3. D. Biegelsen, E. Panides, L. Swartz, W. Jackson, A. Berlin, Characterization of Shear Stress Field Induced by Obliquely Impinging Airjets // Proceedings of the Symposium on Micro-Mechanical Systems, ASME International Mechanical Engineering Congress and Exhibition, Nashville, TN, to be published, 1999.
4. M. Shikida, K. Sato, S. Tanaka, Y. Kawamura and Y. Fujisaki, Electrostatically-actuated gas valve with large conductance // Technical Digest, The 7th International Conference on Solid-State Sensors and Actuators, Yokohama, Japan, 1993. – pp. 771-773.
5. Авт. Свід. СРСР № 548409, М. Кл<sup>2</sup>. В23Q7/04. – Бюл. № 8, 28.02.77.
6. Дейч М. Е. Техническая газодинамика / М. Е. Дейч – М. : Энергия, 1974. – 592 с.
7. Дмитриев В. Н. Основы пневмоавтоматики / В. Н. Дмитриев, В. Г. Градецкий. – М. : Машиностроение, 1973. – 360 с.

#### **Савкив В.Б., Бигус В.В., Савкив Г.В. АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ СТРУЙНЫХ ЗАХВАТЫВАЮЩЕ-ОРИЕНТИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ**

*В статье представлен анализ конструктивных схем бесконтактных струйных захватывающе-ориентирующих устройств, обеспечивающих необходимую для производства угловую ориентацию цилиндрических объектов манипулирования. Предложены базовые формулы для расчета силы вязкого трения потока воздуха к поверхности объектов манипулирования и крутящего момента, что обеспечивает необходимую угловую ориентацию объектов. Приведен график для определения коэффициента вязкого трения потока воздуха к поверхности объектов.*

*Ключевые слова: бесконтактное захватывающее устройство, сопло, аэродинамический эффект.*

#### **Savkiv V.B, Bihus V.V, Savkiv G.V. ANALYSIS OF CONSTRUCTION DIAGRAMS OF IMPINGEMENT JET GRIPPING-HANDLING DEVICES**

*Analysis of construction diagrams of contactless impingement jet gripping-handling devices ensuring the necessary angle orientation of cylinder manipulation objects is given. Fundamental formulas for calculating the force of viscous friction of the air flow to the surface of manipulated objects and the rotational moment to ensure the necessary angle orientation of objects are proposed. The diagram for defining the performance factor of viscous friction of air flow to object surfaces is presented.*

*Keywords: contactless gripping device, nozzle, aerodynamic effect.*

## ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РОЛИ ПОВЕРХНОСТИ В ПРОЦЕССАХ, ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР НА ПОЛИМЕРНЫЙ МАТЕРИАЛ

*Селиванов С.Е., Тригуб С.Н.,*

*Херсонская государственная морская академия*

*В работе рассмотрены инструментальные физические методы исследования поверхности полимерных материалов (ПМ); суммарный результат исследований поверхностного слоя ПМ проведенный различными инструментальными физическими методами, роль поверхностного слоя в абляционной теплозащите и в снижении горючести ПМ; представлена разработанная экспериментальная установка по физической модификации ПМ и методика экспериментальных исследований на разработанной установке; проведение эксперимента по термической обработки поверхности ПМ на установке и обсуждение полученных результатов.*

*Ключевые слова: полимерный материал, физическая модификация, абляция.*

**Введение.** Наряду с многочисленными достоинствами и, зачастую, уникальными свойствами полимерные материалы (ПМ) обладают большим недостатком – сравнительно высокой горючестью, что в значительной мере ограничивает их применение в новых конструкторских разработках. Поэтому по мере расширения области применения ПМ всё большую актуальность приобретает проблема снижения горючести этих материалов как обязательного условия обеспечения пожарной безопасности. В настоящее время в результате экспериментальных и теоретических исследований сформировались определенные представления о поверхностных и межфазных слоях ПМ и о протекающих в них явлениях [1]. Выявлено, что ответственным за возгорание ПМ и распространение пламени по его поверхности первостепенное значение имеет поверхностный слой ПМ с толщиной 50...200 мкм. Этот значительный прогресс в изучении поверхностных процессов в ПМ достигнут благодаря разработке и внедрению в практику новых эффективных инструментальных физических методов в сочетании с широким применением современной вычислительной техники.

**Цель работы и постановка задачи.** Целью настоящей работы является снижения пожарной опасности ПМ.

Для достижения этой цели была поставлена задача анализа инструментальных физических методов исследования поверхности ПМ и полученных результатов, опираясь на которые был разработан метод целенаправленного изменения состава ПМ и его строения, связанное с применением лучевых технологий.

Ниже рассмотрен сценарий данной статьи: 1) инструментальные физические методы исследования поверхности ПМ; 2) суммарный результат исследований поверхностного слоя ПМ проведенные различными



инструментальными физическими методами; 3) роль поверхностного слоя в абляционной теплозащите и в снижении горючести ПМ; 4) экспериментальная установка по лучевой модификации ПМ; 5) методика экспериментальных исследований разработанным методом; 6) проведение эксперимента и обсуждение полученных результатов.

### *1. Инструментальные физические методы исследования поверхности ПМ.*

В настоящее время насчитывает уже несколько десятков методов исследования поверхности материалов, в том числе ПМ [2].

Наиболее широко применяемыми методами изучения поверхности материалов являются: рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (РФЭС) – возникновение внешнего фотоэффекта под действием рентгеновского излучения, применяется как для определения электронной структуры поверхности твердого тела, так и для химической идентификации поверхностных компонентов; Оже-электронная спектроскопия (ОЭС) – эмиссия (испускание) Оже-электронов, применяется как метод анализа химического состава поверхностей твердых тел, дает количественную информацию о составе приповерхностного слоя; ультрафиолетовая фотоэлектронная спектроскопия (УФЭС) – возникновение внешнего фотоэффекта под действием ультрафиолетового излучения, позволяет по фотоэлектронным спектрам изучать зонную структуру твердого тела; спектроскопия ионного рассеяния (СИР) – рассеяние медленных первичных ионов, на основании анализа энергетических спектров можно судить о составе непосредственно поверхности материала, а на основании анализа углового распределения рассеянных ионов – о структуре поверхностного слоя, с помощью применения этого метода можно определить наличие и концентрацию того или иного элемента в первом атомном слое анализируемой поверхности, а также проводить послойный анализ; вторичная ионная масс-спектроскопия (ВИМС) – эмиссия ионов материала под действием первичных ионов, метод основан на измерении характеристик вторичных ионов соответствующих атомов, входящих в состав материала образца, бомбардируемого пучком первичных ионов, и перспективен для исследования состава поверхности слоев, в частности, для определения в них малых примесей; лазерный микрозондовый масс-анализ (ЛАММА) – поверхность образца зондируется сфокусированным излучением лазера, при достаточной энергии излучения в результате сильного локального разогрева вещества происходит его испарение и образование плазмы, масс-спектрометрическое определение состава, количества и заряда ионов этой плазмы позволяет определить локальный химический состав вещества, метод применяется для идентификации органических примесей, введенных в полимерные материалы и для исследования состава поверхности наполнителей; инфракрасная спектроскопия нарушенного полного внутреннего отражения (ИК НПВО) – нарушенное полное внутреннее однократное или многократное отражение инфракрасного (ИК) излучения,

падаючого под углом на границу двух сред, применяется для исследования поверхности ПМ, которые прозрачны в ИК-области спектра; спектроскопия комбинационного рассеяния (СКР) – измерение спектральных характеристик неупруго рассеянных фотонов, метод КР-спектроскопии возможно использовать в исследовании процессов на поверхности материалов, протекающих в реальных производственных условиях, в частности для дистанционного контроля технологических процессов в химической промышленности, КЗ-спектроскопия дает возможность исследовать образцы любых размеров и форм (например, крупные непрозрачные образцы) без их предварительной обработки; оптическая микроскопия (ОМ) – световой микроскоп, методом возможно исследование волокнистых структур, строение тканых материалов, поверхностей разрушения армированных пластмасс; растровая электронная микроскопия (РЭМ) – растровый электронный микроскоп, метод регистрирует первичные электроны, рассеянные материалом, может применяться для изучения внутреннего строения композиционных материалов; просвечивающая электронная микроскопия (ПЭМ) – просвечивающий электронный микроскоп, этим методом исследуется надмолекулярная структура полимеров и другие методы.

Чаще всего исследование поверхности ПМ проводят методом РФЭС, т.к. при этом уменьшается вероятность радиационного повреждения материала и появляется возможность получить информацию о химических связях. При математическом анализе результатов, полученных методом РФЭС, с помощью вычислительной техники можно получить дополнительную информацию. Поэтому все современные РФЭС-спектрометры снабжаются малыми управляющими и вычислительными машинами, к которым прилагаются комплекты программ для обработки экспериментальных данных.

Функциональные характеристики поверхности ПМ определяют многие практически важные макроскопические свойства этих материалов. Такие характеристики проявляются в химическом строении поверхности – в химическом составе и наличии на поверхности активных функциональных групп, способных вступать в разнообразные химические реакции, а также в ее физической структуре – степени кристалличности и ориентации макромолекул – и морфологии, т.е. форме и шероховатости поверхности. Формирование свойств поверхности ПМ происходит под действием двух основных факторов – энергетики поверхности и подвижности цепей макромолекул.

*2. Результат исследований поверхностного слоя ПМ проведенные различными инструментальными физическими методами.*

Не один из выше применяемых методов исследований поверхностного слоя ПМ сам по себе не является универсальный, поэтому для получения полной и объективной информации о явлениях в поверхностном слое ПМ необходимо применение комплекса взаимодополняющих методов.

Результаты исследований поверхностного слоя ПМ полученные различными инструментальными физическими методами поверхностного слоя ПМ показали, что при горении ПМ, тепловых ударах и линейном пиролизе на поверхности материала образуется карбонизованный (углеродный) слой – коксовый остаток (кокс) или остаток пиролиза [3]. В процессе горения теплофизические свойства и плотность кокса изменяются. Карбонизованный слой может служить эффективным «теплозащитным экраном» между источником зажигания и непрореагировавшими слоями материала, что способствует погасанию возникшего пламени.

На основе теплофизических параметров и плотности можно представить вероятные модели полимерных коксов (структур коксового слоя), показанные на рис. 1 [4].

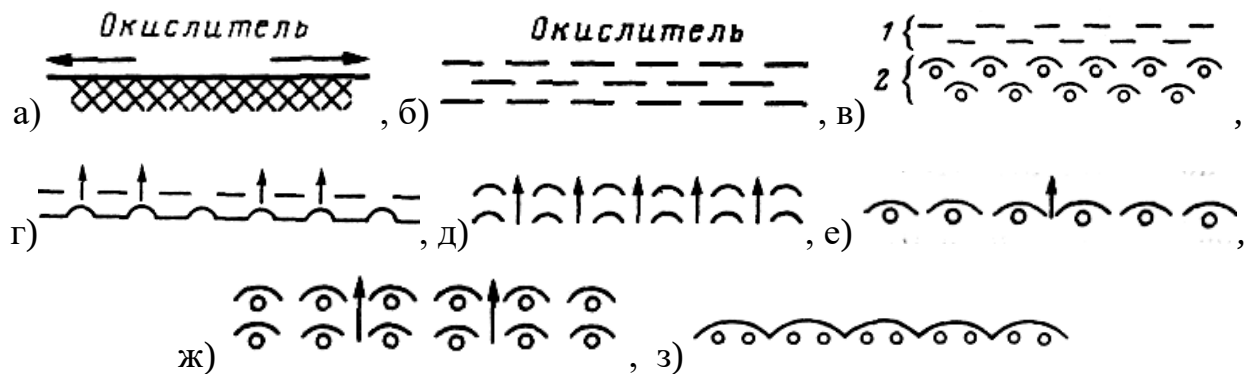


Рисунок 1 – Модели коксов, образующихся при пиролизе и горении ПМ

При классификации коксовых остатков удобнее использовать понятия кристалличности и аморфности (вместо деления материалов на коксующиеся и некоксующиеся по [5]). Кристаллическая фаза играет преобладающую роль в таких моделях, как кокс – экран (а) (практически нет пор, сток теплоты по поверхности, максимальная теплопроводность  $\lambda_{\parallel \vec{n}\vec{a}}$  по поверхности – идеализированный случай, не может реализоваться из-за большой разницы в теплофизических характеристиках поверхностного и подповерхностного слоев и возникающих внутренних напряжений, приводящих к разрыву, нарушению сплошности слоя); пористый кокс с малой протяженностью пор высокой плотностью (б) (сток теплоты в основном по поверхности, т.е. теплопроводность  $\lambda_{\parallel \vec{n}\vec{a}}$  по поверхности  $\gg$  теплопроводности  $\lambda_{\perp \vec{n}\vec{a}}$  по нормали к поверхности; плотность  $\rho_{\vec{n}\vec{a}} > \rho_{\perp \vec{n}\vec{a}}$ ); пористый кокс слоистого строения (в) (состоит из поверхностной корки высокой плотности с малыми порами и сохранением условия  $\lambda_{\parallel \vec{n}\vec{a}} > \lambda_{\perp \vec{n}\vec{a}}$  и слоя меньшей плотности, содержащего газопыри («угольная» пена), с изотропными теплофизическими характеристиками); пористый кокс с протяженными порами (г) (плотность кокса  $\rho_e$  близка к плотности исходного материала  $\rho_m$ , а теплопроводность кокса  $\lambda_e$  несколько отличается от теплопроводности материала, причем часть пор заполнена аморфными продуктами деструкции материала;  $\lambda_e \sim \lambda_i$ ,  $\rho_e \sim \rho_i$ ,  $\lambda_{\vec{n}\vec{a}} \sim \lambda_{\perp \vec{n}\vec{a}}$ ). Аморфные продукты разложения

материала преобладают в таких моделях, как аморфный пористый кокс (д) (содержащий значительный процент пор большого диаметра и «кратеров», плотность  $\rho_e$  и теплопроводность кокса  $\lambda_e$  меньше, чем у исходного материала,  $\rho_e < \rho_i$ ,  $\lambda_e < \lambda_i$ ); аморфный пористый кокс (е) (содержащий значительное количество газовых пузырей); тот же кокс слоистого строения (ж) ( $\lambda_e < \lambda_i$ ,  $\rho_e < \rho_i$ ) и пенококс без пор (з) ( $\lambda_e \ll \lambda_i$ ,  $\rho_e \ll \rho_i$ , пор нет).

Наиболее вероятно образование кокса с кристаллической фазой, образующей «армирующий каркас» пор, заполненных аморфными продуктами деструкции полимерного материала.

Исходя из изложенного, можно представить себе пять вероятных моделей ингибирования горения, т.е. введением в состав ПМ веществ снижающих скорость реакции, которые указывают возможные пути снижения горючести ПМ [3]. Первый вариант заключается в ингибировании, т.е. снижении скорости термоокислительных реакций в предпламенной зоне, второй – в разбавлении горючих летучих продуктов деструкции ПМ в предпламенной зоне негорючими (инертными) продуктами разложения, третий – в «срыве» волны горения вследствие выброса в предпламенную зону твердых частиц или продуктов неполного разложения (при условии, что скорость диспергирования превышает скорость распространения пламени). Два последних варианта связаны с указанными выше изменениями поверхностного слоя материала при горении. Замедление (гашение) горения ПМ возможно за счет формирования плотного мелкопористого коксового слоя с равномерным или почти равномерным расположением в поверхностной корке микропор малой протяженности. Такой слой является «тепловым экраном» с низкой теплопроводностью. При образовании пенококса на поверхности ПМ горение может прекратиться из-за значительного уменьшения коэффициента теплопроводности. Такая ситуация возникает при применении вспучивающихся покрытий, красок и клеевых слоев, содержащих коксо- и газообразователи, и используется в целях огнезащиты.

### *3. Роль поверхностного слоя в абляционной теплозащите и в снижении горючести ПМ.*

Рассмотрение всей схемы горения ПМ, проведенное выше, приводит к выводу, что образование поверхностного карбонизованного (коксового) слоя ввиду его низкой теплопроводности способствует снижению скорости распада исходного материала. Летучие продукты деструкции, проходя через кокс, охлаждают его и, попадая в газовую фазу, изолируют карбонизованный слой от доступа окислителя (кислорода) и препятствуют подводу конвективного теплового потока от пламени. Повышение выхода кокса, его термоокислительной стабильности обеспечивает снижение горючести ПМ, и в соответствии с этим целесообразно использовать добавки, способствующие протеканию этих процессов; при этом необходимо учитывать, что образующиеся при разложении летучие вещества не должны быть способными поддерживать горение.

Понимание определяющей роли поверхностного слоя в процессах, протекающих при воздействии высоких температур на ПМ, привело к установлению возможности использования термического разложения для целенаправленного изменения состава, строения и свойств ПМ как метода получения новых материалов с ценными техническими свойствами, в частности, карбонизованных термостабильных материалов. Одним из важных применений подобных материалов является, так называемая, абляционная теплозащита с помощью разрушающихся покрытий, наиболее широко применяемая в ракетной технике. Этот метод заключается в покрытии защищаемой конструкции специальным материалом, часть которого под воздействием теплового потока может разрушаться в результате процессов плавления, испарения, сублимации и химических реакций. При этом основная часть поступающего теплового потока будет расходоваться на теплоту указанных превращений. Этот метод обладает повышенной надежностью и может применяться и в тех случаях, когда использование других способов теплозащиты по тем или иным причинам затруднено. Большинство используемых в практике разрушающихся (аблирующих) покрытий (абляторов) представляет собой сложные композиции (ПКМ), в состав которых входят не менее двух веществ – наполнитель и связующее. Назначение наполнителя заключается в поглощении в процессе разрушения (абляции) как можно большего количества теплоты вследствие упомянутых выше физико-химических превращений. Назначение связующего заключается в обеспечении достаточно высоких механических и теплофизических характеристик материала в целом. Примерами таких материалов являются стеклопластики и другие ПКМ на органических и кремнийорганических полимерах; особенно распространены в практике фенолоформальдегидные и эпоксидные ПКМ. Эти материалы обладают высокими температурами деструкции и образуют летучие продукты разложения с большими затратами тепловой энергии. При абляции связующие в этих ПКМ образуют прочный коксовый остов, хорошо сопротивляющийся сдвиговым деформациям при эрозии поверхностного слоя теплозащитного материала. Конкретней выбор аблирующего материала определяется условиями его применения.

#### *4. Экспериментальная установка по лучевой модификации ПМ.*

Сегодня в лаборатории Херсонской государственной морской академии восстановлена ранее разработанная нами установка по лучевой модификации поверхностного слоя: термической и лазерной обработки поверхности ПМ.

На рис. 2 приведен общий вид экспериментальной установки для лучевой модификации ПМ.



Рисунок 2 – Общий вид экспериментальной установки

В качестве источника излучения используется лазер на углекислом газе типа ИЛГН–709 непрерывного режима работы в инфракрасной части спектра (длина излучения  $10,6 \cdot 10^{-6}$  м), выходной мощностью излучения до 100 Вт с ослабителем мощности, измерителем средней мощности излучения (в диапазоне от 1 Вт до 100 Вт) типа РСИСИ «Титан».

Луч от лазера направлен на «качающееся» зеркало. Отраженное лазерное излучение от зеркала попадает на пластину из исследуемого полимерного материала. Пластина (пленка) – образец крепится в специально сконструированном держателе, подвешенном на – тягах регулировочных. Происходит перемещение пластины в горизонтальном направлении с помощью тяг. Температура на поверхности пластины измеряется с помощью передвижной вольфрамрениевой термопары. Дополнительно измерение в центре пластины осуществляется с помощью вольфрамрениевой термопары, подключенной к электронному потенциометру.

Кроме лазерного излучения, на пластину, когда необходимо, может быть направлен радиационный П-образный поток (например, от лампы накаливания снабженной отражателем) с определенной регулируемой плотностью мощности на поверхности материала, с помощью автотрансформатора.

*5. Методика экспериментальных исследований разработанным методом.*

На установке методика экспериментальных исследований проводится следующим образом. Держатель с образцом (пленкой) помещается в заранее настроенное место, куда будет падать тепловой поток идущий от лампы (накаливания) или от лазера. Включаются источники электропитания лампы или лазера и, одновременно, источник электропитания устройства для перемещения образца. Образец (пленка) приводится в движение относительно тепмопотока или от лазера. Поскольку луч, идущий от лазера, отражается от «качающегося» зеркала, то он будет кроме продольного перемещения, вызванного движением образца, перемещаться по образцу и поперечно. Возможно одновременное воздействие на образец (пленку)

постоянного теплового потока от лампы и соответствующей мощности лазерного излучения. После лучевого воздействия через некоторое время установка выключается, и по фиксируемым показаниям цифровых приборов определяется температура поверхности образца (пленки). По электронному секундомеру фиксируется время воздействия на образец (пленку).

#### 6. Проведение эксперимента и обсуждение полученных результатов.

Для экспериментально выяснения влияния термообработки на горючесть ПМ брались композиции следующего состава системы, массовых частей: ЭД–20 (эпоксидиановая смола) – 100, ТЭА (триэтаноламин) – 15, ДБФ (дибутилфталат) – 10 (горячего отверждения); ЭД–20 + ПЭПА (полиэтиленполиамин) – холодного отверждения; ЭД–20 + МФДА (метафенилендиамин), а также состав эпоксидной смолы ДГЭР (дициглицидиловый эфир резорцина) 100 + МФДА – 15 и ДГЭР + ПЭПА.

Термообработка проводилась (на воздухе) при температуре превышающей температуру стеклования эпоксидных смол на 20 – 50 град (к примеру, температура стеклования диановой смол – 453 К, ДГЭР – дициглицидиловый эфир резорцина – 423 К).

После проведенного эксперимента для сравнительной оценки горючести отвержденных разными отвердителями эпоксидных смол, при разных условиях (горячем и холодном отверждении), применялся метод экспериментального определения кислородного индекса (КИ) по стандартной методике.

В эксперименте КИ эпоксидных композиций определялись до и после термообработки.

В таблице 1 приведены значения КИ исследованных композиций до и после термообработки.

Таблица 1 – Кислородный индекс эпоксидных систем до и после термообработки

| №<br>п/п             | Система         | КИ, % об. |
|----------------------|-----------------|-----------|
| До термообработки    |                 |           |
| 1                    | ДГЭР+МФДА(1:1)  | 28,3      |
| 2                    | ЭД–20+ТЭА       | 29,5      |
| 3                    | ДГЭР+ПЭПА       | 24,4      |
| 4                    | ЭД–20+ПЭПА(8:1) | 23,3      |
| После термообработки |                 |           |
| 1                    | ДГЭР+МФДА(1:1)  | 56,0      |
| 2                    | ЭД–20+ТЭА       | 56,9      |
| 3                    | ДГЭР+ПЭПА       | 39,8      |
| 4                    | ЭД–20+ПЭПА(8:1) | 39,1      |

Из данных таблицы 1 видно, что в большинстве случаев термообработка на воздухе в течение 7 часов при температурах 473 К приводила, приближенно, к двукратному повышению КИ материала, что

свидетельствует о высокой эффективности термической модификации поверхности ПМ.

Считаем, что причиной высоких кислородных индексов является термообработка отвержденных эпоксидных композиций, а высокие кислородные индексы свидетельствует о пониженной горючести термообработанных ПМ.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что при термической обработки поверхности ПМ в поверхностном слое происходит образование сшитых структур, снижающих скорость образования летучих продуктов газификации материала под действием теплового потока, что приводит к повышению теплостойкости и изменению пределов горения материала.

Кроме того, проведенные эксперименты показали, что термообработка эпоксиаминных композиций в воздухе в интервале 433 – 473 К в течение нескольких часов приводит к накоплению в матрице хиноидных структур, проявляющихся как хромофоры (наблюдались глубокие изменения окраски материала в процессе модификации). Хиноидная теория цветности объясняет появление окраски перегруппировкой ароматического (бензоидного) ядра в хиноидное.

Накопление хиноидных структур в процессе термообработки происходило преимущественно в поверхностной слое материала, а не в его объеме. Следовательно, термообработку ПМ следует считать не объемной, а поверхностной модификацией.

#### **Выводы.**

1. Термообработка отвержденных эпоксидных композиций стала причиной высоких кислородных индексов, а высокие кислородные индексы свидетельствуют о пониженной горючести термообработанных ПМ.

2. Исследования по термической обработке поверхности ПМ показали, что на пленочных образцах эпоксидных композиций появляется изменение окраски материала, в системе появляется сильный хромофор. Накопление хиноидных структур в процессе термообработки происходило преимущественно в поверхностной слое материала, а не в его объеме. Следовательно, термообработку ПМ следует считать не объемной, а поверхностной модификацией.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Повстугар В. И. Строение и свойства поверхности полимерных материалов / В. И. Повстугар, В. И. Кодолов, С. С. Михайлова. – М. : Химия, 1988. – 192 с.
2. Методы анализа поверхностей / [Под ред. А. Зандерны] – М. : Мир, 1979. – 582 с.
3. Булгаков В. К. Моделирование горения полимерных материалов / В. К. Булгаков, В. И. Кодолов, А. М. Липанов. – М.: Химия, 1990. – 238 с.



4. Липанов А. М. Problems of the creation of nanoreactors for the synthesis of metallicnanoparticles in carbon shells : Тез. докл. научн.-техн. конф. с Междунар. участием. [Полимерные материалы со сниженной горючестью] / А. М. Липанов, В. И. Кодолов, К. И. Ларионов. – Плевен (НРБ), 1989. – С. 12-13.

5. Асеева Р. М. Горение полимерных материалов / Р. М. Асеева, Г. Е. Заиков. – М. : Наука, 1981. – 280 с.

**Селіванов С.Є., Тригуб С.М.** ІНСТРУМЕНТАЛЬНІ ФІЗИЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ РОЛІ ПОВЕРХНІ В ПРОЦЕСАХ, ЯКІ ПРОТІКАЮТЬ ПРИ ВПЛИВІ ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР НА ПОЛІМЕРНИЙ МАТЕРІАЛ

*У роботі розглянуті інструментальні фізичні методи дослідження поверхні полімерних матеріалів (ПМ), сумарний результат досліджень поверхневого шару ПМ, які проведені різними інструментальними фізичними методами, роль поверхневого шару в абляційному теплозахисту й у зниженні горючості ПМ; представлена розроблена експериментальна установка по фізичній модифікації ПМ і методика експериментальних досліджень на розробленій установці; проведення експерименту з термічної обробки поверхні ПМ на установці й обговорення отриманих результатів.*

*Ключові слова: полімерний матеріал, фізична модифікація, абляція.*

**Selivanov S.E., Trigub S.N.** INSTRUMENTAL PHYSICAL METHODS OF STUDYING THE ROLE OF SURFACE IN THE PROCESSES OCCURRING AT HIGH TEMPERATURES AFFECT ON POLYMERIC MATERIAL

*Instrumental physical methods of researching the surface of polymeric materials (PM), overall result of researching the surface layer PM done by various instrumental physical methods, role of the surface layer in ablation heat shielding and in decreasing combustibility of PM are examined; the developed experimental setting for physical modification of PM and methodology of experimental researches at the developed setting as well as the conducted experiment in thermal treatment of PM surface at the setting and discussion of the received results are presented.*

*Keywords: polymeric material, physical modification, ablation.*

## ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ ДУБЛЬОВАНИХ ДОСЛІДІВ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ МІЦНОСТІ ЕПОКСИКОМПОЗИТНОГО З'ЄДНАННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

**Скирденко О.І.,**

*Херсонський державний університет,*

**Михайлик В.Д.,**

*Херсонський національний технічний університет,*

**Бень А.П., Ісаєв Є.О.,**

*Херсонська державна морська академія*

*У роботі методом математичного планування експерименту встановлено закономірності й визначено оптимальну кількість дослідів для дослідження фізико-механічних властивостей епоксикомполімерів. Показано, що при дослідженні адгезійних властивостей необхідно проводити не менше 10 дослідів на одну концентрацію наповнювача.*

*Ключові слова: математичне планування експерименту, епоксидний композит, адгезія.*

**Постановка проблеми.** Застосування композитних матеріалів (КМ) на епоксидній основі у різних галузях промисловості і машинобудування зумовлено широким спектром поліпшених властивостей таких композитів, зокрема – фізико-механічних, теплофізичних і діелектричних, що забезпечує підвищення їх експлуатаційних характеристик під впливом агресивних середовищ, знакозмінних навантажень та значного градієнта температур [1]. Відомо, що експлуатаційні характеристики КМ визначаються взаємодією на межі поділу фаз «олігомер – дисперсний наповнювач» у процесі структуроутворення епоксикомполімерів, яка, у свою чергу, визначає критичний вміст введенного у полімер дисперсного наповнювача [2, 3].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При розробленні систем з керованими властивостями необхідно раціонально поєднувати властивості матриці, інгредієнтів систем та технологічні режими формування епоксикомполімерних матеріалів. При проведенні експериментального дослідження міцності з'єднання деталей за допомогою епоксикомполімерів з використанням однофакторного плану, в першу чергу, необхідно визначити те мінімальне число дослідів, яке вистачить для найбільш точної і правильної оцінки отриманого результату. Це обумовлено як складністю досліджень, так і дороговизною складових епоксидного композиту [4, 5].

**Мета роботи** – встановити оптимальні режими формування і вміст наповнювача у епоксикомполімерах з поліпшеними властивостями.

**Обговорення експериментальних результатів.** Оцінку кількості експериментів, що дублюються, можливо отримати використовуючи загально прийняту методику на основі коефіцієнта варіації  $v$ , який визначається з співвідношення:

$$\nu = \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (1)$$

де  $\sigma$  – емпіричне середньоквадратичне відхилення величини, що досліджується;

$\bar{x}$  – середнє значення досліджуваної величини.

Вибираючи відповідне значення рівня ймовірності  $P$  і відносну похибку  $k$ , можливо визначити мінімально допустимий коефіцієнт варіації  $\nu_k$ , який відповідає числу проведених дубльованих дослідів  $m$ :

$$\nu_{\bar{e}} = \frac{k\sqrt{m}}{t} \quad (2)$$

де  $t$  – критерій Стюдента, який визначається за табл. 1 залежно від рівня ймовірності  $P$  та числа ступенів вільності  $f=m-1$

Таблиця 1 – Критерій Стюдента

| Число ступенів вільності, $f$ | Рівень ймовірності, $P$ |        |        | Число ступенів вільності, $f$ | Рівень ймовірності, $P$ |       |       |
|-------------------------------|-------------------------|--------|--------|-------------------------------|-------------------------|-------|-------|
|                               | 0,90                    | 0,95   | 0,99   |                               | 0,90                    | 0,95  | 0,99  |
| 1                             | 6,314                   | 12,706 | 63,657 | 14                            | 1,761                   | 2,145 | 2,977 |
| 2                             | 7,920                   | 4,303  | 9,925  | 15                            | 1,754                   | 2Д32  | 2,949 |
| 3                             | 2,353                   | 3,182  | 5,841  | 16                            | 1,746                   | 2,120 | 2,921 |
| 4                             | 2,132                   | 2,776  | 4,604  | 17                            | 1,740                   | 2,110 | 2,900 |
| 5                             | 2,015                   | 2,571  | 4,032  | 18                            | 1,734                   | 2,101 | 2,878 |
| 6                             | 1,943                   | 2,447  | 3,707  | 19                            | 1,729                   | 2,094 | 2,856 |
| 7                             | 1,895                   | 2,653  | 3,499  | 20                            | 1,725                   | 2,086 | 2,845 |
| 8                             | 1,860                   | 2,306  | 3,355  | 25                            | 1,711                   | 2,064 | 2,802 |
| 9                             | 1,833                   | 2,262  | 3,250  | 30                            | 1,697                   | 2,042 | 2,750 |
| 10                            | 1,812                   | 2,228  | 3,169  | 35                            | 1,690                   | 2,031 | 2,725 |
| 11                            | 1,797                   | 2,203  | 3,112  | 40                            | 1,680                   | 2,020 | 2,700 |
| 12                            | 1,782                   | 2,179  | 3,055  | 60                            | 1,670                   | 2,000 | 2,660 |
| 13                            | 1,772                   | 2,162  | 3,016  | 120                           | 1,657                   | 1,980 | 2,620 |

Зазначена методика передбачає, що достатня кількість дослідів, які дублюються, буде лише в тому випадку, коли витримана умова:

$$\nu \leq \nu_k \quad (3)$$

Для визначення необхідної кількості повторних дубльованих дослідів при з'ясуванні впливу на міцність епоксидного з'єднання деталей з феромагнітним наповнювачем, яке було модифіковане електромагнітними хвилями частотою 1МГц від спеціального генератора, проведене

дослідження в перспективі дасть змогу встановити оптимальні параметри електромагнітного випромінювання досліджуваних зразків з'єднання деталей епоксикомпозитом. Для вирішення поставленої задачі було попередньо проведено 7 серій досліджень. Проводилися дубльовані досліди з епоксидною смолою ЕД-20 без наповнювача, з наповнювачем, а також з витримкою зразків, підданих електромагнітному опромінюванню упродовж: 30 с., 1 хв., 3 хв., 5 хв. і 10 хв. Як приклад, проведемо відповідну математичну обробку зразків епоксикомпозитів з феромагнітним наповнювачем (20 % від маси матриці епоксикомпозиту), що піддавались дії електромагнітного опромінювання частотою 1 МГц з потужністю генератора 16 Вт.

Визначимо середнє значення  $\bar{x}$  досліджуваної величини – силу розриву зразків з'єднаних зазначеним епоксикомпозитом:

$$\bar{\tilde{o}} = \frac{\sum_{i=1}^m x_i}{m}$$

де  $x_i$  – поточне значення досліджуваної величини (в нашому випадку первинно було проведено 5 дубльованих дослідів, тобто  $m=5$ ), а саме  $x_1=350$  кг,  $x_2=640$  кг,  $x_3=240$  кг,  $x_4=378$  кг,  $x_5=445$  кг. Підставимо ці значення в формулу:

$$\bar{\tilde{o}} = \frac{\sum_{i=1}^m x_i}{m} = \frac{350 + 640 + 240 + 378 + 445}{5} = 410,6 \text{ кг}$$

Далі визначаємо емпіричне середньоквадратичне відхилення  $\sigma$ :

$$\begin{aligned} \sigma &= \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{m}} = \\ &= \sqrt{\frac{(410,6 - 350)^2 + (410,6 - 640)^2 + (410,6 - 240)^2 + (410,6 - 378)^2 + (410,6 - 445)^2}{5}} = \\ &= 83,99 \end{aligned}$$

Використовуючи знайдені значення  $\bar{x}$  і  $\sigma$  визначаємо коефіцієнт варіації  $\nu$  за значеннями експериментальних досліджень:

$$\nu = \frac{\sigma}{\bar{x}} = \frac{83,99}{410,6} = 0,204 \text{ кг}$$

Задавши значеннями рівня імовірності  $P = 0,95$  і відносною похибкою дослідження  $k = 0,2$  (при дослідженні властивостей матеріалів, обробки матеріалів різанням і ряду фізичних явищ можна приймати значення  $P = 0,90$ ;  $P = 0,95$ ;  $P = 0,99$  і  $k$  приймати відповідно  $k = 0,15$ ;  $k = 0,20$ ;

$k = 0,25$ ) визначимо значення  $v_k(v_{0,2})$ , заздалегідь знайшовши по табл. 1 значення критерію Стьюдента ( $t = 2,776$ ).

$$v_{0,2} = \frac{k\sqrt{m}}{t} = \frac{0,2\sqrt{5}}{2,776} = 0,161$$

Аналізуючи отриманий результат бачимо, що умова (3) не виконується, так як  $0,204 < 0,161$ .

Отже, п'ять проведених дослідів, що дублюються для проведення зазначеного дослідження, не є достатніми для правильної оцінки результатів по визначенню досліджуваної величини.

У разі недотримання умови (3), необхідно збільшити число дослідів, що дублюються. Збільшимо число дослідів –  $m = 10$ . Для цього додатково проведемо ще п'ять повторних досліджень, витримуючи всі параметри як і в попередньому дослідженні. Отримуємо додатково:  $x_6 = 400$  кг,  $x_7 = 405$  кг,  $x_8 = 387$  кг,  $x_9 = 416$  кг,  $x_{10} = 436$  кг. При цьому середнє значення десяти досліджень буде  $\bar{x} = 409,7$  кг, а середньоквадратичне відхилення  $\sigma$  досліджуваної величини, яке було визначено за вищезазначеною методикою  $\sigma = 94,34$ . Тоді:

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}} = \frac{94,34}{409,7} = 0,230.$$

Проведемо визначення мінімально допустимого коефіцієнту варіації для розширеного дослідження ( $m = 10$ ), але прийнявши рівень вірогідності  $P = 0,9$ :

$$v_e = \frac{k\sqrt{m}}{t} = \frac{0,15\sqrt{10}}{1,833} = 0,258.$$

Із розрахунків видно, що умова виконується так, як  $v \leq v_k$ , тобто  $0,23 < 0,258$ .

В кінцевому варіанті перевіримо, чи достатньо буде 10 дубльованих дослідів, якщо прийняти рівень вірогідності  $P = 0,99$ .

$$v_e = \frac{k\sqrt{m}}{t} = \frac{0,25\sqrt{10}}{3,25} = 0,24.$$

Проведені попередні дослідження та розрахунки показують, що 10 дубльованих дослідів достатньо, щоб отримати досліджуваний параметр з вірогідністю  $P = 0,99$ .

Розглянутий метод визначення необхідного числа дослідів, що дублюються, доцільно застосовувати, коли закон розподілу випадкових величин підкоряється нормальному, тобто характеризується кривою Гаусса.

У ряді випадків, при проведенні досліджень не можна передбачити закон розподілу величин, що вимірюються; він може відрізнятися від нормального або, взагалі, бути невідомим. При такому положенні доцільно

провести оцінку істотності розсіювання за допомогою критерію Пірсона  $\chi^2$ , так як він є не параметричним і не залежить від закону розсіювання.

Розрахунок критерію  $\chi^2$  виконується за формулою:

$$\tilde{\sigma}^2 = N_1 \cdot N_2 \cdot \sum_{i=1}^m \frac{1}{m'_i + m''_i} \left( \frac{m'_i}{N_1} + \frac{m''_i}{N_2} \right), \quad (4)$$

де  $N_1$  і  $N_2$  – відповідно об'єми першої і другої вибірок,  $n$  – число інтервалів у вибірках,  $m'_i$  і  $m''_i$  – число частот в кожному інтервалі для першої і другої вибірок.

За відповідними таблицями знаходять величини  $P(\chi^2)$ , знаючи при цьому значення критерію Пірсона  $\chi^2$  та число степенів вільності  $f = n-1$ .

Вважають, що якщо вибірки  $N_1$  і  $N_2$  являють собою вибірки однієї генеральної сукупності, то значення  $P(\chi^2) > 0,05$  (або 0,01).

**Висновки.** На основі наведеного вище можна стверджувати, що оптимальна кількість дослідів для визначення фізико-механічних властивостей епоксикомпозитів, які наведено у даній роботі, становить не менше 10 одиниць на одну концентрацію наповнювача. У подальшому заплановано дослідити вплив природи на наповнювач і режими обробки композицій енергетичним полем на теплофізичні властивості матеріалів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Букетов А. В. Фізико-хімічні процеси при формуванні епоксикомпозитних матеріалів / А. В. Букетов, П. Д. Стухляк, Є. М. Кальба – Тернопіль : Збруч, 2005. – 182 с.

2. Букетов А. В. Властивості модифікованих ультразвуком епоксипластів: монографія / А. В. Букетов, П. Д. Стухляк, І. В. Чихіра. – Тернопіль : Крок, 2011. – 201 с.

3. Стухляк П. Д. Епоксидно-діанові композити: технологія формування, фізико-механічні і теплофізичні властивості : монографія / П. Д. Стухляк, А. В. Букетов, О. І. Редько – Тернопіль : Крок, 2011. – 165 с.

1. Налимов В. Б. Статистические методы планирования экспериментальных данных / В. Б. Налимов, Н. А. Чернов. – М. : Наука, 1965. – 340 с.

2. Тихомиров В. Б. Планирование и анализ эксперимента (при проведении исследований легкой и текстильной промышленности) / В. Б. Тихомиров. – М. : Легкая индустрия, 1974. – 167 с.

**Скирденко О.И., Михайлик В.Д., Бень А.П., Исаев Е.А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ДУБЛИРОВАННЫХ ОПЫТОВ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ПРОЧНОСТИ ЭПОКСИКОМПОЗИТНОГО СОЕДИНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН**

*В работе методом математического планирования эксперимента установлены закономерности и определено оптимальное количество опытов для исследования физико-механических свойств эпоксикомпозитив. Показано, что при исследовании адгезионных свойств необходимо проводить не менее 10 опытов на одну концентрацию наполнителя.*

*Ключевые слова: математическое планирование эксперимента, эпоксидный композит, адгезия.*

**Skirdenko O.I., Mikhailik V.D., Ben A.P., Isaev E.A. DETERMINATION OF THE NUMBER OF DUPLICATE EXPERIMENTS WHILE RESEARCHING STRENGTH OF EPOXY COMPOSITE ASSEMBLY OF MACHINE PARTS**

*Using the method of mathematical planning of experiment, regularities are determined and the optimum number of experiments to study the physical and mechanical properties epoxy composites are defined. It is shown that research of adhesive properties should take no less than 10 experiments per one filler concentration.*

*Keywords: mathematical planning of experiment, epoxy composite, adhesion.*

## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.37

**УСТРОЙСТВО МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ  
МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ С АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ  
ВЫБОРОМ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ**

*Бень А.П., Малыгин Б.В., Врублевский Р.Е.,  
Херсонская государственная морская академия*

*В статье определены особенности процесса магнитно-импульсной обработки (МИО) изделия. Предложена система управления режимами МИО изделий. Применение предложенной системы позволяет автоматизировать процесс МИО изделий разной геометрической формы и массы.*

*Ключевые слова: магнитно-импульсная обработка, интеллектуальная система управления, режимы резания.*

**Введение.** Самым простым и оперативным способом упрочнения изделий является магнитно-импульсная обработка (МИО). Магнетизмом человечество интересуется более 300 лет. Сущность МИО заключается в избирательной концентрации материалом изделия электромагнитной энергии внешнего магнитного потока. При помощи МИО можно устранить 70...95% концентраций внутренних, поверхностных и монтажных напряжений и повысить надежность и ресурс работы механизмов судов не менее чем на 30-50%. Результаты упрочнения контролируются по изменению интегральных магнитных характеристик изделия – магнитной проницаемости, магнитного сопротивления, спектра магнитного рассеивания и др.

**Актуальность.** Исследованием применения прикладного магнетизма для изменения свойств изделий и расширения применения магнитной обработки в технологии машиностроения, особенно при металлообработке, занимались многие авторы. Вопросы использования электромагнитных явлений для интенсификации процесса резания металлов исследовались в работах Иванова В. Ю. [3], Галея М. Т. [2] и др. Например, в работах Алексеева А. В. и Бороухина Ю. А. изучено влияние на износ лезвийного инструмента постоянного магнитного, импульсного электромагнитного и электростатического поля. Постников С. Н., суммируя результаты исследований в области магнитной обработки режущего инструмента, указывает на необходимость магнитно-импульсной обработки (МИО) как наиболее прогрессивного способа ускоренного повышения стойкости инструмента. Отмечается технологическая простота метода и практически отсутствие дополнительных затрат. Автор [4] также отмечает необходимость глубокой и систематической разработки данного метода с целью расширения промышленного применения магнитно-импульсного упрочнения.

Барон Ю. М. изучил возможности МИО при магнитном упрочнении широкой номенклатуры режущего инструмента (более 100 наименований) [1]. Была показана эффективность метода при обработке не только



ферромагнитных сплавов, но также и цветных металлов. Было установлено, что стойкость намагниченного инструмента при прямой подаче выше, нежели при обратной подаче. Причем, для достижения оптимальной стойкости инструмента (при обратной подаче) многократно требовалось увеличить скорость охлаждения зоны резания, в результате чего расход смазывающе-охлаждаемой жидкости (СОЖ) возрастал в 2...5 раза.

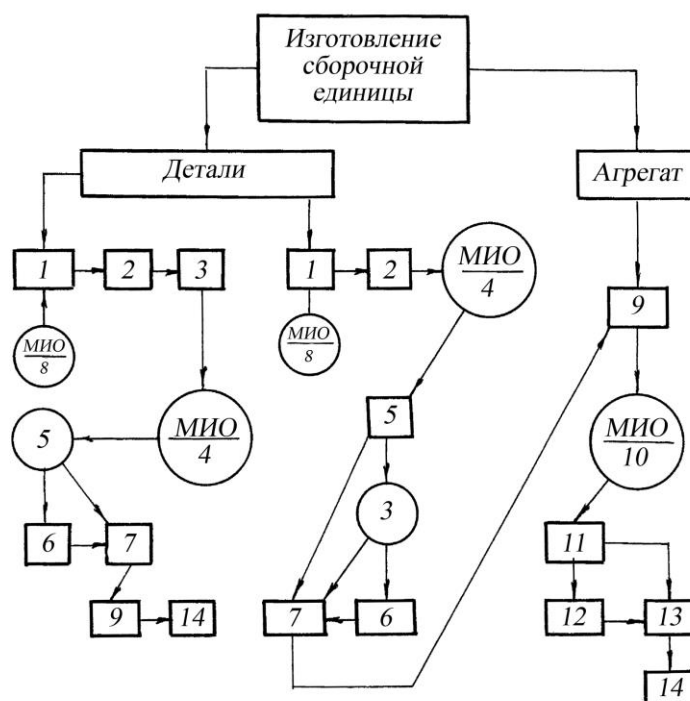


Рисунок 1 – Место расположения установок МИО при изготовлении механизмов в машино- и судостроении:

1 – механическая обработка, 6, 12 – размагничивание, 2 – термическая, 7 – готовые детали, агрегаты, 3 – отделочная работа, 8, 14 – упрочненный инструмент, 4, 10 – МИО, 9 – сборка, 5, 11 – выдержка, 13 – стендовые испытания

Для обработки металлических изделий в машино- судостроении наилучшие результаты от использования МИО могут быть получены в случае использования технологического процесса, представленного на рисунке 1, где показаны места возможного размещения размагничивающих устройств, необходимых для устранения остаточной напряженности магнитного поля с предварительно упрочненных изделий (если она нежелательна при работе механизма). Установки МИО необходимо установить (предусмотреть в цикле):

- 1) на участках термообработки деталей (например, для замены отжига, отпуска, нормализации и т.п.);
- 2) после финишной обработки изделий;
- 3) в конце сборочных линий;
- 4) на участках по изготовлению металлорежущего инструмента и штамповочной оснастки основных технологических цехов.

При таком расположении установок МИО можно не только упрочнить обрабатывающий инструмент и детали машин, но и повысить на 25...40% надежность и ресурс работы механизма. При этом следует учитывать, что для каждого из видов обработки изделия необходимо использовать различные режимы МИО, зависящие от материала, его геометрической формы и массы. Решение выбора оптимальных режимов обработки требует создания интеллектуальной системы управления МИО, созданию которой и посвящена рассматриваемая статья.

**Целью исследования** является внедрение системы управления режимами резания в процесс магнитно-импульсной обработки.

**Основная часть.** В литературе практически отсутствует информация по математическому моделированию спонтанного намагничивания инструмента и деталей машин, с целью управления упрочнением изделий. Сложность моделирования процесса МИО заключается в том, что при магнитном упрочнении одновременно может изменяться до 20 параметров. Указанные сложности не только затрудняют составление системы дифференциальных уравнений (или системы нелинейных уравнений), но и сдерживают работу по развитию методики моделирования и алгоритмизации МИО.

Для расчета оптимальных параметров магнитного упрочнения применялась модель стохастического самобаланса энергии в веществе, при которой изделие не претерпевает перемагничивания. Величина предельного намагничивания материала при магнитоупрочнении не превышала 0,3...0,8 величины магнитного насыщения конкретной стали. Такая постановка задачи позволяет для проработки математической модели применить компьютерную оптимизацию. На данном этапе развития импульсной техники этого вполне достаточно для создания простейшей программы в сфере прикладного магнетизма. Модель процесса строилась при условии энергетического завершения микрогистерезисных процессов в стали. Кроме того, при выборе исходных данных принималось следующее:

1) при МИО импульсное поглощение энергии веществом "работает" по схеме синфазных затухающих колебаний:

$$W \rightarrow W_1 \rightarrow W_2 \rightarrow W_3 \dots \rightarrow W_n;$$

$$W_n = const; \Delta W_1 = 0,$$

где  $W_1, W_2, \dots, W_n$  – порции электромагнитной энергии, поглощенные заготовкой за каждый импульс 1, 2, 3...n.

В связи с тем, что процесс улучшения свойств материала зависит от магнитной индукции  $B_1, B_2, B_3 \dots B$ , то функция  $\psi = \varphi(n)$  имеет конечную

величину  $W' = const, \frac{dW}{dn} = 0$

2) обратная связь при стабилизации механических свойств изделия вследствие намагничивания определяется (автоматически) компьютером

установки после первого импульса;

$\tau \leq 1c$ ;  $W_1 = W_{\max}$  – что определяется постановкой задачи, требованием технологии и решается при помощи конструкции соленоида;

3) декремент затухания импульсов зависит от массы заготовки ( $M$ ) и магнитных свойств стали ( $\mu_c$ );

4) после МИО микрогистерезисные процессы в стали завершаются в течение 10...12 часов, т.е.  $\nu' = \frac{W}{M} \approx 0$ ;

5) избыточная энергия в изделии контролируется по скорости изменения магнитного сопротивления, а ее устранение считается оптимальным при достижении постоянной величины  $\Delta\mu/V_\mu = const$ ;

6) потери магнитной энергии в соленоиде не превышают 50 %;

7) решение задачи и управление процессом ведется компьютером (по заранее выбранной программе);

В лаборатории ресурсосберегающих технологий Херсонской государственной морской академии авторами статьи была разработана установка «Магнитрон» с интеллектуальной системой управления процессом МИО, общая схема которой представлена на рисунке 2.

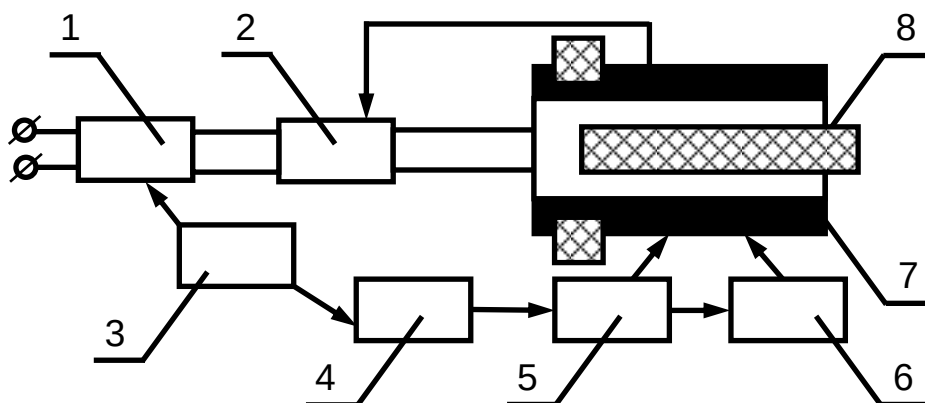


Рисунок 2 – Блок-схема установки «Магнитрон»

1 – силовой блок; 5 – система размагничивания; 2 – блок управления обработкой; 6 – следящая и преобразующая система; 3 – система выбора режимов; 7 – соленоид; 4 – блок контроля свойств материала изделий; 8 – изделие

Важным отличием представленной системы МИО от существующих образцов является использование интеллектуальной системы (ИС) управления рабочими параметрами МИО. Блок управления рабочими параметрами МИО осуществляет выбор оптимальных режимов обработки изделия, используя данные, хранящиеся в базе данных системы как результаты предыдущих обработок изделий различной конфигурации и массы. Исходными данными для выбора режимов являются: стойкость изделия ( $T_3$ ), магнитное сопротивление изделия ( $\mu$ ) и масса изделия ( $M$ ).

Выходными (управляющими) являются: энергия импульсов ( $W_{ен}$ ), напряженность магнитного поля ( $H$ ), мощность ( $N$ ). В качестве примера рассмотрим схему использования многоугольника связи массы стальной детали ( $M$ ) (рисунок 3), ее магнитного сопротивления ( $\mu$ ), необходимой для упрочнения электромагнитной энергии ( $W_{ен}$ ) и напряженности поля ( $H$ ) для выбора мощности установки и гарантирующей проектную стойкость изделия ( $T_3$ ). Полигоны А, В, С построены заранее для сталей 40ХН, 60С2, Р6М5. На рисунке 3 показана упрощенная схема взаимосвязи указанных выше параметров. Рассмотрим пример упрочнения стальной детали массой 6,3 кг и магнитным сопротивлением 92 см / с<sup>2</sup>. Марка стали 40ХН, а планируемая стойкость 140%. ИС выполняет схему последовательных операций (точки 1...12) и определяет мощность установки, необходимую для увеличения ресурса детали массой 6,3 кг на 40%.

ИС определяет  $H$ ,  $W$ ,  $N$ , а также тепловые потери (площадь  $Q_T$  рис. 3) и величину рассеивания в материале электромагнитной энергии (площадь  $S_P$ ). На схеме стрелками показана последовательность операций при определении параметров, позволяющих повысить долговечность детали массой 6,3 кг из стали 40ХН с магнитным сопротивлением около 92,0 см / с<sup>2</sup> в 1,4 раза. Используя массивы данных в соответствии с кривыми полигонов А, В, С рисунок 3, которые заранее введены в программу, ИС находит взаимосвязь указанных параметров для деталей из разного материала (например, стали 45, 60С2, Р6М5).

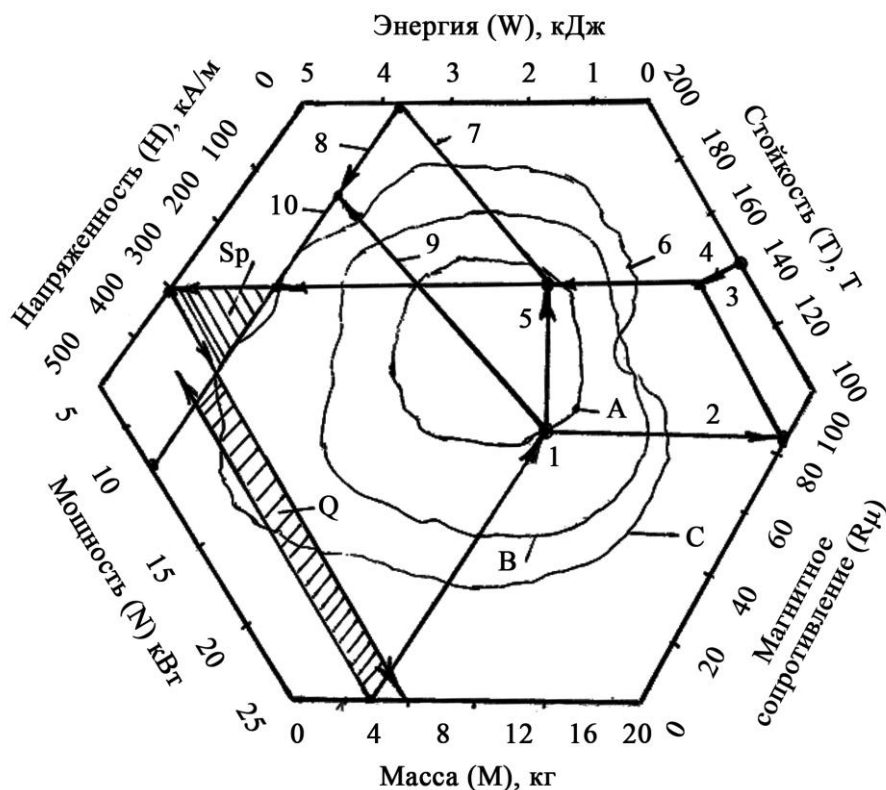


Рисунок 3 – Область оптимальных параметров обработки деталей различной массы из стали (материал: А – сталь 40ХН, В – сталь 60С2, С – быстрорежущая сталь Р6М5)

Проанализировав все данные, ИС устанавливает оптимальные режимы обработки, необходимые для упрочнения детали; необходимый источник электромагнитной энергии, которую соленоид сконцентрирует на деталь заданной массой.

**Вывод.** Сравнение результатов, полученных при традиционном МИО стальных изделий, с результатами, полученными в случае использования ИС управления процессом МИО показало, что технические характеристики инструмента улучшаются не менее чем на 30%. Перспективным направлением дальнейших исследований в области создания ИС управления МИО является разработка методов и алгоритмов многостадийной МИО, учитывающей особенности геометрической формы и материалов конкретных изделий.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Барон Ю. М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов / Ю. М. Барон – Л. : Машиностроение, 1986. – 172 с.
3. Галей М. Т. Изучение влияния магнитного поля на стойкость быстрорежущего инструмента / М. Т. Галей, В. С. Ашихнин // Станки и инструмент. – 1981. – № 6. – С. 31-34.
4. Иванов В. Ю. Обоснование параметров магнитно-импульсного способа разупрочнения коренных золотосодержащих руд при их рудоподготовке: дис. ... кандидата технических наук : 25.00.20 / Иванов Виталий Юрьевич; – Москва, 2009. – 148 с.
5. V. P. Bulatov. The effect of magnetic pulse treatment on the triboengineering features of the plasma titanium nitride coating / V. P. Bulatov, Yu. P. Kozyrev, V. G. Kuznetsov, A. I. Oreshenkov, S. I. Rybnikov, E. B. Sedakova // Трение и износ. – 2000. – Т.2. – С. 640-643.

**Бень А. П., Малигін Б.В., Врублевський Р.Є.** ПРИЛАД МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНОЇ ОБРОБКИ МЕТАЛЕВИХ ВИРОБІВ З АВТОМАТИЗОВАНИМ ВИБОРОМ РЕЖИМІВ ОБРОБКИ

*У статті визначені особливості процесу магнітно-імпульсної обробки (МІО) виробів. Запропоновано систему управління режимами МІО виробів. Застосування запропонованої системи дозволить автоматизувати процес МІО виробів різної геометричної форми та маси.*

*Ключові слова: магнітно-імпульсна обробка, інтелектуальна система управління, режими різання.*

**Ben A.P., Malygin B.V., Vrublevskiy R.E.** DEVICE FOR MAGNETIC-PULSE TREATMENT OF METAL PRODUCTS WITH AUTOMATED SELECTION OF PROCESSING MODES

*Peculiarities of the process of magnetic-pulse treatment (MPT) of products are defined. The mode control system for MPT products is proposed. Application of the proposed system will allow to automate the process of MPT products of varying geometric shape and weight.*

*Keywords: magnetic-pulse processing, intellectual control system, cutting modes.*

## ИНТЕРНЕТ-МОНИТОРИНГ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ТРАНСПОРТНОГО СУДНА

*Варбанец Р.А., Ивановский В.Г., Кучеренко Ю.Н., Головань А.И.,  
Одесский национальный морской университет*

*Представлены основные характеристики системы интернет-мониторинга энергетической установки транспортного судна.*

*Ключевые слова: интернет-мониторинг, расход топлива.*

**Актуальность** проблемы on-line мониторинга параметров энергетической установки (СЭУ) и контроля уровня технической эксплуатации судна вызвана следующими фактами: общей тенденцией на повышение мировых цен на легкое и тяжелое морское топливо; жесткими условиями конкуренции в пост-кризисный период; ужесточающимися требованиями ИМО в части вредных выбросов в окружающую среду (МАРПОЛ 73/78, Пр.IV) [1] и.т.д.

В настоящее время проблема on-line мониторинга СЭУ решается очень небольшим количеством судоходных компаний. Это является следствием сложности получения эксплуатационных характеристик основных энергетических объектов СЭУ в реальном времени, а также высокой стоимости передачи этих данных на стационарный сервер. Большинство судоходных компаний довольствуются общими данными АИС по судну, полученными на сайте [www.marinetraffic.com](http://www.marinetraffic.com).

Лаборатория диагностики судовых дизелей DEPAS lab. ([www.depas.od.ua](http://www.depas.od.ua)) разработала систему интернет-мониторинга энергетической установки (СЭУ) морских и речных транспортных судов – систему мониторинга DFM ([www.dfm.od.ua](http://www.dfm.od.ua), гостевые реквизиты: имя: guest, пароль: guest, рис. 1). В базовые задачи системы входит on-line мониторинг следующих основных объектов СЭУ: главных двигателей (2-х), вспомогательных двигателей (до 4-х дизельгенераторов) и судового котла. В системе также предусмотрено подключение дополнительных объектов СЭУ.

Система базируется на современных технологиях определения эффективных параметров СЭУ в процессе эксплуатации судна [2, 3]. Определение в эксплуатации реальных значений эффективной мощности главных и вспомогательных двигателей позволяет максимально корректно определять фактический расход топлива/масла, а также контролировать техническое состояние дизелей (рис. 2). Такая информация позволяет с одной стороны производить тщательный контроль расхода ГСМ, а с другой стороны позволяет поддерживать нормальное техническое состояние основных объектов СЭУ силами технического персонала судна.

Известно, что существует техническая проблема определения величины расхода топлива в эксплуатации с помощью разного рода расходомеров. Практически невозможно объяснить колебания расхода в широких диапазонах, не учитывая внешние условия эксплуатации судна,

фактор обрастания корпуса и состояние двигателей. Сложность установки расходомеров объясняется, также тем, что на большинстве дизелей существует обратная отсечная магистраль, а значит нужно устанавливать два(!) дорогостоящих расходомера, работа которых происходит в среде со значительными гидродинамическими пульсациями. Кроме того, существуют неконтролируемые протечки и субъективный человеческий фактор, что в совокупности сводит на нет все усилия по непосредственному контролю расхода топлива в эксплуатации.

[www.dfm.od.ua/fm/index\\_v3.py](http://www.dfm.od.ua/fm/index_v3.py)



Рисунок 1 – Отображение маршрута судна по карте Google maps

В некоторых on-line системах слежения за судами практикуется оценка расхода топлива с помощью расчетных моделей методами вычислительной гидродинамики. Не вдаваясь в технические подробности и не акцентируя внимание на погрешности гидродинамических моделей можно отметить, что без учета внешних факторов они работают весьма приблизительно. Например, при плавании по реке с переменным форватером, с переменной глубиной и течением, оперируя только скоростью судна по gps, полученной с интервалами времени в десятки минут, нельзя точно оценить требуемую мощность СЭУ и тем более расход топлива. Подобные системы on-line мониторинга носят не инженерный, а, скорее, административный характер.

Очевидное решение перечисленных проблем заключается в максимально корректной оценке эффективных показателей СЭУ, в первую очередь – мощности и моменте на гребном валу главных двигателей (см. рис. 3). В этом случае, влияние всех внешних факторов (погоды, осадки, глубины под килем, обрастания, течения, повреждения или дефектов винторулевого комплекса и т.д) учитываются по эффективной мощности на валу. В конечном итоге, именно удельный эффективный расход топлива  $b_e [g/kWt * h]$  является паспортной величиной двигателя и может быть принят официальными инстанциями в качестве независимого экспертного критерия в спорных ситуациях [4]. Изменение  $b_e$  в зависимости от технического состояния двигателей носит предсказуемый характер и может быть определено при теплотехнических испытаниях [5].

На определении эффективных показателей СЭУ базируется система DFM. Разработчиками потрачены значительные усилия для того, чтобы добиться максимально корректной оценки эффективной мощности судовых дизелей. Параллельно с определением мощности в кВт (или э.л.с) производится высокоточный контроль частоты вращения двигателей и оценка фактического спектра крутильных колебаний, для выявления опасных режимов работы.

|                                                                |                                     |                                                                                                                                                                                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Отчетный период, сутки:                                        | 2011-03-23 00:00 – 2011-03-24 23:59 | Стоянка: 23-03-2011 00:02 --- 23-03-2011 07:05<br>Ход: 23-03-2011 07:17 --- 23-03-2011 12:56<br>Ход: 23-03-2011 13:20 --- 23-03-2011 13:32<br>Ход: 23-03-2011 13:59 --- 24-03-2011 11:59<br><br>* ход – скорость по GPS больше 1 узла (1,852 км/ч) |
| Пройденный путь, мили (км):                                    | 193 (357)                           |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Средняя скорость по GPS, узлы (км/ч):                          | 6.9 (12.7)                          |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Частота КВ ГД1 (левый) / ГД2 (правый), мин <sup>-1</sup> :     | 271.0 / 271.0                       |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Не ГД1 (левый) / ГД2 (правый), э.л.с.:                         | 434.0 / 443.8                       |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Не ГД сумм, э.л.с.:                                            | 877.8                               |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Время работы ГД1 (левый) / ГД2 (правый), часы:                 | 37.7 / 37.5                         |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Расход топлива ГД1 (левый) / ГД2 (правый), кг:                 | 2571.0 / 2612.0                     |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Расход масла ГД1 (левый) / ГД2 (правый), кг:                   | 23.0 / 23.0                         |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Нагрузка ДГ1 / ДГ2 / ДГ3, кВт:                                 | 92.3 / 38.1 / 0.0                   |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Время работы ДГ1 / ДГ2 / ДГ3, час:                             | 0.1 / 48.0 / 0.0                    |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Расход топлива ДГ1 / ДГ2 / ДГ3, кг:                            | 3.0 / 556.0 / 0.0                   |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Расход масла ДГ1 / ДГ2 / ДГ3, кг:                              | 0.0 / 4.0 / 0.0                     |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Время работы котла, час:                                       | 14.9                                |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Расход топлива котлом, кг:                                     | 745.0                               |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Суммарный расход топлива за отчетный период ГД+Котел / ДГ, кг: | 5928.0 / 559.0                      |                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Суммарный расход масла за отчетный период, кг:                 | 50.0                                |                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                                                                |                                     |                                                                                                                                                                                                                                                    |

Рисунок 2 – Представление сводных данных эксплуатационных параметров СЭУ

Система, рассчитанная на определение параметров основных объектов СЭУ и привязанная к ним сенсорами, рассредоточена по всему машинному отделению судна. Известно, что уровень электромагнитных помех во время



експлуатації весьма высок. В ряде случаев электромагнитные помехи на длинных кабельных трассах и некачественное заземление (или зануление) объектов СЭУ значительно увеличивают погрешность измерения или даже сводят на нет все усилия по точной оценке рабочих параметров. Именно поэтому гальванические связи между отдельными блоками системы и датчиками в условиях машинного отделения судна являются техническим «атавизмом» и не используются в современных системах сбора данных. Существуют современные компьютерные беспроводные Mesh-сети, которые кардинально решают эту проблему. Именно такая технология беспроводной передачи данных реализована в DFM.

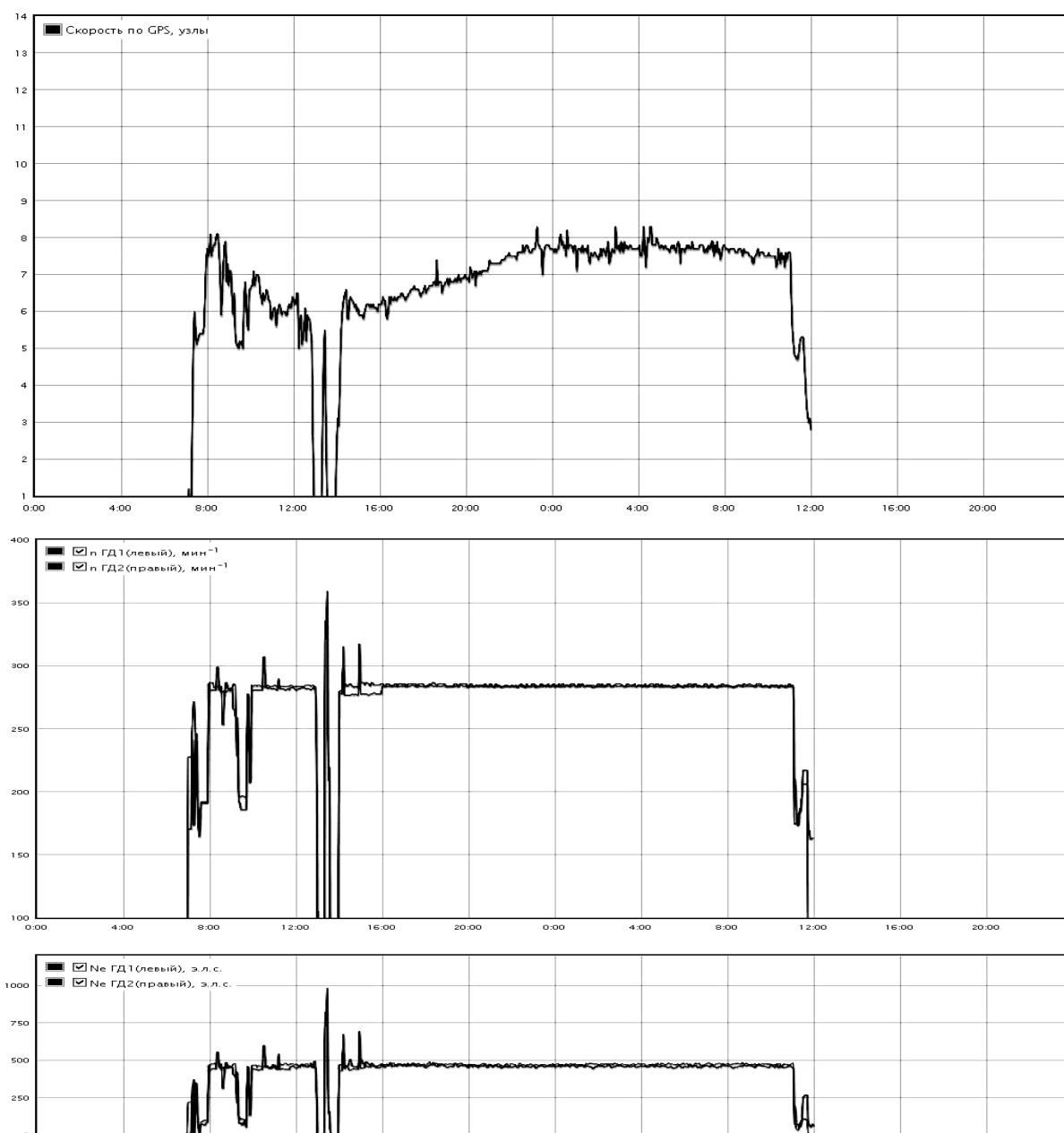


Рисунок 3 – Изменение скорости судна, оборотов ГВ и мощности ГД за отчетный период

Система DFM производит отображение маршрута следования судна по карте Google maps. В связи с этим актуальной является задача корректного

выбора частоты дискретизации данных (опроса позиции по gps и всех датчиков в машинном отделении). При большом интервале времени между опросами может произойти эффект «плавания судна по берегам». Корректность расчета расхода топлива и мощности главных двигателей в этом случае также весьма сомнительна. Эта проблема особенно актуальна для речных судов. В DFM дискретность получения данных составляет не более 60 секунд, что заведомо меньше постоянных времени как самого судна, так и контролируемых объектов СЭУ.

Системы DFM являются легко расширяемыми. В состав системы могут быть включены дополнительные датчики, позволяющие производить мониторинг других объектов СЭУ, например, контролировать шаг винта ВРШ или работу мощных вспомогательных механизмов.

Доступ к информации, передаваемой с судна по одному из каналов связи (GPRS, INMARSAT или спутниковая связь), организован через интернет ([www.dfm.od.ua](http://www.dfm.od.ua)). Судовладельцу достаточно иметь выход в интернет и параметры авторизации, чтобы из любой точки мира круглосуточно получать информацию по своим судам. Установка системы производится представителями DEPAS lab. в течение короткого времени стоянки судна в порту. Беспроводные технологии обмена данными не требуют прокладки кабельных трасс, минимизируют время установки и позволяют снизить стоимость всей установки, наряду с повышением ее надежности и помехозащищенности.

**Выводы.** Основываясь на результатах работы системы DFM судовладелец может:

- проводить анализ фактической мощности и потребления топлива / масла СЭУ;
- производить оптимизацию технических характеристик СЭУ;
- производить планирование ремонтов и учет расхода запасных частей, основанный на определении фактического времени наработки объектов СЭУ;
- систематически проводить мероприятия по уменьшению расхода топлива с постоянным контролем эффективности принимаемых решений;

Дальнейшее развитие методов мониторинга технического состояния СЭУ транспортного судна может производиться в следующих направлениях: более подробный мониторинг характеристик тепловых и механических нагрузок главных энергетических объектов и повышение частоты дискретизации данных, одновременно со снижением стоимости их передачи на стационарный сервер. Последнее будет зависеть от уровня развития современных спутниковых средств коммуникации.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Торский В. Г. МАРПОЛ : практическое пособие / В. Г. Торский, А. И. Сагайдак, В. И. Любченко – Одесса : Астро-Принт, 1999. – 264 с.

2. Камкин С. В. Эксплуатация судовых дизелей : [учебник для вузов] / С. В. Камкин, И. В. Возницкий, В. П. Шмелев – М. : Транспорт, 1990. – 344 с.
3. Варбанец Р. А. Системы компьютерной диагностики судовых дизелей / Р. А. Варбанец // Судостроение. – 2004. – № 6. – С. 24-27.
4. Ваншейдт В. А. Судовые двигатели внутреннего сгорания / В. А. Ваншейдт. – Л. : «Судостроение», 1977.
5. Фомин Ю. Я. Топливная аппаратура дизелей: Справочник / Ю. Я. Фомин, Г. В. Никонов, В. Г. Ивановский. – М.: Машиностроение, 1982. – 168 с.

**Варбанець Р.А., Івановський В.Г., Кучеренко Ю.Н., Головань А.І. ІНТЕРНЕТ-МОНІТОРИНГ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ ТРАНСПОРТНОГО СУДНА**

*Розглянуто основні характеристики системи інтернет-моніторингу енергетичної установки транспортного судна.*

*Ключові слова: інтернет-моніторинг, витрати палива.*

**Varbanets R.A., Ivanovsky V.G., Kucherenko Y.N., Golovan A.I. ONLINE MONITORING OF MARINE POWER PLANT**

*The main features of the online monitoring of power plant transport vessel.*

*Keywords: internet monitoring, fuel consumption.*

**МАТРИЧНЫЕ АЛГОРИТМЫ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ***Гильмутдинов Ш.А.,**Николаевский политехнический институт*

*В статье рассматриваются вопросы разработки матричных алгоритмов формирования карт техобслуживания и ремонта транспортных средств.*

*Ключевые слова: матричные алгоритмы, карты техобслуживания, информационные модели.*

**Вступление.** Независимо от функционального назначения и сложности транспортных средств, сроки и условия эксплуатации требуют проведения планово-предупредительных и ремонтных мероприятий для минимизации непроизводительных затрат, связанных с простоями, неэффективными и непроизводительными режимами применения техники.

Карты техобслуживания и ремонта транспортных средств представляют собой перечни технологических операций, выполняемых на узлах, агрегатах и системах, требующих определённого вида воздействий с применением специального оборудования, приспособлений и инструмента для приведения объекта или его параметров в номинальное или рабочее состояние. Диагностика транспортных средств и его функциональных элементов является частью мероприятий по поддержанию в рабочем состоянии узлов, агрегатов и систем, а также конструкции в целом.

**Актуальность исследований.** Этапы «жизненного цикла» транспортных средств сопряжены с влиянием негативных факторов на техническое состояние как отдельных элементов, так всей конструкции в целом. Анализ и выявление негативных факторов, ухудшающих техническое состояние транспортных средств, его узлов, агрегатов и систем, является важнейшей задачей системы техобслуживания и ремонта подвижного состава и совершенствования производственной базы авторемонтных предприятий. Факторы старения и изнашивания узлов, агрегатов и систем транспортных средств являются наиболее весомой составляющей в процессе повышения живучести и работоспособности конструкции, что целенаправленно закладывается в планово-предупредительные и ремонтные мероприятия системы технического обслуживания подвижного состава.

**Постановка задачи.** Методы диагностики и планово-предупредительного осмотра транспортных средств обеспечивают безаварийность и снижают сроки простоя подвижного состава, а также применение компьютерных технологий создает благоприятную экономическую перспективу в решении проблем эксплуатации и модернизации производственных мощностей авторемонтных предприятий. Рабочие процессы, динамика и мощность транспортного и технологического обеспечения во многом определяют мобильность транспортной инфраструктуры и рентабельность грузоперевозок от производителя к потребителю. Компьютерные технологии во многом обеспечивают

рентабельность грузопотоков за счёт внедрения методов диагностики и планово-предупредительных мероприятий по своевременному техническому обслуживанию и ремонту транспортных средств.

Системная методология в организации автоматизированного формирования карт техобслуживания и ремонта, эксплуатируемой техники в условиях интегрированного информационного пространства [3], обеспечивает принятие взвешенных конструкторско-технологических решений в вопросах повышения надёжности и рентабельности транспортных средств при интенсификации грузовых потоков.

**Результаты исследований.** Одним из перспективных направлений по упреждению негативного влияния эксплуатационных факторов на живучесть является разработка матричных алгоритмов формирования карт во взаимосвязи с информационными моделями объектов и процессов техобслуживания и ремонта. Под объектами техобслуживания и ремонта понимаются узлы, агрегаты и системы эксплуатируемых транспортных средств, а в качестве процессов рассматриваются процессы старения, техобслуживания и ремонта рассматриваемых объектов. В качестве информационных моделей (ИМ) объектов и процессов техобслуживания и ремонта выступают взаимно-однозначные характеристики узлов, агрегатов и систем, эксплуатируемых транспортных средств, и способы влияния факторов, сопутствующих износу и старению элементов конструкции. Матричные алгоритмы формирования карт затрагивают процессы техобслуживания и ремонта транспортных средств их узлов, агрегатов и систем, называемых в последствии функциональными элементами конструкции (ФЭК). В статье рассматриваются матричные алгоритмы формирования карт техобслуживания и ремонта транспортных средств с учётом уровня детализации ФЭК и включают [1]:

- алгоритмы принятия решений для объектов-аналогов (прототипов);
- алгоритмы синтеза решений из элементарных типовых;
- алгоритмы принятия решений для комплексных объектов.

Рассматриваемые ИМ, эксплуатируемых транспортных средств могут быть представлены группами: адресных, размерных, точностных, конструктивных, количественных, качественных и технологических характеристик, источником которых служит конструкторско-технологическая документация, поставляемая производителем и видоизменяемая в течение срока эксплуатации конструкции. Инновации ИМ в течение «жизненного цикла» отражают техническое состояние транспортного средства и ФЭК. Поэтому закономерности предопределения и следования [3] управляют динамикой изменения характеристик ИМ.

Методы диагностики при техобслуживании и ремонте транспортных средств обеспечивают выбор фиксированной последовательности технологических операций (ТО) в определённой производственной среде (ПС). Анализ задач, решаемых при формировании карт техобслуживания и ремонта, эксплуатируемых транспортных средств, позволил сформулировать

однокритеріальную детерминированную задачу принятия решений (ЗПР), в рамках которой были определены компоненты матричных алгоритмов.

Компонентами матричных алгоритмов являются: область принимаемых решений  $\mathbf{f}(Y_j)$  на заданном технологическом базисе, т.е.

$$\mathbf{f}(Y_j) = \{ l_{j1}, l_{j2}, \dots, l_{jt}, \dots, l_{jt} \}, \mathbf{f}(Y_j) \in l_{jt}, t = 1 \dots, |\mathbf{f}(Y_j)| = T \quad (1)$$

Множество условий выбора решений  $\mathbf{F}(Y_j)$ , т.е. отношения, закономерности предопределения и следования, устанавливаемые при исследовании транспортных средств и процессов техобслуживания и ремонта в реальной ПС. Третьей компонентой матричного алгоритма является подмножество характеристик ИМ необходимое и достаточное для решения задачи, которой ставится в соответствие целевой функционал. Разработка матричных алгоритмов и информационное насыщение его компонент осуществляется в соответствии с целевым функционалом, т.е. функционал вида:

$$ТПА = F(PO(A \sim P), P_1, P_2, \dots, P_n), \quad (2)$$

где  $PO(A \sim P)$  – формализованное представление логической операции;  
 $P_1, P_2, \dots, P_n$  – подмножество проектных процедур.

Применим при разработке матричных алгоритмов преобразования объектов-аналогов, в проектировании ТП ремонта реальных объектов, осуществляемых совокупностью проектных процедур упорядоченных фиксированной логической схемой.

Процедуры проектирования ТП на базе элементарных типовых элементов пошагово решают задачи: синтеза технологического объекта и маршрутного ряда операций по его обработке или ремонту с последующим содержательным насыщением. Разработка матричных алгоритмов синтеза решений из элементарных типовых выполнена на базе функционала целевой задачи, представленной в виде:

$$ТПТ = F(PO(\sum T_i), P_1, P_2, \dots, P_n) \quad (3)$$

где  $PO(\sum T_i)$  – формализованное представление маршрутного ряда операций;

$P_1, P_2, \dots, P_n$  – подмножество проектных процедур.

Технология метода проектирования ТП на базе комплексных объектов состоит в формировании кодовых последовательностей, в пределах выбранного технологического класса, и групповых рядов технологических операций из состава комплексного ТП. Разработка матричных алгоритмов принятия решений для комплексных объектов выполнена на базе функционала целевой задачи, представленной в виде:

$$ТПК = F(KO_1, KO_2, \dots, KO_n) \quad (4)$$

где  $KO_1, KO_2, \dots, KO_n$  – последовательность кодовых комбинаций технологических операций комплексного ТП.

Решение задачи техобслуживания транспортных средств на уровне видов техобслуживания соответствует целевому функционалу (3), компонентами которого являются множества ФЭК, определяющие группы характеристик, временной интервал как фактор ожидаемой неисправности и совокупность технологических операций или видов работ в качестве варианта принимаемых решений  $\mathbf{f}(\mathbf{Y}_j)$  на заданном технологическом базисе.

Матричный алгоритм выбора решений при техобслуживании транспортных средств представлен в виде таблицы 1.

Таблица 1 – Табличная форма матричного алгоритма решения задачи техобслуживания транспортных средств

| Виды техобслуживания                                            | Функциональные элементы конструкции                                              |       |       |       |
|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|
|                                                                 | $K_1$                                                                            | $K_2$ | ..... | $K_n$ |
| { Множество условий выбора решений $\mathbf{F}(\mathbf{Y}_j)$ } |                                                                                  |       |       |       |
| {Линейный список видов техобслуживания }                        | {Множество видов работ или технологических операций $\mathbf{f}(\mathbf{Y}_j)$ } |       |       |       |

Решение задачи формирования карт техобслуживания ориентировано на конкретный элемент множества  $\{K_1, K_2, \dots, K_n\}$ , являющихся ФЭК транспортного средства, находящегося в эксплуатации. Данная задача соответствует целевому функционалу (2), а матричный алгоритм можно представить в виде таблицы 2.

Таблица 2 – Табличная форма матричного алгоритма формирования карты техобслуживания транспортных средств

| Виды транспортных средств                                       | Временные характеристики срока эксплуатации или пробега     |
|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
|                                                                 | { Множество временных характеристик и интервалов пробега }  |
| { Множество условий выбора решений $\mathbf{F}(\mathbf{Y}_j)$ } |                                                             |
| Линейный список ФЭК и видов работ $\{K_1, K_2, \dots, K_n\}$    | {Множество принимаемых решений $\mathbf{f}(\mathbf{Y}_j)$ } |

Выполнение ремонтных работ включено в состав приведённых алгоритмов с документальной разработкой технологических процессов ремонта с помощью САПР ТП, осуществляемой по результатам диагностики в случаях сверхнормативных отклонений характеристик ИМ транспортного средства и ФЭК.

#### Выводы:

1. Системная методология в организации автоматизированной подготовки техобслуживания и ремонта в условиях интегрированного информационного пространства – ключевая стратегия повышения рентабельности транспортных средств при интенсификации грузовых потоков.

2. Матричные алгоритмы относятся к инструментальным средствам интегрированного информационного пространства, функционирующих в рамках множества локальных и сетевых проектных процедур.

3. Разработка матричных алгоритмов формирования карт техобслуживания и ремонта транспортных средств осуществляется на базе закономерностей предопределения и следования событий в реальном авторемонтном производстве, выявляемых на этапе исследований ОП и ПС.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков В. П. Методы автоматизации проектирования технологических процессов ремонта автомобиля // Вестник национального технического университета «ХПИ» : Сборник научных работ. Тематический выпуск / В. П. Волков, Ш. А. Гильмутдинов. – 2010. – № 33. – С. 102-109.

2. Гильмутдинов Ш. А. Системы автоматизации проектирования // Состояние на предприятии и перспективы развития : Научно-технический сборник. Том второй «Производство, организация и технология. Ремонт и эксплуатация. Опыт создания и перспективы развития» / Ш. А. Гильмутдинов. – Николаев : НПКГ «Зоря – Машпроект», НО ИАУ, 2004. – С. 115-119.

3. Кузнецов Л. А. Выявление и описание закономерностей принятия решений при автоматизированном проектировании маршрутных технологических процессов // Вопросы судостроения. Серия «Технология и организация производства судового машиностроения» // Л. А. Кузнецов, Е. Л. Шматова. – ЦНИИ «Румб». – 1981. – Выпуск 27. – С. 96-106.

4. Правила формализованного представления конструкторской и технологической информации / [Под редакцией Топильской Н.И.]. – М. : Изд-во стандартов, 1976.

### **Гільмутдінов Ш.А. МАТРИЧНІ АЛГОРИТМИ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ**

*У статті розглядаються питання розробки матричних алгоритмів формування карт техобслуговування і ремонту транспортних засобів.*

*Ключові слова: Матричні алгоритми, карти техобслуговування, інформаційні моделі.*

### **Gilmutdinov Sh. A. MATRIX ALGORITHMS OF TRANSPORT SERVICE**

*Issues of developing matrix algorithms to form maintenance cards and repair of transport vehicles are considered.*

*Keywords: matrix algorithms, maintenance cards, information models.*



## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ГИДРООБЕСПЫЛИВАНИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ РУДНИЧНОГО ВОЗДУХА

*Гого В.Б., Данильчук О.Н.,*

*Красноармейский индустриальный институт  
Донецкого Национального технического университета*

*В статье изложена сущность математической модели комплексного процесса гидрообеспыливания и кондиционирования воздуха в горных выработках глубоких шахт.*

*Ключевые слова: угольная шахта, гидрообеспыливание, пыль, импульс, волна.*

**Сущность проблемы и ее актуальность** обусловлены тем, что развитие национальной горнодобывающей промышленности требует решения глобальных проблем по обеспечению охраны труда шахтеров, в создании комфортных условий по качеству воздуха производственной среды. Микроклиматическая обстановка технологических зон очистных и проходческих забоев, особенно глубоких шахт требует кондиционирования воздуха – его очистки от пыли и охлаждения. Для этого наиболее рациональными являются гидродинамические установки, в которых воздух обрабатывается капельной жидкостью. Анализ известных научных работ и технических показателей, действующих на шахтах установок, показал, что нерешенным вопросом является оценка конечной температуры воздуха после обработки его потоком капельной жидкости, что является необходимым для разработки эффективных средств гидродинамического кондиционирования воздуха в условиях горных выработок.

**Цель исследования,** излагаемого в статье, – разработать математическую модель для определения температуры воздуха, имеющего известные начальные параметры, в результате перемещения его через объемный поток капель воды известных свойств.

**Основная часть статьи.** Принимаем, что модель системы «газ – капли» адиабатная, а массоперенос между фазами не учитывается.

Рассмотрим теплообмен между газом и одиночной каплей.

Поток теплоты в единицу времени через границу раздела фаз из газа в каплю определим соотношением, вытекающим из закона Рихмана [1]:

$$q = 4\pi R^2 A(T_1 - T_2), \quad (1)$$

где  $q$  – поток теплоты;  $R$  – радиус капли;  $A$  – коэффициент теплоотдачи между фазами;  $T_1$  – начальная температура газа;  $T_2$  – начальная температура жидкости (воды) капли.

Принимаем, что изменение температуры жидкости в капле соответствует сферически-симметричному процессу, т.е.:

$$T_2(r) = \frac{3}{4\pi R^3} \int_0^R 4\pi R^2 T_2(r_2, t) dr_2, \quad (2)$$

где  $T_2(r_2, t)$  – температура в капле в момент времени  $t$  на расстоянии  $r$  от ее центра.

Коэффициент теплоотдачи определим по параметрам капли [2]:

$$A = \frac{Nu_2 \lambda_2}{2R}, \quad (3)$$

где  $Nu_2$ ,  $\lambda_2$  – соответственно, число Нуссельта и коэффициент теплопроводности жидкости капли.

В гидро – и термодинамике имеются экспериментальные зависимости числа Нуссельта от чисел Рейнольдса ( $Re_2$ ) и Прандтля ( $Pr_2$ ) в зависимости от состояния капли в несущей среде (газа). Применим выражение [1]:

$$Nu_2 = 2 + 0,46 Re_2^{0,55} Pr_2^{0,33}; \quad (Nu_2 = 2 + 0,46 Re_2^{0,55} Pr_2^{0,33}),$$

$1 < Re_2 < 10^4$ ;  $0,6 < Pr_2 < 400$  где  $Re_2 = \frac{2R(\varrho_2 - \varrho_1)}{\nu^2}$  – число Рейнольдса;

$Pr_2 = \frac{\mu_2 g C_{p2}}{\lambda_2}$  – число Прандтля;

$\mu_2$  – динамическая вязкость жидкости;

$\nu_2$  – кинематическая вязкость жидкости.

Используя (1), определим скорость изменения температуры капли:

$$\frac{dT_2}{dt} = \frac{q}{C_2 m_2} \quad (4)$$

где  $C_2$  – удельная массовая теплоемкость воды;  $m_2$  – масса капли.

Согласно (4) температура газа изменяется по зависимости:

$$T_1 = T_2 + \frac{C_2 m_2}{A} \frac{dT_2}{dt} \quad (5)$$

Принимаем, что до начала взаимодействия температуры газа и жидкости известны. Обозначим в (5) отношение  $\frac{C_2 m_2}{A} = \tau$  – постоянная времени нагрева жидкости капли.

К зависимости (5) применим прямое преобразование Лапласа в виде:

$$\tau [p T_2(p) - T_2(0)] + T_2(p) = \frac{1}{p} T_1 \quad (6)$$

при условии, что  $T_2(0) = T_2$ , а  $(p)$  принимает значения:

$$p_1 = 0; \quad p_2 = -\frac{1}{\tau}$$

где  $p_1$  и  $p_2$  – соответственно, полюса, совпадающие с началом системы координат, при прямом ( $p_1$ ) и обратном ( $p_2$ ) преобразованиях Лапласа.

Тогда из (6) получим:

$$\tau p T_2(p) + T_2(p) = \frac{1}{p} T_1 + \tau T_2,$$

$$T_2 = \frac{1}{\tau} [T_2(p)(\tau p + 1) - \frac{T_1}{p}]$$

$$T_2(p) = \frac{T_1 + \tau T_2(p)}{p[\tau p + 1]} \quad (7)$$

Применим к (7) обратное преобразование Лапласа, учитывая, что корни знаменателя (7) имеют значения:

$$p_1 = 0; \quad p_2 = \tau^{-1} \quad (8)$$

получим

$$\frac{T_1 + \tau T_2(p)}{p\tau} = T_2 + \frac{T_1}{p\tau}; \quad (9)$$

Подставляя в (9) значения (8), имеем

$$(T_1 - T_2)e^{-\alpha} = -\frac{1}{\tau} \cdot \tau = (T_2 - T_1)^{-\alpha} \quad (10)$$

или конечная температура капли:

$$T_2(t) = T_1(1 - e^{-\alpha}) + T_2 e^{-\alpha}, \quad (11)$$

где  $\alpha = \frac{t}{\tau}$  – относительный параметр времени нагрева жидкости капли.

Количество теплоты, полученное каплей в единицу времени:

$$q = C_2 m_2 (T_2(t) - T_2), \quad (12)$$

где  $T_2(t)$  – конечная температура нагрева капли определяемая по (11).

Количество теплоты, полученное всеми каплями потока в единицу времени:

$$Q_k = \frac{M}{m_2} C_2 m_2 [T_2(t) - T_2] = M C_2 [T_2(t) - T_2], \quad (13)$$

где  $M$  – массовый расход воды через диспергирующую форсунку, кг/с.

Тепловой поток, отданный воздухом потоку капель, будет равен:

$$Q = m_1 C_1 (T_1 - \theta), \quad (14)$$

где  $m_1$  – массовый расход воздуха;  $C_1$  – удельная массовая теплоемкость воздуха;  $T_1$  – начальная температура воздуха;  $\theta$  – конечная температура воздуха.

На основе закона сохранения энергии приравняем (13) и (14), откуда найдем конечную температуру воздуха  $\theta$ , т.е.:

$$MC_2 [T_2(t) - T_2] = m_1 C_1 (T_1 - \theta),$$

$$\theta = T_1 - \frac{MC_2}{m_1 C_1} [T_2(t) - T_2],$$

учитывая (11), запишем (15) в виде:

$$\theta = T_1 - \frac{MC_2}{m_1 C_1} [T_1(1 - e^{-\alpha}) + T_2 e^{-\alpha} - T_2]. \quad (16)$$

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Таким образом, конечная температура воздуха в процессе его взаимодействия с каплями в течение одной секунды, т.е. при условии:

$$t = 1, \quad \alpha = \frac{1}{\tau} = \frac{A}{C_2 m_2},$$

где  $A$  – коэффициент теплоотдачи, определяемый по (3), может быть теоретически найден по зависимости (16).

Как показали экспериментальные исследования, при начальной температуре воздуха  $25^\circ\text{C}$  и начальной температуре воды  $18^\circ\text{C}$ , диспергируемой на капли форсункой, изготовленной как импульсно-волновой многокамерный эжектор [3], температура воздуха снижается в среднем на  $3,6^\circ\text{C}$ , что весьма удовлетворительно согласуется с расчетным значением.

В последующих исследованиях намечается экспериментально обосновать параметры установок для гидродинамического импульсно-волнового обеспыливания и кондиционирования рудничного воздуха в условиях глубоких шахтах.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кутателадзе С. С. Основы теории теплообмена / С. С. Кутателадзе. – М. : Атомиздат, 1979. – 415 с.
2. Исаченко В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – М. : Энергоатомиздат, 1981. – 417 с.

3. Пат. 16953 Україна, МПК F 04 F 5/16. Ежектор / Гого В. Б., Малєєв В. Б. ; заявник та патентовласник Донецький НТУ. – заявл. 10.11.05 ; опубл. 15.09.06, Бюл. № 9.

**Гого В.Б., Данильчук О.М.** МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ГІДРОЗНЕПИЛЕННЯ І КОНДИЦІЮВАННЯ РУДНИЧНОГО ПОВІТРЯ

*Викладено сутність математичної моделі комплексного процесу гідрознепилення та кондиціювання повітря у гірничих виробках глибоких шахт.*

*Ключові слова: вугільна шахта, енергозабезпечення, імпульс, пил, хвиля*

**Gogo V.B., Danilchuk O.N.** A MATHEMATICAL MODEL OF THE HYDRO DUST CONTROL PROCESS AND AIR CONDITIONING IN MINES

*The essence of the mathematical model of complex hydro dust removal process and air conditioning in deep mines' workings is presented.*

*Keywords: coal mine, power supply, impulse, dust, wave.*

## ПРИМЕНЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И МЕТОДА НАПРАВЛЕННОЙ МУТАЦИИ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ВАРИАНТОВ ПОДСИСТЕМ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

*Доронина Ю.В., Копп В.Я., Заморенова Д.В.,  
Севастопольский национальный технический университет*

*Рассматриваются принципы генерации вариантов на основе морфологического синтеза, операторов генетического алгоритма. Приведено практическое приложение исследований на примере разработки множества вариантов гидрометеорологической системы.*

*Ключевые слова: генерация вариантов, морфологический синтез, генетический алгоритм.*

**Введение.** Рассматривается информационная автоматизированная система оперативного назначения. Проектирование такой системы, связанной с операциями сбора, обработки, контроля, анализа и хранения данных морских прибрежных наблюдений (АИГМС МПН) представляет собой трудоёмкую задачу в связи с необходимостью согласования различных функциональных нагрузок в отдельных подсистемах [1, 2]. При проектировании внутрисистемной организации необходимо иметь механизмы создания вариантов подсистем по различным функциональным нагрузкам.

**Постановка задачи.** На основе адаптации методики морфологического анализа и синтеза ставится задача генерации вариантов подсистем по различным функциональным мощностям. Цель метода – систематический обзор и синтез множества вариантов данного объекта. Под множеством вариантов подсистемы  $PS_i$  системы  $S$  понимается множество

$$X^{PS_i} = \{X_1^{PS}, X_2^{PS}, \dots, X_m^{PS}\}, i = \overline{1, n}, \bigcup X_j^{PS_i} = S, j = \overline{1, L}, \quad (1)$$

где  $m$  – конечное число генерируемых вариантов по подсистеме  $i$ ;  $L$  – конечное число подсистем. Для исходной технологической структуры  $L=3$ .

$X^{PS_i}$  представляет собой морфологическое множество (множество структурных решений объектов, принадлежащих рассматриваемому классу) для подсистемы  $i$  [3].

**Основные идеи методики генерации вариантов.** Морфологический метод древовидного синтеза, который относится к методам морфологического последовательного детерминированного поиска [4], подразумевает построение морфологической таблицы, где общее число операций выбора в методе древовидного синтеза определяется по выражению

$$N = \sum_{i=1}^L A_i,$$

где  $A_i$  – альтернативы для реализации  $i$ -й обобщенной функциональной подсистемы или функции;  $L$  – число обобщенных функциональных подсистем (строк морфологической таблицы).

На первом этапе производится оценка функциональности вариантов. Пусть  $F_e^{X^{PS_i}}$  – обобщенная функциональность варианта подсистемы  $X^{PS_i}$ . На первом этапе генерируются два варианта: с функциональностью, определенной технологическим процессом АИГМС  $F_0^{X^{PS_i}}$  и вариант с максимальной функциональностью (максимальной на момент проектирования), планируемой функциональностью  $F_{\max}^{X^{PS_i}}$ . На втором этапе генерируются варианты  $F_{\max}^{X^{PS_i}}$  и  $F_{0+}^{X^{PS_i}}$ , функционально близкие к  $F_{\max}^{X^{PS_i}}$  и  $F_0^{X^{PS_i}}$  соответственно. На следующем этапе формируются  $i$  - е варианты, близкие по функциональной нагрузке к  $F_{\max}^{X^{PS_i}}$  и  $F_{0+}^{X^{PS_i}}$ . Множество  $A_i$  генерируется до тех пор, пока не исчерпаны все варианты функциональной нагрузки или пока  $F_{0+}^{X^{PS_i}}$  не перейдет в  $F_{\max}^{X^{PS_i}}$  и наоборот. Формирование  $i$  - х вариантов может осуществляться на основе известных в литературе операторов генетических алгоритмов (ГА): кроссоверов и мутаций [5]. Мера сходства между описанием рассматриваемого варианта системы  $S1$  и описанием поискового задания  $S2$ , представляющая собой переходы вида  $F_0^{X^{PS_i}} \rightarrow F_{0+}^{X^{PS_i}} \mid F_{\max}^{X^{PS_i}} \rightarrow F_{\max}^{X^{PS_i}}$  для случая эквивалентных мер определяется выражением

$$C(S_i^1, S_j^2) = \frac{2m(S_i \cap S_j)}{(1+u)(m(S_i) + m(S_j) - 2um(S_i \cap S_j))}, \quad (2)$$

где  $-1 \leq u \leq \infty$ ;  $m(S_i)$  – обозначение числа элементов множества  $S_i$ .

**Случай 1.** Пусть  $C_1 = (c_{11}, c_{12}, \dots, c_{n1})$  исходная хромосома. Для каждого гена в хромосоме вводится значение его доминантности –  $d_i$ , где  $i$  номер гена в хромосоме. Доминантность означает вероятность того, что ген перейдет к потомку. Введем операцию направленной мутации. Для исходного варианта подсистемы  $X^{PS_i}$  функциональность определяется выражением:

$$F_0^{X^{PS_i}} = F_{\min}^{X^{PS_i}} = (c_{1i} \mid d_{1i}, c_{2i} \mid d_{2i}, \dots, c_{ni} \mid d_{ni}), \quad n \subset L, \quad d_i \subset \{D_{\max}\},$$

где  $\{D_{\max}\} = \sum_{j=1, i=1}^{L, n} d_{ji} = 1$ ,  $F_{\max}^{X^{PS_i}} = \bigcup F_j^{PS_i} = F_s$ .

Выбирается  $\max d_j, j = \overline{1, L},$  такая, что  $\exists(F_{0^+}^{X^{PS_i}}) = F_{\min^+}^{X^{PS_i}} = (c_{1i} | d_{1i}, c_{2i} | d_{2i}, \dots, c_{ni} | d_{ni}) \bigcup_{j=1}^L (c_j | d_j).$  Для случая, когда операция мутации применяется к функционально полному варианту  $F_{\max}^{X^{PS_i}} = (c_{1i} | d_{1i}, c_{2i} | d_{2i}, \dots, c_{Li} | d_{Li}),$  то выбирается  $\min d_j, j = \overline{1, L},$  такая, что  $\exists(F_{\max^-}^{X^{PS_i}}) = (c_{1i} | d_{1i}, c_{2i} | d_{2i}, \dots, c_{Li} | d_{Li}) - (c_j | d_j).$  Сходимость алгоритма обеспечивается тем, что  $\{D_{\max}\}$  конечно, и при  $F_{0^+ \dots +}^{X^{BC}} \rightarrow F_{\max^-}^{X^{BC}}$  или  $F_{\max^- \dots -}^{X^{BC}} \rightarrow F_{0^+}^{X^{BC}}$  ГА сходится.

Рассмотрим описанный алгоритм для генерации вариантов подсистемы сбора. Функциональность исходного варианта подсистемы сбора определяется следующими составляющими:

$$F_0^{X^{BC}} = \{D, \ddot{A}, \tilde{N}, \ddot{I}\},$$

где  $P$  – регистрация данных вручную;  $ПА$  – регистрация данных полуавтоматически (автоматизированно);  $C$  – сбор данных;  $П$  – передача данных.

Функциональность  $F_{\max}^{X^{BC}}$  подсистемы сбора определена следующими составляющими:

$$F_{\max}^{X^{BC}} = \{D, \ddot{A}, \tilde{N}, \ddot{I}, \dot{A}, \acute{O}\dot{A}, \ddot{I}\dot{A}\} = \{F_0^{X^{BC}}, \dot{A}, \acute{O}\dot{A}, \ddot{I}\dot{A}\},$$

где  $A$  – регистрация данных автоматически;  $УА$  – управление автоматической регистрацией данных;  $ПА$  – предварительный анализ данных.

Морфологическая таблица вариантов подсистемы сбора данных в АИГМС строится с учетом того, что на начальном этапе генерации вариантов веса критериев для  $F_0^{X^{PS_i}}$  и  $F_{\max}^{X^{PS_i}}$  равнозначны. Максимум доминантности обеспечивается наличием автоматического сбора данных ( $A$ ) для  $F_{0^+}^{X^{BC}}.$   $\min d_j = (\acute{O}\dot{A}), j = \overline{1, L}$  для  $F_{\max^-}^{X^{BC}}.$  Сходимость достигнута на второй итерации.

Континуум эквивалентных мер  $C(S_j^1, S_j^2),$  рассчитанный по формуле (2), имеет следующие оценки (при  $u=1$ ):

$$C(S_1, S_2) = 4; C(S_1, S_3) = 2; C(S_1, S_4) = 1.33; C(S_3, S_2) = 5;$$

$$C(S_2, S_4) = 2.5; C(S_3, S_4) = 6.$$

**Случай 2.** Когда исходный вариант подсистемы соответствует функциональному максимуму  $X^{PS_i} \rightarrow F_{\max}^{X^{PS_i}},$  причем  $F_{\max}^{X^{PS_i}} = \bigcup F_j^{PS_i} = F_s, j = \overline{1, L},$  то для генерации вариантов с определенной доминантой (случай 1) может быть применена операция направленной мутации следующего вида:



$$\exists(F_{\max}^{X^{PS_i}}) = \begin{cases} (c_{1i} | d_{1i}, c_{2i} | d_{2i}, \dots, c_{Li} | d_{Li}) - (c_j | d_j), & d_j \in d^u(t), t \leq T^u \\ (c_{1i} | d_{1i}, c_{2i} | d_{2i}, \dots, c_{Li} | d_{Li}) - (c_j | d_j), & d_j \in d^o(t), t \in \overline{T_1 : T_2} \\ (c_{1i} | d_{1i}, c_{2i} | d_{2i}, \dots, c_{Li} | d_{Li}) - (c_j | d_j, \{c_k^p\}), & \text{іде } (\max d_j), j, k \in L, p \in Y^{PS_{i+1}} \end{cases}$$

где  $d^u(t)$  – доминанта, определенная во времени и представляющая собой доминанту устаревающих блоков, перестающую быть доминантой по истечении периода  $t \leq T^u$ ,  $d^o(t)$  – нерегулярная доминанта, определенная во временном интервале  $t \in \overline{T_1 : T_2}$ , при  $\max d_j$  определен случай вложенной функциональности, когда от одной родительской хромосомы образуется от одного до нескольких потомков, которые могут относиться к хромосомам иной популяции  $p \in Y^{PS_{i+1}}$  (cross-population selection). Сходимость алгоритма обеспечивается ограничением на суммарную оценку функциональности популяции

$$F^{\Sigma} = \sum_{i=1}^N F_i^{X^{PS_i}} \leq [F^{\hat{A}} = (F_{\min} + F_{\max} + F_{\min^-} + F_{\min^+} + kF_{\max^-})],$$

где  $F^{\hat{A}}$  – возможное достижимое значение функциональности популяции,  $k$  – коэффициент, определяемый особенностями предметной области.

Рассмотрим описанный алгоритм для генерации вариантов подсистемы обработки. Функциональность исходного варианта подсистемы обработки определяется следующими составляющими, описанными технологическим процессом АИГМС:

$$F_0^{X^{BO}} = \{O(\hat{E}\hat{A}\hat{I}), O(\hat{O}\hat{A}\hat{I}), O(\hat{A}), O(\hat{I}), O(\hat{A}\hat{A}\hat{E}), \hat{A}\hat{E}, \hat{E}\hat{A}, \hat{E}\hat{A}, \hat{A}\hat{A}(\hat{E}\hat{A}\hat{I}), \hat{A}\hat{A}(\hat{O}\hat{A}\hat{I})\},$$

где  $O(KGM)$ ,  $O(TGM)$ ,  $O(G)$ ,  $O(M)$ ,  $O(GBK)$  – обработка данных в форматах КГМ, ТГМ, годовых, многолетних, ГБК;  $AK$  – комплексный анализ;  $KA$  – автоматический контроль;  $KB$  – контроль визуальный;  $VB(KGM)$  – ввод данных в формате КГМ;  $VB(TGM)$  – ввод данных в формате ТГМ.

Особенностью  $F_0^{X^{BO}}$  является то, что исходная функциональность равна  $F_{\max}^{X^{\hat{A}}}$ , поскольку включает все возможные функции подсистемы обработки АИГМС. Поэтому, метод генерации вариантов в данном случае будет отличаться от генерации вариантов для подсистемы сбора АИГМС. Исследуем  $F_0^{X^{BO}}$ .

В некоторых признаках имеется вложенная интегральная функциональность, связанная с обобщением функций в технологическом процессе, нерегулярность и постепенное отмирание некоторых функций АИГМС в связи с технологической необходимостью. Например, функция ввода данных в таблицы вручную постепенно заменится автоматическим заполнением. Поскольку  $F_0^{X^{BO}}$  включает ввод данных вручную из таблиц КГМ, что на настоящий момент времени является устаревшей функцией, то

генерація першого варіанта  $F_{0-}^{X^{BO}} = F_{\min}^{X^{BO}}$  буде представляти собою реалізацію функціональності  $F_0^{X^{BO}}$  без  $BB$  ( $KIM$ ), а також без функцій аналізу і обробки даних в ГВК, які не являються складовими функціями ЦГМД.

Континуум еквівалентних мір для варіантів підсистеми обробки даних  $C(S_j^1, S_j^2)$ , розрахований за формулою (2), має наступні оцінки (при  $u=1$ ):  $C(S_1, S_2) = 2,33$ ;  $C(S_1, S_3) = 3$ ;  $C(S_1, S_4) = 3,5$ ;  $C(S_1, S_5) = 7$ ;  
 $C(S_1, S_6) = 2$ ;  $C(S_2, S_3) = 2,33$ ;  $C(S_2, S_4) = 9$ ;  $C(S_2, S_5) = 4$ ;  $C(S_2, S_6) = 4$ ;  $C(S_3, S_4) = 3,5$ ;  
 $C(S_3, S_5) = 7$ ;  $C(S_3, S_6) = 1$ ;  $C(S_4, S_5) = 8$ ;  $C(S_4, S_6) = 2,33$ ;  $C(S_5, S_6) = 1,5$ .

**Случай 3.** Складним випадком синтезу варіантів є ситуація, коли за вихідний варіант береться  $F_0^{X^{PSi}} = F_{\min}^{X^{PSi}}$ , априорно визначено максимум функціональності  $F_{\max}^{X^{PSi}}$ , то генерація описується операцією направленої кросс-популяційної мутації. Реалізується композиція **случаев 1 и 2**.

Розглянемо описаний алгоритм для генерації варіантів підсистеми зберігання даних. Функціональність вихідного варіанта підсистеми зберігання визначається наступними складовими, описаними технологічним процесом з мінімальною функціональністю виду:

$$F_0^{X^{BCX}} = \{A\dot{Y}\dot{O}, Q(A\dot{Y}\dot{O})\},$$

де  $B\dot{E}T$  – сховище даних у формі бібліотеки електронних таблиць;  $Z(B\dot{E}T)$  – блок формування запитів у бібліотеку електронних таблиць.

Функціональність  $F_{\max}^{X^{BCX}}$  підсистеми зберігання визначається наступними складовими:

$$F_{\max}^{X^{BCX}} = \{A\dot{Y}\dot{O}, Q(A\dot{Y}\dot{O}), A\ddot{A}, Q(A\ddot{A}), A\hat{O}, \hat{O}, \} = \{F_0^{X^{BCO}}, A\ddot{A}, Q(A\ddot{A}), A\hat{O}, \hat{O}\},$$

де  $B\ddot{D}$  – сховище даних у формі БД;  $Z(B\ddot{D})$  – блок формування запитів до БД (інтерфейс);  $A\Phi$  – аналіз при фільтрації;  $\Phi$  – фільтрація даних.

Генерація варіантів підсистеми зберігання даних в АІГМС представляє собою трудомістку задачу в зв'язі з вкладеною ієрархічністю входять у технологічний процес функцій, наприклад, ієрархічну організацію інтерфейсів користувача з градаціями по типах запитів: наукових, стандартних і інших.

Континуум еквівалентних мір  $C(S_j^1, S_j^2)$ , розрахований за формулою (2), вироблявся по альтернативним варіантам і має наступні оцінки (при  $u=1$ ):

$$C(S_1, S_2) = 2; C(S_1, S_3) = 2 | \infty; C(S_1, S_4) = 0,67; C(S_1, S_5) = 0,5; C(S_1, S_6) = 0,67;$$

$C(S_1, S_7) = 0,4 | 0,5$ ;  $C(S_2, S_3) = \infty | 2$ ;  $C(S_2, S_4) = 0,5$ ;  $C(S_2, S_5) = 1$ ;  $C(S_2, S_6) = 0,5$ ;  
 $C(S_2, S_7) = 0,75 | 1$ ;  $C(S_3, S_4) = 0,67 | 0,5$ ;  $C(S_3, S_5) = 0,5 | 1$ ;  $C(S_3, S_6) = 0,67 | 0,5$ ;  
 $C(S_3^*, S_7) = (0,5 | 1)^*$ ;  $C(S_3, S_7^*) = (0,4 | 0,33)^*$ ;  $C(S_4, S_5) = 5$ ;  $C(S_4, S_6) = 2$ ;  
 $C(S_4, S_7) = 2,5 | 5$ ;  $C(S_5, S_6) = 1,33$ ;  $C(S_5, S_7) = 6 | \infty$ ;  $C(S_6, S_7) = 2,5 | 5$ .

Запись вида  $C(S_5, S_7) = 6 | \infty$ ; означает, что для подсистем  $PS_5$  и  $PS_7$  мера близости варьируется в первом случае для 1 во втором для 0, то есть возможного наличия или возможного отсутствия признака соответственно. В случае полного совпадения признаков (при остаточном наличии в варианте при реструктуризации или декомпозиции)  $C(S_j^1, S_j^2) = \infty$ . Особым случаем можно считать расчет  $C(S_j^1, S_j^2)$  для  $PS_3$  и  $PS_7$  в этих вариантах присутствует неоднозначность указанного вида. В этих вариантах расчет произведен попарно:  $C(S_3^*, S_7) = (0,5 | 1)^*$ ;  $C(S_3, S_7^*) = (0,4 | 0,33)^*$ .

Таким образом, окончательно схема технологических отраслевых процессов может быть условно представлена следующим и подмножествами вариантов подсистем:

$$S = \{BC_k, BO_l, BCXm\},$$

где  $S$  – АИГМС,  $BC_k$  – подмножество вариантов подсистемы сбора,  $k = \overline{1,4}$ ;  $BO_l$  – подмножество вариантов подсистемы обработки,  $l = \overline{1,6}$ ;  $BCXm$  – подмножество вариантов подсистемы хранения,  $m = \overline{1,7}$ .

**Заключение, выводы, дальнейшие направления исследований.** Показанные в статье принципы генерации вариантов подсистем АИГМС МПН могут быть внедрены при проектировании и совершенствовании отраслевой автоматизированной системы сбора, обработки, контроля и анализа гидрометеорологических данных в гидрометеорологических обсерваториях и архивах. Кроме того, принципы генетического алгоритма, связанные с направленной мутацией, а также принципы морфологического синтеза, могут быть применены в проектных процедурах других предметных областей, не связанных с гидрометеорологией, поскольку имеют достаточный уровень формализации.

Дальнейшие исследования проводились в направлении отсеивания вариантов, что позволило получить из множества вариантов размерностью  $4 \times 6 \times 7$  – множество размерностью  $2 \times 3 \times 2$  и пять вариантов полных систем АИГМС, полученных сочетанием подсистем по различным функциональным нагрузкам. Предполагается развитие предложенного метода в области автоматизированных производственных систем для генерации вариантов их компоновки и расширения функциональных свойств.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доронина Ю. В. Автоматизация цикла гидрометеорологических данных / Ю. В. Доронина // Сб. научн. тр. УкрНИГМИ. – К., 1999. – Вып. 247. – С. 250–254.
2. Доронина Ю. В. Выбор оптимальной структуры ИС на основе иерархических моделей / Ю. В. Доронина, В. Я. Копп // Вестник СевНТУ Сер. «Информатика, электроника, связь» : сб. научн. тр. – Севастополь, 2011. – Вып. 114. – С. 67–71.
3. Морфологический синтез. Проблемы автоматизации структурно-параметрического синтеза [Электронный ресурс] / Материалы сайта «Синтез новых и рациональных систем на морфологических множествах». – Режим доступа :  
www/ URL: <http://www.structuralist.narod.ru/dictionary/morphsyn.htm/> – Загл. с экрана.
4. Андрейчиков А. В. Анализ, синтез, планирование решений в экономике [Текст] / А. В. Андрейчиков, О. Н. Андрейчикова. – М. : Финансы и статистика, 2000. – 368 с.
5. Паклин Н. Непрерывные генетические алгоритмы – математический аппарат [Электронный ресурс] / Материалы сайта «BaseGroup Labs». – Режим доступа :  
www/ URL: [http://www.basegroup.ru/library/optimization/real\\_coded\\_ga/](http://www.basegroup.ru/library/optimization/real_coded_ga/) – Загл. с экрана.

**Дороніна Ю.В., Копп В.Я., Заморьонова Д.В.** ЗАСТОСУВАННЯ МОРФОЛОГІЧНОГО АНАЛІЗУ І МЕТОДУ ДО НАПРАВЛЕНОЇ МУТАЦІЇ ДЛЯ ПОРОДЖЕННЯ ВАРІАНТІВ ПІДСИСТЕМИ В АВТОМАТИЗОВАНІЙ ГІДРОМЕТЕОРОЛОГІЧНІЙ СИСТЕМІ

*Розглядаються принципи генерації варіантів на основі морфологічного синтезу, операторів генетичного алгоритму. Приведено практичне застосування досліджень на прикладі розробки безлічі варіантів гідрометеорологічної системи. Ключові слова: генерація варіантів, морфологічний синтез, генетичний алгоритм.*

**Doronina Y.V., Kopp V.Y., Zamoryonova D.V.** APPLICATION OF MORPHOLOGICAL ANALYSIS AND METHOD TO THE DIRECTED MUTATION FOR GENERATING SUBSYSTEM VARIANTS IN AUTOMATED HYDROMETEOROLOGICAL SYSTEM

*Principles of generating variants of genetic algorithm operators on the basis of morphological synthesis are examined. Practical application of researches on the example of developing infinite numbers of variants of the hydrometeorological system is shown.*

*Keywords: generation of variants, morphological synthesis, genetic algorithm.*

## СИНТЕЗ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ПОЛЬОТОМ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАКА

*Казак В.М., Горбач О.К., Вакарова А.Й.,  
Національний авіаційний університет,*

*Розглянуто основні недоліки малогабаритних безпілотних літальних апаратів. Приведено модель динаміки керованого руху безпілотного літака. Розглянуто структурну схему пілотажно-навігаційного комплексу безпілотного літака. Приведено основні вимоги щодо систем керування польотом безпілотних літаків. Запропоновано структурно-параметричний синтез системи керування польотом з двох станів.*

*Ключові слова: безпілотні летальні апарати, система керування польотом, оптимізація.*

**Вступ.** Прагнення користувачів авіаційних послуг до досягнення найвищого економічного ефекту при мінімальних витратах на розробку, виготовлення та експлуатацію авіаційних систем, при цьому, в умовах забезпечення найвищого рівня безпеки їх використання, призвело до бурхливого розвитку безпілотних авіаційних систем (БАС).

БАС дозволяють вирішувати різноманітні задачі в умовах, в яких застосування пілотованої авіації є недоцільним. Тому сучасна БАС за рівнем технічного оснащення часто перевершує пілотовані літаки. Отже, БАС є складним багатофункціональним комплексом, основу якого складають безпілотні (БП) літаки. Рівень технічного оснащення БП літака залежить від його вагового класу.

Мікро, міні, малі та міді БП літаки використовуються в тому разі, коли коло вирішуваних ними задач є економічно доцільним. Тому такі ЛА є простими за конструкціями й обладнуються дешевими приладами та спрощеною системою керівних органів. У мікро і міні БПЛА застосовуються тільки кермо висоти у повздовжньому каналі та елерони у бічному каналі. керування обертами двигуна і кермом направлення відсутнє. У міді БПЛА до наведених керувань додається керування обертами силової установки, а в деяких моделях ще й керування кермом направлення. БП літаки більш високих вагових класів, як вже наводилось, за оснащенням практично не відрізняються від пілотованих літаків, а іноді й перевершують їх. Тому найбільший інтерес, з точки зору організації керування польотом, викликають перших два класи літаків.

Оскільки швидкість таких БП літаків не стабілізується, то їх істинна повітряна швидкість (ІПШ) змінюється в процесі польоту в широких межах в залежності від режиму й умов польоту, тобто політ БП літака здійснюється в умовах значної невизначеності. Це вимагає збереження стійкості системи при зміні параметрів об'єкта в широких межах, тобто потрібно забезпечити робастність системи.

**Постановка задачі.** Розглянути модель динаміки керованого руху безпілотного летального апарату, виділити повздовжній та бічний рухи. Охарактеризувати отримані рівняння руху щодо розрахунку та впливу їх складових на динамічні характеристики БП літака. Визначити основні вимоги щодо систем керування польотом БП літака. Синтез законів керування при розширеній множині вхідних сигналів.

**Основна частина.** Зміна параметрів моделі динаміки та умов льотної експлуатації БП літаків мікро і міні класів виникає внаслідок зміни ІПШ в широких діапазонах, а це, в свою чергу, викликає суттєві зміни швидкісного напору  $q = 0,5\rho V^2$ . Представимо модель динаміки керованого руху БП літака системою рівнянь у просторі станів:

$$\begin{aligned}\dot{X} &= A(q)X + B(q)U + GW; \\ Y &= CX + D\eta; \\ Z &= C_0 X,\end{aligned}\tag{1}$$

де  $X$  – вектор стану;  $A(V)$  – матриця стану, яка залежить від швидкісного напору  $q$ ;  $B$  – перехідна матриця керування, яка теж залежить від  $q$ ;  $U$  – вектор керуючих впливів;  $Y$  – вектор спостереження для реальної системи;  $C$  – матриця спостереження для зворотного зв'язку;  $C_0$  – матриця спостереження для обчислення показника якості;  $Z$  – вектор спостереження для обчислення показника якості;  $W$  – вектор шумів зовнішніх вхідних завад та вимірів відповідно, а  $G, D$  – матриці їх коефіцієнтів.

Аналогова система рівнянь (1) може бути представлена у дискретній формі:

$$\begin{aligned}X(k+1) &= A_j X(k) + B_j U(k) + GW(k); \\ Y(k) &= C_j X(k) + D_j \eta(k); \\ Z(k) &= C_0 X(k)\end{aligned}\tag{2}$$

Як і в пілотованих літаках, політ безпілотного літака можна розділити на повздовжній та бічний рухи. Для випадку повздовжнього руху вектор стану можна представити так  $X = [V, \alpha, \vartheta, \dot{\vartheta}, H]$ . З урахуванням цього, а також слабких зв'язків по висоті польоту, яка в режимах польоту, близьких до горизонтального, змінюється відносно повільно, рівняння (1) та (2) перетворюються до такого вигляду:

$$\begin{bmatrix} \Delta \dot{V} \\ \Delta \dot{\theta} \\ \Delta \dot{\omega}_z \\ \Delta \dot{\vartheta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_x^V & -a_x^\theta + a_x^\alpha & 0 & -a_x^\alpha \\ -a_y^V & -a_y^\theta + a_y^\alpha & 0 & -a_y^\alpha \\ -a_{m_z}^V & a_{m_z}^\alpha & -a_{m_z}^{\omega_z} & -a_{m_z}^\alpha \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta V \\ \Delta \theta \\ \Delta \omega_z \\ \Delta \vartheta \end{bmatrix} + \\
+ \begin{bmatrix} a_x^{\delta_{\delta\hat{a}}} & 0 & 0 \\ 0 & a_y^{\delta_{\delta\hat{a}}} & a_y^{\delta_{\hat{a}}} \\ 0 & -a_{m_z}^{\delta_{\delta\hat{a}}} & -a_{m_z}^{\delta_{\hat{a}}} \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \Delta \delta_{\delta\hat{a}} \\ \Delta \delta_{\hat{a}} \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (3)$$

Від'ємні знаки перед коефіцієнтами в (3) розставлені таким чином, щоб самі коефіцієнти у випадку статичної стійкості БП літака були додатними. Крім того, матриця керування В повинна враховувати відсутність можливості стабілізувати кут зносу  $\beta$  при розверненні БП літака цих класів внаслідок відсутності керма направлення, тобто можливості виконання координованого розвороту.

Подальше спрощення системи (3) пов'язано з тим, що повздовжній рух БПЛА представляє собою сукупність двох коливальних рухів. Один з них має відносно високу частоту коливань і протікає практично при постійній швидкості польоту, а другий має відносно низьку частоту й супроводжується гармонічними змінами швидкості польоту, тобто, відповідно короткоперіодичного руху БП літака, у якого є стабілізація швидкості  $V$ , можна отримати з (3), виключивши з вектора стану першу компоненту ( $dV/dt = \dot{V} = 0$ )

$$\begin{bmatrix} \Delta \dot{\theta} \\ \Delta \dot{\omega}_z \\ \Delta \dot{\vartheta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_y^\theta & 0 & -a_y^\alpha \\ a_{m_z}^\alpha & -a_{m_z}^{\omega_z} & -a_{m_z}^\alpha \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \Delta \omega_z \\ \Delta \vartheta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_y^{\delta_{\delta\hat{a}}} & a_y^{\delta_e} \\ -a_{m_z}^{\delta_{\delta\hat{a}}} & -a_{m_z}^{\delta_e} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_{\delta\hat{a}} \\ 0 \\ \delta_{\hat{a}} \end{bmatrix}$$

Аналогічно з (1) та (2) можна отримати лінійні моделі бічного руху БП літака, застосувавши деякі спрощення. Вважаючи  $\alpha$  і  $\vartheta$  незмінними й додатково враховуючи припущення сил, що викликані відхиленням рульових органів, маємо

$$\begin{bmatrix} \Delta \dot{\beta} \\ \Delta \dot{\omega}_x \\ \Delta \dot{\omega}_y \\ \Delta \dot{\gamma} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_z^\beta & \sin \alpha_{on} & \cos \alpha_{on} & a_z^\gamma \\ a_{m_x}^\beta & a_{m_x}^{\omega_x} & a_{m_x}^{\omega_y} & 0 \\ a_{m_y}^\beta & a_{m_y}^{\omega_x} & a_{m_y}^{\omega_y} & 0 \\ 0 & 1 & -tg \vartheta_{on} \cos \gamma_{on} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \beta \\ \Delta \omega_x \\ \Delta \omega_y \\ \Delta \gamma \end{bmatrix} + \\
+ \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_{m_x}^{\delta_e} & 0 \\ 0 & a_{m_y}^{\delta_e} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ \delta_{\hat{a}} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Матриці  $\hat{A}$  і  $\hat{A}$  в системах (1), (2) розраховуються теоретично та уточнюються за результатами, відповідних до майбутніх умов льотної експлуатації БПЛА, продувок в аеродинамічній трубі. Вони визначають область невизначеності динамічних характеристик БП літака. На невизначеність динамічності характеристик БП літаків малих класів впливає не тільки відсутність стабілізації істинної повітряної швидкості. Великий вплив здійснює число Рейнольдса. Для класу малих БПЛА воно в  $10^2 - 10^3$  разів менше ніж для керованих літаків й не перевищує  $10^4$ . Крім того, відсутність керма направлення теж вносить свій вплив на невизначеність керованого польоту БП літака на деяких режимах польоту.

Розглянемо далі склад матриці спостереження  $\tilde{N}$ , який визначається складом та структурою пілотажно-навігаційного комплексу (ПНК) БП літака. Спрощена структура такого комплексу для міні БПЛА наведена на рис. 1. Управління польотом БП літака здійснюється через безплатформенну інерціальну навігаційну систему. Але, у зв'язку зі значним похибками, визначення координат БПЛА в процесі відносно тривалого польоту та в результаті застосування дешевих мікромеханічних вимірювачів БНС (датчики кутових швидкостей та лінійних прискорень), координати БПЛА, що визначені БНС, потребують постійної корекції, яка здійснюється за сигналами від супутникової навігаційної системи.

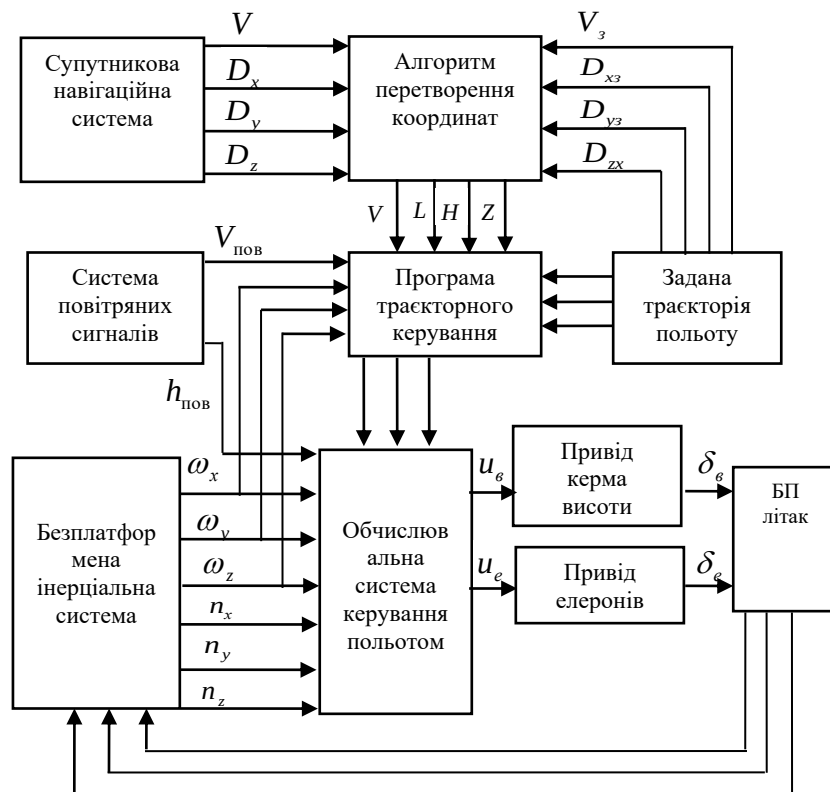


Рисунок 1 – Структурна схема пілотажно-навігаційного комплексу БП літака

У відповідності до наведеної (рис. 1) структури ПНК для керування повздовжнім каналом використовуються сигнали обчислювачів висоти  $h$  й кута тангажу  $\vartheta$  та датчики кутової швидкості (ДКШ)  $\omega_z$  й лінійних



прискорень  $n_y, n_x$ . У відповідності до цього матриця спостереження  $\tilde{N}_i$  буде такою

$$\tilde{N}_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

У бічному каналі використовуються сигнали обчислювачів кутів крену й курсу та датчики кутових швидкостей  $\omega_x, \omega_y$  й бічного лінійного прискорення  $n_z$ , тому матриця спостереження  $\tilde{N}_a$  буде мати вигляд:

$$\tilde{N}_a = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

При синтезі систем керування рухом безпілотним літальним апаратом необхідно також враховувати динамічні характеристики приводів керма висоти та елеронів. Світовий досвід розробки та виготовлення кермових приводів для малих БПЛА показує, що їх можна, при синтезі ПНК, представити аперіодичною ланкою, тобто

$$W_{\text{я}}(P) = \frac{k}{T_{\text{я}} P + 1}$$

Отже, при синтезі системи керування польотом БП літака необхідно враховувати його аеродинамічну схему, принцип створення керуючих впливів та дії детермінованих і випадкових збурень.

Аналіз аеродинамічних схем та динамічних характеристик БП літаків, що наведений вище, дозволяє визначити основні вимоги щодо систем керування їх польотом (СКП) у наступному вигляді:

- можливість в будь-який момент часу переходити на ручне керування, а також додавати, видаляти і змінювати точки маршруту в будь-який час за допомогою наочного інтерфейсу користувача. В обох режимах керування БП літак повинен стабілізуватись автоматично;
- СКП не повинна втрачати горизонт, за рахунок чого забезпечуються правильні реакції автопілоту на зовнішні збурення й адекватне розподілення впливів між органами керування БПЛА;
- визначати оптимальні траєкторії перельоту із заданої початкової точки простору в кінцеву, в тому числі й найбільш складний варіант траєкторії – політ на малій висоті (маловисотний політ);

- автоматизація виконання окремих штатних режимів (розгортання в горизонтальній площині, захід на посадку і посадка, набір висоти, зниження, маневри у вертикальній площині), а також польоту в цілому;
- автоматичне виконання посадки у випадках відказів, зокрема двигунів та ін.;
- орієнтація по картині підстиляючої поверхні з метою організації літаководіння і точної посадки;
- попередження виходу за обмеження при виконанні складних маневрів.

Як бачимо, СКП повинна задовольняти таким суперечливим вимогам, як мінімізація похибки при дії зовнішніх детермінованих та стохастичних впливів й внутрішніх процесів, тобто забезпечувати робастність по відношенню до суттєвої невизначеності умов виконання завдання та невизначеності власних характеристик БП літака..

Отже, виходячи з критерію «якість – робастність» структурно-параметричний синтез СКП безпілотною літака можна представити таким, що складається з двох етапів:

- синтез оптимальної стохастичної системи керування за середньоквадратичним критерієм;
- робастна параметрична оптимізація структури, отриманої на першому етапі.

Перший етап. Так як рівняння (1) – (4) є нелінійними, рівняння розбивається на дві частини:

- для малих курсових похибок та лінеаризованих рівнянь, незв'язані сигнали керування горизонтальних і вертикальних прискорень в залежності від кінцевих похибок в курсовому куті й бічного відхилення від заданої траєкторії;
- додаткові алгоритми для часу, що залишився до виходу в проміжний пункт маршруту (ППМ), проектованої величини бічного відхилення від заданого положення ППМ, проєктованих радіусів кінцевого розвороту й початкового повороту. З урахуванням цього синтез оптимального регулятора здійснюється на основі теореми розподілення.

Отже, розширена модель керування, що включає формуючий фільтр Драйдена (Красовського в країнах СНД) для моделювання атмосферної турбулентності в загальному вигляді представляється так:

$$\begin{aligned}\Delta\dot{X} &= A_a\Delta X + B_a\Delta U + \Delta W; \\ \Delta Y &= C_a\Delta X + D_a\Delta U + \Delta V,\end{aligned}\tag{7}$$

де  $\Delta W$  – вектор білих шумів, що збурюють стан системи;  $\Delta V$  – білий шум вимірів.

Оскільки метою дослідження є синтез законів керування при розширеній множині вхідних сигналів, то необхідно визначити дискретний еквівалент першого рівня системи (7):

$$\Delta X_{k+1} = F\Delta X_k + G\Delta U_k \quad (8)$$

Система керування бічним рухом БП літака з розширеною множиною вхідних сигналів будується як імпульсний регулятор, тобто як дискретний керуючий пристрій, який мінімізує аналогову (безперервну) квадратичну функцію втрат при лінійних динамічних обмеженнях. Стандартна форма оптимізаційної задачі для дискретної СКП, наведена на рис. 2. Матриця  $\hat{A}_{ia}$  (рис. 2) об'єднує керуючий  $u$  та збурюючий  $g$  входи в розширений вектор входу. Як і раніше, матриця  $A$  є матрицею станів БП літака, а матриця  $C_0$  призначена для спостереження вектора виходу  $Z$ , який використовується для обчислення показника якості.

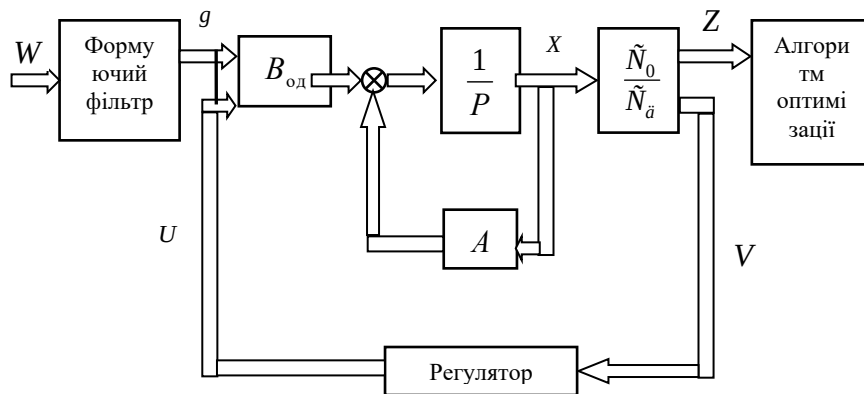


Рисунок 2 – Структурне представлення задачі оптимізації СКП

Головною задачею СКП є стабілізація заданих параметрів польоту БП літака, тобто утримання його в стані рівноваги. Відхилення від точки рівноваги описується таким співвідношенням:

$$\begin{aligned} \Delta \tilde{X}(t) &= \Delta X(t) - \Delta X^*(t), \\ \Delta \tilde{U}(t) &= \Delta U(t) - \Delta U^*. \end{aligned} \quad (9)$$

Припускаючи, що точка рівноваги є фіксованою, можна з рівним успіхом застосовувати рівняння (7) і (8) до змінних ( $\sim$ ), а безперервна функція втрат може бути визначена так:

$$J = 0,5 \sum_{k=0}^{\infty} \int_{t_k}^{t_k+T} \left\{ \Delta \tilde{X}^T(t) \Delta \tilde{U}^T(t) \begin{bmatrix} Q & M \\ M^T & R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \tilde{X}(t) \\ \Delta \tilde{U}(t) \end{bmatrix} \right\} dt, \quad (10)$$

де  $Q$  і  $R$  – діагональні вагові матриці для змінних стану та керування відповідно.

Мінімізація функції (10) приводить до пропорційного типу закону керування з розширеною множиною вхідних сигналів:

$$\Delta \tilde{U}_k = -F\Delta \tilde{X}_k, \quad (11)$$

$$\Delta U_k = \Delta U_k^* - F(\Delta X - \Delta X^*) \quad (12)$$

Замість відхилення в (11) й (12) керуючого сигналу  $\Delta U_k$  від стану рівноваги можна використовувати швидкість його зміни, тобто  $\Delta v = \Delta \dot{U}$ . В цьому випадку швидкість зміни керуючого сигналу може ввійти з ваговою в функцію (10), даючи можливість обмежити високочастотні складові сигналів або їх швидкі зміни.

Матриця коефіцієнтів підсилення  $F$  в (11), (12) визначається наступним чином

$$F = (B_a^0 \dot{\hat{A}}_a + R)^{-1} \times B_a^A M B_a^A. \quad (13)$$

Значення коефіцієнтів у (13) визначається залежністю

$$\dot{\hat{A}} = \dot{A}_a^A \dot{\hat{A}}_a - \dot{A}_a^0 \dot{\hat{A}}_a (\dot{\hat{A}}_a^0 \dot{\hat{A}}_a + R) B_a^0 Q A_a^A + Q. \quad (14)$$

Порядок замкненої системи дорівнює  $2(n + p)$ , де  $n, p$  – розмірності моделей БП літака й фільтра Драйдена відповідно, й вона представляється так:

$$\begin{pmatrix} X_{k+1} \\ X_{k+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_a & -B_a F \\ K C_a & A_a - K C_a - B_a F \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_k \\ X_k \end{pmatrix} \quad (15)$$

Отже, використання спостерігача (фільтра Калмана) збільшує порядок замкненої системи в два рази, з точки зору реалізації закону керування в бортовому комп'ютері необхідно провести резидуалізацію (пониження) порядку системи. Це здійснюється на основі балансних моделей, які отримуються шляхом несінгулярного перетворення системи (15). Ця процедура завершує перший етап проектування СКП.

Другий етап. Другим етапом є робатизація СКП. Змінними процедурами оптимізації в даному випадку є матриці коефіцієнтів підсилення спостерігача  $K$ :

$$K = Q C_a^0 [V_2 C_a^0 Q C_a^0]^{-1}$$

$$Q = A_a^0 Q A_a^A - A_a^0 Q B_a^0 (B_a^0 Q B_a^A + V_2) B_a^0 Q A_a^A + V_1$$

та регулятора:

$$F = (B_a^0 M B_a^A + R)^{-1} \times B_a^0 M B_a^A,$$

де  $V_1, V_2$  – матриці коваріацій шумів, що збурюють стани системи та коваріацій шумів вимірів відносно.

В якості вихідних величин для початку процедури оптимізації використовуються оптимальні значення цих векторів, що отримані на першому етапі.

**Висновки.** Отже, представлений синтез системи керування польотом безпілотною літака може бути використаний при розробці системи

керування енергетичною установкою із фотоелектричними елементами на безпілотному літальному апараті малогабаритного класу. Така система має забезпечити стабілізацію швидкості БП літака в процесі польоту при зміні істинної повітряної швидкості в широких межах в залежності від режиму й умов польоту, тобто в умовах значної невизначеності.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Казак В. М. Системні методи відновлення живучості літальних апаратів в особливих ситуаціях у польоті / В. М. Казак. – К. : НАУ-друк, 2010. – 284 с.
2. Бесекерский В. А. Теория автоматического регулирования / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов – М. : Наука, 1972. – 768 с.
3. Гилл Ф., Мюррей У., Райт М. Практическая оптимизация [Пер. с англ.] – М. : Мир, 1985. – 509 с.

**Казак В.М., Горбач О.К., Вакарова А.И. СИНТЕЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛЕТОМ БЕСПИЛОТНОГО САМОЛЕТА**

*Рассмотрены основные недостатки малогабаритных беспилотных летательных аппаратов. Приведена модель динамики управляемого движения беспилотного самолета. Рассмотрено структурную схему пилотажно-навигационного комплекса беспилотного самолета. Приведены основные требования к системам управления полетом беспилотных самолетов. Предложено структурно-параметрический синтез системы управления полетом из двух этапов.*

*Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты, система управления полетом, оптимизация.*

**Kazak V.M., Gorbach O.K., Vakarova A.I. SYNTHESIS OF FLIGHT CONTROL SYSTEMS OF UNMANNED AIRCRAFT**

*Main disadvantages of small unmanned aerial vehicles are considered. The dynamics model of the unmanned aerial vehicle is shown. Block diagram of flight and navigation system of unmanned aircraft is considered. Basic requirements to flight control systems of unmanned aircraft are presented. Structural and parametric synthesis of two-stage flight control system is proposed.*

*Keywords: unmanned aerial vehicles, flight control system, optimization.*

## ПРЕДЕЛЬНЫЕ СИНДРОМНЫЕ И ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МОДЕЛИ ЗНАНИЙ

*Прокопчук Ю.А.,*

*Институт технической механики НАНУ и НКАУ*

*В работе выявляются и исследуются предельные когнитивные структуры, которые формируются в результате кристаллизации опыта решения определенного класса задач с опорой на два базовых принципа: «Принцип предельных обобщений» и «Принцип полимодельной дополнительной конкурентности и отбора». Предельные структуры участвуют в реализации синдромного принципа управления слабоформализованными ситуациями.*

*Ключевые слова: предельные синдромы, предельные вероятностные закономерности, модели знаний, принцип предельных обобщений*

**Введение и постановка задачи.** Все возрастающая потребность в высоко адаптивных технологиях управления делает актуальной задачу разработки общих теоретических и методологических основ когнитивного подхода к решению проблем в сложных слабоструктурированных системах и ситуациях [1-3]. Однако, несмотря на многочисленные приложения, арсенал формальных средств когнитивного моделирования остается довольно ограниченным. В силу особенностей слабоформализованных предметных областей подходы имитационного моделирования, ориентированные на использование количественных объективных оценок, и методы традиционной теории принятия решений, опирающейся на алгоритмы выбора лучшей альтернативы из множества четко сформулированных альтернатив, оказываются неэффективными. Слабым местом методов на основе когнитивных карт является отсутствие средств автоматического извлечения знаний из прецедентов решения схожих проблем.

Авторский подход к моделированию когнитивных функций вообще и управления, в частности, заключается в развитии двух взаимосвязанных базовых принципов: «Принципа предельных обобщений» и «Принципа полимодельной дополнительной конкурентности и отбора» [4 - 7].

Принцип предельных обобщений (ППО) гласит: среди всех допустимых моделей (решений) следует выбрать модели (решения), которые обладают максимальной общностью. Основная гипотеза состоит в том, что Принцип предельных обобщений олицетворяет «встроенную» оптимальность мышления.

Данные принципы в полной мере характеризуют естественные (природные) процессы когнитивной самоорганизующейся критичности, позволяя выявить и сохранить в памяти конкурентные наборы параметров порядка образов, явлений и сценариев развития произвольных ситуаций действительности.

В связке двух базовых принципов Принцип предельных обобщений играет роль *движущей и направляющей силы* самоорганизации, в то время, как второй принцип создает необходимые предпосылки для возникновения

самоорганізації. Розвиваемий підхід суттєво опирається на синергетический принцип підчинення, який визначає «подстройку» численних факторів ситуації к параметрам порядку ситуації.

Основною ціллю нaшого дослідження є розробка базових фрагментів методології, дозволяючої моделювати перехід від фізического к феноменологіческому описанню дійсності, включаючи естесвенний (природний) механізм категоризації, а тaкже смислову сферу нaблюдателя.

**Задачами** нaшого дослідження є виявлення і дослідження предельних когнітивних структур, які формуються в результаті кристалізації опыта рішення определенного класу задач с опорой на базові принципи.

### Полученные результаты.

Пусть  $\{\tau\}$  – множество элементарных тестов, с помощью которых описывается любая ситуация действительности [6]. Элементарность теста означает, что его результат может быть представлен в виде «тест= значение». Конкретный результат теста  $\tau$  будем обозначать  $\underline{\tau}$ . Значения тестов могут выбираться из разных доменов. Для фиксации того, что в качестве множества результатов теста  $\tau$  используется домен  $T$ , будем использовать нотацию:  $\tau/T$ .

Используя разные домены, можно управлять общностью (масштабом) результата одного и того же теста. Правила пересчета значений теста из одного домена в другой задает *орграф доменов*:  $G(\tau) = \{T \rightarrow T'\}_\tau$ . Орграфы доменов тестов содержат экспертные знания. Они являются удобным и математически корректным способом кодирования разноуровневых элементов эмпирических систем. Каждый орграф является, по-сути, моделью индуктивного обобщения результатов теста.

Банк тестов  $\{G(\tau)\}$  представляет собой множество орграфов доменов тестов. Банк тестов задает общую схему многоуровневой грануляции информации предметной области. От развитости банка тестов  $\{G(\tau)\}$  зависят инвариантные свойства предельных моделей знаний. Разные домены тестов формируют разные по уровню общности *описания действительности* (описания прецедентов), которые обозначим через  $\{\tau/T\}$ . Общее количество описаний определяется произведением числа вершин во всех орграфах доменов.

Пусть  $\Omega = \{\alpha(\{\tau/T\}, z/Z)\}$  – множество ситуаций действительности (прецедентов) с известными исходами  $z \in Z = \{1, \dots, N\}$ . В качестве исходов (заклучений) могут выступать диагнозы, прогнозы, варианты управления, оценки эффективности. Без ограничения общности предположим, что каждый тест входит в описание прецедента только один раз.

Будем говорить, что база прецедентов  $\Omega$  не содержит *конфликтов* на уровне общности  $\{\tau/T\}$ , если нет двух ситуаций с разными исходами, но совпадающими значениями тестов. Любые две ситуации, у которых совпадают значения тестов, но разные исходы назовем *артефактом первого*

рода. Любые  $M$  ситуаций, у которых совпадают значения тестов, но все исходы разные назовем *артефактом* ( $M$ -1)-рода. Предполагается, что первоначально все прецеденты  $\alpha$  описаны с использованием максимально точных доменов (базовых доменов  $T_0$ ) всех тестов, а описание базы прецедентов  $\Omega(\{\tau/T_0\})$  не содержит конфликтов.

*Вероятностной закономерностью* появления заключения  $\underline{z}/Z$  назовем правило вида

$$R = (\{\underline{\tau}/T\} \rightarrow \underline{z}/Z), p(R) \geq p^*, v_R = v(R), \quad (1)$$

где  $\{\underline{\tau}/T\}$  – неизбыточная совокупность значений тестов;  $p(R)$  – ранг или вероятность получения заключения  $\underline{z}/Z$  при условии  $\{\underline{\tau}/T\}$ ;  $p^*$  – порог (например, 0.9);  $v_R$  – вес правила, пропорциональный количеству прецедентов с заключением  $\underline{z}/Z$ , отвечающих правилу  $R$ . Вероятностную закономерность нельзя редуцировать с сохранением ранга. Сослаться на конкретную закономерность можно следующим образом:  $R(\{\underline{\tau}/T\}, \underline{z}/Z)$ . Для веса  $v_R$ , как и для любого теста, существует орграф  $G(v_R)$ .

Под *формальным синдромом* будем понимать неизбыточную совокупность значений тестов, позволяющую однозначно установить заключение  $\underline{z}/Z$  (в такой трактовке формальные синдромы отличаются от синдромов в медицине). Договоримся формальный синдром называть просто синдромом. Произвольный синдром представим в виде:

$$S = (\{\underline{\tau}/T\} \rightarrow \underline{z}/Z), v_s = v(S), \quad (2)$$

где  $\{\underline{\tau}/T\}$  – неизбыточная совокупность значений тестов;  $\underline{z}/Z$  – заключение;  $v_s$  – вес синдрома пропорциональный количеству прецедентов, для которых выполняется данный синдром. Сослаться на конкретный синдром можно следующим образом:  $S(\{\underline{\tau}/T\}, \underline{z}/Z)$ . Любой тест в описание синдрома входит только один раз. Для веса  $v_s$  существует орграф  $G(v_s)$ .

Легко видеть, что формальный синдром – это вероятностная закономерность ранга 1, так как заключение определяется однозначно. Синдром нельзя усилить, т.е. повысить ранг и нельзя редуцировать. Следует отметить, что на основе формального синдрома может быть сформировано продукционное правила вида: *если  $\{\underline{\tau}/T\}$ , то  $\underline{z}/Z$* . Однако формальный синдром обладает свойствами, которых нет у продукционного правила, в частности, *обобщением и конкретизацией*.

*Схемой вероятностной закономерности* назовем список тестов, входящих в закономерность, и заключение:  $R(\{\tau\}, \underline{z}/Z)$ . *Детальной схемой вероятностной закономерности* назовем список тестов с указанием доменов и заключение:  $R(\{\tau/T\}, \underline{z}/Z)$ . Аналогично, *схемой формального синдрома* назовем список тестов, входящих в синдром, и заключение:  $S(\{\tau\}, \underline{z}/Z)$ . *Детальной схемой формального синдрома* назовем список тестов с указанием



доменов и заключение:  $S(\{\tau/T\}, \underline{z}/Z)$ . Таким образом, у синдрома есть, как минимум, три уровня детальности описания:  $S(\{\tau/T\}, \underline{z}/Z)$ ,  $S(\{\tau/T\}, \underline{z}/Z)$  и  $S(\{\tau\}, \underline{z}/Z)$ .

Пусть имеется детальная схема синдрома  $S(\{\tau/T\}_s, \underline{z}/Z)$ . Дополнением к  $\{\tau/T\}_s$  назовем произвольное множество  $\{\tau/T\}_s^\perp$ , которое в совокупности с  $\{\tau/T\}_s$  реализует полное описание базы прецедентов  $\Omega(\{\tau/T\})$ . Ясно, что

$$\{\tau\}_s \cap \{\tau\}_s^\perp = \emptyset; \quad \{\tau\}_s \cup \{\tau\}_s^\perp = \{\tau\}.$$

**Предложение 1.** Синдром  $S(\{\tau/T\}_s, \underline{z}/Z)$  является синдромом во всех описаниях базы прецедентов  $\Omega(\{\tau/T\}_s \cup \{\tau/T\}_s^\perp)$ .

**Предложение 2.** Если существует синдром  $S(\{\tau/T\}_s, \underline{z}/Z)$ , то для любого  $\{\tau/T\}'$  такого что  $\{\tau/T\}' \rightarrow \{\tau/T\}_s$  верно:  $\{\tau/T\}' \rightarrow \underline{z}/Z$ . При этом синдрома  $S(\{\tau/T\}', \underline{z}/Z)$  может не существовать.

Суть предложения 2 заключается в следующем: понижение уровня общности значений тестов, входящих в синдром, также гарантирует однозначную классификацию с тем же результатом. Поскольку выполнимость операции  $\{\tau/T\}' \rightarrow \{\tau/T\}_s$  проверяется исключительно на основе банка тестов  $\{G(\tau)\}$ , то какой-либо совокупности данных  $\{\tau/T\}'$  может не оказаться в базе прецедентов  $\Omega(\{\tau/T\}' \cup (\{\tau/T\} \setminus \{\tau/T\}'))$ , но даже если такая совокупность данных есть, то она не обязательно является синдромом.

*Предельной вероятностной закономерностью* назовем вероятностную закономерность, которую нельзя обобщить ни по одному тесту с сохранением ранга. Предельную вероятностную закономерность ранга 1 назовем *предельным синдромом*. Предельный синдром является предельным в трех смыслах: его нельзя усилить, т.е. повысить ранг; его нельзя редуцировать и его нельзя обобщить ни по одному входящему тесту. Другими словами, любой предельный синдром претендует на роль *инварианта* в рамках контекста  $\langle \Omega, \{G(\tau)\} \rangle$ . Предельную вероятностную закономерность обозначим  $R^*$ , предельный синдром –  $S^*$ .

С каждой вероятностной закономерностью  $R$  связано «облако» предельных вероятностных закономерностей  $\{R^*\}$ , которое получается путем всех допустимых обобщений в рамках банка тестов  $\{G(\tau)\}$ . Ранги всех закономерностей из  $\{R^*\}$  одинаковы и равняются  $p(R)$ . С каждым синдромом  $S$  связано, соответственно, «облако» предельных синдромов  $\{S^*\}$ , которое также получается путем всех допустимых обобщений. «Облака» для каждого синдрома и каждой вероятностной закономерности определяются единственным образом на  $\langle \Omega, \{G(\tau)\} \rangle$ . Можно записать:

$$\forall R, r/\mu_r : R \rightarrow \{R^*\}_R; \quad \forall S, s/\mu_s : S \rightarrow \{S^*\}_S, \quad (3)$$

где  $r, s$  – отображения, а  $\mu_r, \mu_s$  – механизмы реализации отображений.

Очевидно, справедливо следующее:

$$\forall R^*, r/\mu_r : R^* \rightarrow R^*; \quad \forall S^*, s/\mu_s : S^* \rightarrow S^*. \quad (4)$$

Отображения  $r, s$  существенно опираются на контекст  $\langle \Omega, \{G(\tau)\} \rangle$ .

Множество  $\{R^*\}_R$  будем называть множеством *сопряженных предельных закономерностей* для  $R$ . Множество  $\{S^*\}_S$  будем называть множеством *сопряженных предельных синдромов* для  $S$ .

Полезность введения информационных объектов «предельная вероятностная закономерность» и «предельный синдром» заключается в том, что в силу обобщения сопряженные объекты охватывают более широкое множество априорных данных, чем первичные объекты.

**Предложение 3.** Для любой вероятностной закономерности  $R$  существует единственное непустое множество сопряженных предельных вероятностных закономерностей  $\{R^*\}_R$ . Соответственно, для любого синдрома  $S$  существует единственное непустое множество сопряженных предельных синдромов  $\{S^*\}_S$ .

Будем говорить, что описание  $\{\tau/T\}'$  по уровню общности *доминирует* описание  $\{\tau/T\}$ , если для любого теста  $\tau$  элементы домена  $T'$  выводятся из элементов домена  $T$  в рамках орграфа  $G(\tau)$ . Для отношения *нестрогого доминирования* (домены  $T$  и  $T'$  могут совпадать, кроме одного) будем использовать нотацию  $\{\tau/T\}' \geq \{\tau/T\}$ , а для отношения *строгого доминирования* (все домены разные) – нотацию  $\{\tau/T\}' > \{\tau/T\}$ .

Если описание  $\{\tau/T\}'$  по уровню общности доминирует описание  $\{\tau/T\}$ , то это означает, что для любых данных  $\{\underline{\tau}/T\}$  существует однозначное преобразование:  $\{\underline{\tau}/T\} \rightarrow \{\underline{\tau}/T'\}$ .

Если между двумя описаниями  $\{\tau/T\}$  и  $\{\tau/T'\}$  не выполняется отношение доминирования и они не совпадают, то данный факт будем отражать нотацией  $\{\tau/T'\} < \{\tau/T\}$ .

Отношение «доминирование» будем применять к любым одинаковым наборам тестов, причем каждый тест входит в набор только один раз.

Будем говорить, что синдром  $S(\{\underline{\tau}/T'\}, \underline{z}/Z)$  *доминирует* синдром  $S(\{\underline{\tau}/T\}, \underline{z}/Z)$ , если  $\{\tau\}' = \{\tau\}$ ,  $\{\tau/T'\} \geq \{\tau/T\}$  и  $\{\underline{\tau}/T\} \rightarrow \{\underline{\tau}/T'\}$ . Для отношения доминирования между синдромами будем использовать нотацию  $S' \geq S$ . Если отсутствует однозначное отображение  $\{\underline{\tau}/T'\} \rightarrow \{\underline{\tau}/T\}$ , то будем говорить о *строгом доминировании* и использовать нотацию  $S' > S$ .

**Предложение 4.** Между любыми двумя предельными синдромами не существует отношения доминирования.

Предельные синдромы, претендующие на статус инвариантов (с большими весами и высоким уровнем обобщения), можно рассматривать в качестве параметров порядка развития сложных ситуаций. Действительно, смена одного предельного синдрома другим может привести к качественному изменению поведения системы или ситуации, которое

вызвано сменой заключения  $\underline{z}/Z$ . Что касается синдромов в целом, то их смена также может привести к качественному изменению поведения системы. Можно считать, что такие синдромы формируют предпараметры порядка. Наличие разных синдромов предопределяет конкуренцию параметров порядка [3].

Факт возможности смены качественного поведения системы путем целенаправленного изменения текущих синдромов лежит в основе синдромного принципа управления [7].

Совокупность синдромов образует *синдромную модель знаний*, если она позволяет определить заключение, как минимум, для любой ситуации действительности (любого прецедента) из  $\Omega(\{\tau/T_0\})$ . Модель знаний является *полной в рамках фиксированного описания* базы прецедентов  $\Omega(\{\tau/T\})$ , если она содержит все возможные синдромы в рамках данного описания. Для полной синдромной модели знаний будем использовать нотацию:  $\{S\}_{Full}$  на  $\Omega(\{\tau/T\})$  или  $\{S\}_{Full, \{\tau/T\}}$ .

Пусть  $\{S\}$  – произвольная синдромная модель знаний, тогда, используя отображение  $s/\mu_s$ , соответствующую предельную модель знаний можно определить так

$$\forall \{S\}, \{S^*\}_{\{S\}} = \bigcup_{s \in \{S\}} \{S^*\}_s. \quad (5)$$

Модель знаний  $\{S^*\}_{\{S\}}$  назовем *сопряженной предельной* моделью для  $\{S\}$ . Справедливо следующее предложение.

**Предложение 5.** Для любой синдромной модели знаний существует единственная сопряженная предельная модель знаний на  $\langle \Omega, \{G(\tau)\} \rangle$ .

Предельная синдромная модель знаний, образуется путем объединения сопряженных множеств («облаков») предельных синдромов, соответствующих синдромам исходной модели. Так как сопряженные множества отдельных синдромов определяются единственным образом, то их объединение также единственно.

Синдромная модель знаний *минимальна*, если из нее нельзя удалить ни один синдром без потери полноты охвата прецедентов из  $\Omega(\{\tau/T_0\})$ . В рамках описания базы прецедентов  $\Omega(\{\tau/T\})$  может существовать множество минимальных синдромных моделей знаний, содержащих разное количество синдромов. Следовательно, в рамках описания  $\Omega(\{\tau/T\})$  существуют *абсолютно минимальные синдромные модели знаний* (возможно одна). Для минимальной синдромной модели знаний будем использовать нотацию:  $\{S\}_{Min}$  на  $\Omega(\{\tau/T\})$  или  $\{S\}_{Min, \{\tau/T\}}$ . Для абсолютно минимальной синдромной модели знаний будем использовать нотацию:  $\{S\}_{Min}^*$  на  $\Omega(\{\tau/T\})$  или  $\{S\}_{Min, \{\tau/T\}}^*$ .

*Дополнением* к  $\{\tau/T\}_{\{S\}}$  назовем произвольное множество  $\{\tau/T\}_{\{S\}}^\perp$ , которое в совокупности с  $\{\tau/T\}_{\{S\}}$  реализует полное описание базы

прецедентов  $\Omega(\{\tau/T\})$ . Ясно, что

$$\{\tau\}_{\{S\}} \cap \{\tau\}_{\{S\}}^{\perp} = \emptyset; \quad \{\tau\}_{\{S\}} \cup \{\tau\}_{\{S\}}^{\perp} = \{\tau\}.$$

**Предложение 6.** Синдромная модель знаний  $\{S\}$ , построенная в рамках некоторого описания  $\{\tau/T\}$ , является синдромной моделью знаний во всех описаниях базы прецедентов  $\Omega(\{\tau/T\}_{\{S\}} \cup \{\tau/T\}_{\{S\}}^{\perp})$ .

Общим для моделей знаний на  $\Omega(\{\tau/T\})$  является то, что все они классифицируют все прецеденты в рамках описания  $\Omega(\{\tau/T\})$ .

**Предложение 7.** Если для классификации выбрана синдромная модель знаний  $\{S\}$ , то описание всех прецедентов в базе прецедентов может быть редуцировано до множества тестов  $\{\tau\}_{\{S\}}$ .

На основе предложений 5 - 7 может быть сформулировано следствие.

**Следствие 1.** Сопряженная предельная модель знаний  $\{S^*\}$  для синдромной модели знаний  $\{S\}$ , построенной в рамках некоторого описания  $\{\tau/T\}$ , классифицирует все прецеденты во всех описаниях базы прецедентов  $\Omega(\{\tau/T\}_{\{S\}} \cup \{\tau/T\}_{\{S\}}^{\perp})$ .

Можно найти все предельные синдромы на всех уровнях общности для каждой ситуации  $\alpha \in \Omega$ . Их объединение представляет собой *полную предельную синдромную модель знаний* на  $\langle \Omega, \{G(\tau)\} \rangle$ . Разные синдромы предельной синдромной модели знаний могут опираться на разные описания  $\{\tau/T\}$ . Для полной предельной синдромной модели знаний будем использовать нотацию:  $\{S^*\}_{Full}$  на  $\langle \Omega, \{G(\tau)\} \rangle$  или просто –  $\{S^*\}_{Full}$ .

Пусть  $g$  отображение такое, что

$$\forall \alpha \in \Omega, \quad g / \mu_g : \alpha \rightarrow \{S^*\}_{\alpha}, \quad (6)$$

где  $\{S^*\}_{\alpha}$  – все предельные синдромы на всех уровнях общности для ситуации  $\alpha$ ;  $\mu_g$  – механизм реализации отображения  $g$ , опирающийся на  $\langle \Omega, \{G(\tau)\} \rangle$ .

Обозначим через  $\{S\}_{\alpha, \{\tau/T\}}$  – множество всех синдромов для ситуации  $\alpha$  на уровне описания базы прецедентов  $\Omega(\{\tau/T\})$ . На множестве  $\{S\}_{\alpha, \{\tau/T\}}$  можно определить сопряженные предельные синдромы  $(\{S\}_{\alpha, \{\tau/T\}})^*$ , объединение которых по всем описаниям и даст  $\{S^*\}_{\alpha}$ , а именно:

$$\{S^*\}_{\alpha} = \bigcup_{\{\tau/T\}} (\{S\}_{\alpha, \{\tau/T\}})^* \quad (7)$$

Одной из задач метода предельных обобщений является построение полной предельной синдромной модели знаний в виде

$$\{S^*\}_{Full} = \bigcup_{\alpha \in \Omega} \{S^*\}_{\alpha} \quad (8)$$

**Предложение 8.** Если база прецедентов  $\Omega(\{\tau/T_0\}, Z)$  не содержит

конфликтов, то полная предельная синдромная модель знаний  $\{S^*\}_{Full}$  на  $\langle \Omega, \{G(\tau)\} \rangle$  существует и единственна.

Строго говоря, полное множество предельных синдромов можно найти, даже если описание  $\Omega(\{\tau/T_0\}, Z)$  конфликтно. Другое дело, что данное множество не будет моделью знаний, позволяющей однозначно классифицировать все прецеденты.

На основе полной предельной синдромной модели знаний могут быть построены *минимальные предельные синдромные модели знаний* и, соответственно, *абсолютно минимальные предельные синдромные модели знаний*. Последние модели представляют особенный интерес. Для минимальных предельных синдромных моделей знаний будем использовать нотацию:  $\{S^*\}_{Min}$  на  $\langle \Omega, \{G(\tau)\} \rangle$  или просто  $\{S^*\}_{Min}$ . Для абсолютно минимальных предельных синдромных моделей знаний будем использовать нотацию:  $\{S^*\}_{Min}^*$  на  $\langle \Omega, \{G(\tau)\} \rangle$  или просто  $\{S^*\}_{Min}^*$ .

Для нахождения всех  $\{S^*\}_{Min}^*$  достаточно вначале построить все  $\{S^*\}_{Min}$ , а затем выбрать из них все  $\{S^*\}_{Min}^*$ . Все модели  $\{S^*\}_{Min}^*$  применимы к базовому описанию базы прецедентов  $\Omega(\{\tau/T_0\}, Z)$ , но в целом сфера их применения (охват разных описаний прецедентов) может существенно различаться, что предоставляет возможности для поиска максимальных по уровню общности моделей.

**Предложение 9.** Пусть  $\Omega = \{\alpha_1, \dots, \alpha_n\}$ . Тогда, если  $\{S^*\}_{\alpha_i} \cap \{S^*\}_{\alpha_j} = \emptyset$  для  $i, j = \overline{1, n}$  ( $i \neq j$ ), то справедливо следующее

$$\{\{S^*\}_{Min}^*\} = \{\{S^*\}_{Min}\} = \{S^*\}_{\alpha_1} \times \{S^*\}_{\alpha_2} \times \dots \times \{S^*\}_{\alpha_n} \quad (9)$$

$$\forall \{S^*\}_{Min}, \forall \{S^*\}_{Min}^*, |\{S^*\}_{Min}| = |\{S^*\}_{Min}^*| = n, \quad (10)$$

$$|\{\{S^*\}_{Min}^*\}| = |\{\{S^*\}_{Min}\}| = \prod_{j=1, \dots, n} |\{S^*\}_{\alpha_j}|. \quad (11)$$

Соотношение (10) дает верхнюю границу мощности любой  $\{S^*\}_{Min}$  и любой  $\{S^*\}_{Min}^*$ .

Пусть  $\Omega_j = \{\alpha(\{\tau/T\}, z_j)\}$ ,  $j \in Z$ . Ясно, что  $\Omega = \bigcup_{j \in Z} \Omega_j$ . Определим *ядро синдромов* для каждого  $j \in Z$

$$\{S^*\}_{\Omega_j} = \bigcap_{\alpha \in \Omega_j} \{S^*\}_{\alpha}, \quad j \in Z. \quad (12)$$

**Предложение 10.** Если для любого  $j \in Z$ ,  $\{S^*\}_{\Omega_j} \neq \emptyset$ , то справедливо следующее

$$\{\{S^*\}_{Min}^*\} = \{S^*\}_{\Omega_1} \times \{S^*\}_{\Omega_2} \times \dots \times \{S^*\}_{\Omega_N}, \quad (13)$$

$$\forall \{S^*\}_{Min}^*, |\{S^*\}_{Min}^*| = N, \quad (14)$$

$$|\{\{S^*\}_{Min}^*\}| = \prod_{j=1, \dots, N} |\{S^*\}_{\Omega_j}|. \quad (15)$$

Соотношение (14) дает нижнюю границу мощности любой  $\{S^*\}_{Min}^*$ .

Важной задачей метода предельных обобщений является построение ядер  $\{S^*\}_{\Omega_j}$ ,  $j \in Z$ . Дело в том, что ядра содержат, как правило, предельные синдромы максимального уровня общности и не содержат информационный «шум», т.е. редкие и малозначащие синдромы. Ядра могут существовать не для каждого  $j \in Z$ .

Важными задачами метода предельных обобщений является также построение  $\{S^*\}_{Min}$  и  $\{S^*\}_{Min}^*$  по разным критериям (например, с максимальными весами). Конечная цель исследований будет достигнута, когда хотя бы одна из минимальных моделей знаний не будет изменяться с неограниченным увеличением базы прецедентов  $\Omega$ . Данный факт означает *инвариантность* или *истинность* соответствующей модели знаний.

Будем говорить, что синдромная модель знаний  $\{S'\}$  *доминирует* модель знаний  $\{S\}$ , если она применима к большему числу описаний прецедентов  $\alpha(\{\tau/T\}, Z/Z)$ , включая и те описания прецедентов, к которым применима  $\{S\}$ . Факт доминирования будем отражать нотацией  $\{S'\} > \{S\}$ . Будем говорить, что синдромные модели знаний  $\{S'\}$  и  $\{S\}$  *эквивалентны в плане доминирования*, если они применимы к одному и тому же множеству описаний прецедентов. Факт эквивалентности в плане доминирования будем отражать нотацией  $\{S'\} \sim \{S\}$ .

Если между двумя моделями знаний не выполняется отношение доминирования и они не эквивалентны в плане доминирования, то будем говорить, что такие модели знаний *несравнимы между собой в плане доминирования*. Данный факт будем отражать нотацией  $\{S'\} >< \{S\}$ .

Отношение доминирования на моделях знаний также как и отношение эквивалентности является транзитивным.

Таблица 1 – Покрытие прецедентов двумя моделями знаний

|                               | $\{S\}$    |            |     |            | $\{S'\}$   |            |     |            |
|-------------------------------|------------|------------|-----|------------|------------|------------|-----|------------|
| $\{\tau/T\} \setminus \alpha$ | $\alpha_1$ | $\alpha_2$ | ... | $\alpha_n$ | $\alpha_1$ | $\alpha_2$ | ... | $\alpha_n$ |
| $\{\tau/T\}_1$                | +          | +          | ... | +          | +          | +          | ... | +          |
| $\{\tau/T\}_2$                | +/-        | +/-        | ... | +/-        | +/-        | +/-        | ... | +/-        |
| ...                           | ...        | ...        | ... | ...        | ...        | ...        | ... | ...        |
| $\{\tau/T\}_K$                | +/-        | +/-        | ... | +/-        | +/-        | +/-        | ... | +/-        |

Для установления отношения доминирования, эквивалентности или несравнимости между произвольными синдромными моделями знаний  $\{S\}$  и  $\{S'\}$  достаточно построить таблицу 1, где  $K = |\Omega(\{\tau/T\})|$  – общее

количество всех описаний,  $n = |\Omega|$  – общее количество всех прецедентов.

Символ ‘+’ в пересечении строки  $\{\tau/T\}_i$  и столбца  $\alpha_j$  означает, что соответствующая модель знаний на уровне описания  $\{\tau/T\}_i$  классифицирует прецедент  $\alpha_j$ . Символ ‘-’ означает, что классификация невозможна. Если области покрытия совпадают, то модели эквивалентны по доминированию. Если одно покрытие включает другое покрытие, то соответствующая модель знаний доминирует другую модель. В иных случаях имеет место несравнимость моделей знаний по доминированию.

Если через  $|G|$  обозначить общее количество вершин в произвольном орграфе доменов  $G$ , то общее количество всех описаний определяется выражением:

$$K = \prod_{\tau \in G(\tau)} |G(\tau)|. \quad (16)$$

*Долей покрытия модели знаний* назовем отношение площади области покрытия (клетки с «+» в таблице 1) к площади всей области (суммарному количеству клеток равному  $K \cdot n$ ). Для модели знаний  $\{S\}$  долю покрытия обозначим  $\lambda(\{S\})$  или  $\lambda_{\{S\}}$ .

Если  $\lambda(\{S\}) = 1$ , то это означает, что модель знаний  $\{S\}$  покрывает все прецеденты во всех описаниях, т.е.  $\{S\}$  имеет максимальную зону покрытия. Ясно, что такая модель является недоминируемой.

**Предложение 11.** Если модель знаний  $\{S\}$  доминирует модель знаний  $\{S'\}$ , то  $\lambda(\{S\}) > \lambda(\{S'\})$ . Если модели знаний  $\{S\}$  и  $\{S'\}$  эквивалентны по доминированию, то  $\lambda(\{S\}) = \lambda(\{S'\})$ .

Обозначим через  $D_{\{\tau/T\}}$  множество всех описаний, которые доминируются описанием  $\{\tau/T\}_i$ , т.е.

$$D_{\{\tau/T\}} = \{\{\tau/T\}' \mid \{\tau/T\} \geq \{\tau/T\}'\}. \quad (17)$$

**Предложение 12.** Если модель  $\{S\}$  является моделью знаний в рамках описания  $\{\tau/T\}_i$ , то справедлива оценка

$$\lambda(\{S\}) \geq (1 + |D_{\{\tau/T\}}|) / K, \quad (18)$$

где  $K$  – общее количество всех описаний, определяемое формулой (16).

**Предложение 13.** Если  $\{\tau/T\}_{\{S'\}} \geq \{\tau/T\}_{\{S\}}$ , то синдромная модель знаний  $\{S'\}$  доминирует синдромную модель знаний  $\{S\}$  или эквивалентна ей по доминированию.

Тот факт, что  $\{\tau/T\}_{\{S'\}} \geq \{\tau/T\}_{\{S\}}$  означает, в частности, следующее:

$$\begin{aligned} \{\tau\}_{\{S'\}} &= \{\tau\}_{\{S\}}; \quad \{\tau\}_{\{S'\}}^\perp = \{\tau\}_{\{S\}}^\perp, \\ \forall \alpha \in \Omega, \quad \forall \{\tau/T\}_{\{S\}}^\perp, \quad \alpha(\{\tau/T\}_{\{S\}} \cup \{\tau/T\}_{\{S\}}^\perp) &\rightarrow \end{aligned}$$

$$\alpha(\{\tau/T\}_{\{S'\}} \cup \{\tau/T\}_{\{S\}}^{\perp}),$$

следовательно, к  $\alpha(\{\tau/T\}_{\{S\}} \cup \{\tau/T\}_{\{S'\}}^{\perp})$  и  $\alpha(\{\tau/T\}_{\{S'\}} \cup \{\tau/T\}_{\{S\}}^{\perp})$  применима модель  $\{S'\}$ . Таким образом, может иметь место либо доминирование  $\{S'\}$  над  $\{S\}$ , либо эквивалентность  $\{S'\}$  и  $\{S\}$ .

Предложение 13 обосновывает целесообразность построения моделей знаний максимального уровня общности.

**Предложение 14.** Для любой синдромной модели знаний  $\{S\}$  сопряженная модель  $\{S^*\}$  доминирует ее или эквивалентна ей по доминированию.

Действительно, сопряженная модель классифицирует все ситуации, которые классифицирует исходная модель знаний, но при этом сопряженная модель может классифицировать и другие ситуации (более высокого уровня общности). Таким образом, имеется полное покрытие со стороны сопряженной модели, что означает либо доминирование, либо эквивалентность.

**Предложение 15.** Полная предельная синдромная модель знаний  $\{S^*\}_{Full}$  доминирует любую синдромную модель знаний или эквивалентна ей по доминированию.

Доказательство данного утверждения базируется на том, что сопряженная предельная модель знаний  $\{S^*\}_{\{S\}}$  эквивалентна или доминирует произвольную модель знаний  $\{S\}$ , но любая  $\{S^*\}_{\{S\}}$  является частью  $\{S^*\}_{Full}$ , следовательно,  $\{S^*\}_{Full}$  эквивалентна или доминирует  $\{S^*\}_{\{S\}}$ , а значит и  $\{S\}$ . В частности, модель  $\{S^*\}_{Full}$  эквивалентна в плане доминирования или доминирует любую  $\{S^*\}_{Min}^*$ .

Под когнитивной самоорганизацией будем понимать последовательность скачкообразных переходов

$$\{S^*\}_1, \{R^*\}_1 \rightarrow \{S^*\}_2, \{R^*\}_2 \rightarrow \dots \rightarrow \{S^*\}_n, \{R^*\}_n, \quad (19)$$

которая возникает вследствие изменения контекста  $\langle \Omega, \{G(\tau)\} \rangle$ . Модели  $\{S^*\}_i, \{R^*\}_i$  являются примерами самоорганизующихся критических состояний.

**Выводы.** Предлагаемая технология когнитивного моделирования обеспечивает: расширение традиционных подходов к обработке информации в сложных динамических средах, дополнение их новыми методами, моделями и алгоритмами поддержки принятия решений по управлению динамическими слабоформализованными ситуациями (объектами, процессами) в сложной обстановке. На основе (предельных) синдромных моделей знаний может быть реализован синдромный принцип управления, который можно отождествить с целенаправленным изменением управляющих параметров или параметров порядка. Параметры порядка содержатся в синдромах – это значения тестов  $\{\tau/T\}_S$  [7]. Множества



(предельных) вероятностных закономерностей играют роль предвестников событий (исходов). Особенно большое значение имеют ранние предвестники.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдеева З. К. Когнитивное моделирование для решения задач управления слабоструктурированными системами (ситуациями) // UBS / З. К. Авдеева, С. В. Коврига, Д. И. Макаренко. – 2007. – №16. – С. 26-39.
2. Нечаев Ю. И. Концептуальные основы создания бортовых интеллектуальных систем // Информационно-измерительные и управляющие системы. Часть 2. – 2006. – № 9. – С. 39-49.
3. Хакен Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам. Перевод с англ. Синергетика: от прошлого к будущему. – М. : КомКнига, 2005. – 248 с.
4. Прокопчук Ю. А. Метод предельных обобщений для решения слабоформализованных задач // Управляющие системы и машины. – 2009. – №1. – С.31-39.
5. Прокопчук Ю.А. Модели структур виртуальной сплошной среды когнитивных динамических систем // Сборник трудов «Нейроинформатика - 2011» . Ч.І.–М.:НИЯУ МИФИ, 2011.-С.254 – 263.
6. Прокопчук Ю.А. Методология разработки интеллектуальных приложений на основе принципа предельных обобщений // Вестник Херсонского НТУ, 2011. - №2(41). – С. 32 – 43.
7. Прокопчук Ю.А. Синдромный принцип управления слабоформализованными системами и ситуациями // Сборник докладов научной конференции «Информационные технологии в управлении сложными системами» (Днепропетровск, ИТМ НАНУ и ГКАУ, 24 июня 2011г.). – Дн-ск: ИТМ – «Свидлер», 2011. – С. 146 – 149.

**Прокопчук Ю.О.** ГРАНИЧНІ СИНДРОМНІ ТА ЙМОВІРНОСНІ МОДЕЛІ ЗНАНЬ  
*У роботі виявляються та досліджуються граничні когнітивні структури, які формуються в результаті кристалізації досвіду рішення певного класу задач із опорою на два базових принципи: «Принцип граничних узагальнень» і «Принцип полімодельної додатковості, конкуренції та відбору». Граничні структури беруть участь у реалізації синдромного принципу керування слабоформалізованими ситуаціями.*

*Ключові слова: граничні синдроми, граничні ймовірносні закономірності, моделі знань, принцип граничних узагальнень.*

**Prokopchuk Y.O.** BOUNDARY SYNDROMIC AND PROBABILISTIC KNOWLEDGE MODELS

*Boundary cognitive structures formed as a result of the crystallizing experience in solving tasks of certain class, using two basic principles: 'Principle of Boundary Generalizations' and 'Principle of Polymodel Complementarity, Competitiveness, and Selection', are revealed and researched. Boundary structures take part in implementing the syndromic principle of managing poorly-formalized situations.*

*Keywords: boundary syndromes, boundary probabilistic laws, knowledge models, principle of boundary generalizations.*

## СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ ВРАЩЕНИЯ БАРАБАННОГО ОКОМКОВАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ МНОГОЗОННОЙ ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ

*Чернецкая И.Е.,*

*Курский юго-западный технический университет,*

*Исаев Е.А., Наговский Д.А.,*

*Херсонский государственный морская академия*

**Введение.** В настоящее время электропривод широко применяется во всех отраслях промышленности. Применение различных алгоритмов управления электроприводом может повысить количественные и качественные показатели выходной продукции, стабильность и управляемость режимами работы тех или иных агрегатов и т.п. Статья посвящена проблемам управления электроприводом барабанного окомкователя при обработке железорудного концентрата.

**Актуальность исследований.** При обработке железорудного концентрата сырье комкуется в окатыши для дальнейшего обжига. Технологический процесс окомкования требует поддержания определенной скорости окомкователя, его угла наклона и т.д. для оптимального соотношения качества готовой продукции производительности. В определенные моменты времени технологического процесса целесообразно изменять скорость вращения барабана. Поэтому управление электроприводом барабанного окомкователя является актуальной задачей.

**Постановка задачи.** Барабанный окомкователь обладает спецификой работы, заключающейся в следующем: при вращении барабана в режиме оптимального гранулообразования восходящий и скатывающийся потоки материала примерно равны по объему, что характеризуется оптимальной частотой вращения  $\omega_2$ , определенным моментом сопротивления  $M_{c2}$  и соответствующим значением жесткости механической характеристики объекта  $\beta_B$ . При отклонении от указанного режима изменение жесткости механической характеристики барабана либо увеличивается, либо уменьшается, что подтверждается и теорией, и практикой производства окатышей. Необходимо синтезировать такой способ управления скоростью вращения окомкователя, чтобы он учитывал вышеуказанные моменты.

Рассмотрим электропривод барабанного окомкователя как двухмассовую систему. Тогда при различных значениях жесткости механических характеристик электропривода и окомкователя ( $\beta < \beta_B$ ) может наступить автоколебательный режим работы оборудования. Особенно это будет наблюдаться при резком изменении производительности по сырью или скорости. Например, при увеличении скорости вращения барабана  $\omega_2$  в переходном процессе первоначально объем ссыпаемого материала увеличивается, и момент сопротивления вращения  $M_{c2}$  уменьшается и т.д.

После завершения переходного процесса при дальнейшем увеличении  $\omega_2$  центробежные силы возрастают настолько, что объем ссыпаемой части

становится меньше объема восходящего потока. Эти специфические особенности определяются эффектом взаимодействия частиц при гранулообразовании и росте размеров гранул.

Динамическая неустойчивость в двухмассовых системах с изменяющейся механической характеристикой нагрузки рассмотрена в [1].

Выполнен синтез передаточной функции регулятора скорости (РС) для двухмассовой системы с управляемым двигателем постоянного тока независимого возбуждения с различной жесткостью механической характеристики в зоне оптимальной скорости вращения [2].

Соотношение масс механической части электропривода: если механизм обладает большим приводным моментом инерции  $J_2 > J_1$ ,  $\gamma > 1$ . В этом случае основную нагрузку передач составляет динамическая нагрузка, связанная с ускорением и замедлением масс механизма в переходных процессах.

Структурная схема регулирования скорости электропривода барабанного окомкователя представлена на рис. 1.

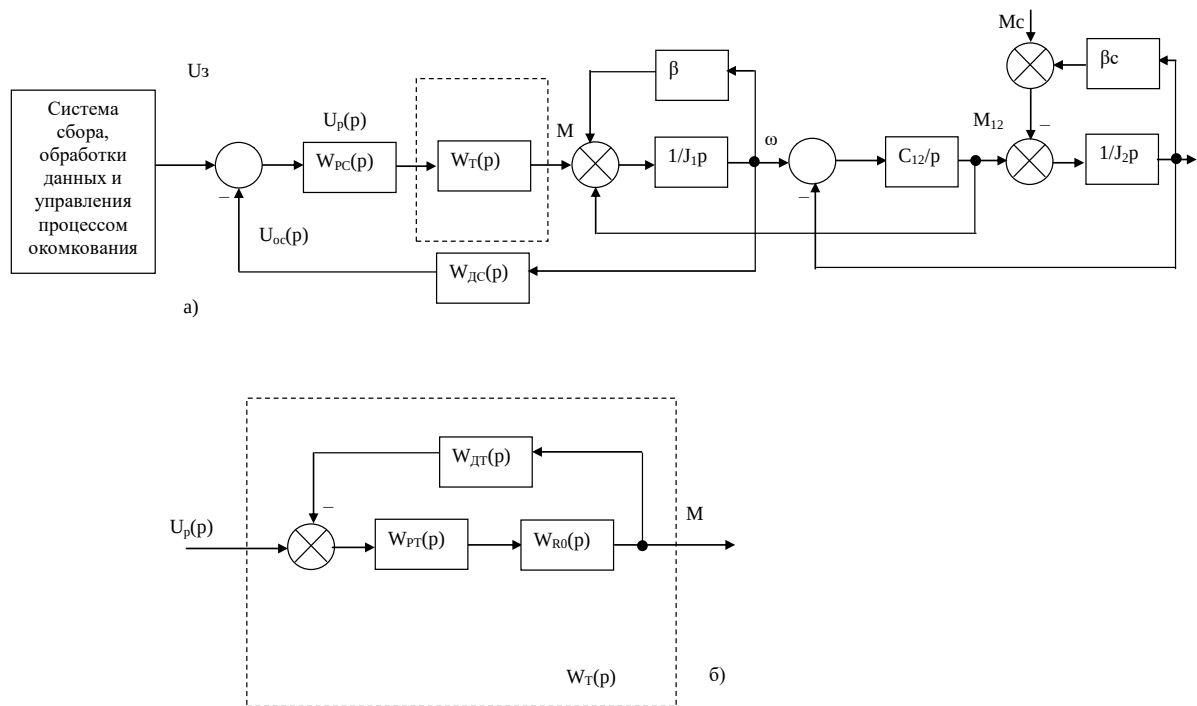


Рис. 1 – Структурная схема системы регулирования скорости электропривода барабанного окомкователя

Определяем передаточную функцию  $W_{PT}(p)$  (рис. 1. б). Т.к.  

$$W_{R_0} = \frac{N}{R_0}; \quad W_{PT} = \frac{K_{PT}}{p}; \quad W_{\dot{A}\dot{O}} = \hat{E}_{\dot{A}\dot{O}}.$$

Тогда передаточная функция прямого участка имеет вид  

$$W_{np}(p) = \frac{K_{PT}}{p} \cdot \frac{N}{R_0}.$$

Получим

$$W_T(p) = \frac{\frac{K_{PT} \cdot N}{p \cdot R_0}}{1 + \frac{K_{PT} \cdot N}{p \cdot R_0} \cdot K_{\dot{A}\dot{O}}} = \frac{K_{PT} \cdot N}{T_T \cdot p + 1} = \frac{K_T}{T_T \cdot p + 1}, \quad (1)$$

где  $T_T = \frac{R_0}{K_{PT} \cdot N \cdot K_{\dot{A}\dot{O}}}$ , с;  $K_{PT}$  – число переключений в секунду с учетом времени срабатывания компараторов-ключей на резисторах в цепи якоря двигателя.

Передаточная функция двухмассового электромеханического объекта, который является объектом для контура регулирования скорости (при  $\beta_B \leq 0$  и  $\beta < 0$ )

$$W_{\dot{A}\dot{O}}(\delta) = \frac{U_{oc}(p)}{U_p(p)} = \frac{K \cdot \left( \frac{J_1}{C_{12}} p^2 - \frac{|\beta_A|}{C_{12}} + 1 \right)}{(T_T \cdot p + 1) \left( \frac{J_1 J_2}{C_{12} |\beta|} p^3 + \frac{1}{C_{12}} (J_2 - J_1 \frac{|\beta_A|}{|\beta|}) p^2 + \left( \frac{J_1 + J_2}{|\beta|} - \frac{|\beta_A|}{C_{12}} \right) p + \left( 1 - \frac{|\beta_A|}{|\beta|} \right) \right)}, \quad (2)$$

где коэффициент усиления объекта  $K = \frac{T_T \cdot K_{\dot{Y}\dot{I}} \cdot K_{\dot{A}\dot{N}}}{|\beta|}$ .

Используем известные соотношения [2]

$$\gamma = \frac{J_1 + J_2}{J_1}; \Omega_{12}^2 = \frac{C_{12} \xi}{J_2}; T_M = \frac{J_1 + J_2}{|\beta|} \quad (3)$$

Подставив (3) в (2), получим

$$W_{\dot{A}\dot{O}}(\delta) = \frac{U_{oc}(p)}{U_p(p)} = \frac{K \cdot \left( \frac{\gamma}{\Omega_{12}^2} p^2 - \frac{|\beta_A|}{C_{12}} + 1 \right)}{(T_T \cdot p + 1) \left( \frac{T_M}{\Omega_{12}^2} p^3 + \frac{\gamma}{\Omega_{12}^2} \left( 1 - \frac{|\beta_A|}{|\beta|(\gamma - 1)} \right) p^2 + \left( T_M - \frac{|\beta_A|}{C_{12}} \right) p + \left( 1 - \frac{|\beta_A|}{|\beta|} \right) \right)}, \quad (4)$$

В связи с тем, что при  $|\beta| < |\beta_A|$   $W_{\dot{A}\dot{O}}(p)$  относится к группе неминимально-фазовых звеньев [3], для синтеза РС воспользуемся методом полиномиальных уравнений [4] и представим функцию (4) в виде

$$W_{\dot{A}\dot{O}}(p) = \frac{P(p)}{Q(p)} = \frac{K_0 P_{k+}(p) P_{n+}(p) P_{-}(p)}{Q_{k+}(p) Q_{n+}(p) Q_{-}(p) p^s}, \quad (5)$$

где  $P_{k+}(p)$ ,  $Q_{k+}(p)$  – полиномы, имеющие в качестве своих нулей только левые нули и полюсы объекта, компенсируемые при помощи регулятора;  $P_{n+}(p)$ ,  $Q_{n+}(p)$  – полиномы, содержащие только левые нули и полюсы объекта, в компенсации которых нет необходимости;  $P_-(p)$ ,  $Q_-(p)$  – полиномы, содержащие правые и нейтральные нули и полюсы, за исключением расположенных в точке  $p = 0$ , компенсация которых неприемлема из-за нарушения условий грубости;  $s = 0, 1, 2$  – количество полюсов объекта в точке  $p = 0$ .

Используя сравнение выражения (5) и выражения (4) определим полиномы выражения (5)

$$\begin{aligned} P_{k+}(p) &= 1 \quad P_{n+}(p) = 1 \quad P_-(p) = \frac{\gamma}{\Omega_{12}^2} p^2 - \frac{|\beta_A|}{C_{12}} p + 1; \\ Q_{k+}(p) &= T_T \cdot p + 1; \quad Q_{n+}(p) = 1 \quad s = 0; \\ Q_-(p) &= \frac{T_M}{\Omega_{12}^2} p^3 + \frac{\gamma}{\Omega_{12}^2} \left(1 - \frac{|\beta_A|}{|\beta|(\gamma - 1)}\right) p^2 + \left(T_M - \frac{|\beta_A|}{C_{12}}\right) p + \left(1 - \frac{|\beta_A|}{|\beta|}\right) \end{aligned} \quad (6)$$

Передаточную функцию статического регулятора скорости, на основании используемого метода полиномиальных уравнений, представляем в виде

$$W_{PC}(p) = \frac{Q_{k+}(p)M(p)}{K_0 P_{k+}(p)N(p)p^{v-s}}, \quad (7)$$

где  $v = 0$  – порядок астатизма замкнутой системы регулирования скорости;  $M(p)$ ,  $N(p)$  – неизвестные полиномы.

$$M(p) = m_i p^i + m_{i-1} p^{i-1} + \dots + m_0; \quad N(p) = n_j p^j + n_{j-1} p^{j-1} + \dots + n_0 \quad (8)$$

Неизвестные полиномы регулятора скорости по выражению (8) определяются в результате решения следующего уравнения синтеза [4]

$$M(p)P_-(p)P_{n+}(p) + N(p)Q_-(p)Q_{n+}(p)p^v = G(p), \quad (9)$$

где  $G(p)$  – характеристический полином замкнутой системы, который задается в зависимости от условия обеспечения желаемого характера переходных процессов, в частности, отвечающий одному из известных стандартных распределений или их видоизменениям [5].

Используя выражение передаточной функции объекта (4) и ее принятых составляющих (6), определим степени полиномов (обозначаемые  $|\cdot|$ ), входящих в (5)

$$|P| = 2; \quad |P_{k+}| = 0; \quad |P_{n+}| = 0; \quad |P_-| = 2; \quad |Q| = 4; \quad |Q_{k+}| = 1; \quad |Q_{n+}| = 0 \quad |Q_-| = 3; \quad s = 0.$$

Исходя из полученных степеней полиномов, получим полные степени полиномов  $M(p)$ ,  $N(p)$  и  $G(p)$  при синтезе статической системы

$$i = |Q_-| + |Q_{n+}| + \nu - 1 = 3 + 0 + 0 - 1 = 2; j = |Q_-| - |P_{k+}| - 1 = 4 - 0 - 1 = 3;$$

$$n = i + j + 1 = 6.$$

Упростим реализацию и настройку регулятора скорости, обоснованную в [4], путем уменьшения на единицу степени полиномов  $M(p)$ ,  $N(p)$  и  $G(p)$ . Вместе с тем, необходимо отметить, что указанная процедура упрощения исключает свободный выбор эквивалентной малой постоянной времени  $T_0$  замкнутой системы или среднегеометрического корня  $\omega_0 = 1/T_0$  характеристического полинома  $G(p)$ , который оказывается зависимым от параметров двухмассового электромеханического объекта.

С учетом вышесказанного, окончательно определим степени полиномов  $|\tilde{M}|=1; |\tilde{N}|=2; |\tilde{G}|=5$  и запишем выражение (9) в следующей развернутой форме

$$(m_1 p + m_0) \left( \frac{\gamma}{\Omega_{12}^2} p^2 - \frac{|\beta_A|}{C_{12}} + 1 \right) + (n_2 p^2 + n_1 p + n_0) \cdot$$

$$\cdot \left( \frac{T_M}{\Omega_{12}^2} p^3 + \frac{\gamma}{\Omega_{12}^2} \left( 1 - \frac{|\beta_A|}{|\beta|(\gamma-1)} \right) p^2 + \left( T_M - \frac{|\beta_A|}{C_{12}} \right) p + \left( 1 - \frac{|\beta_A|}{|\beta|} \right) \right) = \quad (10)$$

$$= \alpha_5 T_0^5 p^5 + \alpha_4 T_0^4 p^4 + \alpha_3 T_0^3 p^3 + \alpha_2 T_0^2 p^2 + \alpha_1 T_0 p + \alpha_0,$$

где  $\alpha_0 \dots \alpha_5$  – коэффициенты, соответствующие выбранному стандартному распределению. В качестве примера приведем значения указанных коэффициентов для фильтра Баттерворта:

$$\alpha_5 = 1; \quad \alpha_4 = 3.24; \quad \alpha_3 = 5.24; \quad \alpha_2 = 5.24; \quad \alpha_1 = 3.24; \quad \alpha_0 = 1.$$

Раскрывая левую часть выражения (10), представим его в виде слагаемых по мере убывания степени  $p$ :

$$n_2 \frac{T_M}{\Omega_{12}^2} p^5 + \left( n_1 \frac{T_M}{\Omega_{12}^2} + n_2 \frac{\gamma}{\Omega_{12}^2} \left( 1 - \frac{|\beta_A|}{|\beta|(\gamma-1)} \right) \right) p^4 +$$

$$+ \left( n_2 \left( T_M - \frac{|\beta_A|}{C_{12}} \right) + n_1 \frac{\gamma}{\Omega_{12}^2} \left( 1 - \frac{|\beta_A|}{|\beta|(\gamma-1)} \right) + n_0 \frac{T_M}{\Omega_{12}^2} + m_1 \frac{\gamma}{\Omega_{12}^2} \right) p^3 + \quad (11)$$

$$+ \left( n_2 \left( 1 - \frac{|\beta_A|}{|\beta|} \right) + n_1 \left( T_M - \frac{|\beta_A|}{C_{12}} \right) + n_0 \frac{\gamma}{\Omega_{12}^2} \left( 1 - \frac{|\beta_A|}{|\beta|(\gamma-1)} \right) - m_1 \frac{|\beta_A|}{C_{12}} + m_0 \frac{\gamma}{\Omega_{12}^2} \right) p^2 +$$

$$+ \left( n_1 \left( 1 - \frac{|\beta_A|}{|\beta|} \right) + n_0 \left( T_M - \frac{|\beta_A|}{C_{12}} \right) + m_1 - m_0 \frac{|\beta_A|}{C_{12}} \right) p + \left( m_0 + n_0 \left( 1 - \frac{|\beta_A|}{|\beta|} \right) \right).$$

Сравнивая выражения (11) и (10) относительно степеней  $p$ , получим значения коэффициентов  $m_{i-1}$  и  $n_{j-1}$  полиномов  $M(p)$  и  $N(p)$ .

$$n_2 = \frac{\alpha_5 \Omega_{12}^2}{\omega_0^5 T_M}, c^2; \quad (12)$$

$$n_1 = \frac{\Omega_{12}^2}{T_M} \left( \frac{\alpha_4}{\omega_0^4} + \frac{\gamma}{\Omega_{12}^2} \left( \frac{|\beta_A|}{|\beta|(\gamma-1)} - 1 \right) n_2 \right), c; \quad (13)$$

$$n_{01} = \frac{C_{12} \Omega_{12}^2 |\beta|}{T_M C_{12} |\beta| (\gamma-1) - \gamma |\beta_A^2|} \cdot \quad (14)$$

$$\cdot \left( \frac{\alpha_1 \gamma}{\omega_0 \Omega_{12}^2} - \frac{\alpha_3}{\omega_0^3} + \frac{|\beta_A| \gamma}{|\beta| \Omega_{12}^2} \left( 1 - \frac{1}{\gamma-1} \right) n_1 + \left( T_M - \frac{|\beta_A|}{C_{12}} \right) n_2 \right);$$

$$m_1 = \frac{\Omega_{12}^2}{\gamma} \left( \frac{\alpha_3}{\omega_0^3} - \frac{T_M}{\Omega_{12}^2} n_0 + \frac{\gamma}{\Omega_{12}^2} \left( \frac{|\beta_A|}{|\beta|(\gamma-1)} - 1 \right) n_1 - \left( T_M - \frac{|\beta_A|}{C_{12}} \right) n_2 \right) \quad (15)$$

$$m_0 = 1 + \left( \frac{|\beta_A|}{|\beta|} - 1 \right) n_0. \quad (16)$$

Из сомножителя при  $p^2$  следуют два уравнения, первое из которых определяет неоднозначность коэффициента  $n_0$ , принимающего в данном случае следующее значение

$$n_{02} = \frac{C_{12} (\gamma-1) \gamma \Omega_{12}^2 |\beta|}{\Omega_{12}^2 T_M |\beta| |\beta_A| (\gamma-1) + \gamma^2 C_{12} |\beta_A| (\gamma-2)} \cdot \quad (17)$$

$$\cdot \left( \frac{\alpha_2}{\omega_0^2} + \frac{\alpha_3 \Omega_{12}^2 |\beta_A|}{\omega_0^3 \gamma C_{12}} - \frac{\gamma}{\Omega_{12}^2} + \left( \frac{|\beta_A|^2}{|\beta| C_{12} (\gamma-1)} - T_M \right) n_1 - \right.$$

$$\left. - \left( 1 - \frac{|\beta_A|}{|\beta|} + \frac{|\beta_A| \Omega_{12}^2}{C_{12} \gamma} \left( T_M - \frac{|\beta_A|}{C_{12}} \right) \right) n_2 \right).$$

Отметим, что задача синтеза регулятора скорости может считаться решенной только при условии равенства  $n_{01} = n_{02} = n_0$ .

Второе уравнение, следующее из сомножителя  $p^2$ , может быть использовано для определения величины среднегеометрического корня  $\omega_0$  синтезируемой статической системы регулирования скорости двухмассового электромеханического объекта. В данном случае при понижении порядка передаточной функции регулятора, его величина оказывается зависимой от параметров объекта. Подставим в сомножитель при  $p^2$  полученные ранее значения  $n_2, n_1, n_{01}, m_1, m_0$ .

В результате преобразований определяем, что поиск возможных для реализации положительных величин  $\omega_0$  должен осуществляться по выражению:

$$\alpha_0 \omega_0^5 + \alpha_1 \frac{A \gamma}{E \Omega_{12}^2} \omega_0^4 - \alpha_2 \frac{1}{E} \omega_0^3 - \alpha_3 \frac{D}{E} \omega_0^2 + \alpha_4 \frac{B}{E} \omega_0 + \alpha_5 \frac{C \Omega_{12}^2}{E T_M} = 0, \quad (18)$$

$$\text{где } A = \frac{C_{12} \Omega_{12}^2 |\beta_A| (\gamma-2) \gamma}{(\gamma-1) (T_M C_{12} |\beta| (\gamma-1) - \gamma \beta_A^2)}; \quad E = \frac{A |\beta_A| \gamma}{C_{12} \Omega_{12}^2}$$

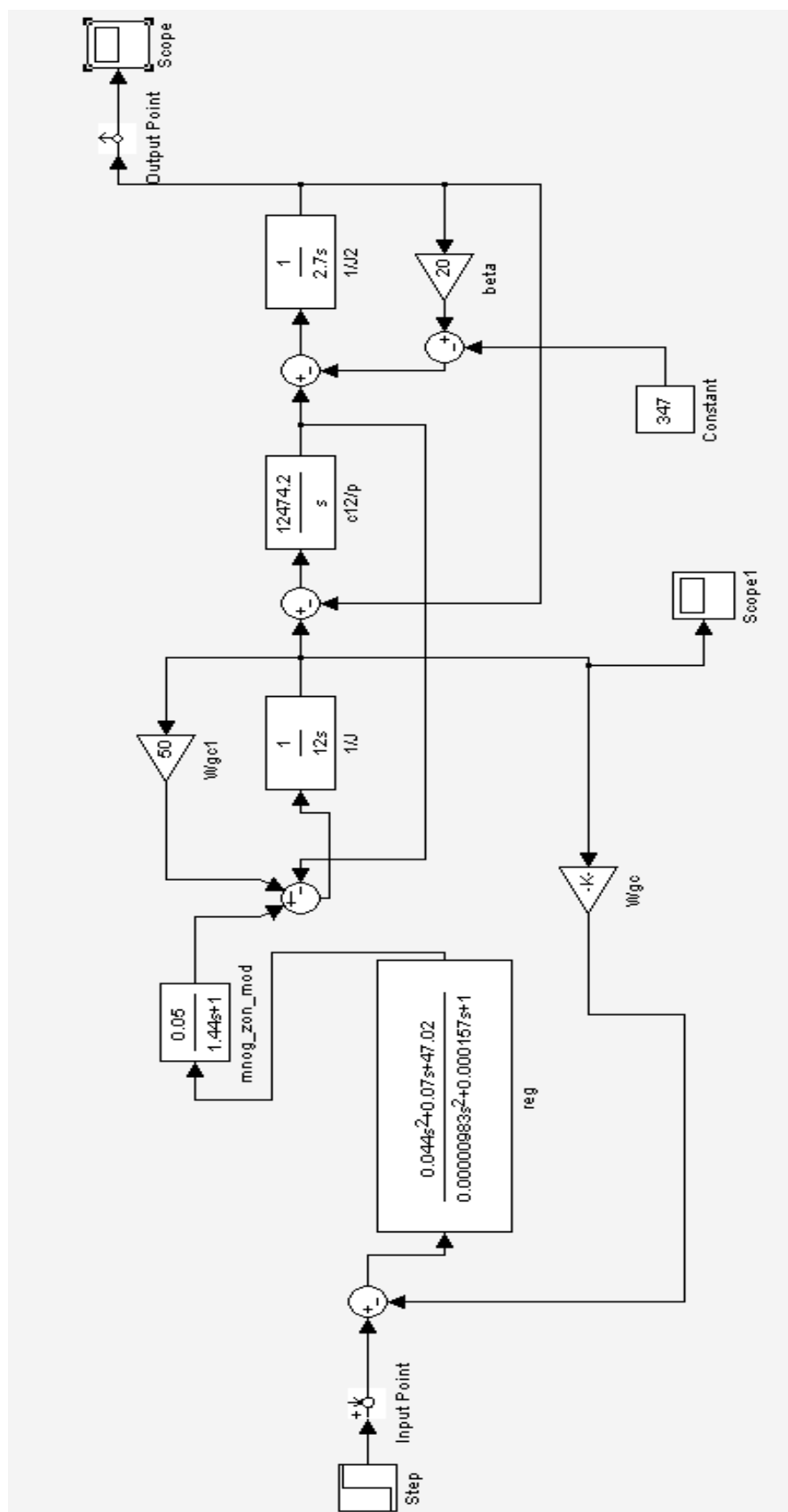


Рисунок 2 – Модель системи управління вращением барабанного окомкователя



$$D = A + \frac{|\beta_A| \Omega_{12}^2}{C_{12} \gamma}; \quad B = \frac{\Omega_{12}^2}{T_M} \left( T_M + \frac{|\beta_A|}{|\beta|(\gamma-1)} \left( \frac{\gamma A(\gamma-1)}{\Omega_{12}^2} - \frac{|\beta_A|}{C_{12}} \right) \right);$$

$$C = 1 - \frac{|\beta_A|}{|\beta|} + \left( \frac{\Omega_{12}^2 |\beta_A|}{C_{12} \gamma} + A \right) \left( T_M - \frac{|\beta_A|}{C_{12}} \right) + B \frac{\gamma}{\Omega_{12}^2} \left( \frac{|\beta_A|}{|\beta|(\gamma-1)} - 1 \right).$$

Допустим, что уравнение (18) при выбранном распределении по Баттерворту имеет хотя бы одно вещественное положительное решение  $\omega_{0i}$ , при котором все коэффициенты полиномов  $M(p)$  и  $N(p)$  принимают положительные значения. Это определяет физическую реализуемость синтезируемого регулятора скорости. Тогда передаточная функция регулятора скорости на основании (7) представляется в виде:

$$W_{pc}(p) = \frac{K_{pc}(T_T p + 1)(T_1 p + 1)}{T_2^2 p^2 + T_3 p + 1}, \quad (19)$$

где коэффициенты регулятора  $K_{pc} = \frac{m_0 |\beta|}{n_0 T_T K_{yi} K_{\tilde{A}\tilde{N}}}$ ,  $T_1 = \frac{m_1}{m_0}$ ,  $T_2^2 = \frac{n_2}{n_0}$ ,  $T_3 = \frac{n_1}{n_0}$ .

Постоянные времени форсирующей и инерционной второго порядка  $T_{2,3}^* = \frac{T_3}{2} \pm \sqrt{\frac{T_3^2}{4} - T_2^2}$ , что обосновывает возможность разложения полинома знаменателя выражения (19) в случае  $T_3 > 2T_2$  на два сомножителя.

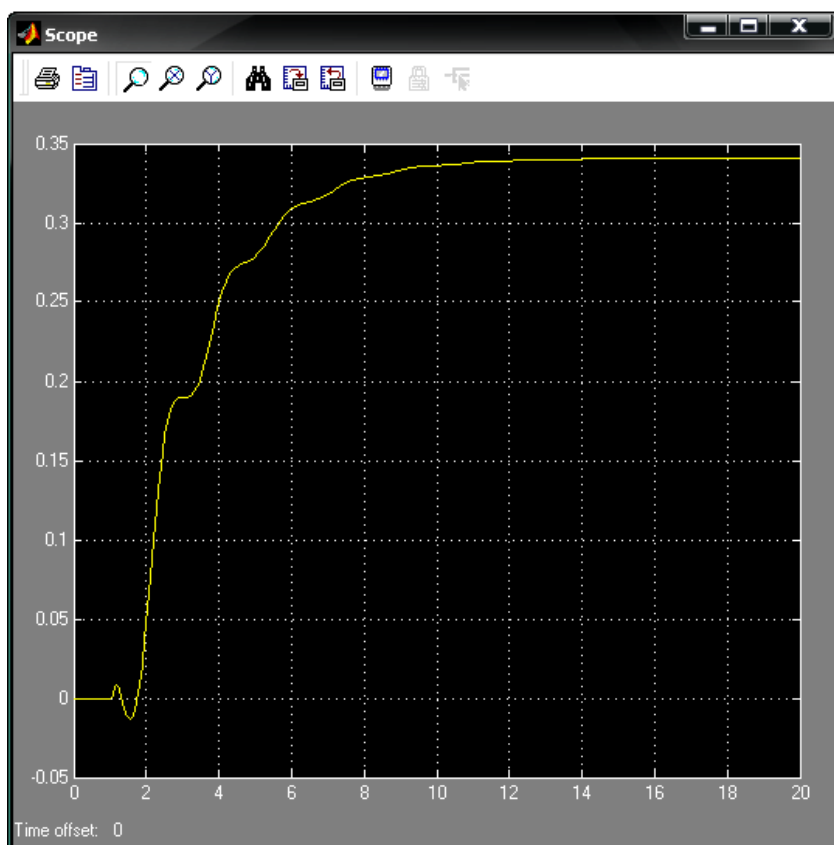


Рисунок 3 – Переходной процесс без блока импульсного моделирования

Таким образом, для создания статической системы регулирования скорости исходно неустойчивым двухмассовым электромеханическим объектом в качестве регулятора скорости следует использовать, например, в соответствии (19) ПИД<sup>2</sup>-регулятор. При этом для уменьшения перерегулирования на входе системы должен быть установлен фильтр с передаточной функцией

$$W_{\delta} = \frac{K_{\delta}}{T_{\delta} p + 1} \quad (20)$$

**Результаты исследований.** После всех вышеуказанных мероприятий была смоделирована система управления скоростью вращения барабанного окомкователя с использованием многозонного импульсного моделирования в среде Matlab Simulink, представленная на рис.2. и получены результаты ее работы (рис. 3, 4)



Рисунок 4 – Осциллограмма переходного процесса при включенном блоке импульсного моделирования

**Выводы.** Была разработана модель системы управления скоростью вращения барабанного окомкователя на основе многозонной импульсной модуляции путем синтеза регулятора скорости вращения, обеспечивающего управление объектом большой массы за сравнительно небольшой промежуток времени (рис. 4). Модель обеспечивает приемлемую плавность регулирования, а значит и мягкий режим работы оборудования. Применение подобной системы повысит качество выхода готовой продукции из окомкователя.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клепиков В. Б. Определение границ устойчивости электропривода с отрицательным вязким трением с учетом упругости кинематической цепи // Электричество / В. Б. Клепиков, А. В. Осичев. – 1989. – №1. – С. 36-41.
2. Ключев В. И. Теория электропривода: учебник для ВУЗов. / В. И. Ключев. – М. : Энергоатомиздат, 1998. – 704 с.
3. Бесекерский В. А. Теория систем автоматического регулирования / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – М. : Наука, 1972. – 760 с.
4. Залялеев С. Р. О применении метода полиномиальных уравнений для синтеза непрерывных систем электропривода // Электротехника / С. Р. Залялеев. – 1988. – №2. – С. 48-53.
5. Акимов Л. В. Динамика двухмассовых систем с нетрадиционными регуляторами скорости и наблюдателями состояния / Л. В. Акимов, В. И. Колотило, В. С. Марков. – Харьков : ХГПУ, 2000. – 93 с.

**Чернецкая И.Е., Исаев Е.А., Наговский Д.А.** СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ ОБЕРТАННЯ БАРАБАННОГО КОМКУВАЧА НА ОСНОВІ БАГАТОЗОННОЇ ІМПУЛЬСНОЇ МОДУЛЯЦІЇ

*Стаття присвячена проблемам управління електроприводом обробного барабана при обробці руди. В результаті проведених обчислень побудована математична модель системи управління електроприводом з урахуванням зміни жорсткості механічної характеристики барабана.*

*Ключові слова:* барабанний комкувач, система управління, багатозонне управління.

**Chernetska I.E., Isayev E.A., Nagovskiy D.A.** SYSTEM OF CONTROLLING ROTATION SPEED OF DRUM-TYPE PELLETIZER ON THE BASIS OF MULTIZONAL PULSE MODULATION

*Problems of operating the electric drive of a processing drum at processing ore are considered. As a result of conducted calculations, mathematical model of the system for controlling the electric drive subject to rigidity change of the drum mechanical characteristic has been made.*

*Keywords:* drum pelletizer, control system, multi-zone control.

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

|                                                                                                                        |                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Алексенко В.Л., старший викладач кафедри технічної механіки, інженерної та комп'ютерної графіки                        | Херсонська державна морська академія                                         |
| Ардашев В.О., к.т.н, доцент кафедри обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів                | Херсонський національний технічний університет                               |
| Бабій М.В., асистент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки             | Херсонська державна морська академія                                         |
| Безбах О.М., асистент кафедри судноводіння, охорони праці та навколишнього середовища                                  | Херсонська державна морська академія                                         |
| Бень А.П., к.т.н., доцент, проректор з науково-педагогічної роботи                                                     | Херсонська державна морська академія                                         |
| Бігус В.В., аспірант кафедри автоматизації технологічних процесів та виробництв                                        | Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя          |
| Богданов О.В., к.ф.-м.н., доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки | Херсонська державна морська академія                                         |
| Бойко А.П., к.т.н., доцент кафедри інженерної графіки                                                                  | Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв |
| Бондаренко А.В., к.т.н., доцент кафедри теорії та проектування суден                                                   | Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв |
| Боярська І.В., аспірант кафедри матеріалознавства та пластичного формування конструкцій машинобудування                | Луцький національний технічний університет                                   |
| Букетов А.В., д.т.н., професор, завідувач кафедри технічної механіки, інженерної та комп'ютерної графіки               | Херсонська державна морська академія                                         |
| Вакарова А.Й., магістр                                                                                                 | Національний авіаційний університет, м. Київ                                 |
| Варбанець Р.А., д.т.н., доцент кафедри кафедри суднових енергетичних установок та технічної експлуатації               | Одеський національний морський університет                                   |
| Васильченко Г.Ю., к.пед.н., доцент кафедри технічної механіки, інженерної та комп'ютерної графіки                      | Херсонська державна морська академія                                         |
| Врублевський Р.Є., аспірант                                                                                            | Херсонська державна морська академія                                         |
| Гільмутдінов Ш.А., інженер                                                                                             | Миколаївський політехнічний інститут                                         |

# ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

|                                                                                                                    |                                                                                           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| Гого В.Б., д.т.н., доцент, завідувач кафедри природничих наук                                                      | Красноармійський індустріальний інститут Донецького Національного технічного університету |
| Головань А.І., інженер кафедри суднових енергетичних установок та технічної експлуатації                           | Одеський національний морський університет                                                |
| Горбач О.К., аспірант                                                                                              | Національний авіаційний університет, м. Київ                                              |
| Данильчук О.М., старший викладач кафедри природничих наук                                                          | Красноармійський індустріальний інститут Донецького Національного технічного університету |
| Добротвор І.Г., к.ф.-м.н., доцент кафедри комп'ютерно-інтегрованих технологій                                      | Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя                       |
| Долгов М.А., науковий співробітник                                                                                 | Інститут проблем міцності ім. Г.С.Писаренка НАН України                                   |
| Доронина Ю.В., к.т.н., доцент кафедри інформаційних систем                                                         | Севастопольський національний технічний університет                                       |
| Заморенова Д.В., к.т.н., доцент кафедри автоматизованих систем приладів                                            | Севастопольський національний технічний університет                                       |
| Зубрецька Н.А., к.т.н., доцент кафедри метрології, стандартизації і сертифікації                                   | Київський національний університет технології та дизайну                                  |
| Івановський В.Г., д.т.н., професор, завідувач кафедри суднових енергетичних установок та технічної експлуатації    | Одеський національний морський університет                                                |
| Іщенко І.М., к.т.н., доцент, професор кафедри суднового електрообладнання та засобів автоматики                    | Херсонська державна морська академія                                                      |
| Івченко Т.І., к.т.н., доцент кафедри технічної механіки, інженерної та комп'ютерної графіки                        | Херсонська державна морська академія                                                      |
| Ісаєв Є.О., д.т.н., професор, завідувач кафедри експлуатації суднового електрообладнання і засобів автоматики      | Херсонська державна морська академія                                                      |
| Кавун А.В., асистент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки         | Херсонська державна морська академія                                                      |
| Кавун В.І., старший викладач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки | Херсонська державна морська академія                                                      |

# ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

|                                                                                                                      |                                                                                  |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Казак В.М., д.т.н., професор кафедри автоматизації та енергоменеджменту                                              | Національний авіаційний університет, м. Київ                                     |
| Казанчан А.А., к.ю.н., доцент кафедри адміністративного і господарського права                                       | Херсонський державний університет                                                |
| Калініна О.І., магістр                                                                                               | Севастопольський національний технічний університет                              |
| Кашицький В.П., к.т.н., доцент кафедри матеріалознавства та обробки металів тиском                                   | Луцький національний технічний університет                                       |
| Кирюхін О.Л., д.т.н., доцент                                                                                         | Академія ВМС ім. П.С. Нахімова, м. Севастополь                                   |
| Клюєв О.І., к.т.н., доцент кафедри обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів               | Херсонський національний технічний університет                                   |
| Ковальов В.С., магістр                                                                                               | Херсонська державна морська академія                                             |
| Коновалов М.Ю., інженер                                                                                              | Херсонська державна морська академія                                             |
| Копп В.Я., д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматизованих систем приладів                                       | Севастопольський національний технічний університет                              |
| Кулиш Ю.О., викладач кафедри пожежної тактики та аварійно-рятувальних робіт                                          | Харківський національний університет цивільного захисту України                  |
| Кучеренко Ю.М., інженер кафедри судових енергетичних установок та технічної експлуатації                             | Одеський національний морський університет                                       |
| Леонов В.В., докторант кафедри теорії та проектування судна                                                          | Одеський національний морський університет                                       |
| Леонов В.Є., д.т.н., професор, завідувач кафедри судноводіння, охорони праці та навколишнього середовища             | Херсонська державна морська академія                                             |
| Лисенко В.І., к.ф.-м.н., доцент кафедри природничо-наукової підготовки                                               | Херсонська державна морська академія                                             |
| Літвин С.М., к.т.н., доцент, завідувач кафедри двигунів внутрішнього згорання                                        | Первомайський політехнічний інститут Національного університету кораблебудування |
| Луняка К.В., д.т.н., професор, завідувач кафедри обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів | Херсонський національний технічний університет                                   |

# ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

|                                                                                                                                 |                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| Лянна О.В., аспірант кафедри обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів                                | Херсонський національний технічний університет                               |
| Ляшук О.Л., к.т.н., доцент кафедри автоматизації технологічних процесів та виробництва                                          | Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя          |
| Малигін Б.В., д.т.н., професор, завідувач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки | Херсонська державна морська академія                                         |
| Маслов В.О., аспірант                                                                                                           | Одеський національний морський університет                                   |
| Михайлик В.Д., д.т.н., професор, завідувач кафедри екології і безпеки життєдіяльності                                           | Херсонський національний технічний університет                               |
| Моїсеєнко Л.Л., к.ф.-м.н., доцент кафедри кафедри технічної механіки, інженерної та комп'ютерної графіки                        | Херсонська державна морська академія                                         |
| Наговський Д.А., к.т.н., доцент кафедри суднового електрообладнання та засобів автоматики                                       | Херсонська державна морська академія                                         |
| Настасенко В.О., к.т.н., доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки           | Херсонська державна морська академія                                         |
| Ніколаєнко О.С., магістр                                                                                                        | Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв |
| Огородова О.А., магістр                                                                                                         | Севастопольський національний технічний університет                          |
| Одарченко Д.М., к.т.н., доцент кафедри товарознавства в митній справі                                                           | Харківський державний університет харчування та торгівлі                     |
| Одінцов В.В., д.ф.-м.н., професор кафедри фізики                                                                                | Херсонський державний університет                                            |
| Ожиганов Ю.Г., д.т.н., професор, завідувач кафедри океанотехніки та кораблебудування                                            | Севастопольський національний технічний університет                          |
| Осташко Є.А., аспірант кафедри теорії та проектування судна                                                                     | Одеський національний морський університет                                   |

# ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

|                                                                                                                          |                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| Погожих М.І., д.т.н., професор, завідувач кафедри енергетики та фізики                                                   | Харківський державний університет харчування та торгівлі            |
| Погорлецький Д.С., аспірант                                                                                              | Херсонська державна морська академія                                |
| Прокопчук Ю.А., к.ф.-м.н., доцент, с.н.с. відділу системного аналізу та проблем управління                               | Інститут технічної механіки НАНУ і НКАУ, м. Дніпропетровськ         |
| Рижова В.Ю., викладач кафедри автомобілів                                                                                | Миколаївський політехнічний інститут                                |
| Родькіна Г.В., аспірант                                                                                                  | Севастопольський національний технічний університет                 |
| Романовський Г.Ф., д.т.н., професор                                                                                      | Національний університет кораблебудування, м. Миколаїв              |
| Русанов С.А., к.т.н., доцент кафедри обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів                 | Херсонський національний технічний університет                      |
| Савків В.Б., к.т.н., доцент кафедри автоматизації технологічних процесів та виробництв                                   | Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя |
| Савків Г.В., асистент кафедри автоматизації технологічних процесів та виробництв                                         | Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя |
| Савчук П.П., д.т.н., професор, завідувач кафедри матеріалознавства та пластичного формування конструкцій машинобудування | Луцький національний технічний університет                          |
| Сапронов А.А., аспірант                                                                                                  | Херсонська державна морська академія                                |
| Селіванов С.Є., д.т.н., професор завідувач кафедри управління судном та безпеки життєдіяльності на морі                  | Херсонська державна морська академія                                |
| Скирденко О.І., к.т.н., доцент кафедри професійної освіти                                                                | Херсонський державний університет                                   |
| Сподар К.В., магістр                                                                                                     | Харківський державний університет харчування та торгівлі            |
| Старостін С.М., аспірант кафедри теорії та проектування судна                                                            | Одеський національний морський університет                          |



# ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

|                                                                                                                       |                                                                                  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Сюсель О.О., магістр                                                                                                  | Харківський державний університет харчування та торгівлі                         |
| Товстокорий О.М., аспірант                                                                                            | Одеська національна морська академія                                             |
| Тригуб С.М., директор морського коледжу                                                                               | Морський коледж Херсонської державної морської академії                          |
| Чабан В.О., к.с.-г.н., доцент кафедри судноводіння, охорони праці та навколишнього середовища                         | Херсонська державна морська академія                                             |
| Черненко В.В., старший викладач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки | Херсонська державна морська академія                                             |
| Чернецька І.Є., к.т.н., доцент кафедри обчислювальної техніки                                                         | Курський південно-західний університет, Російська Федерація                      |
| Шарко О.В., д.т.н., професор, завідувач кафедри прикладної фізики                                                     | Херсонський національний технічний університет                                   |
| Швець І.А., викладач кафедри двигунів внутрішнього згоряння                                                           | Первомайський політехнічний інститут Національного університету кораблебудування |

## ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

**А**

Ажимов В.В., 50  
Алексенко В.Л., 197  
Ардашев В.О., 206

**Б**

Бабій М.В., 175  
Безбах О.М., 197  
Бень А.П., 93, 278, 284  
Бігус В.В., 262  
Богданов О.В., 93  
Бойко А.П., 3  
Бондаренко А.В., 3  
Боярська І.В., 184  
Букетов А.В., 197

**В**

Вакарова А.Й., 313  
Варбанець Р.А., 290  
Васильченко Г.Ю., 69, 130  
Врублевський Р.Є., 284

**Г**

Гільмутдінов Ш.А., 296  
Гого В.Б., 301  
Головань А.І., 290  
Гончаренко А.В., 12  
Горбач О.К., 313

**Д**

Данильчук О.М., 301  
Діденко О.В., 149  
Добротвор І.Г., 191  
Долгов М.А., 197  
Доронина Ю.В., 306

**З**

Заморонова Д.В., 306  
Зубрецька Н.А., 197

**І**

Івановський В.Г., 290  
Іщенко І.М., 21  
Івченко Т.І., 102  
Ісасєв Є.О., 278, 334

**К**

Кавун А.В., 108, 228  
Кавун В.І., 108  
Казак В.М., 313  
Казанчан А.А., 69  
Калініна О.І., 140  
Кашицький В.П., 184  
Кирюхін О.Л., 50  
Клюєв О.І., 206  
Ковальов В.С., 121  
Коновалов М.Ю., 93  
Копп В.Я., 306  
Куліш Ю.О., 160  
Кучеренко Ю.М., 290

**Л**

Леонов В.В., 30  
Леонов В.Є., 116, 121, 160  
Лисенко В.І., 86  
Літвин С.М., 170  
Луняка К.В., 206, 212  
Лянна О.В., 212  
Ляшук О.Л., 217

**М**

Малигін Б.В., 93, 130, 228, 284  
Маслов В.О., 41  
Михайлик В.Д., 278  
Моїсеєнко Л.Л., 235

**Н**

Наговський Д.А., 102, 334  
Настасенко В.О., 175, 239  
Ніколаєнко О.С., 3

**О**

Огородова О.А., 140  
Одарченко Д.М., 149  
Одінцов В.В., 250  
Ожиганов Ю.Г., 140  
Осташко Є.А., 30

**П**

Погожих М.І., 149  
Погорлецький Д.С., 130  
Прокопчук Ю.А., 322

**Р**

Рижова В.Ю., 256  
Родькіна Г.В., 140  
Романовський Г.Ф., 50  
Русанов С.А., 206, 212

**С**

Савків В.Б., 262  
Савків Г.В., 262  
Савчук П.П., 184  
Сапронов А.А., 130  
Селіванов С.Є., 160, 268  
Скирденко О.І., 278  
Сподар К.В., 149  
Старостін С.М., 30  
Сюсель О.О., 149

**Т**

Ткаченко І.В., 30  
Товстокорій О.М., 59  
Тригуб С.М., 268

**Ч**

Чабан В.О., 116, 121  
Черненко В.В., 21  
Чернецька І.Є., 334  
Черпіта П.В., 50

**Ш**

Шарко О.В., 102  
Швець І.А., 170

---

**ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ**

---

До друку приймаються статті з результатами власних оригінальних досліджень, що мають наукову і практичну значущість і не публікувалися досі. До друку **не приймаються суто оглядові статті**. Відповідальність за зміст статті несе автор.

Згідно з вимогами п. 3 Постанови Президії Вищої Атестаційної Комісії України № 7-05/1 від 15.01.2003 р., наукові статті, що надаються до друку, повинні містити наступні елементи: постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання даної проблеми, на які посилається автор; виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття; формулювання цілей статті (постановка завдання); викладення основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки щодо даного дослідження та перспективи подальших наукових досліджень у даному напрямку.

*Обсяг статей* – до 15 сторінок, включаючи всі матеріали, у т. ч. таблиці, рисунки, графіки та список літературних джерел.

*Оформлення статті*. На першій сторінці рукопису зазначається код УДК, назва роботи, прізвище, ініціали та науковий ступінь (звання) автора(ів).

*Код УДК* – по лівому краю, розмір шрифту – 12.

*Назва* – по центру друкованими літерами (шрифт жирний, розмір шрифту – 14).

*Інформація про автора(ів)*: прізвище, ініціали, науковий ступінь, вчене звання, повна назва установи або громадської організації, посада (для іноземних учасників – держава) – курсивом, по центру, розміром шрифту 12.

*Текст* надається у форматі редактора MS Word шрифтом Times New Roman, розмір шрифту – 14, інтервал – 1.

Параметри сторінки: поля зверху, знизу, праворуч – 2,0 см, ліворуч – 2,5 см, колонтитули – 1,3 см, абзацний відступ – 1,25 см.

*Формули* набираються у редакторі формул Microsoft Equation. Це стосується також формул і символів формул, які стоять по тексту. Розміри (опція меню редактора Equation Editor):

- Звичайний                    14 пт.
- Крупний індекс            7 пт.
- Дрібний індекс            5 пт.
- Крупний символ          20 пт.
- Дрібний символ          14 пт.

*Таблиці* набираються у Microsoft Word.

*Рисунки* повинні бути чорно-білими. Формат рисунків (.tif, .psx, .bmp та ін.) має бути сумісний з редактором тексту **Microsoft Word 2000**.

*Структура статті*: вступ (постановка задачі або проблеми); рішення задачі (мета, задачі, об'єкти, предмети, методи дослідження); основні

результати та висновки з перспективами; список використаних літературних джерел. Основні розділи можуть мати назви, відмінні від приведених вище найменувань.

*Список використаної літератури* подається загальним списком у кінці рукопису (послідовність – у порядку згадування по тексту) згідно зі встановленими вимогами стандарту ДСТУ ГОСТ 7.1 та вимогами, викладеними у Бюлетені ВАК України № 5 (2009).

*Анотації* українською, російською та англійською мовами обсягом від 30 до 100 слів надаються: на мові оригіналу статті перед вступом, на двох інших мовах – після тексту статті. У кінці анотацій наводяться ключові слова.

*Документи, що подаються до редакції.*

Для публікації автор повинен надати до відділу інноваційних технологій ХДМА:

- Комп'ютерний варіант статті – файл, набраний у редакторі Microsoft Word 2000 for Windows. Машинописні рукописи не приймаються;
- файл кожного малюнка, включеного в статтю, окремо;
- рукопис статті (на паперовому носії), підписаний автором(ами) – 2 примірники.

Крім тексту статті автором(ами) надаються:

- коротка анотація українською, англійською і російською мовами, включаючи назву статті та прізвища авторів трьома мовами – на окремій сторінці;
- зовнішня рецензія професора, доктора наук (редакційна колегія залишає за собою право направляти статті на додаткову рецензію);
- відомості про авторів (прізвище, ім'я, по батькові, вчений ступінь, вчене звання, місце роботи, посада, домашня або службова адреса, контактний телефон, e-mail (якщо є), наукові інтереси авторів) – на окремій сторінці.

Редакційна колегія залишає за собою право як не публікувати роботи у разі їх відхилення, так і приймати рішення щодо їх відповідності напрямам журналу

**МОРСЬКИЙ ТА РІЧКОВИЙ ТРАНСПОРТ**

|                                                                                                                                              |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>ГЕНЕРИРОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ КОРПУСА<br/>ТРАНСПОРТНОГО СУДНА</b>                                                                             | <b>3</b>   |
| <i>Бондаренко А.В., Бойко А.П., Николаенко О.С.</i>                                                                                          |            |
| <b>THE OPTIMAL COMMERCIAL SPEED OF A TRANSPORT VESSEL<br/>WITH RESPECT TO OPERATORS' SUBJECTIVE PREFERENCES</b>                              | <b>12</b>  |
| <i>Goncharenko A.V.</i>                                                                                                                      |            |
| <b>ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ СООТНОШЕНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО<br/>СИНХРОННОГО ВАЛОГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТА</b>                                               | <b>21</b>  |
| <i>Ищенко И.М., Черненко В.В.</i>                                                                                                            |            |
| <b>СЕПАРАЦИЯ СУДОВЫХ ЛЬЯЛЬНЫХ ВОД НА ОСНОВЕ<br/>ПРОЦЕССА СУПЕРКАВИТАЦИИ</b>                                                                  | <b>30</b>  |
| <i>Леонов В.В., Осташко Е.А., Ткаченко И.В., Старостин С.Н.</i>                                                                              |            |
| <b>ТЕХНОЛОГИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ОБЕЗВОЖИВАНИЯ<br/>ГРУНТОВОЙ ПУЛЬПЫ В УСЛОВИЯХ РАБОТЫ ЗЕМСНАРЯДА</b>                                         | <b>41</b>  |
| <i>Маслов В.А.</i>                                                                                                                           |            |
| <b>ДІАГНОСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СУДНОВИХ РОТОРНИХ<br/>СИСТЕМ ІЗ ПІДШИПНИКАМИ КОВЗАННЯ</b>                                                        | <b>50</b>  |
| <i>Романовський Г.Ф., Кирюхін О.Л., Ажимов В.В., Черніта П.В.</i>                                                                            |            |
| <b>КАЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ДИНАМИКИ УПРАВЛЕНИЯ<br/>ДВИЖЕНИЕМ БОЛЬШОГО ПАРУСНОГО СУДНА</b>                                                        | <b>59</b>  |
| <i>Товстокорый О.Н.</i>                                                                                                                      |            |
| <b>ПРОБЛЕМИ ВИЩОЇ ШКОЛИ</b>                                                                                                                  |            |
| <b>РЕАЛІЗАЦІЯ ОСНОВНИХ ПРИНЦИПІВ БОЛОНСЬКОЇ<br/>ДЕКЛАРАЦІЇ ЩОДО УДОСКОНАЛЕННЯ ПІДГОТОВКИ<br/>ФАХІВЦІВ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ</b> | <b>69</b>  |
| <i>Казанчан А.А., Васильченко Г.Ю.</i>                                                                                                       |            |
| <b>ПЛАНУВАННЯ І УПРАВЛІННЯ РОЗВИТКУ У КУРСАНТІВ<br/>ЕЛЕМЕНТІВ ТВОРЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ</b>                                                         | <b>86</b>  |
| <i>Лисенко В.І.</i>                                                                                                                          |            |
| <b>РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО<br/>СЕРЕДОВИЩА</b>                                                                    |            |
| <b>ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ МИО НА ДОНОРНО-АКЦЕПТОРНУЮ<br/>РЕКОМБИНАЦИЮ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В<br/>НЕУПОРЯДОЧЕННЫХ СТРУКТУРАХ</b>                      | <b>93</b>  |
| <i>Богданов А.В., Малыгин Б.В., Бень А.П., Коновалов М.Ю.</i>                                                                                |            |
| <b>ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ<br/>ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОГО<br/>ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ</b>                    | <b>102</b> |
| <i>Івченко Т.І., Шарко О.В., Наговський Д.А.</i>                                                                                             |            |

|                                                                                                                                                                                    |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>ПОВЫШЕНИЕ ПРОЧНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ<br/>НЕРАЗЪЕМНЫХ КОРПУСНЫХ СОЕДИНЕНИЙ С<br/>ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ<br/>ОБРАБОТКИ</b>                                         | <b>108</b> |
| <i>Кавун В.И., Кавун А.В.</i>                                                                                                                                                      |            |
| <b>ОХРАНА ТРУДА ЭКИПАЖА СУДНА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ<br/>ШТАТНОГО РЕЙСА</b>                                                                                                                | <b>116</b> |
| <i>Леонов В.Е., Чабан В.А.</i>                                                                                                                                                     |            |
| <b>ПУТИ НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ПИРАТСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА<br/>МОРЕ</b>                                                                                                                       | <b>121</b> |
| <i>Леонов В.Е., Чабан В.А., Ковалев В.С.</i>                                                                                                                                       |            |
| <b>МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В<br/>ПРОЦЕССЕ МАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ<br/>ТОПЛИВ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ</b>                                | <b>130</b> |
| <i>Малыгин Б.В., Погорлецкий Д.С., Васильченко Г.Ю., Сапронов А.А.</i>                                                                                                             |            |
| <b>КАТОДНАЯ ПОЛЯРИЗАЦИЯ ПРИ ПОТЕНЦИАЛЕ<br/>НЕЗАРЯЖЕННОЙ ПОВЕРХНОСТИ КАК СПОСОБ ЗАЩИТЫ<br/>СУДОКОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОТ КОРРОЗИОННО-<br/>МЕХАНИЧЕСКИХ РАЗРУШЕНИЙ В МОРСКОЙ ВОДЕ</b> | <b>140</b> |
| <i>Ожиганов Ю.Г., Родькина А.В., Огородова А.А., Калинина О.И.</i>                                                                                                                 |            |
| <b>ВИКОРИСТАННЯ КРІОСКОПІЧНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕНЬ<br/>ДЛЯ ТОВАРОЗНАВЧОЇ ОЦІНКИ ПРОДУКТІВ</b>                                                                                        | <b>149</b> |
| <i>Погожих М.І., Одарченко Д.М., Діденко О.В., Сподар К.В., Сюсель О.О.</i>                                                                                                        |            |
| <b>КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ОБЛИКА<br/>СИСТЕМЫ АЭРОМОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА МЧС УКРАИНЫ</b>                                                                                  | <b>160</b> |
| <i>Селиванов С.Е., Леонов В.Е., Кулиш Ю.А.</i>                                                                                                                                     |            |
| <b>НОВИЙ ПІДХІД ДО КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМ<br/>ВПУСКУ ДВИГУНА ПРИ РОБОТІ НА АЛЬТЕРНАТИВНИХ<br/>ПАЛИВНИХ ГАЗАХ</b>                                                           | <b>170</b> |
| <i>Швець І.А., Литвин С.М.</i>                                                                                                                                                     |            |

#### **ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ**

|                                                                                 |            |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>ПРОЕКТУВАННЯ ЗМІННИХ ВІДРІЗНИХ РІЗАЛЬНИХ ПЛАСТИН<br/>СИСТЕМНИМИ МЕТОДАМИ</b> | <b>175</b> |
| <i>Бабій М.В., Настасенко В.О.</i>                                              |            |
| <b>ДО ПИТАННЯ ПРО СТРУКТУРУВАННЯ ЕПОКСИДНИХ<br/>КОМПОЗИТІВ У ФІЗИЧНИХ ПОЛЯХ</b> | <b>184</b> |
| <i>Боярська І.В., Савчук П.П., Кашицький В.П.</i>                               |            |
| <b>АНАЛІЗ СТАНІВ ЕПОКСИКОМПОЗИТІВ НА ОСНОВІ ЗМІНИ<br/>ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ</b>  | <b>191</b> |
| <i>Добротвор І.Г.</i>                                                           |            |

---

|                                                                                                                                                                      |            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ І РЕЖИМІВ ФОРМУВАННЯ ЕПОКСИКОМПОЗИТНИХ ПОКРИТТІВ</b>                                                                                           | <b>197</b> |
| <i>Долгов М.А., Букетов А.В., Безбах О.М., Зубрецька Н.А., Алексенко В.Л.</i>                                                                                        |            |
| <b>ЗБІЛЬШЕННЯ РУШІЙНОЇ СИЛИ ПРОЦЕСУ ТЕПЛООБМІНУ ПРИ ВИКОРИСТАННІ РОЗПОДІЛЬНИХ ВСТАВОК</b>                                                                            | <b>206</b> |
| <i>Луняка К.В., Ключев О.І., Русанов С.А, Ардашев В.О.</i>                                                                                                           |            |
| <b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРОКИПАЮЩЕГО СЛОЯ ИОНИТА (ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ)</b>                                                                                                   | <b>212</b> |
| <i>Лянна О.В., Луняка К.В., Русанов С.А.</i>                                                                                                                         |            |
| <b>ВПЛИВ ТОЧНОСТІ ШПОНКОВИХ З'ЄДНАНЬ НА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ БАГАТОКОНТУРНИХ ЛАНЦЮГОВИХ ПЕРЕДАЧ</b>                                                                      | <b>217</b> |
| <i>Ляшук О.Л.</i>                                                                                                                                                    |            |
| <b>НОВЫЙ ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ ПРИБОР ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ, А ТАКЖЕ ДРУГИХ МЕХАНИЗМАХ НА ТРАНСПОРТЕ И ФЛОТЕ</b> | <b>228</b> |
| <i>Мальгин Б.В., Кавун А.В.</i>                                                                                                                                      |            |
| <b>СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРА РЕШІТКИ КУБІЧНИХ КРИСТАЛІВ</b>                                                                                                        | <b>235</b> |
| <i>Моїсєнко Л.Л.</i>                                                                                                                                                 |            |
| <b>НОВЫЙ ФИЗИЧЕСКИЙ СМЫСЛ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ ФИЗИЧЕСКОЙ КОНСТАНТЫ СКОРОСТИ</b>                                                                                          | <b>239</b> |
| <i>Настасенко В.А.</i>                                                                                                                                               |            |
| <b>ПРИРОДА ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ ДОДЕКАБОРИДІВ РІДКІСНОЗЕМЕЛЬНИХ МЕТАЛІВ ЗІ СТРУКТУРОЮ ТИПУ <math>UB_{12}</math></b>                                                    | <b>250</b> |
| <i>Одінцов В.В.</i>                                                                                                                                                  |            |
| <b>УДОСКОНАЛЕННЯ ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ ДВИГУНА СТРІЛІНГА РОТОРНОГО ТИПУ</b>                                                                                              | <b>256</b> |
| <i>Рижова В.Ю.</i>                                                                                                                                                   |            |
| <b>АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ СХЕМ СТРУМЕНЕВИХ ЗАХОПЛЮВАЛЬНО-ОРІЄНТУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ</b>                                                                                    | <b>262</b> |
| <i>Савків В.Б., Бігус В.В., Савків Г.В.</i>                                                                                                                          |            |
| <b>ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РОЛИ ПОВЕРХНОСТИ В ПРОЦЕССАХ ПРОТЕКАЮЩИХ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР НА ПОЛИМЕРНЫЙ МАТЕРИАЛ</b>            | <b>268</b> |
| <i>Селиванов С.Е., Тригуб С.Н.</i>                                                                                                                                   |            |
| <b>ВИЗНАЧЕННЯ КІЛЬКОСТІ ДУБЛЬОВАНИХ ДОСЛІДІВ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ МІЦНОСТІ ЕПОКСИКОМПОЗИТНОГО З'ЄДНАННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН</b>                                                 | <b>278</b> |
| <i>Скирденко О.І., Михайлик В.Д., Бень А.П., Ісаєв Є.О.</i>                                                                                                          |            |

---

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ**

|                                                                                                                                                                                                                                |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>УСТРОЙСТВО МАНГИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ<br/>МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ С АВТОМАТИЗИРОВАННЫМ<br/>ВЫБОРОМ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ</b><br><i>Бень А.П., Малыгин Б.В., Врублевский Р.Е.</i>                                               | <b>284</b> |
| <b>ИНТЕРНЕТ-МОНИТОРИНГ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ<br/>ТРАНСПОРТНОГО СУДНА</b><br><i>Варбанец Р.А., Ивановский В.Г., Кучеренко Ю.Н., Головань А.И.</i>                                                                            | <b>290</b> |
| <b>МАТРИЧНЫЕ АЛГОРИТМЫ ТРАНСПОРТНОГО<br/>ОБСЛУЖИВАНИЯ</b><br><i>Гильмутдинов Ш.А.</i>                                                                                                                                          | <b>296</b> |
| <b>МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА<br/>ГИДРООБЕСПЫЛИВАНИЯ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ<br/>РУДНИЧНОГО ВОЗДУХА</b><br><i>Гого В.Б., Данильчук О.Н.</i>                                                                                    | <b>301</b> |
| <b>ПРИМЕНЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И МЕТОДА<br/>НАПРАВЛЕННОЙ МУТАЦИИ ДЛЯ ГЕНЕРАЦИИ ВАРИАНТОВ<br/>ПОДСИСТЕМ В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ<br/>ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ</b><br><i>Доронина Ю.В., Копп В.Я., Заморенова Д.В.</i> | <b>306</b> |
| <b>СИНТЕЗ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ПОЛЬОТОМ БЕЗПІЛОТНОГО<br/>ЛІТАКА</b><br><i>Казак В.М., Горбач О.К., Вакарова А.Й.</i>                                                                                                               | <b>313</b> |
| <b>ПРЕДЕЛЬНЫЕ СИНДРОМНЫЕ И ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МОДЕЛИ<br/>ЗНАНИЙ</b><br><i>Прокопчук Ю.А.</i>                                                                                                                                        | <b>322</b> |
| <b>СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ СКОРОСТЬЮ ВРАЩЕНИЯ<br/>БАРАБАННОГО ОКОМКОВАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ МНОГОЗОННОЙ<br/>ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ</b><br><i>Чернецкая И.Е., Исаев Е.А., Наговский Д.А.</i>                                                   | <b>334</b> |
| <b>ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ</b>                                                                                                                                                                                                   | <b>344</b> |
| <b>ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК</b>                                                                                                                                                                                                        | <b>350</b> |
| <b>ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ</b>                                                                                                                                                                                         | <b>351</b> |



Для нотаток

Для нотаток

Для нотаток

Науковий журнал

**НАУКОВИЙ ВІСНИК**  
**ХЕРСОНСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО МОРСЬКОГО ІНСТИТУТУ**

№ 2 (5), 2011

Відповідальний за випуск *Врублевський Р.Є.*  
Науковий редактор *Ляшкевич А.І.*  
Технічний редактор *Клементьєва О.Ю.*  
Коректор *Шор А.Л.*  
Друк, фальцювальні-палітурні роботи *Удов В.Г.*

Підписано до друку 26.12.2011. Формат 60×90/32.  
Папір офсетний. Друк цифровий.  
Ум. друк. арк. 22,5. Наклад 100 прим.

Видавництво Херсонського державного морського інституту  
Свідоцтво про державну реєстрацію ХС № 62 від 06.06.2008  
73000, м. Херсон, пр. Ушакова, 20, к. 224  
тел. (0552) 44-25-24