

ISSN 2313-4763

Міністерство освіти і науки України

Херсонська державна морська академія

НАУКОВИЙ ВІСНИК
ХЕРСОНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ МОРСЬКОЇ АКАДЕМІЇ

Науковий журнал

Виходить двічі на рік

№ 2 (17)

Херсон
2017

Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал.
– Херсон : Херсонська державна морська академія, 2017. – № 2 (17). – 252 с.

Засновник і видавець – Херсонська державна морська академія

Рекомендовано до друку на засіданні Вченої ради Херсонської державної морської академії (протокол № 8 від 24.12.2017 р.)

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 Євген Олексійович, д.т.н., професор;

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

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

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

СЕЛІВАНОВ Станіслав Євгенович, д.т.н., професор;

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

Адреса редакційної колегії:

73000, м. Херсон, просп. Ушакова, 20, тел. (0552) 22-35-69

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
КВ № 18987-7776ПР від 11.05.2012 р.

Журнал внесено до Переліку наукових фахових видань України (постанова президії ВАК України № 1-05/3 від 30.03.2011 р., Наказ МОН України № 374 від 13.03.2017 р.)

Журнал індексується українською загальнодержавною реферативною базою даних «Україніка наукова» і представлений у **Науковій електронній бібліотеці Національної бібліотеки України імені В.І. Вернадського**.

Журнал включено до міжнародної наукометричної бази «**Наукова електронна бібліотека E-Library.Ru**» (Російського індексу наукового цитування – РІНЦ) (договір № 732-11/2014 від 24.11.2014 р.).

ISSN 2313-4763

© Науковий вісник Херсонської
державної морської академії, 2017

МОРСЬКИЙ ТА РІЧКОВИЙ ТРАНСПОРТ

МЕТОДЫ ВНЕШНЕГО УПРАВЛЕНИЯ СУДАМИ В СИТУАЦИИ ОПАСНОГО СБЛИЖЕНИЯ

Бурмака И. А., к.т.н., доцент, заведующий кафедрой управления судном Национального университета «Одесская морская академия», e-mail: burmaka-mob@ukr.net;

Кулаков М. А., аспирант кафедры управления судном Национального университета «Одесская морская академия», e-mail: burmaka-mob@ukr.net;

Калиниченко Г. Е., аспирант кафедры управления судном Национального университета «Одесская морская академия», e-mail: burmaka-mob@ukr.net

Рассмотрены содержание и основные особенности и достоинства принципа полного управления процессом расхождения судов внешним управленцем, которым может быть, как Система управления движением судов, так и, что принципиально важно, судовая информационная система, с теми же возможностями, установленная на каждом из судов.

Показано, что основными методами внешнего управления процессом расхождения судов являются формирование и использование областей опасных значений параметров движения сближающихся судов. Наиболее предпочтительными при наличии достаточного водного пространства в районе маневрирования являются области опасных значений курсов сближающихся судов. При наличии навигационных опасностей, ограничивающих возможность изменение курсов судов, в статье предлагается применение областей опасных значений скоростей. Также рассмотрена область опасных курсов одного из судов и скоростей второго судна. Описаны процедуры оценки опасности ситуации сближения пары судов и выбора маневра расхождения с помощью рассмотренных трех типов областей опасных значений параметров движения опасно сближающихся судов.

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

Постановка проблемы. Одной из наиболее актуальных проблем безопасности судовождения является обеспечение безопасного расхождения судов в ситуации опасного сближения при плавании в стесненных водах. Поэтому стесненные районы плавания с особенно интенсивным движением для контроля процесса судовождения и управления движением опасно сближающихся судов оборудуются станциями управления движением судов (СУДС), которые должны располагать современными средствами предупреждения столкновения судов, использующими способы безопасного расхождения двух и более судов. Таким образом, исследование вопросов управления судами, следующих опасными курсами сближения, в районах контроля СУДС, чему посвящена настоящая статья, является актуальным и перспективным направлением.

Анализ последних достижений и публикаций. Ряд моделей формализации взаимодействия судов при расхождении и процедуры расчета безопасного маневра рассмотрены в работах [1–6]. Для описания процесса расхождения в работе [1] используются методы теории оптимальных дискретных процессов, а в работах [2, 3] в рамках теории дифференциальных игр производится формализация взаимодействия судов при расхождении. В работе [4] предлагается для описания взаимодействия судов при расхождении использовать метод нелинейной интегральной инвариантности. В работе [5] обобщено понятие взаимодействия судов при возникновении угрозы столкновения, в ней также предложена формализация МППСС-72.

Проблема предупреждения столкновений судов разносторонне исследована в работе [6] и предложен метод гибких стратегий их расхождения, позволяющий формировать оптимальную стратегию расхождения судна с несколькими опасными целями с учетом требований МППСС-72, имеющимися навигационными опасностями и инерционно-тормозными характеристиками судна.

В работе [7] рассмотрено управления тремя судами для безопасного расхождения, а результаты исследования эффективности парных маневров расхождения приведены в работе [8]. Ряд особенностей задачи расхождения судов в море освещен в монографии [9],

в которой приведен метод предупреждения столкновения судов путем смещения на параллельную линию пути.

В рассмотренных работах выбор стратегии расхождения судна производится в рамках локально-независимого принципа управления процессом расхождения, который предусматривает обязательную координацию взаимодействия между судами при опасном сближении. Однако, при управлении процессом расхождения судов с помощью СУДС исчезает необходимость во взаимном согласовании маневров судов механизмом взаимодействия, т. е. реализуется принцип внешнего управления процессом расхождения, исследование основных особенностей которого составляет содержание данной статьи.

Цель статьи. Цель настоящей статьи – анализ методов предупреждения столкновений судов при внешнем управлении процессом их расхождения.

Изложение основного материала. При полном управлении опасно сближающихся судов внешний управленец наблюдает ситуацию сближения и в случае появления ситуационного возмущения формирует общую стратегию расхождения для обоих судов.

Таким управленцем может быть, как СУДС, так и, что принципиально важно, судовая информационная система, с теми же возможностями, установленная на каждом из судов, решающая задачу коллективной компенсации ситуационного возмущения и реализующая полученную в результате решения индивидуальную стратегию. Внешний управленец Ξ наблюдает вектор состояния F пары сближающихся судов и производит анализ наличия ситуационного возмущения, при появлении которого производится выбор оптимальной стратегии (G_1, G_2) . Маневры G_1 и G_2 , как показано на рис. 1, адресуются судам c_1 и c_2 , которые осуществляют их реализацию.

Достоинством полного управления судов внешним управленцем является одинаковая интерпретация ситуационного возмущения при выборе маневров расхождения G_1 и G_2 .

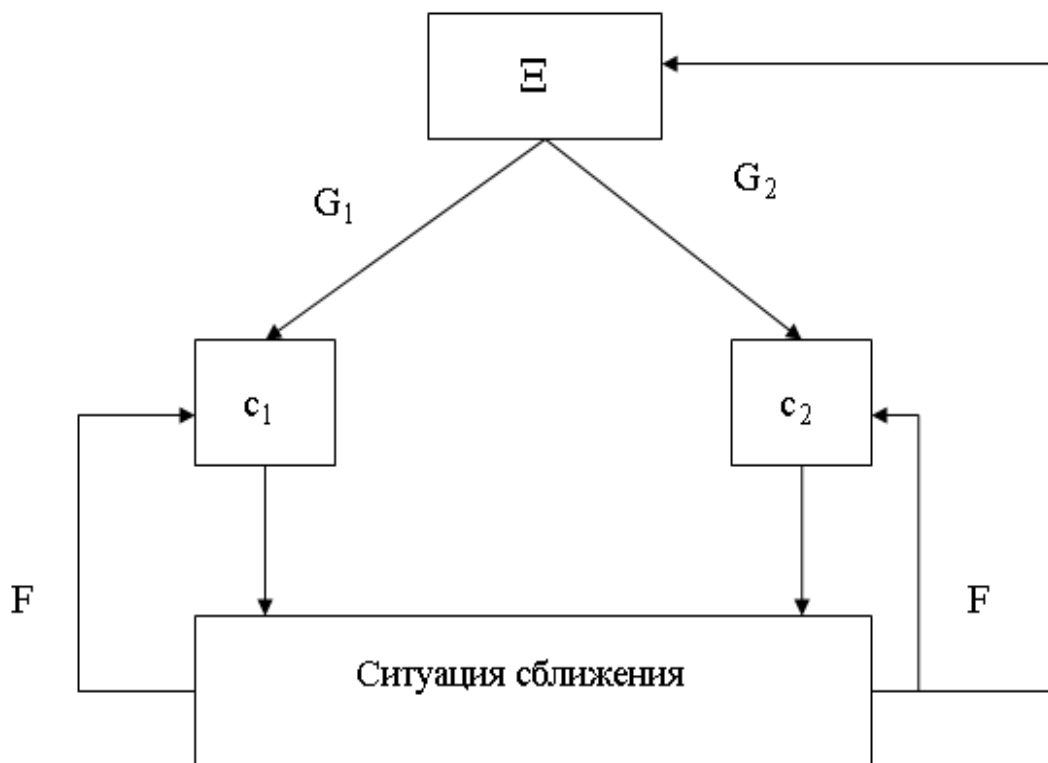


Рисунок 1 – Принцип полного управления процессом расхождения внешним управленцем

При управлении процессом расхождения внешний управленец наблюдает ситуацию сближения пары судов и в случае появления угрозы столкновения формирует общую стратегию расхождения для обоих судов, предупреждая их столкновение. Таким управленцем может быть, как СУДС, так и судовая информационная система, с теми же возможностями, установленная на каждом из судов, решающая задачу коллективного расхождения и реализующая полученную в результате решения индивидуальную стратегию. Достоинством полного управления процессом расхождения внешним управленцем является одинаковая интерпретация ситуации опасного сближения при выборе маневров расхождения. Так как при полном управлении в случае опасного сближения выбор стратегии расхождения производится не опасно сближающимися судами, а внешним управленцем, то отсутствует система координации, регламентирующая взаимодействие опасно сближающихся судов (МППСС-72).

В работе [10] показано, что множество состояний пары сближающихся судов целесообразно представлять областью опасных курсов Q_k , которая отображается на расширенной плоскости курсов судов, как показано на рис. 2.

Границами области Q_k являются точки курсов судов (K_1 , K_2), удовлетворяющие следующему уравнению:

$$\sin(K_2 - \theta) = \frac{V_1}{V_2} \sin(K_1 - \theta),$$

где $\theta = \alpha \pm \arcsin \frac{D_d}{D}$; α и D – соответственно пеленг и дистанция между судами;

D_d – предельно-допустимая дистанция сближения судов.

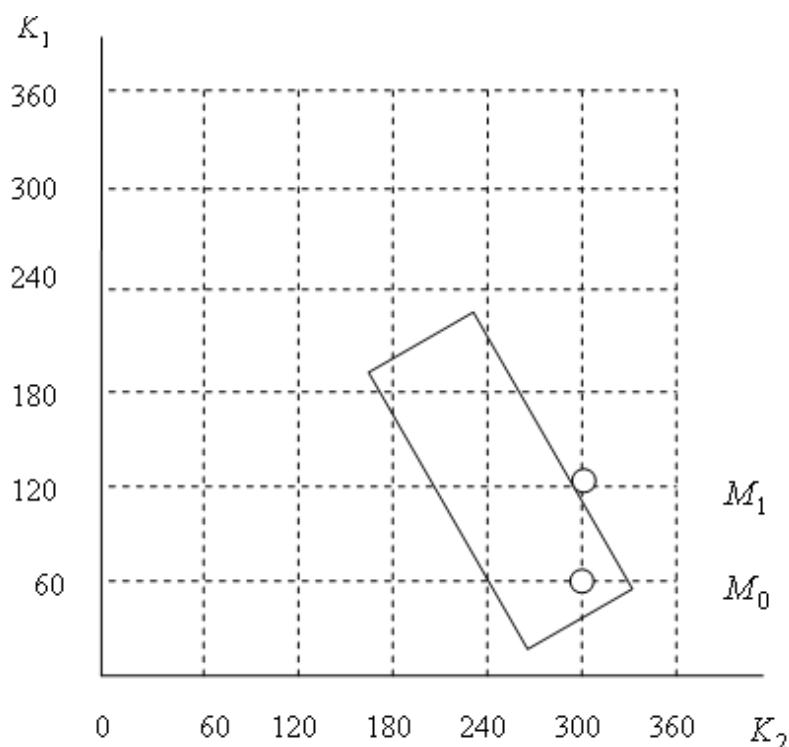


Рисунок 2 – Область опасных курсов Q_k судов

При нахождении точки $M_0(K_1, K_2)$ (рис. 1) внутри области опасных курсов Q_k дистанция кратчайшего сближения $D_{\min}$ меньше предельно-допустимой дистанции D_d , и сближение судов является опасным. Угроза столкновения отсутствует, если точка $M_1(K_1, K_2)$ находится на границе или вне области Q_k . Если для пары судов точка с

программными курсами (K_{10} , K_{20}) находится в области Q_k , то необходимо при неизменных скоростях судов изменить их курсы на значения K_{1y} и K_{2y} , при которых точка (K_{1y} , K_{2y}) не принадлежит области опасных курсов, а находится на ее границе. Переход из точки (K_{10} , K_{20}) области Q_k в точку (K_{1y} , K_{2y}), должен соответствовать минимальным изменениям курсов судов.

В ситуации, когда опасно сближающиеся суда не могут изменять свой курс, предупредить столкновение можно изменением их скоростей. В этом случае множество состояний пары сближающихся судов следует графически представить областью опасных скоростей Q_v , которая аналогична области опасных курсов Q_k , с той лишь разницей, что каждой точке (V_1, V_2) парных скоростей судов соответствует дистанция кратчайшего сближения между судами D_{min} . Граница опасной области скоростей, каждая точка которой соответствует дистанции кратчайшего сближения равной предельно-допустимой дистанции, т. е. $D_{min} = D_d$, формализуется выражениями [11]:

$$V_1^* = V_2 \frac{\sin(K_2 - \theta^*)}{\sin(K_1 - \theta^*)};$$

$$V_{1*} = V_2 \frac{\sin(K_2 - \theta_*)}{\sin(K_1 - \theta_*)},$$

$$\text{где } \theta^* = \alpha - \arcsin \frac{D_d}{D}, \theta_* = \alpha + \arcsin \frac{D_d}{D}.$$

При постоянных значениях курсов судов K_1 и K_2 границы опасной области скоростей являются линейными, как показано на рис. 3.

На рис. 3 показана область недопустимых скоростей для пары опасно сближающихся судов, курсы которых являются неизменными. В качестве примера выбрана ситуация опасного сближения судов с параметрами: $\alpha = 90^\circ$, $D = 3,0$ мили, $D_d = 1,0$ мили, $K_1 = 45^\circ$, $K_2 = 315^\circ$, с начальными скоростями $V_1 = 15$ узлов и $V_2 = 15$ узлов. В этом случае $\gamma^* = 70,5^\circ$ и $\gamma_* = 109,5^\circ$, а выражения для верхней $Gr^*(V_1, V_2)$ и нижней $Gr_*(V_1, V_2)$ границ:

$$V_1^* = 2,097V_2 \text{ и } V_{1*} = 0,477V_2.$$

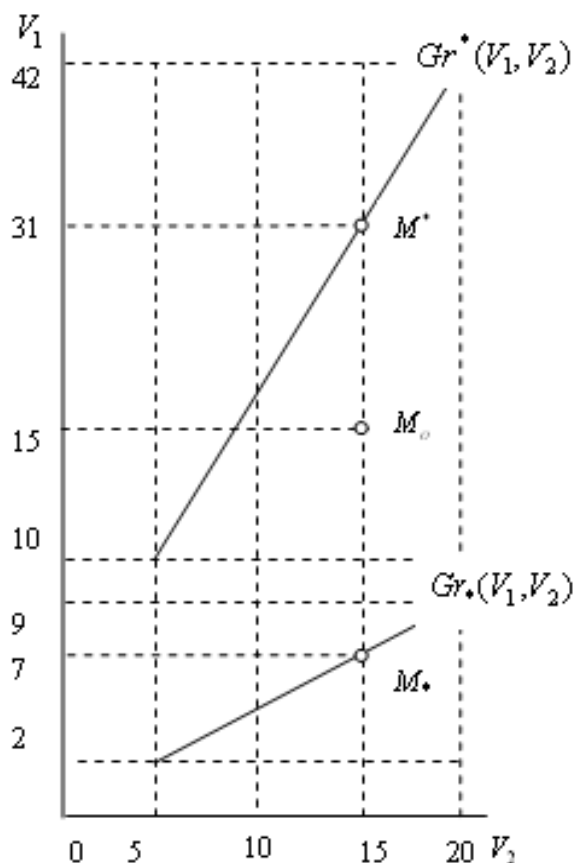


Рисунок 3 – Область опасных скоростей Q_v судов

Как следует из приведенного рисунка, точка с начальными скоростями M_0 принадлежит области недопустимых скоростей и сближение судов опасно. Если судно, имеющее скорость V_2 следует с неизменными параметрами, а судно со скоростью V_1 будет маневрировать изменением скорости, то безопасное расхождение на дистанции $D_d = 1,0$ мили возможно при увеличении скорости V_1 до значения 31,5 узла (точка M^*) или ее уменьшении до значения 7,2 узла (точка M_*). Указанные точки находятся на верхней $Gr^*(V_1, V_2)$ и нижней $Gr_*(V_1, V_2)$ границах области опасных скоростей.

Однако возможности безопасного расхождения опасно сближающихся судов возрастают при использовании еще одного типа расхождения, при котором одно из судов изменяет курс, сохраняя неизменной скорость, а второе судно на постоянном курсе может снижать свою скорость. В указанном случае необходимо рассмотреть область опасных курсов одного судна и скоростей другого судна, при сочетании которых дистанция кратчайшего сближения меньше предельно-допустимой дистанции, т. е. сближение судов является опасным. Рассмотрим принцип формирования такой области, которую обозначим Ω_{KV} . Очевидно, что границу области Ω_{KV} на плоскости $K_1 \times V_2$ составляют точки (K_1, V_2) , удовлетворяющие условию $\min D(K_1, V_2) = d_d$. С учетом обозначения $\gamma^{(1,2)} = \alpha \mp \arcsin(\frac{d_d}{D})$, граница области Ω_{KV} аналитически формализуется с помощью выражения [11]:

$$\sin K_1 \cos \gamma^{(1,2)} - \cos K_1 \sin \gamma^{(1,2)} = \frac{V_2}{V_1} (\sin K_2 \cos \gamma^{(1,2)} - \cos K_2 \sin \gamma^{(1,2)}),$$

или

$$\sin(K_1 - \gamma^{(1,2)}) = \frac{\sin(K_2 - \gamma^{(1,2)})}{V_1} V_2.$$

Если обозначить $\mu^{(1,2)} = \frac{\sin(K_2 - \gamma^{(1,2)})}{V_1}$, то $V_2^{(1,2)} = \frac{\sin(K_1 - \gamma^{(1,2)})}{\mu^{(1,2)}}$. Следовательно, существует две границы, на которых достигается равенство $\min D = d_d$:

$$\begin{aligned} V_2^{(1)} &= \frac{\sin(K_1 - \gamma^{(1)})}{\mu^{(1)}} = \frac{V_1}{\sin[K_2 - (\alpha + \arcsin \frac{d_d}{D})]} \sin[K_1 - (\alpha - \arcsin \frac{d_d}{D})], \\ V_2^{(2)} &= \frac{\sin(K_1 - \gamma^{(2)})}{\mu^{(2)}} = \frac{V_1}{\sin[K_2 - (\alpha - \arcsin \frac{d_d}{D})]} \sin[K_1 - (\alpha + \arcsin \frac{d_d}{D})]. \end{aligned} \quad (1)$$

Так как рассматриваем изменение скорости торможением, то значения скоростей $V_2^{(1,2)}$ должны удовлетворять условию $V_{2n} > V_2^{(1,2)} \geq 0$, где V_{2n} – начальная скорость судна.

Рассмотрим, какие значения курса K_1 соответствуют граничным значениям 0 и V_{2n} скорости $V_2^{(1,2)}$. Прежде всего, отмечаем, что границы не могут быть определены для ситуации, когда $K_2 = \alpha \pm \arcsin \frac{d_d}{D}$. Очевидно, из уравнений границ (1):

$$K_1(V_2^{(1,2)} = 0) = \alpha \mp \arcsin \frac{d_d}{D} = \gamma^{(1,2)}.$$

Для определения второго значения $K_1(V_2^{(1,2)} = V_{2n})$ рассмотрим уравнение:

$$V_2^{(1,2)} = \frac{\sin(K_1 - \gamma^{(1,2)})}{\mu^{(1,2)}},$$

в которое подставляем $V_2^{(1,2)} = V_{2n}$:

$$V_{2n} = \frac{\sin(K_1 - \gamma^{(1,2)})}{\mu^{(1,2)}},$$

откуда

$$\sin(K_1 - \gamma^{(1,2)}) = \frac{V_{2n}}{V_1} \sin(K_2 - \gamma^{(1,2)}),$$

поэтому

$$K_1 = \gamma^{(1,2)} + \arcsin\left[\frac{V_{2n}}{V_1} \sin(K_2 - \gamma^{(1,2)})\right],$$

или

$$K_1(V_2^{(1,2)} = V_{2n}) = \gamma^{(1,2)} + \arcsin\left[\frac{V_{2n}}{V_1} \sin(K_2 - \gamma^{(1,2)})\right].$$

В случае $V_1 > V_{2n}$ существуют значения $K_1(V_2^{(1,2)} = V_{2n})$ для обеих границ, а если $V_1 < V_{2n}$, то необходимо учитывать соотношения между величиной $\gamma^{(1,2)}$ и экстремальными относительными курсами K_{otmax} и K_{otmin} .

Рассмотрим случай, когда $V_1 > V_{2n}$ и находим граничные значения курса первого судна:

$$K_1(V_2^{(1)} = 0) = \alpha - \arcsin \frac{d_d}{D} = \gamma^{(1)};$$

$$K_1(V_2^{(2)} = 0) = \alpha + \arcsin \frac{d_d}{D} = \gamma^{(2)};$$

$$K_1(V_2^{(1)} = V_{2n}) = \gamma^{(1)} + \arcsin \left[\frac{V_{2n}}{V_1} \sin(K_2 - \gamma^{(1)}) \right];$$

$$K_1(V_2^{(2)} = V_{2n}) = \gamma^{(2)} + \arcsin \left[\frac{V_{2n}}{V_1} \sin(K_2 - \gamma^{(2)}) \right].$$

Введем обозначения:

$$K_{lmin}^{(1)} = K_1(V_2^{(1)} = 0), \quad K_{lmin}^{(2)} = K_1(V_2^{(2)} = 0);$$

$$K_{lmax}^{(1)} = K_1(V_2^{(1)} = V_{2n}), \quad K_{lmax}^{(2)} = K_1(V_2^{(2)} = V_{2n}).$$

С учетом принятых обозначений:

$$K_{lmin}^{(1)} = \alpha - \arcsin \frac{d_d}{D} = \gamma^{(1)};$$

$$K_{lmin}^{(2)} = \alpha + \arcsin \frac{d_d}{D} = \gamma^{(2)};$$

$$K_{lmax}^{(1)} = \gamma^{(1)} + \arcsin \left[\frac{V_{2n}}{V_1} \sin(K_2 - \gamma^{(1)}) \right];$$

$$K_{lmax}^{(2)} = \gamma^{(2)} + \arcsin \left[\frac{V_{2n}}{V_1} \sin(K_2 - \gamma^{(2)}) \right].$$

Обращаем внимание, что изменение скорости второго судна V_2 на участке $V_2 \in (0, V_{2n})$ для первой границы происходит на участке курсов $K_1 \in (K_{lmin}^{(1)}, K_{lmax}^{(1)})$, т. е. на интервале $\Delta K_1^{(1)} = K_{lmax}^{(1)} - K_{lmin}^{(1)}$ или с учетом полученных выражений $\Delta K_1^{(1)} = \arcsin \left[\frac{V_{2n}}{V_1} \sin(K_2 - \gamma^{(1)}) \right]$. Аналогично для второй границы: $K_1 \in (K_{lmin}^{(2)}, K_{lmax}^{(2)})$ и $\Delta K_1^{(2)} = \arcsin \left[\frac{V_{2n}}{V_1} \sin(K_2 - \gamma^{(2)}) \right]$. Заметим, что интервалы $\Delta K_1^{(1)}$ и $\Delta K_1^{(2)}$ меньше $\pi/2$, поэтому на этих интервалах значение скорости V_2 для обеих границ монотонно возрастает. С учетом полученных результатов область Ω_{KV} опасных параметров курса одного судна и скорости второго судна, заключенная между первой G_{IKV} и второй G_{2KV} границами для

случая $V_1 > V_{2n}$ выглядит, как показано на рис. 3. Поэтому, если точка с начальными параметрами движения судов $M_n(K_{n1}, V_{2n})$ находится между первой G_{1KV} и второй G_{2KV} границами, т. е. $(K_{n1}, V_{2n}) \in \Omega_{KV}$, то имеет место неравенство $\min D(K_{n1}, V_{2n}) < d_d$, и сближение судов является опасным. В этом случае необходимо выбрать параметры уклонения судов K_{1y} и V_{2y} , таким образом, чтобы соответствующая им точка $M_y(K_{1y}, V_{2y})$ находилась на ближайшей к точке $M_n(K_{n1}, V_{2n})$ границе области Ω_{KV} и расстояние между точками M_n и M_y было минимальным как показано на рис. 4.

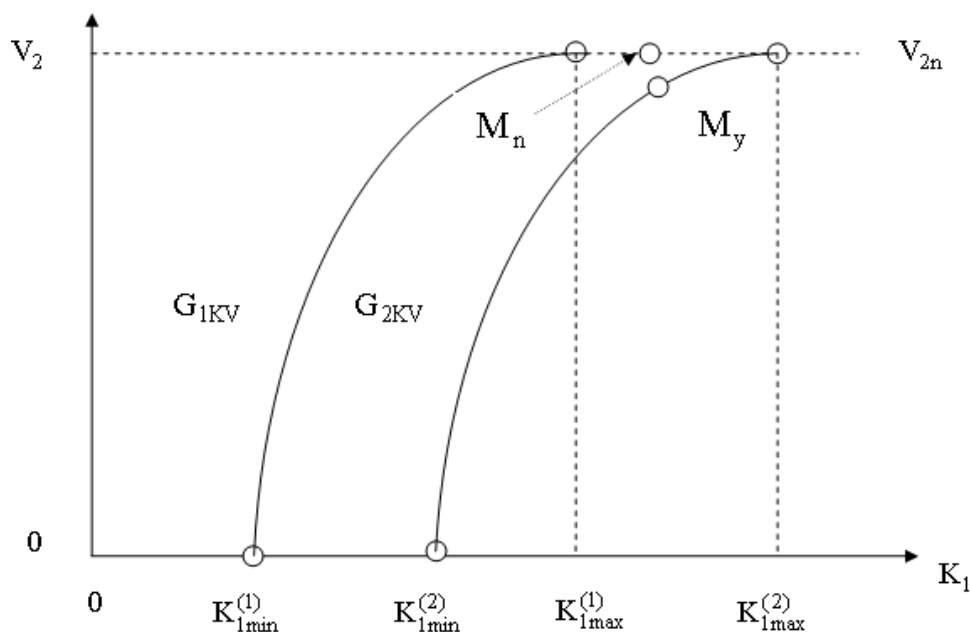


Рисунок 4 – Область Ω_{KV} опасных параметров судов

Выводы:

1. Рассмотрен принцип внешнего управления процессом расхождения судов и показано, что главными его достоинствами являются одинаковая интерпретация ситуации опасного сближения при выборе маневров расхождения и отсутствие система координации, регламентирующей взаимодействие опасно сближающихся судов.

2. Приведены основные методы оценки опасности сближения судов и выбора в случае необходимости маневра их расхождения. Показано, что основными методами внешнего управления процессом расхождения судов являются область опасных курсов сближающихся судов и область их опасных скоростей, причем приведены аналитические выражения их границ.

3. Получены выражения для формализации границ области недопустимых значений курсов одного судна и скоростей второго судна и предложена процедура ее графического отображения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Куликов А. М. Оптимальное управление расхождением судов / А. М. Куликов, В. В. Поддубный // Судостроение. – 1984. – № 12. – С. 22–24.
2. Lisowski J. Dynamic games methods in navigator decision support system for safety navigation / Lisowski J. // Advances in Safety and Reliability. – 2005. – Vol. 2. – London-Singapore, Balkema Publishers. – P. 1285–1292.
3. Кудряшов В. Е. Синтез алгоритмов безопасного управления судном при расхождении с несколькими объектами / В. Е. Кудряшов // Судостроение. – 1978. – № 5. – С. 35–40.

4. Павлов В. В. Некоторые вопросы алгоритмизации выбора маневра в ситуациях расхождения судов / В. В. Павлов, Н. И. Сеньшин // Кибернетика и вычислительная техника. – 1985. – № 68. – С. 43–45.
5. Пятаков Э. Н. Взаимодействие судов при расхождении для предупреждения столкновения / Э. Н. Пятаков, Р. Ю. Бужбецкий, И. А. Бурмака, А. Ю. Булгаков. – Херсон : Гринь Д. С., 2015. – 312 с.
6. Цымбал Н. Н. Гибкие стратегии расхождения судов / Н. Н.Цымбал, И. А.Бурмака, Е. Е. Тюпиков. – Одесса : КП ОГТ, 2007. – 424 с.
7. Бурмака И. А. Маневр расхождения трех судов изменением курсов / И. А. Бурмака, А. Ю. Булгаков // Автоматизация судовых технических средств : науч. -техн. сб. – 2014. – Вып. 20. – Одесса : ОНМА. – С. 18–23.
8. Пятаков Э. Н. Оценка эффективности парных стратегий расходящихся судов / Э. Н. Пятаков., С. И. Заичко // Судовождение: сб. научн. трудов. / ОНМА. – Вып.15. – Одесса : ИздатИнформ, 2008. – С. 166–171.
9. Вагущенко Л. Л. Расхождение с судами смещением на параллельную линию пути / Л. Л. Вагущенко. – Одесса : Фенікс, 2013. – 180 с.
10. Булгаков А.Ю. Использование опасной области курсов двух судов для выбора допустимого маневра расхождения / А. Ю Булгаков // Водный транспорт. – 2014. – № 2 (20). – С. 12–17.
11. Бурмака И. А. Управление судами в ситуации опасного сближения / И. А Бурмака., Э. Н Пятаков., А. Ю. Булгаков – Саарбрюккен (Германия) : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 585 с.

REFERENCES

1. Kulikov, A. M. and Poddubnyy. V.V. (1984). Optimum management by divergence of vessels. *Sudostroenie*, 12, 22–24.
2. Lisowski, J. (2005). Dynamic games methods in navigator decision support system for safety navigation. *Advances in Safety and Reliability*, Vol. 2. London-Singapore : Balkema Publishers. 1285-1292.
3. Kudryashov, V. E. (1978). Synthesis of algorithms of safe management by a ship at divergence with a few objects. *Sudostroenie*, 5. 35–40.
4. Pavlov, V. V., Senshin, N. I. (1985). Some questions of choice of maneuver in the situations of divergence of vessels. *Kibernetika i vychislitel'naya tekhnika*, 8. 43–45.
5. Pyatakov E. N., Buzhbeckij R. Y., Burmaka I. A., Bulgakov A. Y. (2015). *Cooperation of vessels at divergence for warning of collision*. Kherson : Grin D. S. 312 p.
6. Tsimbal, N. N., Burmaka, I. A. and Tyupikov, E. E. (2007). Flexible strategies of divergence of vessels. Odessa : KP OGT. 424 p.
7. Burmaka, I. A., Bulgakov, A. Y. (2014). Maneuver of divergence of three vessels by the change of courses. *Avtomatizatsiya sudovykh tekhnicheskikh sredstv*, 20. 18–23.
8. Pyatakov E. N., Zaichko S. I. (2008). Estimation of efficiency of pair strategies of going away vessels. *Sudovozhdenie*, 15. 166–171.
9. Vagushchenko, L. L. (2013). *Divergence with vessels by displacement on the parallel line of way*. Odessa : Feniks. 180 p.
10. Bulgakov, A. Y. (2014). Use of dangerous region of courses of two vessels for the choice of possible manoeuvre of divergence. *Vodnyy transport*, 2 (20). 12–17.
11. Burmaka I., Pyatakov E., Bulgakov A. (2016). *Management by vessels in the situation of dangerous rapprochement*. Saarbryukken (Germany) : LAP LAMBERT Academic Publishing. 585 p.

Бурмака І. А., Кулаков М. О., Калініченко Г. Є. МЕТОДИ ЗОВНІШНЬОГО УПРАВЛІННЯ СУДНАМИ В СИТУАЦІЇ НЕБЕЗПЕЧНОГО ЗБЛИЖЕННЯ

Розглянуті зміст і основні особливості і переваги принципу повного управління процесом розходження суден зовнішнім управлінцем, яким може бути, як Система управління рухом суден, так і, що принципово важливо, суднова інформаційна система, з тими ж можливостями, яка встановлена на кожному із суден.

Показано, що основними методами зовнішнього управління процесом розходження суден є формування і використання областей небезпечних значень параметрів руху суден, що зближуються. Найбільш переважними за наявності достатнього водного простору в районі маневрування є області небезпечних значень курсів суден, що зближуються. За наявності навігаційних перешкод, що обмежують можливість зміни курсів суден, в статті пропонується застосування областей небезпечних значень швидкостей. Також розглянута область небезпечних курсів одного з суден і швидкостей другого судна. Описані процедури оцінки небезпеки ситуації зближення пари суден і вибору маневру розходження за допомогою розглянутих трьох типів областей небезпечних значень параметрів руху суден, що небезпечно зближуються.

Ключові слова: безпека судноводіння, розходження суден при небезпечному зближенні, зовнішнє управління процесом розходження, області небезпечних параметрів руху.

Burmaka I. A., Kulakov M. A., Kalinichenko G. Y. METHODS OF EXTERNAL MANAGEMENT BY VESSELS IN THE SITUATION OF DANGEROUS RAPPROCHEMENT

Maintenance and basic features and dignities of principle of complete process control of divergence of vessels by external management which can be is considered, both traffic control system of vessels and, that is on principle important, ship informative system, with those possibilities, set on each of ships.

It is shown that forming and use of regions of dangerous values of parameters of motion of the drawn together vessels are the basic methods of external process control of divergence of vessels. At presence of sufficient water space in the district of maneuvering the regions of dangerous values of courses of the drawn together vessels are most preferable. At presence of navigation dangers limiting possibility change of courses of vessels, application of regions of dangerous values of speeds is offered in the article. The region of dangerous courses of one of ships and speeds of the second ship is also considered. Procedures of estimation of danger of situation of rapprochement of pair of vessels and choice of maneuver of divergence by the considered three types of regions of dangerous values of parameters of motion of the dangerously drawn together vessels are described.

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

© Бурмака І. А., Кулаков М. О., Калініченко Г. Є.

Статтю прийнято
до редакції 23.10.17

УДК 656.61.052

ОРТОГОНАЛЬНОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ НАВИГАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В РЯД ГРАМА-ШАРЛЬЕ ТИПА А

Ворохобин И. И., к.т.н., доцент, декан факультета морских перевозок и технологий Национального университета «Одесская морская академия», e-mail: burmaka-mob@ukr.net;

Сикирин В. Е., старший преподаватель кафедры судовождения Национального университета «Одесская морская академия», e-mail: burmaka-mob@ukr.net

Фусар И. Ю., старший преподаватель кафедры судовождения Национального университета «Одесская морская академия», e-mail: burmaka-mob@ukr.net

Произведен анализ возможностей применения ортогонального разложения плотностей распределения погрешностей навигационных измерений с помощью полиномов Эрмита. Приведены свойства полиномов Эрмита для плотности закона распределения Гаусса.

Получены в явном виде разложения плотностей на базе нормированного и ненормированного нормального закона ортогональными полиномами Эрмита в ряд Грама-Шарлье типа А.

Приведены результаты оценки эффективности ортогонального разложения плотностей распределения случайных погрешностей навигационных измерений путем сравнения нормированных плотностей с их ортогональными разложениями. В результате анализа оказалось, что наилучшая эффективность ортогонального разложения достигается в случае, когда оно содержит только одно слагаемое.

В качестве примера рассмотрена плотность обобщенного распределения Пуассона и ее ортогональное разложение полиномами Эрмита. Показана их хорошая сходимость и подтверждена возможность применения ортогонального разложения вместо плотности распределения случайных погрешностей навигационных измерений.

Ключевые слова: навигационная аварийность, законы распределения случайных погрешностей, ортогональное разложение плотности распределения, полиномы Эрмита, ряд Грама-Шарлье типа А.

Постановка проблемы. Одним из существенных аспектов проблемы обеспечения надлежащего уровня безопасности судовождения является повышение точности контроля места судна при плавании в стесненных водах. Для обеспечения максимальной точности обсерваций места судна необходимо знать закон распределения погрешностей навигационных измерений.

Однако при дефиците статистических материалов погрешностей не удастся с помощью стандартной процедуры определить закон их распределения, хотя можно оценить центральные моменты распределения и если гистограмма выборки имеет «утяжеленные хвосты», то можно использовать разложение плотности распределения погрешностей с помощью ортогональных полиномов Эрмита, не располагая ее аналитическим выражением.

Анализ последних достижений и публикаций. Анализ статистических данных погрешностей навигационных измерений, полученных в натурных наблюдениях, представлен в работах [1, 2]. Показано, что погрешности не подчиняются нормальному закону распределения. В работе [3] представлены результаты анализа статистических материалов точности определения места судна с помощью приёмника спутниковой радионавигационной системы, которые показали, что предположение о распределении случайных погрешностей определения широты и долготы по закону Гаусса не является корректным и требует альтернативного подхода.

В работе [4] для описания случайных погрешностей навигационных измерений предложены смешанные законы двух типов, альтернативные нормальному закону, а обобщенный закон Пуассона с этой же целью предложен в работе [5].

Результаты исследования возможности описания систем зависимых случайных величин с помощью обобщенного распределения Пуассона с базовым нормальным распределением приведены в работе [6].

В этом случае, как следует из работы [7], применение метода наименьших квадратов для расчета обсервованных координат судна не обеспечивает возможности получения их эффективных оценок. Для получения эффективных оценок обсервованных координат судна необходимо использовать метод максимального правдоподобия, учитывающий действительный закон распределения погрешностей. Данное обстоятельство в настоящее время не учитывается, и соответствующие аналитические выражения получения эффективных оценок отсутствуют.

Оценка эффективности обсервованных координат судна при избыточных линиях положения произведена в работе [8], показано, что при смешанных законах распределения эффективность меньше единицы, и с ростом существенного параметра она стремится по величине к единице. В работе [9] приведены результаты идентификации законов распределения погрешностей навигационных измерений, из которых следует, что погрешности измерений радиолокационных пеленгов и расстояний подчиняются в основном смешанным законам первого и второго типа.

Анализ рассмотренных работ показывает, что разнообразие законов распределения вероятностей случайных величин, особенностью которых является наличие утяжеленных хвостов, может быть унифицировано использованием ортогонального разложения с полученными значениями центральных моментов высших порядков. При этом существенным обстоятельством является степень совпадения плотности распределения с ее ортогональным разложением, что является предметом исследования данной статьи.

Цель статьи. Целью статьи является анализ эффективности ортогонального разложения плотностей законов распределения и выявление возможностей использования ортогонального разложения вместо плотности распределения упомянутых законов на примере обобщенного распределения Пуассона.

Изложение основного материала. Оценка точности обсервации судна возможна при известном законе распределения векториальной погрешности, аналитический вид плотности которой однозначно определяется выражением законов распределения погрешностей измерений навигационных параметров.

В работе [1] показано, что закон распределения погрешностей навигационных измерений близок к закону Гаусса, поэтому плотность распределения $f(x)$ центрированной и нормированной случайной погрешности x можно представить ортогональным разложением $f(x)$, в ряд Грама-Шарлье типа А, воспользовавшись результатами работы [10]:

$$f(x) = c_0 \varphi(x) + c_1 \varphi^{(1)}(x) + c_2 \varphi^{(2)}(x)/2! \dots + c_i \varphi^{(i)}(x)/i! \dots,$$

где $\varphi(x) = (2\pi)^{-1/2} \exp(-x^2/2)$ – нормальная плотность нормированной и центрированной случайной величины.

В работе [10] получены выражения производных высших порядков от нормальной плотности $\varphi^{(i)}(x)$ через ортогональные полиномы Эрмита $H_i(x)$:

$$\varphi^{(i)}(x) = (-1)^i H_i(x) \varphi(x),$$

где $H_i(x) = (-1)^i \left\{ \frac{d^i}{dx^i} [\exp(-x^2/2)] \right\} \exp(-x^2/2)$.

В случае, когда случайной величина x является ненормированной, разложение имеет следующий вид:

$$f(x) = c_0 \varphi(x) + c_1 \varphi^{(1)}(x) + c_2 \varphi^{(2)}(x)/2! \dots + c_i \varphi^{(i)}(x)/i! \dots, \quad (1)$$

где $\varphi(x) = (2\pi)^{-1/2} \sigma^{-1} \exp(-x^2/2\sigma^2)$ и $\varphi^{(i)}(x) = (-1)^i H_i(x/\sigma^2) \varphi(x)$, причем σ – дисперсия исходной плотности $f(x)$.

В выражении (1) коэффициенты c_i с нечетными индексами равны нулю, а для коэффициентов с четными индексами c_{2s} ($s=1, 2, \dots$) справедливо:

$$c_4 = \mu_4 / \sigma^4 - 3; \text{ (эксцесс);}$$

$$c_6 = \mu_6 / \sigma^6 - 15\mu_4 / \sigma^4 + 30;$$

$$c_8 = \mu_8 / \sigma^8 - 28\mu_6 / \sigma^6 + 210\mu_4 / \sigma^4 - 315;$$

$$c_{10} = \mu_{10} / \sigma^{10} - 45\mu_8 / \sigma^8 + 630\mu_6 / \sigma^6 - 3150\mu_4 / \sigma^4 + 3780;$$

$$c_{12} = \mu_{12} / \sigma^{12} - 66\mu_{10} / \sigma^{10} + 1485\mu_8 / \sigma^8 - 13860\mu_6 / \sigma^6 + 51975.$$

Выражение (1) для ортогонального разложения плотности $f(x)$ с учетом полученных результатов принимает вид:

$$f(x) = (2\pi)^{-1/2} \sigma^{-1} \exp(-x^2/2\sigma^2) \left[1 + \sum_{s=2} \frac{c_{2s}}{(2s)!} H_{2s}(x/\sigma^2) \right], \quad (2)$$

в котором σ^2 и μ_{2s} вычисляются по исходной плотности $f(x)$, а выражения для четных полиномов Эрмита имеют следующий вид:

$$H_4(y) = y^4 - 6y^2 + 3;$$

$$H_6(y) = y^6 - 15y^4 + 45y^2 - 15;$$

$$H_8(y) = y^8 - 28y^6 + 210y^4 - 420y^2 + 105;$$

$$H_{10}(y) = y^{10} - 45y^8 + 630y^6 - 3150y^4 + 4725y^2 - 945;$$

$$H_{12}(y) = y^{12} - 66y^{10} + 1485y^8 - 13860y^6 + 51975y^4 - 62370y^2 + 10395.$$

В приведенных выражениях $y = x/\sigma^2$.

Результаты сравнения нормированных плотностей $f(x)$ и их ортогонального разложения полиномами Эрмита $f(x)$ для смешанных законов обоих типов и обобщенного закона Пуассона представлены в работе [11]. Учитывая симметричность кривой плотности распределения, рассматривались только положительные значения погрешности ξ в пределах от 0 до 6σ , – практически весь интервал возможных значений погрешности, который был разбит на 24 отрезка одинаковой длины (по $0,25\sigma$), и для середины каждого i -го отрезка вычислялись значение исходной плотности $f(\xi_i)$ и ее разложения $f(\xi_i)$.

В качестве критерия Θ , характеризующего соответствие ортогонального разложения $f(\xi_i)$ исходной нормированной плотности $f(\xi_i)$, выбрана следующая сумма:

$$\Theta = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} \left\{ \frac{[f(\xi_i) - f(\xi_i)]^2}{f(\xi_i)} \right\}^{1/2}, \quad (2)$$

выражающая относительное отклонение плотности $f(x)$ от ее разложения $f(x)$.

Для плотности каждого из трех законов распределения рассчитывали критерий Θ при различном числе составляющих разложения, т. е. вначале в ортогональном разложении $f(x)$ учитывали только первое слагаемое и рассчитывали эффективность $\Theta_1^{(n)}$. Затем вычисляли значение $\Theta_2^{(n)}$ сохраняя в разложении $f(x)$ два слагаемых. Аналогично находили значения критериев $\Theta_3^{(n)}$ и $\Theta_4^{(n)}$ для разложения с тремя и четырьмя слагаемыми.

В табл. 1 приведені значення критерія Ξ для всіх трьох досліджуваних законів розподілення з урахуванням числа слагаємих розкладення від одного до чотирьох.

Таблиця 1 – Результати розрахунку ефективності $\Xi_i^{(n)}$

Закон розподілення, суттєвий параметр	$\Xi_1^{(10)}$	$\Xi_2^{(10)}$	$\Xi_3^{(10)}$	$\Xi_4^{(10)}$
Смешаний першого типу, $n=10$	0,0037	0,0048	0,0057	0,0115
Смешаний другого типу, $n=10$	0,0033	0,0042	0,0047	0,0090
Обобщенний Пуассона, $c=5$	0,0250	0,0430	0,0670	0,0870

Із таблиці следует, що ортогональне розкладення щільності для трьох розглянутих законів розподілення має найкращу схожість з самою щільністю при використанні тільки першого члена розкладення (2), т. є. оптимальне ортогональне розкладення має наступне вираження:

$$f_1(y) = (2\pi)^{-1/2} \exp(-y^2/2) [1 + (\mu_4 - 3)(y^4 - 6y^2 + 3)/24], \quad (3)$$

де $y = x/\sigma^2$.

В висновок розглянемо щільність обобщеного закону Пуассона, породжуваного законом Гаусса, з суттєвим параметром $c=5$ і відповідну їй ортогональне розкладення (3) з першим членом. Стандартна щільність розподілення цього типу описується наступним вираженням [12]:

$$f(\xi) = \frac{\exp(-c)}{(2\pi)^{1/2} \sigma} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{c^k}{k!} k^{1/2} \exp\left(-\frac{\xi^2}{2k\sigma^2}\right),$$

де σ і c – відповідно масштабний і суттєвий параметри розподілення.

Так як дисперсія розглянутого розподілення рівна $\mu_2 = c^2$, то нормована щільність обобщеного закону Пуассона має наступний аналітичний вигляд:

$$g(y) = \frac{\exp(-c)}{(2\pi)^{1/2}} c^{1/2} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{c^k}{k!} k^{1/2} \exp\left(-\frac{cy^2}{2k}\right).$$

Розраховуємо значення ортогонального розкладення $f_1(y)$ згаданої щільності, що містить тільки одне перше слагаєме, і самої нормованої щільності $g(y)$, урахувавши, що $\mu_4 = 3(c+c^2)/c^2$. Результати розрахунків розкладення і щільності приведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Значення щільності $g(y)$ і її ортогонального розкладення $f_1(y)$

y	0	0,25	0,50	0,75	1,0	1,25
$f_1(y)$	0,429	0,412	0,366	0,301	0,230	0,165
$g(y)$	0,382	0,370	0,333	0,282	0,227	0,173
y	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75
$f_1(y)$	0,112	0,073	0,047	0,030	0,020	0,012
$g(y)$	0,127	0,089	0,060	0,039	0,025	0,015
y	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25
$f_1(y)$	0,0078	0,0046	0,0026	0,0014	0,0007	0,0003
$g(y)$	0,0092	0,0054	0,0031	0,0017	0,0009	0,0004
y	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75
$f_1(y)$	0,0001	0,00005	0,00002	0,000007	0,000002	0,00
$g(y)$	0,0002	0,0001	0,00006	0,00003	0,00001	0,000006

Из полученной таблицы следует, что ортогональное разложение плотности обобщенного пуассоновского распределения погрешностей навигационных измерений, содержащее только первый член, имеет хорошую сходимость с самой плотностью распределения.

Выводы и предложения:

1. Приведено ортогональное разложение стандартных и нормированных плотностей законов распределения погрешностей навигационных измерений.

2. Рассчитан критерий эффективности ортогональных разложений и выявлено, что точность описания ортогональным разложением исходной плотности снижается с увеличением числа членов разложения.

3. Рассмотрено три закона распределений с «утяжеленными хвостами», которые можно представить ортогональным разложением, содержащим только первый член, что позволяет применять ортогональное разложение для описания случайных погрешностей навигационных измерений.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кондрашихин В. Т. Определение места судна / В. Т. Кондрашихин – М. : Транспорт, 1989. – 230 с.
2. Hsu D. A. An analysis of error distribution in navigation / Hsu D. A. // The Journal of Navigation. – Vol. 32. – № 3. – P. 426–429.
3. Monteiro Luis. What is the accuracy of DGPS? / Sardinia Monteiro Luis, Moore Terry, Hill Chris. // J. Navig. 2005. 58, № 2, p. 207-225.
4. Астайкин Д. В. Идентификация законов распределения навигационных погрешностей смешанными законами двух типов / Д. В. Астайкин, Б. М. Алексейчук // Автоматизация судовых технических средств : науч. -техн. сб. – 2014. – Вып. 20. – Одесса : ОНМА. – С. 3–9.
5. Сикирин В. Е. Описание навигационных погрешностей с помощью обобщенного распределения Пуассона / В. Е. Сикирин // Судовождение : сб. научн. трудов / ОНМА. – Вып. 26. – Одесса : ИздатИнформ, 2016. – С. 152–156.
6. Астайкин Д. В. Оценка точности координат судна при избыточных измерениях / Д. В. Астайкин, В. Е. Сикирин, И. И. Ворохобин, Б. М. Алексейчук. – Saarbrücken, Deutschland/Германия : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 274 с.
7. Мудров В. М. Методы обработки измерений / В. М. Мудров, В. Л. Кушко. – М. : Советское радио, 1976. – 192 с.
8. Бурмака И. А. Оценка эффективности обсервованных координат судна при избыточных измерениях / И. А. Бурмака, Д. В. Астайкин, Б. М. Алексейчук // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – Санкт-Петербург, 2016. – Выпуск 1 (35). – С. 24–29.
9. Алексейчук Б. М. Идентификация закона распределения погрешностей измерений / Б. М. Алексейчук, С. С. Пасечнюк // Судовождение : Сб. научн. трудов. / ОНМА. – Вып. 27. – Одесса : «ИздатИнформ», 2016.
10. Крамер Г. Математические методы статистики / Г. Крамер – М. : Мир, 1975. – 648 с.
11. Ворохобин И. И. Эффективность применения полиномов Эрмита для ортогонального разложения плотностей распределения навигационных погрешностей / И. И. Ворохобин, В. Е. Сикирин, И. Ю. Фусар // East European Scientific Journal. – 2017. – № 11 (27). Part 1. – P. 24–30.
12. Феллер В. Введение в теорию вероятностей и ее приложения. Т. 2. / Феллер В. – М. : Мир, 1984. – 752 с.

REFERENCES

1. Kondrashikhin V.T. Location of ship / Kondrashikhin V.T. – M. : Transport, 1989. – 230 s.
2. Hsu D. A. An analysis of error distribution in navigation / Hsu D. A. // The Journal of Navigation. – Vol. 32. – № 3. – P. 426–429.
3. Monteiro Luis. What is the accuracy of DGPS? / Sardinia Monteiro Luis, Moore Terry, Hill Chris. // J. Navig. 2005. 58, № 2, p. 207-225.
4. Astayrin D. V. Authentication of laws of distributing of navigation errors by the mixed laws of two types / D.V.Astayrin, B. M. Alekseychuk // Avtomatizatsiya sudovyh tehnicytskikh sredstv: nauch.-tehn. sb. – 2014. – Vyp. 20. Odessa : ONMA. – P. 3–9.
5. Sikirin V. E. Description of navigation errors by the generalized distributing of Puasson / Sikirin V.E.// Sudovozhdenie: Sb. nauchn. trudov. / ONMA, Vyp. 26. – Odessa : «IzdatInform», 2016 - P. 152 – 156.
6. Astayrin D. V. Estimation of exactness of coordinates of ship at the surplus measuring / Astayrin D. V., Sikirin V. E., Vorokhobin I. I., Alekseychuk B. M. – Saarbrucken, Deutschland/ Germaniya : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 274 p.
7. Mudrov V. M. Methods of treatment of measurings / Mudrov V.M., Kushko V.L. – M. : Sovetskoe radio, 1976. – 192 p.
8. Burmaka I. A. Estimation of efficiency of coordinates of ship at the surplus measuring / Burmaka I. A., Astaykin D. V., Alekseychuk B. M. // Vestnik Gosudarstvennogo univtrsiteta morskogo i rechnogo flota im. admiral S.O. Makarova. – Sankt-Peterburg, 2016. – vypusk 1 (35). – P. 24–29.
9. Alekseychuk B. M. Authentication of law of distributing of errors of measuring / Alekseychuk B.M., Pasechnyuk S.S. // Sudovozhdenie : Sb. nauchn. trudov. / ONMA, Vyp. 27. – Odessa : IzdatInform, 2017. – P. 10–14.
10. Cramer H. Mathematical methods of statistics / Cramer H. – M. : Mir. – 1975. – 648 p.
11. Vorokhobin I. I. Efficiency of application of the Ermit's polynomials for ortogonal decomposition of closeness of distributing of navigation errors / Vorokhobin I. I., Sikirin V. E., Fusar I. Y. // East European Scientific Journal. – 2017. – № 11 (27), part 1. – P. 24–30.
12. Feller W. An introduction to probability theory and its applications. V.2. / Feller W. – M. : Mir. 1984. – 752 p.

Ворохобін І. І., Сікірін В. Є., Фусар І. Ю. ОРТОГОНАЛЬНЕ РОЗКЛАДАННЯ ЩІЛЬНОСТІ РОЗПОДІЛУ ПОХИБОК НАВІГАЦІЙНИХ ВИМІРЮВАНЬ В РЯД ГРАМА-ШАРЛЬЄ ТИПУ А

Здійснено аналіз можливостей застосування ортогонального розкладання щільності розподілу похибок навігаційних вимірювань за допомогою поліномів Ерміту. Приведені властивості поліномів Ерміту для щільності закону розподілу Гаусу. Одержані в явному виді розкладання щільності на базі нормованого і ненормованого нормального закону ортогональними поліномами Ерміту в ряд Грама-Шарльє типу А.

Приведені результати оцінки ефективності ортогонального розкладання щільності розподілу випадкових похибок навігаційних вимірювань шляхом порівняння нормованої щільності з їх ортогональними розкладаннями. В результаті аналізу виявилось, що найкраща ефективність ортогонального розкладання досягається у разі, коли воно містить тільки один член.

Як приклад розглянута щільність узагальненого розподілу Пуассону і її ортогональне розкладання поліномами Ерміту. Показана їх хороша збіжність і підтверджена можливість застосування ортогонального розкладання замість щільності розподілу випадкових похибок навігаційних вимірювань.

Ключові слова: навігаційна аварійність, закони розподілу випадкових похибок, ортогональне розкладання щільності розподілу, поліноми Ерміту, ряд Грама-Шарльє типу А.

Vorokhobin I. I., Sikirin V. Y., Fusar I. Y. ORTHOGONAL DECOMPOSITION OF CLOSENESS OF DISTRIBUTING OF ERRORS OF THE NAVIGATION MEASURING IN THE ROW OF THE GRAMA-SHARL TYPE A

The analysis of possibilities of application of orthogonal decomposition of closenesses of distributing of errors of the navigation measuring by the Ermyt's polynomials is produced. Properties of the Ermyt's polynomials for the closeness of law of distributing of Gauss are resulted.

Got in the obvious type of decomposition of closenesses on the base of the rationed and unrationed normal law the orthogonal polynomials of Ermyt in the row of the Grama-Sharl type A.

The results of estimation of efficiency of orthogonal decomposition of closenesses of distributing of random error terms of the navigation measuring by comparison of the rationed closenesses with their orthogonal decompositions are resulted. It appeared as a result of analysis, that was achieved the best efficiency of orthogonal decomposition in the case when it contains one element only.

As an example the closeness of the generalized distributing Puasson and its orthogonal decomposition by the Ermyt's polynomials is considered. Their good accordance is shown and possibility of application of orthogonal decomposition in place of closeness of distributing of random error terms of the navigation measuring is confirmed.

Keywords: navigation accident rate, laws of distributing of random error terms, orthogonal decomposition of closeness of distributing, Ermyt's polynomials, row of the Grama-Sharle type A.

© Ворохобін І. І., Сікірін В. Є., Фусар І. Ю.

Статтю прийнято
до редакції 23.10.17

УДК 656.61

БЕЗПЕКА ПРИ ВИКОНАННІ ДИНАМІЧНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ

Габрук Р. А., к.т.н., докторант Національного університету «Одеська морська академія», e-mail: grostyslav@yahoo.com

У роботі розглянуто питання гарантування безпеки реалізації процесу динамічного позиціонування рухомого об'єкту водного транспорту, який є об'єктом керування полієргатичної системи. Розроблено алгоритм гарантування безпеки в фокусі якого є стан безпеки рухомого об'єкта водного транспорту. Визначено перспективні напрямки подальших наукових досліджень.

Ключові слова: система динамічного позиціонування, полієргатична система, безпека мореплавства, судноводіння, рухомий об'єкт водного транспорту.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими та практичними завданнями.

Необхідність освоєння нових родовищ вуглеводнів, розташованих на континентальному шельфі України, може викликати необхідність появи систем динамічного позиціонування (СДП), історія використання яких починається з середини минулого століття. Динамічне позиціонування (ДП) оптимізує процесу комерційної експлуатації рухомого об'єкту водного транспорту (РОВТ).

Бортовий багатофункціональний комплекс навігаційного обладнання (ББКНО) сучасних РОВТ, обладнаних системами управління параметрами руху, зокрема СДП, являє собою складну інтегровану систему.

У сучасному розумінні ББКНО поєднує в собі інтегровані системи управління, навігації та зв'язку, що використовуються для реалізації ефективної і безпечної навігації на просторово-часовому проміжку експлуатації РОВТ. Організація служби управління РОВТ може мати складну структуру, особливо при здійсненні операцій, пов'язаних з ДП, яка обумовлює полієргатичні властивості системи управління. При експлуатації РОВТ відбуваються аварії, що мають різні причини і наслідки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання даної проблеми. Незважаючи на впровадження в морську галузь передових досягнень науки і техніки, поліпшення підготовки операторів систем динамічного позиціонування, жорсткіше міжнародне технічне нормування будови та експлуатації РОВТ, безпека ДП на сьогодні залишається однією з самих гострих проблем галузі.

Основними задачами, що визначила ІМО, є забезпечення безпеки мореплавства і запобігання забруднення довкілля. Діяльність усіх структур ІМО і морських адміністрацій світових держав спрямована на виявлення причин морських аварій, їх аналіз і розробку комплексних заходів по їх запобіганню. Результатом цієї діяльності є міжнародні конвенції, кодекси, резолюції, керівництва, циркуляри, спрямовані на підвищення безпеки на морі.

Постановою Верховної Ради України № 3938–ХІІ від 04.02.1994 р. Україна приєдналася до Конвенції про Міжнародну морську організацію. В Україні створено єдину систему управління безпекою на морському і річковому транспорті [1], а увага вчених і організацій України спрямована на забезпечення безпеки мореплавства.

Незважаючи на чисельні дослідження вчених, що спрямовані на підвищення безпеки РОВТ з динамічними принципами позиціонування, пошук методики та методів гарантування безпеки мореплавства РОВТ з СДП є актуальним.

Постановка задачі. Метою статті є дослідження можливості гарантування безпеки ДП РОВТ, що є об'єктом управління полієргатичної системи та формування алгоритму гарантування безпечної реалізації процесу високоточної навігації.

Викладення основного матеріалу дослідження. Людський чинник вважається основним при розгляданні питань безпеки мореплавства при ДП у збуреному локально обмеженому просторі виконання технологічної роботи. У безпеці мореплавства під людським чинником розуміється сукупність можливості і здатності людини-оператора по

прийому, обробці інформації і ухваленню рішень стосовно безпеки в різних умовах, що включає увесь спектр людської діяльності по управлінню.

З числа помилок, що допускаються в процесі здійснення ДП, найбільш частими є помилки ОСДП, що виникають в процесі обробки великої кількості інформації, помилки оцінки ситуації та прийняття рішення. Помилки ОСДП, пов'язані з обробкою інформації, що надходить при здійсненні процесів високоточної навігації і виконанні технологічних робіт, виникають по наступних основних причинах:

- отримання помилкових даних від різних джерел;
- вибір не придатних до даних умов способів і критеріїв обробки інформації та прийняття рішень;
- невиконання вимог системи управління безпекою (СУБ), нормативних документів, інструкцій при здійсненні ДП;
- механічні помилки ОСДП при управлінні;
- відволікання ОСДП від управління.

Це в свою чергу викликає ситуацію, при якій помилки, що виникли на одних етапах сприйняття і переробки інформації, породжують в подальшому додаткові помилки, які позначаються на оцінці ситуації в цілому, на ухваленні рішення та його реалізації. Однак виникнення помилки ще не означає виникнення аварійної ситуації. Якщо ОСДП зміг знайти і виправити помилку, то аварійна ситуація не відбудеться. Для цього група ОСДП має бути відповідно кваліфікована. Кваліфікаційні вимоги до персоналу, що приймає безпосередню участь по управлінню РОВТ, зокрема при здійсненні ДП, викладено в повній мірі у [2, 3].

Проте технічна складова питання відходить на другий план. Без вжиття комплексних заходів для гарантування комплексної безпеки з одночасним вирішенням завдання підвищення надійності технічної складової полієргатичної системи у складних умовах ДП неможливе гарантоване рішення проблеми безпеки ДП і виконання технологічної роботи в збуреному локально обмеженому просторі.

Гарантування безпеки РОВТ на просторово-часовому проміжку виконання рейсового завдання можливо лише при одночасному збігу наступних факторів: високої професійної підготовки операторів системи динамічного позиціонування, гарантуванням надійності технічної складової полієргатичної системи, обладнання РОВТ відповідними технічними засобами для безпечної реалізації процесів високоточної навігації і виконання технологічної роботи відповідно до вимог локально обмеженого простору.

Розрізняють наступні види відмов.

Раптові відмови – виникають в результаті несприятливого поєднання випадкових зовнішніх факторів, що перевищують можливості до адаптації в їх оточенні. З такими відмовами надзвичайно важко боротися, оскільки їх важко передбачити. Для боротьби з наслідками таких відмов відбувається відповідне резервування апаратури для СДП першого, другого і третього класів. При цьому, характерною ознакою навігаційного обладнання, яке використовується для визначення вектору стану та координат РОВТ, являється необхідність роботи каналу вимірювань на різних фізичних принципах.

Поступові відмови – виникають в результаті протікання процесів деградації, старіння, зносу, що погіршують початкові параметри системи. Такі відмови повністю можуть бути виключені шляхом належного догляду та контролю відповідно до вимог виробника.

Складні відмови – у разі яких час виникнення відмови є випадковою величиною, яка не залежить від стану виробу. Ймовірність таких відмов є функцією від часу і може бути порахована.

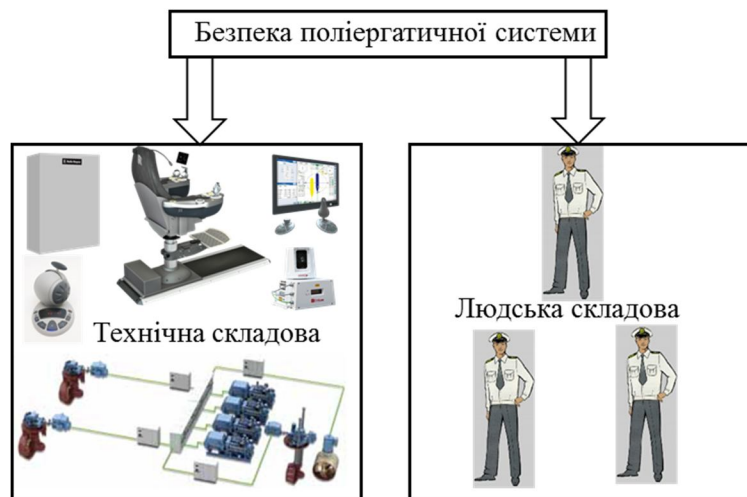


Рисунок 1 – Декомпозиція безпеки поліергатичної системи керування процесом динамічного позиціонування

В процесі експлуатації СДП технічна відмова може наступити не тільки в результаті раптових відмов. Найбільш поширені поступові відмови і складні відмови. Характерним признаком таких відмов є відхилення параметрів роботи компонентів СДП від номінальних (необхідних) значень під впливом змін оточуючих умов.

Надійність функціонування компонента СДП характеризується потраплянням поточного значення характерного параметра U в робочу область, тобто виконується умова:

$$U_i \in [U_{\min}, U_{\max}] . \quad (1)$$

При ДП надійна робота технічної системи буде полягати в тому, що значення характерних параметрів на всьому часовому відрізку здійснення ДП залишатимуться в робочій області:

$$U_{1\min} \leq U_1 \leq U_{1\max} ; U_{2\min} \leq U_2 \leq U_{2\max} ; \dots U_{n\min} \leq U_n \leq U_{n\max} . \quad (2)$$

Запропоновані вирази (1) і (2) необхідно включати до алгоритмів, що складають програмне забезпечення (ПЗ) і використовуватися інформаційною системою СДП для самоперевірки. Проте контроль таких параметрів як геометричний фактор СНС або сила сигналу гідроакустичної, лазерної або радіо систем визначення місця РОВТ повністю лягає на плечі ОСДП. При погіршенні цих сигналів не передбачено ніякої додаткової звукової сигналізації (як наприклад при відмові системи повністю). Також параметрами виступають показники напруги, ємності батареї які мають замірятися регулярно відповідно до правил експлуатації.

Гарантування безпеки процесу ДП гарантується цільовою поліергатичною системою керування в якій ключове місце належить ОСДП. Алгоритм реалізації процесу безпечного динамічного позиціонування при управлінні РОВТ поліергатичною системою наведено на рис. 2.

В фокусі запропонованого замкнутого алгоритму знаходиться безпечна реалізація процесу ДП РОВТ в локально обмеженому просторі виконання технологічної роботи (РОВТ в безпеці).

При відхиленні характерних параметрів за межі норми важливим чинником є інформованість ОСДП про конкретне відхилення і його величину. Таким чином, ще до настання відмови технічної системи можливо провести дії або заходи по недопущенню ескалації потенційно небезпечної ситуації.

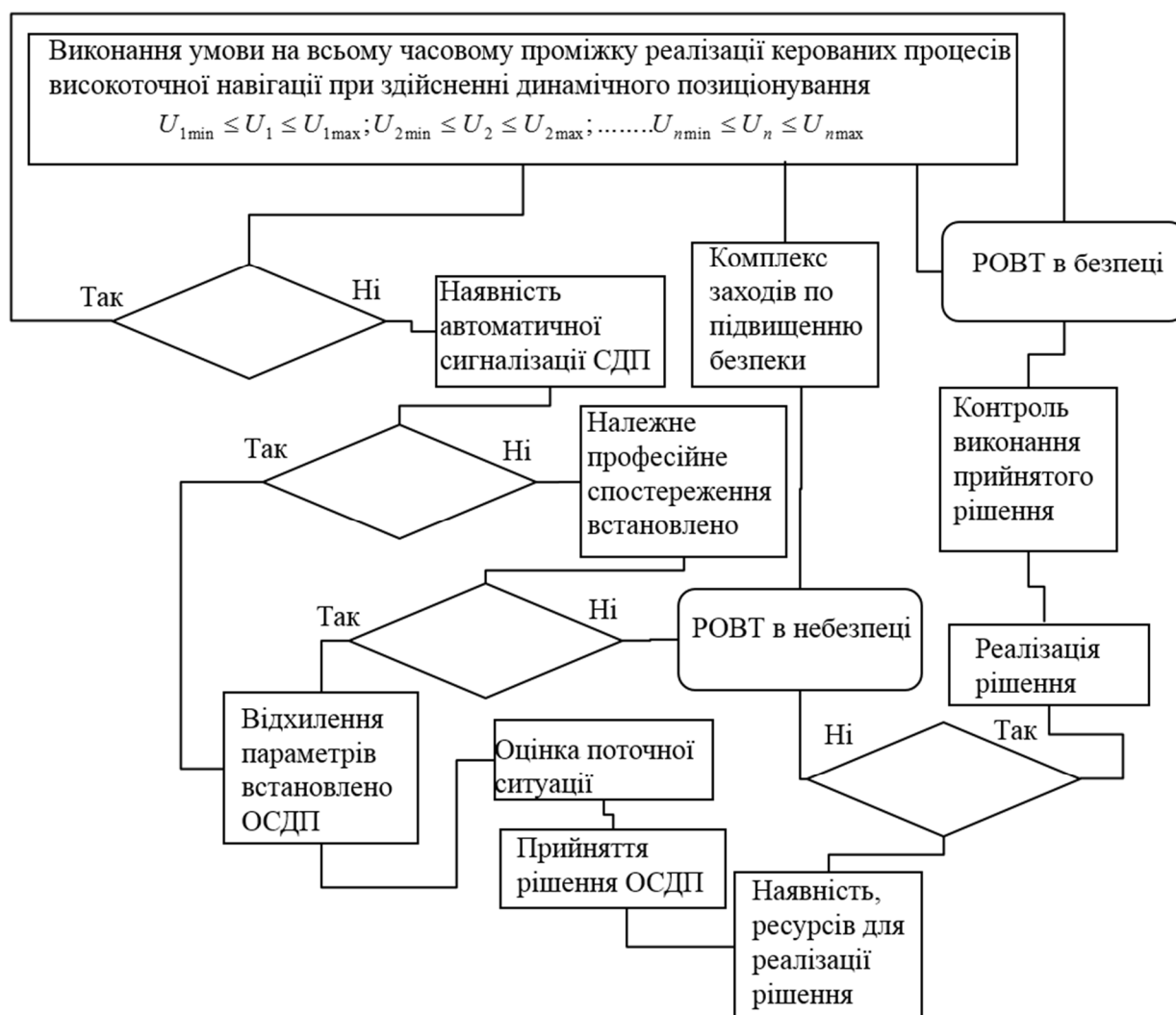


Рисунок 2 – Алгоритм реалізації процесу безпечного динамічного позиціонування

Своєчасне виявлення тенденції погіршення одного з характерних параметрів дозволяють мати резерв часу необхідний для оцінки і аналізу ситуації, прийняття рішення, реалізації прийнятого рішення та контролю виконання прийнятого рішення для гарантування безпеки ДП.

Увага ОСДП про відхилення характерних параметрів може бути привернута інформаційною підсистемою СДП, ОСДП може помітити відхилення самостійно, або члени екіпажу РОВТ можуть помітити відхилення характерних параметрів від норми при здійсненні регулярних перевірок. Для реалізації останніх пунктів необхідно гарантувати належне професійне спостереження.

Якщо спостереження не гарантовано – то РОВТ в небезпеці, бо в цій ситуації можливо не помітити деградацію системи. А при відмові – не буде резерву часу для прийняття вірного рішення. Практика показує, що рішення, які приймаються в екстремальній ситуації, коли ОСДП перебуває в стресовому стані, будуть мати меншу вірогідність бути вірними.

Також безпека не буде гарантована якщо нема ресурсів для виконання прийнятого рішення. Можна також додати, що ОСДП може і не змогти прийняти необхідне рішення. Для цього на вахті є старший оператор системи динамічного позиціонування (СОСДП). Проте і він може потребувати консультування з капітаном РОВТ. Саме тому хочеться ще раз підкреслити, що резерв часу є вирішальним в процесі гарантування безпеки ДП РОВТ, а запропонований алгоритм в повній мірі відповідає практичним вимогам.

Також необхідно оцінити вплив відмови технічної системи на безпеку процесу ДП. Для цього необхідно враховувати властивість резервування конкретного компонента СДП

з прив'язкою до класу РОВТ. Для цього пропонується складання відповідних схем надійності технічних систем, що є складовими, що мають значення для процесу ДП.

У процесі експлуатації всі компоненти СДП піддаються впливу зовнішніх дестабілізуючих факторів, які при тривалому впливі призводять до виходу робочих характеристик за допустимі межі та навіть до виходу з ладу самих компонентів СДП.

Для забезпечення надійності функціонування СДП і навігаційної безпеки РОВТ відбувається резервування компонентів СДП. Мінімальне резервування здійснюється відповідно до вимог до класу конкретної СДП, а також може здійснюватися виходячи з особливостей виконання технологічної роботи і акваторії ДП. Резервування є технічним заходом щодо забезпечення безпеки функціонування СДП.

Розглянемо систему, що складається з двох однакових компонентів. Відмова системи відбудеться при відмові обох компонентів. І в іншому випадку, відмова системи відбудеться при відмові будь-якого компоненту. Схематично це можна зобразити таким чином (рис. 3).

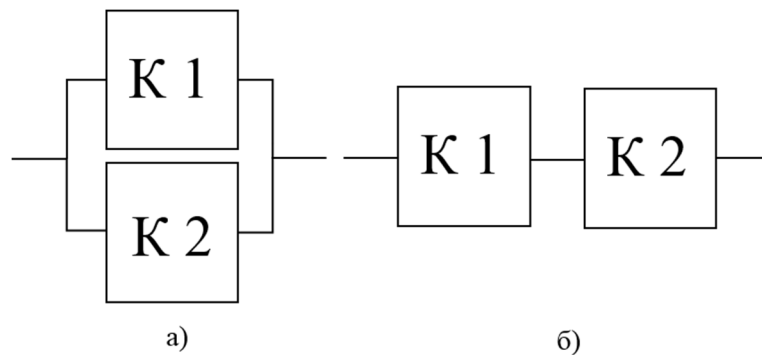


Рисунок 3 – Наочний спосіб представлення інформації про надійність:

а) компоненти резервують один одного; б) компоненти, без яких робота системи неможлива

Таким чином, виходячи з вимог КТ до резервування складових СДП, або, виходячи з аналізу ББКНО конкретного РОВТ, можна скласти загальні схеми надійності систем і обчислити конкретні чисельні показники безпечного функціонування систем РОВТ.

Висновки і перспектива подальших наукових досліджень.

У вирішенні задач надійності функціонування поліергатичної системи, що керує збуреним рухом РОВТ в локально обмеженому просторі динамічного позиціонування найважливішими є:

- забезпечення високої ймовірності безвідмовної роботи СДП протягом виконання РОВТ технологічних робіт, пов'язаних з ДП;
- забезпечення високої кваліфікації ОСДП відповідно до міжнародних вимог;
- підтримання високої ймовірності безвідмовної роботи СДП протягом експлуатаційного періоду РОВТ;
- прогнозування працездатності СДП з точки зору допустимих меж зміни його вихідних показників і обмежень, що накладаються виконуваною технологічною роботою;
- прогнозування працездатності з урахуванням самовідновлювання системи і резервування обладнання.

Запропонований алгоритм гарантує безпеку ДП на всьому часовому проміжку свого функціонування і може знайти практичне застосування у створенні перспективних високоточних інтелектуальних програмно-апаратних комплексів підтримки прийняття рішень операторів систем динамічного позиціонування. Інтерес подальших наукових досліджень також викликає застосування запропонованих схем надійності при дослідженні інших систем РОВТ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Про затвердження Положення про систему управління безпекою судноплавства на морському і річковому транспорті / Наказ № 904 МТУ від 20.11.2003. – № 52 (09.01.2004) (частина 2). – Київ : Офіційний вісник України, 2004. – С. 2844.
2. ІМСА М 117 Підготовка та досвід ключового персоналу ДП. – Лондон : ІМСА, 2006. – 42 с.
3. Міжнародна конвенція про підготовку та дипломування моряків і несення вахти 1978 року (ПДМНВ-78) з поправками (консолідований текст) / ЗАО «ЦНДІМФ». – СПб, 2010 – 806 с.

REFERENCES

1. Order No. 904 of the MTU dated 20.11.2003. «On approval of the Regulations on the system of safety management of navigation on the sea and river transport». – Kyiv : Official Gazette of Ukraine, 2004. - No. 52 (January 9, 2004) (part 2). – P. 2844.
2. IMCA M 117 The Training and experience of Key DP Personnel. – IMCA, London, 2006.- 42 p.
3. International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, 1978 (STCW 1978), as amended (consolidated text) / ZAO «CNIIMF», SPb, 2010. – 806 p.

Габрук Р. А. БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

В работе рассмотрены вопросы обеспечения безопасности реализации процесса динамического позиционирования подвижного объекта водного транспорта, который является объектом управления полиэргатической системы. Разработан алгоритм обеспечения безопасности в фокусе которого является состояние безопасности подвижного объекта водного транспорта. Определены перспективные направления дальнейших научных исследований.

Ключевые слова: система динамического позиционирования, полиэргатическая система, безопасность мореплавания, судовождение, подвижный объект водного транспорта.

Gabruk R. A. SAFETY DURING DYNAMIC POSITIONING PERFORMANCE

The issue of guaranteeing the safety of dynamic positioning process realization on mobile water transport object, which is the object of the polyergatic system control, is considered in the present paper. It was developed the algorithm of guaranteeing the safety, which has in the focus the safe state of mobile water transport object. The perspective directions of further scientific researches were determined.

Key words: dynamic positioning, polyergatic system, safety of navigation, navigation, mobile water transport object.

© Габрук Р.А.

Статтю прийнято
до редакції 4.10.17.

КОНТЕКСТНО-ОРІЄНТОВАНИЙ ПІДХІД В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІЙ ОБРОБЦІ ПОТОКІВ ДАНИХ ВІД ВОДОМІРНИХ ПОСТІВ ПРИ РУСІ СУДНА

Доронін В. В., к.т.н., професор кафедри технічних систем і процесів управління в судноводінні Державного університету інфраструктури та технологій, e-mail: doronin_vladimir@ukr.net, ORCID:0000-0002-8387-2992;

Алейніков М. В., аспірант кафедри технічних систем і процесів управління в судноводінні, Державний університет інфраструктури та технологій, e-mail: aleinikov@ukr.net;

Алейніков В. М., аспірант кафедри технічних систем і процесів управління в судноводінні, Державний університет інфраструктури та технологій, e-mail: vladxxx2017@ukr.net

Стаття присвячена актуальній проблемі, що стосується підвищення ефективності експлуатації водного транспорту за допомогою автоматизації відображення фактичних глибин на електронній карті шляхом реалізації методів обчислювального інтелекту. Аналіз останніх досліджень та публікацій за темою показав, що даний напрям є малодослідженим у порівнянні з іншими напрямками обробки картографічної інформації. Запропоновано спосіб прискорення циркуляції навігаційних даних на цифровій моделі карти, який включає математичне розв'язування задачі автоматичного отримання диференціальних поправок до вимірних глибин з урахуванням ефективності функціонування берегової інфраструктури і Inland ECDIS. Приведений сценарій захоплення в Inland ECDIS потоку даних від водомірних постів і автоматизованого розрахунку поправок в SENC за перетвореннями Лапласа.

Ключові слова: водний транспорт, водомірний пост, диференціальні поправки, електронна карта, матриця глибин, Inland ECDIS.

Вступ. Сучасний річковий транспорт стає одним з найважливіших елементів транспортних перевезень, а його розвиток – потужним каталізатором економічного зростання й підвищення обороноздатності держави. Ефективним механізмом експлуатації водних транспортних засобів (ВТЗ) у сучасних умовах інтелектуалізації системи прийняття рішень є перехід на інструментальний метод навігації й подальше підвищення безпеки руху ВТЗ на внутрішніх водних шляхах (ВВШ) України. Багатокритеріальні вимоги до експлуатаційних режимів управління рухом ВТЗ, насамперед на обмежених габаритних смугах ВВШ, породжують труднощі з реалізацією обчислювального інтелекту. За допомогою сучасних комп'ютерних, інформаційних та телекомунікаційних технологій він поки ще не здатний за критерієм обчислювальної складності зменшити показник аварійності суден [1].

Аналіз сучасного стану проблеми. Найважливішим елементом інструментального методу навігації на ВВШ України є система відображення фактичних глибин на електронній карті. Дослідження та розв'язання актуальної головної задачі полягає в диференційованому відображенні фактичних глибин на системній електронній карті (SENC) та річковій електронно-картографічній системі (Inland ECDIS), що вимагає розробки додаткових програмних, інформаційних та інструментальних засобів оперативного синтезу дієвих систем підтримки прийняття рішень для вахтових помічників капітанів. Розв'язання проблеми дослідження щодо використання деталізованого масиву глибин, автоматизації його поновлення в Inland ECDIS сприятиме вирішенню прикладних задач для підвищення безпеки руху ВТЗ з урахуванням специфіки функціонування транспортної системи України. Розробка і впровадження методів реалізації обчислювального інтелекту при використанні деталізованого масиву глибин в Inland ECDIS дозволить усунути відставання в розвитку сучасних транспортних технологій і прискорить процес інтеграції в Європейський союз.

Слід зазначити, що стаття, пов'язана з розв'язанням проблеми оновлення відображуваного масиву глибин на SENC, представляється вперше. Так сталося, що обрана

проблема вивчена ще не повністю, деякі її аспекти досліджені поверхово і побіжно. Вагомі наукові здобутки в розвитку інструментального методу навігації на річковому транспорті висвітлені в працях вітчизняних вчених: Вагущенко Л. Л., Баранова Г. Л., Паніна В. В., Беляєвського Л. С., а також закордонних вчених: Волкова А. Б., Гагарського Д. А., Каретникова В. В. [2, 3]. Проблема щодо автоматизації оновлення відображуваного масиву глибин на ENC розглядалася тільки опосередковано у форматі пропозицій і гіпотез.

Мета роботи полягає у розробці інформаційних технологій (ІТ) для розв'язування задач автоматизації отримання та відображення фактичних глибин на SENC з дотриманням вимог безпеки руху та охорони навколишнього середовища. Дана мета може бути досягнута за умови здійснення математичної обробки масиву даних, які містяться в ENC.

Проблемні ситуації під час руху ВТЗ на ВВШ України потребують усунення протиріччя та конфліктів, що притаманні традиційним технологіям використання даних Inland ECDIS та впровадження новітніх методів ІТ [3].

Основний матеріал. Запропонований підхід прийняття рішення в інтелектуальній обробці потоків даних від водомірних постів вимагає використання не тільки особливостей дійсності, які є найважливішими для конкретної ситуації прийняття рішень, а й використання різних аспектів прийняття рішень, що можуть базуватися не тільки на окремій ситуації (предметній області), а й на деякій сукупності проблемних областей. Область прийняття рішень у даному випадку є багаторівневою структурою, яка включає область проблем, область моделей, область методу та область реалізацій. Для використання цих особливостей процесу прийняття рішень використовуємо методологію розробки системи підтримки прийняття рішень, основою якої є контекст як засіб інтеграції методів системного та ситуаційного аналізу. Тобто мається на увазі інформація, яка може бути використана або характеризує процес розв'язання проблемної задачі [4]. Тут застосування контексту визначається як конструкція, яка складається з понять у межах відповідних контекстних областей.

Запропоновану контекстну структуру, що складається з контекстних понять, які пов'язані між собою через контекстні відношення, будемо використовувати, щоб визначити сутності у межах контекстів. На підставі виявлених властивостей контексту і задач, що виникають при використанні контексту, сформулюємо наступні вимоги до управління контекстом. По-перше, контекст має бути описаний стандартизованим способом. По-друге, під час представлення знань процесу прийняття рішень дотримуватимемося операцій, що необхідні для представлення контексту та управління ним. Це дозволить отримати релевантну, реальну та доступну інформацію для розв'язання конкретної задачі або для розуміння поточної ситуації. Реалізація контекстно-орієнтованого підходу в інтелектуальній обробці потоків даних від водомірних постів полягає у наступному.

1. Загальним підходом для всіх варіантів є те, що на підставі виразу (1):

$$\begin{aligned} \Delta z &= \Delta z_f + \Delta z_{ИЗМ} + \Delta z_\alpha + \Delta z_M, & h_2 - h_1 &= \frac{k_3 \cdot m_{z0}}{2}, \\ m_{z0} &= \sqrt{m_{ИЗМ}^2 + m_{zM}^2}; \\ \Delta z_\alpha &= z \cdot (\sec \alpha - 1); & \operatorname{tg} \alpha &= \frac{dz}{ds} = g, \\ \Delta z_M &= R \cdot \operatorname{tg} \alpha; \\ m_{zM} &= \frac{1}{\sqrt{2}} M \cdot \operatorname{tg} \alpha, & M &= \sqrt{M_1^2 + M_2^2}, & \forall M &= \delta_K^{def}, \end{aligned} \quad (1)$$

де Δz – поправка до вимірної глибини, Δz_f – поправка до глибин за рівнем рівень води, $\Delta z_{ИЗМ}$ – поправка засобу вимірювання (ехолота), Δz_α – поправка на за уклон дна річки, Δz_M – поправка до глибини з урахуванням похибки визначення місця, m_{z0} – загальна погрішність глибини, показаної на карті, $m_{ИЗМ}$ – загальна погрішність вимірювання глибини, m_{zM} – загальна погрішність вимірювання глибини, пов'язаними з точністю визначення місця

судна, z – виміряна глибина, α – кут уклону річки, s – відстань між рівневими постами, g – градієнт функції, R – величина відхилення при визначенні місця, M – СКП визначення місця судна, M_1 – СКП визначення глибин, M_2 – СКП нанесення глибин на карту, δ_K – точність карти [5] та виразу $(\Delta z_M)' = 0 \Rightarrow M_{\text{ОПР}} \leq 5$ м (поправка до глибини Δz_M з урахуванням похибки визначення місця $M_{\text{ОПР}}$), слідує, що області множини:

$$R_{\Delta z M 2} = \inf \Delta z_{M=0} \leq R_{\Delta z M} \leq R_{\Delta z M 1} = \sup \Delta z_{M=5}$$

є зонами функціональної здійсненності. Це дає змогу зробити висновок, що значення $M_{\text{ОПР}} \leq 5$ м можна отримати шляхом використання візуального способу визначення місця судна або режиму DGPS, що не є достатньо ефективним (вплив метеорологічних умов, перешкоди від багатьох наземних радіоджерел, екранування сигналів, велика вартість обладнання та обслуговування берегової інфраструктури та інше), тоді як визначення координат рухомого об'єкта за допомогою двох рознесених приймачів GPS дозволяє усунути зазначені недоліки.

Варто також зазначити, що знання про місце розташування тільки центру мас рухомого об'єкта стає недостатнім, наприклад, при маневруванні в обмежених акваторіях або русі судна по каналу. У таких випадках для судноводія є важливим знання про дійсне місце розташування, наприклад, контурних точок об'єкта. Для судна як твердого тіла досить знати положення тільки двох точок, щоб визначити положення будь-якої точки.

При використанні двох рознесених приймачів GPS ми отримуємо інформацію про місцезнаходження двох точок об'єкта, розташованих на відомій відстані одна від одної. У цьому випадку виникає необхідність оцінки достовірності інформації про стан обраних точок об'єкта з метою її подальшого використання при побудові траєкторії руху об'єкта або зони його навігаційної безпеки. Оскільки відстань між приймачами відома з високою точністю (наприклад, вони рознесені по краях судна по довжині), то обчислену відстань між ними можна порівнювати з дійсним значенням за отриманими координатами.

Для оцінки ступеня достовірності координат, отриманих одночасно від двох рознесених приймачів GPS, слід розрахувати довірчий інтервал із заданою надійністю і потім використовувати межі інтервалу для визначення грубих помилок у визначенні координат на об'єкті, що рухається.

Для усунення постійної помилки у визначенні місця розташування використовується навігаційний режим роботи Inland ECDIS з накладенням радарного відображення.

Відповідно до цього пояснимо принцип визначення b_{GPS} при використанні рознесених в ніс і корму антен GPS з врахуванням багатозначності (рис. 1).

$$\Delta D = D_{A1} - D_{A2}, \quad \Delta D = f(\Delta \Phi) = f(\Delta \psi + n) = f(\Delta \psi) \cdot \Delta D = \lambda \cdot \Delta \Phi \Rightarrow \\ \Rightarrow \Delta D = \lambda \cdot \Delta \psi$$

тоді

$$\left. \begin{array}{l} \Delta D \\ h_s \\ b_{\text{GPS}} \end{array} \right\} \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} A_2 F = \Delta D \cosh s, \\ q_s = \arccos \frac{A_2 F}{b_{\text{GPS}}} \rightarrow \omega = \frac{d\eta}{dt}, \quad \eta = K_{\text{GPS}1} - K_{\text{GPS}2}, \\ K_{\text{GPS}} = A_s - q_s, \\ \operatorname{tg} K = \Delta \lambda \frac{\varphi_{\text{CP}}}{\Delta \varphi}, \quad b_{\text{GPS}} = \sqrt{\Delta \varphi^2 + (\Delta \lambda \cos \varphi_{\text{CP}})^2} = \frac{\Delta \varphi}{\cos K}, \\ \varphi_{\text{CP}} = 0,5 \cdot (\varphi_1 + \varphi_2) = \varphi_1 + 0,5 \cdot \Delta \varphi, \quad \Delta b = b_{\text{GPS}} - b_{3M}. \end{array} \right. \quad (2)$$

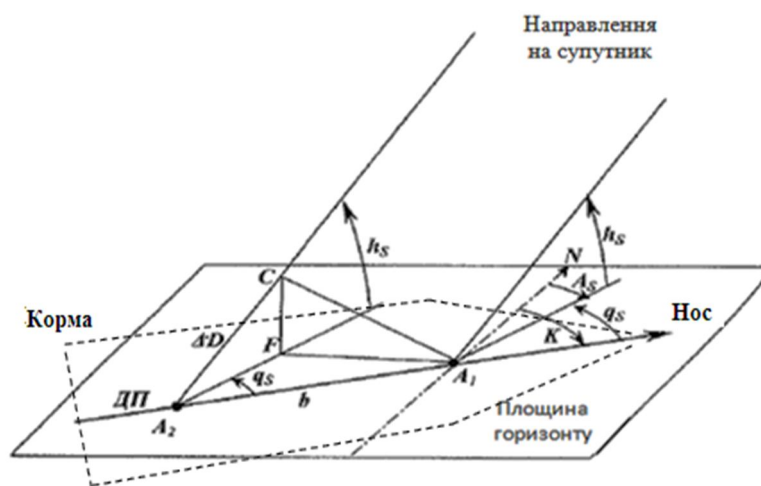


Рисунок 1 – Визначення $b_{GPS}(A_1A_2)$ при використанні рознесених в ніс і в корму антен GPS

Крім того, даний спосіб також дозволяє здійснити обчислення відстаней від носу і корми судна до кромок суднового ходу (L_H , L_K), зазначених на SENC [6]. Це пояснюється наступним чином:

$$L_H = M_{KP} - M_H = \sqrt{(\varphi_{KP} - \varphi_H)^2 + \left[(\lambda_{KP} - \lambda_H) \cdot \cos \frac{\varphi_{KP} + \varphi_H}{2} \right]^2} = \frac{\varphi_{KP} - \varphi_H}{\cos K_1},$$

$$L_K = M_{KP} - M_K = \sqrt{(\varphi_{KP} - \varphi_K)^2 + \left[(\lambda_{KP} - \lambda_K) \cdot \cos \frac{\varphi_{KP} + \varphi_K}{2} \right]^2} = \frac{\varphi_{KP} - \varphi_K}{\cos K_2},$$

де K_1 , K_2 – локсодромічні напрямки.

2. Вирази (3), (4) і рис. 2 визначають отримання диференціальних поправок $h(t)$ до вимірюваних глибин, які позначені на SENC, під час використання потоку даних від двох водомірних постів (ВП) за перетвореннями Лапласа [7]:

$$h(t) = \frac{1}{\det(pE - A)} S(p) \cdot B + \underbrace{y_{01ВП} + h_{10}}_{const} + \|(\delta y_{01ВП})_{i,1}\|, \quad (3)$$

$$y_{1ВП} = f(h_{01ВП}, \delta y_{01ВП}), \quad y_{2ВП} = f(h_{02ВП}, \delta y_{02ВП}), \quad (4)$$

де $S(p)$ – adj (союзна матриця) для $(pE - A)$; $(pE - A)$ – характеристична матриця для матриці стану A ; $\det(pE - A)$ – визначає степеневий поліном змінної Лапласа p порядку n ; $(C)_{i,j}$ – матриця зі значеннями змін миттєвого рівня води відносно 2ВП; B – матриця $n \times m$ місця знаходження судна B за даними, що зняті з SENC; $h_{01ВП}$ – постійна складова, що дорівнює нулю глибин $h_{01ВП} = h_{02ВП}$; h_{10} – постійна складова, що дорівнює можливим змінам нуля глибин відносно абсолютної системи координат $h_{10} = h_{20}$; $\|(\delta y_{01ВП})_{i,1}\|$ – матриця-стовпець змін $\delta y_{01ВП}$ миттєвого рівня води відносно 1ВП; $y_{01ВП}$ – нуль глибин 1ВП, $y_{01ВП} = y_{02ВП}$; $\delta y_{01ВП}$ – миттєвий рівень води відносно $y_{01ВП}$.

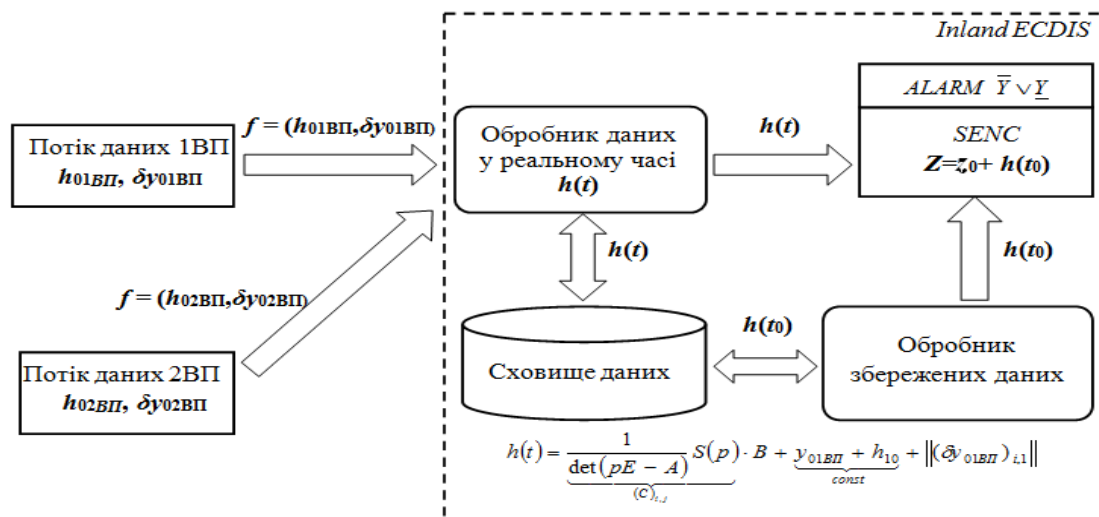


Рисунок 2 – Концептуальна модель системної архітектури отримання диференціальних поправок під час обробки потоку даних від двох ВП

Таким чином, з урахуванням ефективності функціонування берегової інфраструктури і Inland ECDIS, розподіл функцій для автоматизованого отримання диференціальних поправок до вимірюваних глибин, які позначені на SENC, полягає в наступному (рис. 2): від водомірних постів надходять дані, що характеризуються виразом (4), в SENC Inland ECDIS дані виразу (4) $\rightarrow$ (3).

З іншого боку, на ділянках, де спостерігаються незначні коливання рівня, встановлюється один ВП. Тоді значення $h(t)$ матиме вигляд:

$$\frac{1}{\det(pE - A)} S(p) = 0 \Rightarrow h(t) = \underbrace{y_{0BP} + h_0}_{const} + \|(\delta y_{0BP})_{i,1}\|, \quad y = f(h_{0BP}, \delta y_{0BP}) \quad (5)$$

З виразу (5) і рис. 3 випливає, що процедура отримання диференціальних поправок під час обробки потоку даних від одного ВП є окремим випадком обробки даних від двох ВП.

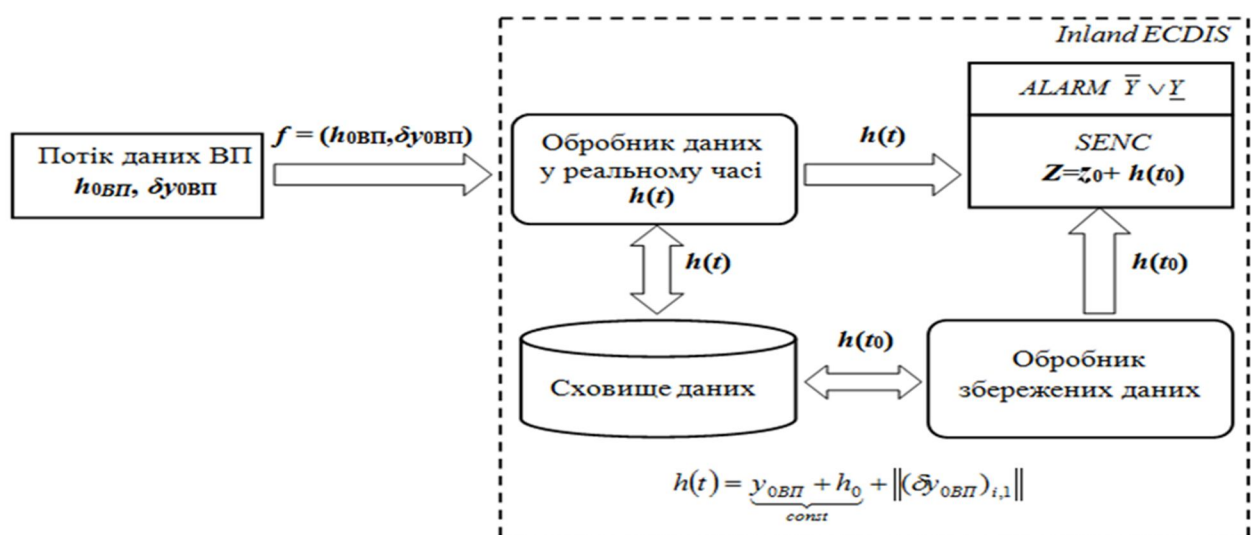


Рисунок 3 – Концептуальна модель системної архітектури отримання диференціальних поправок під час обробки потоку даних від одного ВП

3. Захоплення в Inland ECDIS потоку даних від ВП здійснюється за допомогою даних SENC. Спочатку зупинимося на сценарії, що передуює процедурі захоплення ВП.

З огляду на те, що картографічні об'єкти ENC розподіляються за шарами (наприклад, навігаційні засоби, глибини, внутрішні водні шляхи, штучні об'єкти, якість даних,

характеристики та інше), створюємо шар в ENC з класу об'єктів ВП. Розподіл навантаження карти на шари дозволяє Inland ECDIS, що відображає SENC, управляти видимістю цих шарів, що є однією з важливих переваг ENC [8]. У структурі ENC використовуємо файли з досить складною структурою, що містять графічні дані основного зображення у векторному текстовому форматі і включають пояснювальні графічні зображення в растровому форматі (.tif або .jpg).

Як звичайно на початку файлу ENC розмістимо метадані, які містять загальні для карти відомості: опис характеристик, ознаки тексту, що забезпечують швидкий пошук потрібної інформації у файлі. У метадані входять: географічний ідентифікатор, назва карти, одиниці виміру координат, висот і глибин, горизонтальний геодезичний датум, вертикальний датум, оригінальний масштаб ENC, мінімальний і максимальний масштаби відображення SENC, дата видання карти та інше.

Код КО (ВП) визначається відповідно до системи класифікації та кодування картографічної інформації. Ця система задовольняє трьом основним вимогам: має ієрархічну структуру, використовує картографічні символи ІНО, забезпечує можливість додавання нових і зміни старих даних.

Запис КО (ВП) складається із чотирьох основних полів: **I, T, M, S**.

Перше поле відводиться ідентифікатору **I (імені)** об'єкта, що дозволяє визначити ВП у складі даних ENC.

У другому полі міститься ознака **T типу об'єкта**, який надається ВП згідно з кодифікатором і визначає його умовне зображення.

У полі **M (метрика)** знаходяться значення координат, що характеризують просторове положення ВП на ENC.

У четвертому полі міститься семантична характеристика **S (атрибути)** об'єкта. Поле S (ВП) включає: географічну назву ВП, дальність дії ВП, нуль ВП у абсолютній системі висот, значення верхнього і нижнього судноплавного рівня води відносно нуля ВП у абсолютній системі висот, розпізнавальний код ВП при роботі у диференціальному режимі.

Ця інформація може бути викликана або представлена автоматично на відображенні SENC. Характеристики ВП представляються в пам'яті в символічному вигляді. Слід зазначити, що метрика – це тільки географічні координати ВП, які безвідносні до проекції ENC. Перетворення координат ВП до обраної проекції є задачею синтезу ENC.

Сценарій захоплення в Inland ECDIS потоку даних від ВП і автоматизоване введення поправок полягає в наступному. Спочатку по розпізнавальному коду здійснюється ідентифікація ВП по даних SENC. Слід враховувати, що програмним забезпеченням Inland ECDIS передбачене ручне введення поправок до глибин з подальшою їх зміною на SENC (як обов'язкова вимога ІНО). Тобто, додаткові доробки програмного забезпечення для змін при ручному введенні поправок не потрібні. Подаючи автоматизовані поправки $h(t)$ в зазначений канал при визначеному режимі роботи Inland ECDIS, отримуємо диференційовані зміни глибин в SENC (рис. 4).

Крім того, на нашу думку, передача інформації від ВП згідно з виразом (4) повинна здійснюватися по запитному сигналу з огляду на економічну доцільність і використання ВВШ в умовах особливого періоду. Як варіант, опрацьовується спільне використання ВП з RACON, виходячи з того, що, по-перше, наявність Inland radar у навігаційному режимі Inland ECDIS є обов'язковим і, по-друге, підвищується точність радіолокаційного проведення по фарватеру при інструментальному методі навігації. Така робота проводиться в Київській державній академії водного транспорту ім. гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного в дисертаційних дослідженнях аспірантів.

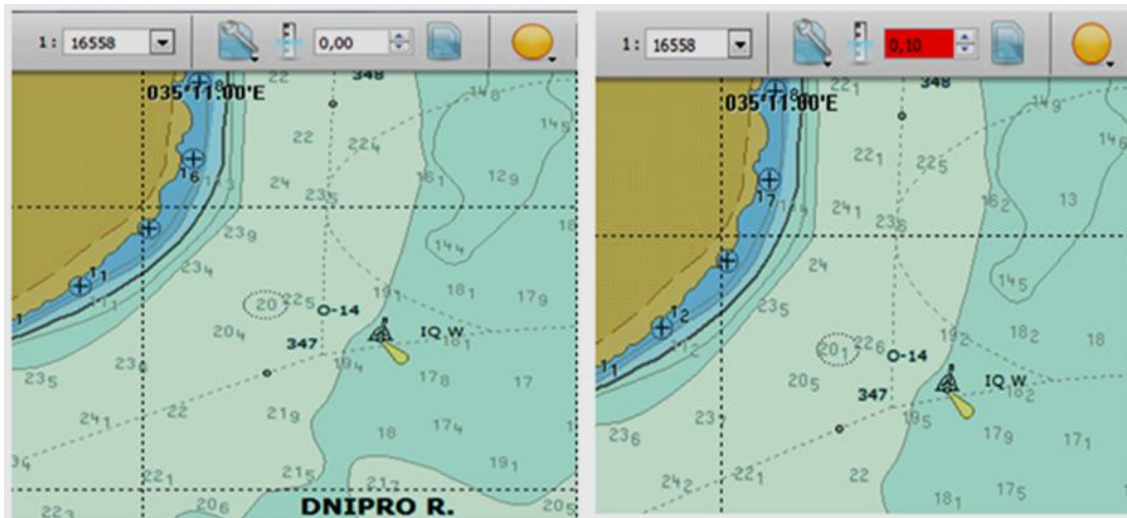


Рисунок 4 – Зміни глибин при $h(t_0) = 0$ і $h(t_0) = 0.10$ м

4. Такий контекстно-орієнтований керований підхід дозволяє сформулювати пропозиції щодо обов'язкових умов використання Inland ECDIS як еквівалента паперових навігаційних річкових карт. Така норма існує виключно для морських ECDIS [2, 9].

Завдяки цьому при плаванні на ВВШ і за наявності на судні Inland ECDIS можна не мати паперових навігаційних карт і використовувати її електронну прокладку без дублювання її графічною прокладкою на паперовій річковій карті (при ухваленні відповідного нормативно-правового акта) за умови, що:

- Inland ECDIS сертифікована класифікаційним товариством;
- Inland ECDIS має навігаційний режим з накладенням радарного зображення і рознесеними антенами GPS по носу і кормі судна;
- Inland ECDIS має режим автоматизованого введення поправок до глибин, показаних на електронній річковій карті;
- Inland ECDIS забезпечена схваленою резервною системою у разі виходу основного комплексу Inland ECDIS з ладу;
- в Inland ECDIS застосовуються тільки офіційні векторні річкові карти (Inland ENC);
- Inland ENC відкоригована на дату використання.

Висновки:

1. Інтелектуальна обробка потоку даних від водомірних постів за символічно-формалізованими перетвореннями Лапласа при русі судна дозволяє використовувати Inland ECDIS у диференціальному режимі відображення фактичних глибин, які містяться в цифровій моделі SENC.

2. Запропонований підхід прийняття рішення в інтелектуальній обробці потоків даних вимагає використовувати не тільки особливості дійсності, а й використовувати різні аспекти прийняття рішень. Область прийняття рішень у даному випадку є багаторівневою структурою.

3. Сформульовані пропозиції щодо обов'язкових умов використання Inland ECDIS як еквівалента паперових навігаційних річкових карт можуть бути використані при судноплаванні на ВВШ з внесенням відповідних змін до нормативних актів за аналогією з морськими ECDIS.

4. Отримані показники ефективності запропонованого методу показують значне збільшення ймовірності безпечного плавання $P_{\text{он}} = 1 - \exp(-D/M)^2$ [10] до 97 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Матеріали міжнародної наукової конференції ISDMCI'2016 : збірник наукових праць. – Херсон : Херсонський національний технічний університет. Видавництво ПП Вишемирський В.С., 2016. – 382 с.
2. Вагущенко Л. Л. Судовые навигационно-информационные системы / Л. Л. Вагущенко. – Одесса : Феникс, 2004. – 302 с.
3. Вагущенко Л. Л. Современные информационные технологии в судовождении / Вагущенко Л. Л. – Одесса : ОНМА. 2013. – 135 с.
4. Dey A. K. Understanding and using context // Personal and Ubiquitous Computing. – 2001. – V. 5. – № 1. – P. 4–7
5. Коломийчук М. Д. Гідрографія : підручник для морських навчальних закладів. – С.-П. : Видавництво ЦКФ ВМФ, 1988. – 366 с.
6. Доронін В. В. Системна технологія розв'язку оперативних задач навігації для синтезу законів експлуатації водного транспорту // Системи обробки інформації : збірник наукових праць. – Харків : Харківський університет Повітряних Сил України, 2015. – Випуск 10 (135). – С. 186–191.
7. Панін В. В. Структурне моделювання та символічні перетворення для управління рухом транспортних засобів : колективна монографія. / Баранов Г. Л., Носовський А. М., Панін В. В., Тихонов І. В., Васько С. М. – Київ : Міністерство освіти і науки, 2014. – С. 310.
8. Каретников В. В. Перспективи розвитку електронних навігаційних карт внутрішніх водних шляхів Російської Федерації // Річковий транспорт (XXI століття). – 2014. – № 1 – 72 с.
9. Катенин В. А. Навигационно-гидрографическое обеспечение судоходства на внутренних водных путях / В. А. Катенин, А. В. Зернов, Г. Г. Фадеев. – М. : Моркнига, 2010. – 344 с.
10. Вентцель Е. С. Теория вероятностей : учебник для ВТУЗ / Вентцель Е.С. – М. : Наука, 1969. – 576 с.

REFERENCES

1. Materialy mizhnarodnoi naukovoï konferentsii ISDMCI'2016. Zbirnyk naukovykh prats. Kherson, Khersonskiy natsionalnyi tekhnichnyi universytet. Vydavnytstvo P.P. Vyshemyrskiy V.S., 2016. – 382 s.
2. Vagushchenko L.L. Sudovye navigatsionno-informatsionnye sistemy. / Vagushchenko L.L. // Odessa: Feniks, 2004. – 302 s. UDK 656.61.052.011.56.
3. Vagushchenko L.L. Sovremennyye informatsionnye tekhnologii v sudovozhdenii. / Vagushchenko L.L. // Odessa: ONMA. 2013/ - 135 s.
4. Dey A. K. Understanding and using context. // Personal and Ubiquitous Computing – 2001. – V. 5. – № 1. – P. 4–7
5. Kolomyichuk M.D. Gidrografiia. Pidruchnyk dlia morskykh navchalnykh zakladiv. S.-P. Rosiia. Vydavnytstvo TSKF VMF, 1988 – 366 s.
6. Doronin V.V. Systemna tekhnolohiia rozv'iazku operatyvnykh zadach navihatsii dlia syntezy zakoniv ekspluatatsii vodnoho transportu. Systemy obrobky informatsii. Zbirnyk naukovykh prats. Kharkiv, Kharkivskiy universytet Povitrianykh Syl Ukrainy. – 2015. – Vypusk 10 (135). – S. 186–191.
7. Panin V.V. Strukturne modeluvannia ta symvolni peretvorennia dlia upravlinnia rukhom transportnykh zasobiv. Kolektyvna monohrafiia. / Baranov H.L., Nosovskyi A.M., Panin V.V., Tykhonov I.V., Vasko S.M. // Kyiv. Ministerstvo osvity i nauky, 2014. UDK 656.62.052:004.942, BBK 39.4:32.97, ISBN 978-617-571-101-9. S. 310.
8. Karetnykov V.V. Perspektyvy rozvytku elektronnykh navihatsiinykh kart vodnykh shliakhiv Rosiiskoi Federatsii. // Richkovyi transport (XXI stolittia). – Vypusk № 1, 2014 – 72 s.

9. Katenin V.A. Navigatsionno-gidrograficheskoe obespechenie sudokhodstva na vnutrennikh vodnykh putiah. / V.A. Katenin, A.V. Zernov, G.G. Fadeev – M. : MORKNIGA, 2010. –344 s.
10. Ventsel E. S. Teoriia veroiatnostei. Uchebnik dlia VTUZ. / Ventsel E.S. – M. : Nauka, 1969. – 576 s.

Доронин В. В., Алейников М. В., Алейников В. М. КОНТЕКСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД В ИНТЕЛЕКТУАЛЬНОЙ ОБРАБОТКЕ ПОТОКОВ ДАННЫХ ОТ ВОДОМЕРНЫХ ПОСТОВ ПРИ ДВИЖЕНИИ СУДНА

Статья посвящена актуальной проблеме повышения эффективности эксплуатации водного транспорта при помощи автоматизации отображения фактических глубин на электронной карте путем реализации методов вычислительного интеллекта. Анализ последних исследований и публикаций по теме показал, что данное направление является малоисследованным по сравнению с другими направлениями обработки картографической информации. Предложен способ ускорения циркуляции навигационных данных на цифровой модели карты, который включает математическое решение задачи, автоматический расчет дифференциальных поправок к измеренным глубинам с учетом эффективности функционирования береговой инфраструктуры и Inland ECDIS. Приведен сценарий захвата в Inland ECDIS потока данных от водомерных постов и автоматического расчета поправок в SENC с учетом преобразований Лапласа.

Ключевые слова: водный транспорт, водомерный пост, дифференциальные поправки, электронная карта, матрица глубин, Inland ECDIS.

Doronin V., Aleynikov M., Aleynikov V. CONTEXT-ORIENTED APPROACH IN THE INTELLECTUAL PROCESSING OF DATA STREAMS FROM WATER GAUGE POSTS DURING VESSEL MOVEMENT

The article is devoted to the actual problem of improving the efficiency of water transport operation by automating the display of actual depths on an electronic chart by implementing the methods of computational intellectual. An analysis of the latest research and publications on the topic showed that this area is little explored in comparison with other areas of processing of cartographic information. A method for accelerating the circulation of navigation data on a digital model of the chart is proposed, which includes a mathematical solution of the problem, an automatic calculation of differential corrections to the measured depths taking into account the efficiency of the coastal infrastructure and Inland ECDIS. The scenario of capture in Inland ECDIS of a data stream from watergaugeposts and automatic calculation of corrections in SENC with allowance for Laplace transformations is given.

Keywords: water transport, watergaugepost, differential corrections, electronic chart, depth matrix, Inland ECDIS.

© Доронін В.В., Алєйніков М.В., Алєйніков В.М

Статтю прийнято
до редакції 12.09.17

РАСХОЖДЕНИЕ С МАНЕВРИРУЮЩИМИ ЦЕЛЯМИ

Зинченко С. Н., к.т.н., старший преподаватель кафедры управления судном Херсонской государственной морской академии, e-mail: srz56@gmail.com;

Ляшенко В. Г., заведующий лабораторией «Электронные тренажеры» Херсонской государственной морской академии, e-mail: srz56@gmail.com

Рассмотрены вопросы синтеза и расчета алгоритмов расхождения с маневрирующими целями в бортовом контроллере. Разработана математическая составляющая алгоритмов расхождения, построены области допустимых управлений при расхождении, синтезированы алгоритмы автоматического расхождения. Работа алгоритмов проверена математическим моделированием расхождения с маневрирующими целями.

Ключевые слова: расхождение судов, математическое моделирование.

Вступление. Современные суда, согласно требованиям ИМО [1, 2] должны быть оборудованы системой автоматизированной радиолокационной прокладки (САРП). САРП освобождает судоводителя от множества ручных операций, значительно повышая возможности при решении задач расхождения с судами-целями, что является безусловным достоинством.

Вместе с тем, САРП имеет и существенные недостатки [3, 4]:

- проигрывание маневра расхождения по прежнему предполагает ручной подбор угла отворота. Подбор угла отворота выполняется судоводителем графически «на глаз», а не опираясь на точный математический расчет, что требует ручных операций и времени;
- использование САРП, как и при ручной радиолокационной прокладке, не позволяет расходиться с маневрирующими целями, поскольку задача решается разово, перед началом маневра расхождения.

С учетом вышеизложенного, задача полной автоматизации процесса расхождения, включая расхождение с подвижными судами-целями, остается актуальной. В настоящей статье **целью** поставлено:

- разработка математической составляющей алгоритмов расхождения;
- построение области допустимых управлений при расхождении со многими целями и определено оптимальное управление расхождением;
- синтезирование алгоритмов автоматического расхождения со многими целями;
- решение синтезированных алгоритмов предложено проводить постоянно, с периодом обновления информации от РЛС, что позволяет учитывать изменяющуюся обстановку и расходиться с подвижными целями;
- работоспособность алгоритмов проверена математическим моделированием расхождения со многими целями, включая маневрирующие, с использованием математических моделей судна, целей, РЛС, ЛАГа, гирокомпаса и автопилота.

Решение задачи. Структурная схема объектов моделирования представлена на рис. 1. В условиях наличия ошибок и большого периода обновления информации РЛС (~3 сек, определяется периодом оборота антенны), основным методом фильтрации ошибок остается метод наименьших квадратов [5].

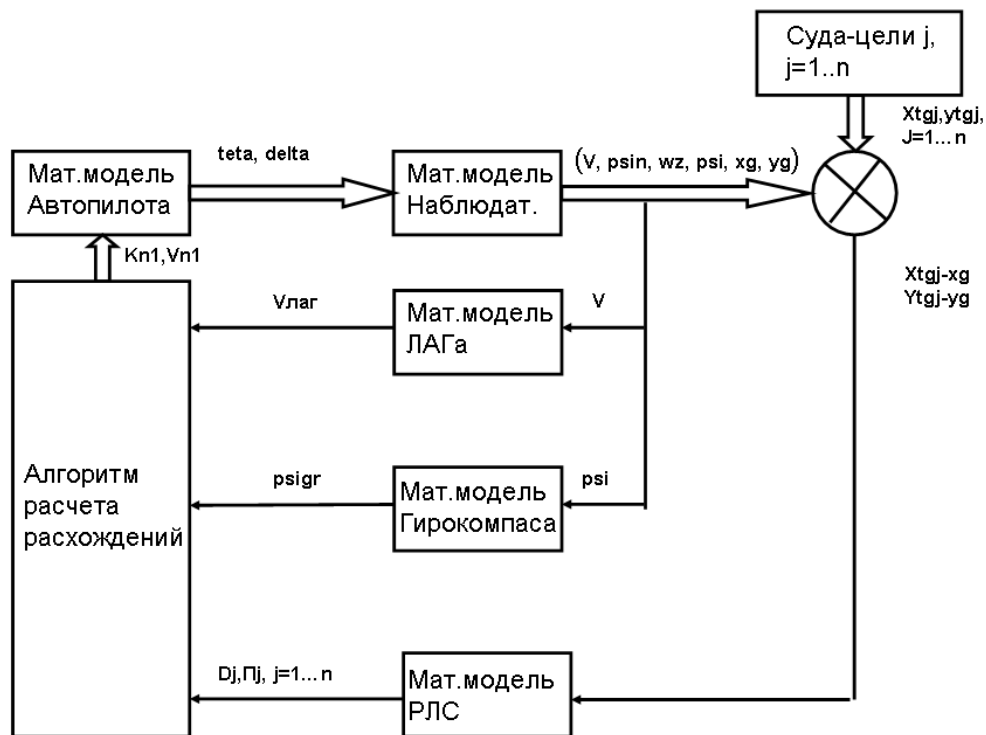


Рисунок 1 – Структурная схема объектов моделирования

Суть метода состоит в предварительном накоплении информации за 10–15 оборотов антенны РЛС с последующей аппроксимацией накопленных данных прямой линейной оносительного движения (ЛОД) [6, 7]:

$$y = k_{lod} * x + b_{lod},$$

коэффициенты k_{lod} и b_{lod} определяются из уравнений

$$k_{lod} = \frac{a13a22 - a12a23}{a11a22 - a21a12}; b_{lod} = \frac{a11a23 - a21a13}{a11a22 - a21a12},$$

где

$$\begin{aligned} a11 &= x(1)^2 + x(2)^2 + \dots + x(n)^2; a12 = x(1) + x(2) + \dots + x(n); \\ a13 &= x(1)y(1) + x(2)y(2) + \dots + x(n)y(n); a21 = x(1) + x(2) + \dots + x(n); \\ a22 &= n; a23 = y(1) + y(2) + \dots + y(n); \end{aligned}$$

$x(j), y(j), j=1..n$ – декартовы координаты эхосигнала цели.

Математическая составляющая алгоритмов разработана с использованием источников [6–10].

Маневр расхождения комбинированный. В данном случае вектор скорости расхождения V_{n1} может изменяться как по величине так и по направлению. Для решения задачи вектор скорости представляется в виде:

$$V_{n1} = (Enx1, Eny1) * |V_{n1}|,$$

Где $En = (Enx1, Eny1)$ – единичный орт, определяющий направление вектора скорости расхождения; $|V_{n1}|$ – модуль вектора скорости расхождения.

$$\begin{aligned} |Vn1| * Enx1 + |Volod| * Eolodx &= Vtgx; \\ |Vn1| * Eny1 + |Volod| * Eolody &= Vtgy; \\ (Vtgx - |Volod| * Eolodx)^2 + (Vtgy - |Volod| * Eolody)^2 &= |Vn1|^2; \end{aligned}$$

Из последнего квадратного уравнения определяются параметры расхождения:

$$\begin{aligned} |Volod| &= \sqrt{(Vtgx * Eolodx + Vtgy * Eolody)^2 + |Vn1|^2 - |Vtg|^2}; \\ Enx1 &= \frac{Vtgx - |Volod| * Eolodx}{|Vn1|}; Eny1 = \frac{Vtgy - |Volod| * Eolody}{|Vn1|} \end{aligned}$$

Задавая требуемое значение модуля скорости расхождения из диапазона $Vn1min < |Vn1| < |Vn|$, получаем множество допустимых решений модуля относительной скорости $|Volod|$ и ортов вектора скорости расхождения $En1 = (Enx1, Eny1)$.

Маневр расхождения курсом. Является частным случаем комбинированного маневра расхождения для $|Vn1| = |Vn|$:

$$\begin{aligned} |Volod| &= \sqrt{(Vtgx * Eolodx + Vtgy * Eolody)^2 + |Vn|^2 - |Vtg|^2}; \\ Enx1 &= \frac{Vtgx - |Volod| * Eolodx}{|Vn|}; Eny1 = \frac{Vtgy - |Volod| * Eolody}{|Vn|} \end{aligned}$$

Маневр расхождения скоростью. Также является частным случаем комбинированного маневра расхождения.

В данном случае вектор новой скорости $Vn1$ коллинеарен вектору исходной скорости Vn , а модуль новой скорости $|Vn1|$ требуется найти:

$$\begin{aligned} Vn1 &= (Enx, Eny) * |Vn1|; Volod = (Eolodx, Eolody) * |Volod|; \\ Enx * |Vn1| + Eolodx * |Volod| &= Vtgx; Eny * |Vn1| + Eolody * |Volod| = Vtgy. \end{aligned}$$

Система решается относительно $|Vn1|, |Volod|$:

$$\begin{aligned} |Volod| &= \frac{Vtgy * Enx - Vtgx * Eny}{Enx * Eolody - Eny * Eolodx}; \\ |Vn1| &= \frac{Vtgx * Eolody - Vtgy * Eolodx}{Enx * Eolody - Eny * Eolodx}; \end{aligned}$$

Вектор $Vlod = (Vlodx, Vlody)$ относительной скорости движения эхосигнала вдоль ЛОД определяется уравнениями

$$Vlodx = 1853 \frac{x(n) - x(n-1)}{dT}; Vlody = 1853 \frac{y(n) - y(n-1)}{dT}; |Vlod| = \sqrt{V^2 lodx + V^2 lody},$$

$$y(n) = klod * x(n) + blod; y(n-1) = klod * x(n-1) + blod,$$

где dT – период съема информации с РЛС.

Модуль $|Vn|$ и орт $En = (Enx, Eny)$ вектора скорости судна определяются по формулам:

$$|Vn| = \sqrt{Vnx^2 + Vny^2}; Enx = Vnx / |Vn|; Eny = Vny / |Vn|,$$

где Vnx, Vny – измеренные ЛАГом значения скорости наблюдателя в системе координат наблюдателя.

Вектор скорости цели $Vtg = (Vtgx, Vtgy)$ определяется из уравнения:

$$V_{tgx} = V_{nx} + V_{lodx}; V_{tgy} = V_{ny} + V_{lody}; |V_{tg}| = \sqrt{V_{tgx}^2 + V_{tgy}^2}.$$

Дистанция кратчайшего сближения СПА определяется как расстояние по перпендикуляру к ЛОД с центра планшета.

Точка пересечения (x_D , y_D) ЛОД и перпендикуляра, проведенного с центра планшета, определяется решением системы уравнений:

$$y = k_{lod} * x + b_{lod}; y = -\frac{1}{k_{lod}} x;$$

$$x_D = -b_{lod} * \frac{k_{lod}}{1 + k_{lod}^2}; y_D = b_{lod} * \frac{1}{1 + k_{lod}^2}; CPA = \sqrt{x_D^2 + y_D^2}.$$

Время кратчайшего сближения:

$$T_{CPA} = LD / V_{lod}; LD = \sqrt{(x_D - x(n))^2 + (y_D - y(n))^2},$$

где LD – расстояние между т. ($x(n), y(n)$) и т. (x_D, y_D).

Если хотя бы для одной сопровождаемой цели дистанция кратчайшего сближения меньше заданной зоны безопасности ($CPA < D_{б.зад}$), производится расчет маневра расхождения.

Точка упреждения (x_y, y_y), через которую проходят ОЛОД, выносится вперед от точки последнего измерения ($x(n), y(n)$) на расстояние ΔT_4 (определяется временем разворота наблюдателя на курс расхождения).

$$x_y = x(n) + V_{lodx} * \Delta T_4; y_y = y(n) + V_{lody} * \Delta T_4;$$

Уравнения ОЛОД ищется в виде линий, проходящих через т. (x_y, y_y), касательных к зоне безопасности $D_{б.зад}$:

$$y = k(x - x_y) + y_y; y = -\frac{1}{k} x; x a^2 + y a^2 = D_{б.зад}^2;$$

где (x_a, y_a) – координаты точки касания ОЛОД к зоне безопасности.

Параметры ОЛОД определяются решением приведенной системы уравнений относительно k :

$$k_{olod1,2) = \frac{y_y x_y \pm D_{б.зад} \sqrt{D_n^2 - D_{б.зад}^2}}{x_y^2 - D_{б.зад}^2}; b_{olod1,2) = y_y - k_{olod1,2) * x_y}.$$

Единичные орты вдоль ОЛОДов определяются по формулам:

$$E_{olodx1,2) = \sqrt{\frac{1}{1 + k_{olod1,2)^2}};$$

$$E_{olody1,2) = k_{olod1,2) \sqrt{\frac{1}{1 + k_{olod1,2)^2}};$$

$$E_{olod1} = (E_{olodx1}, E_{olody1});$$

$$E_{olod2} = (E_{olodx2}, E_{olody2}).$$

Определение области допустимых управлений. Область допустимых управлений является частью круга маневренных возможностей (КМВ), расположенного вне сектора опасных курсов (СОК). В общем случае ОЛОДы, образующие СОК, могут пересекаться с КМВ в одной точке (один ОЛОД проходит по касательной, второй вне КМВ), двух(один

ОЛОД пересекает КМВ, второй нет), трех(один ОЛОД проходит по касательной, второй пересекает КМВ) и четырех(оба ОЛОДа пересекают КМВ) точках, что существенно усложняет логику построения области допустимых управлений даже для одной цели. Для упрощения алгоритма области построения допустимых управлений использован метод глобального перебора, согласно которому перебираются все вектора $Vn1(i,j)$, $i=0-|Vn|$, $j=0-360$ на узлах сетки КМВ, для каждого из них вычисляется вектор относительного движения $Volod(i,j)=Vtg(k)-Vn1(i,j)$, который проверяется на принадлежность СОК.

Условие принадлежности СОК:

$$(Volod(i,j) \times Eolod1 \& Volod(i,j) \times Eolod2) < 0,$$

где X – векторное произведение.

Полученная таким образом область управления ω_k для каждой из целей представляет собой матрицу размером 10×360 с нулями и единицами в узлах сетки. Набор единиц образует область допустимых управлений.

Общая область управления получается логическим объединением полученных областей:

$$\omega = \omega1 \& \omega2 \& \dots \& \omega k$$

Требуемый курс расхождения может быть построен в дальнейшем по-разному, например, как варианты:

- только отворотом вправо, как требуют Правила МПС-72, в этом случае ищется минимальный угол отворота вправо до области допустимых управлений;
- правым или левым отворотом (определяется минимальным углом из углов левого и правого отворота до области допустимых управлений);
- правым или левым отворотом, а в случае превышения предельно допустимого угла – маневр скоростью и т.д.

Результаты исследований. Алгоритм расчета расхождения проверялся математическим моделированием в среде MATLAB расхождения с пятью опасными целями, расположенными вокруг наблюдателя, с использованием математической модели наблюдателя, математических моделей целей, РЛС и автопилота (рис.1). На рис. 2 изображена зона безопасного расхождения Дб.зад и ЛОДы целей.

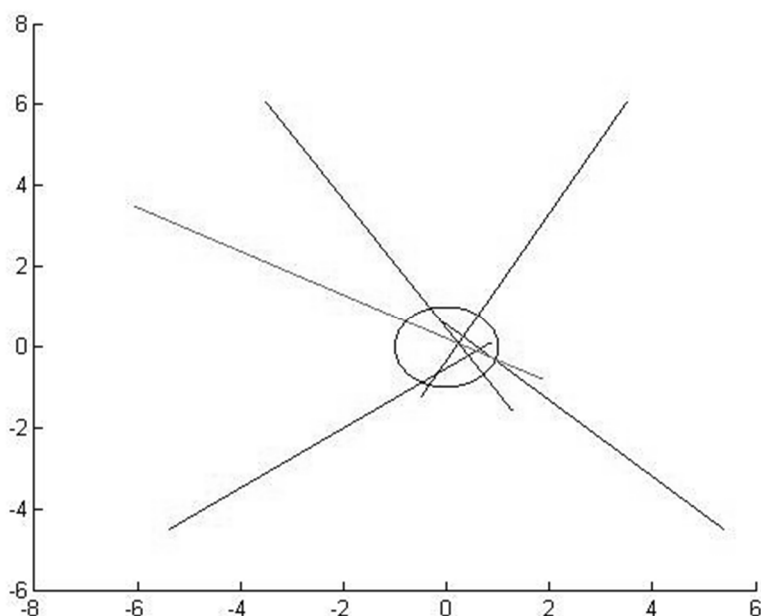


Рисунок 2 – Зона безопасного расхождения и ЛОДы целей

Все цели опасные, так как все ЛОДы пересекают зону безопасного расхождения Дб.зад. Требуется расхождение.

На рис. 3 показаны траектории относительного движения при реализации маневра расхождения курсом.

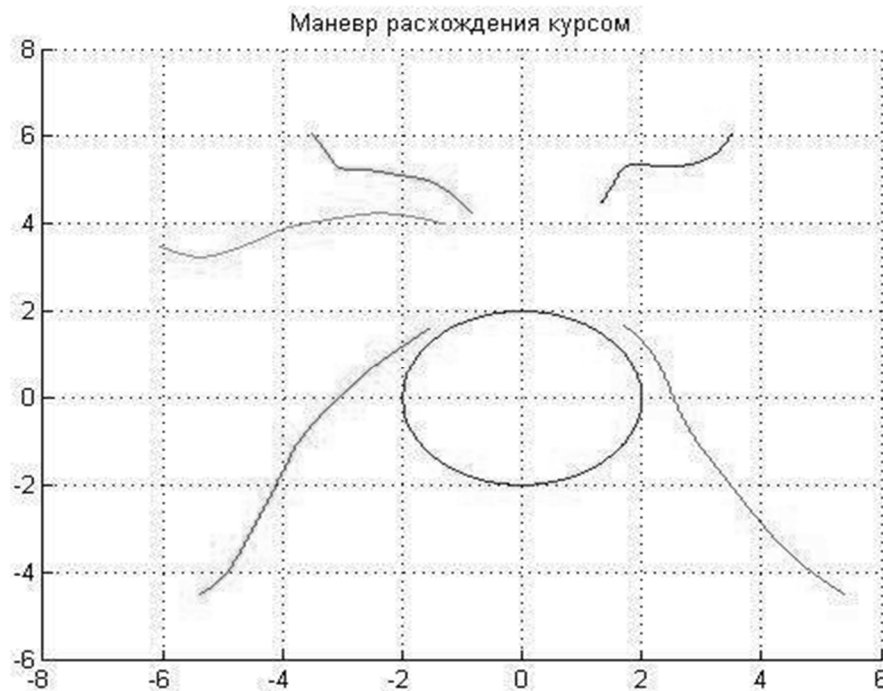
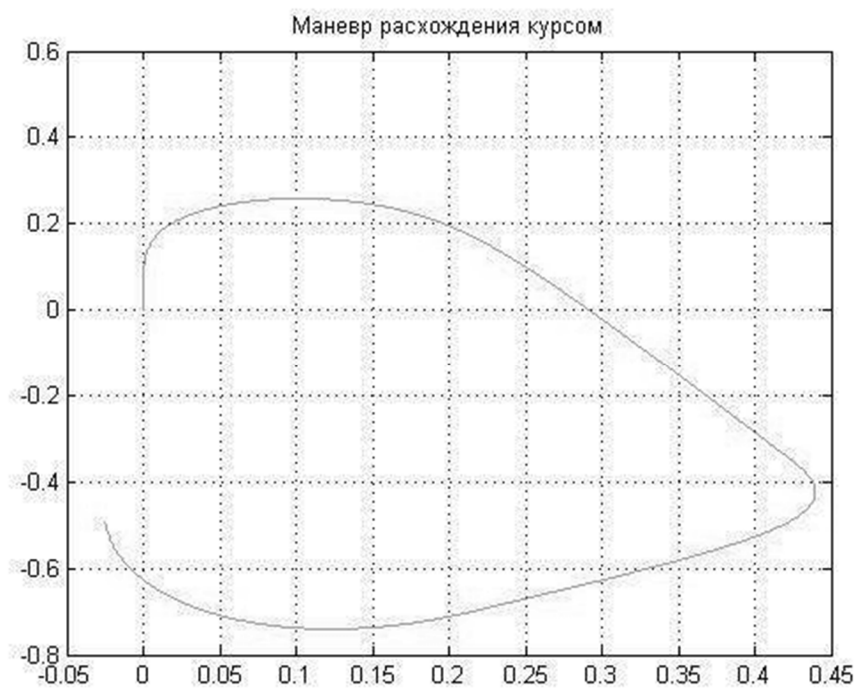


Рисунок 3 – Траектории относительного движения целей при реализации маневра расхождения курсом

На рис. 4 изображена траектория движения наблюдателя при реализации маневра расхождения курсом.



Риунок 4 – Траектория движения наблюдателя при реализации маневра расхождения курсом

На рис. 5 изображены области допустимых управлений в различные моменты времени расхождения.

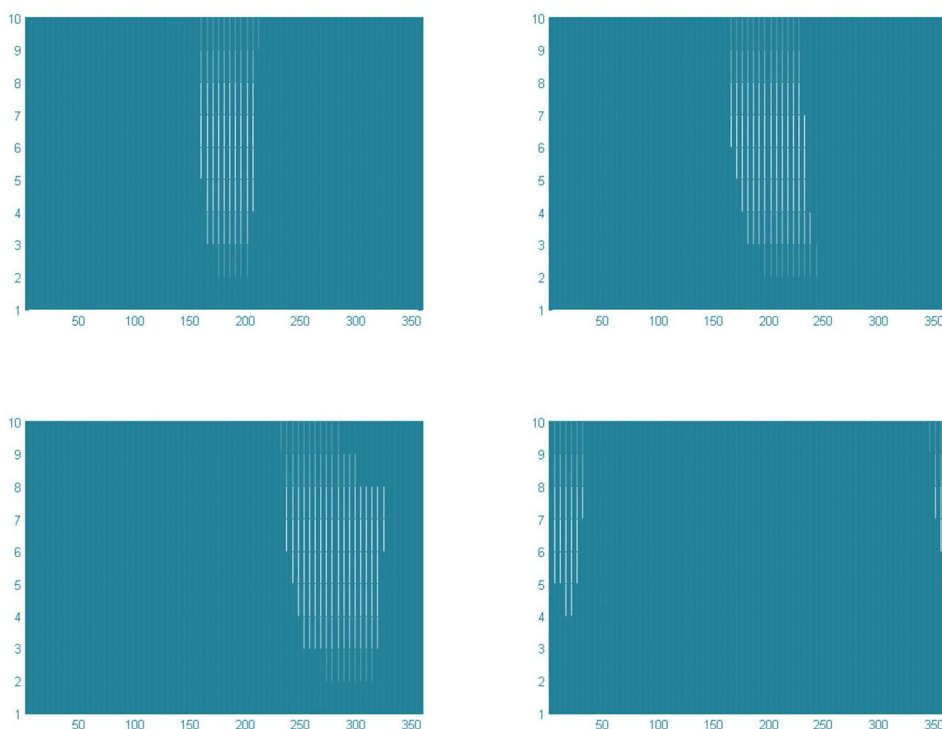


Рисунок 5 – Области допустимых управлений в различные моменты времени расхождения

Выводы. В рамках исследований настоящей статьи построены области допустимых управлений при расхождении со многими целями а также определены оптимальные управления расхождением; синтезированы алгоритмы автоматического расхождения со многими целями; решение синтезированных алгоритмов проводилось постоянно, с периодом обновления информации от РЛС, что позволило учитывать изменяющуюся обстановку и расходиться с подвижными целями; работоспособность алгоритмов проверена математическим моделированием расхождения со многими целями, включая маневрирующие, с использованием математических моделей судна, целей, РЛС, ЛАГа, гироскопа и автопилота.

Результаты математического моделирования подтверждают работоспособность Алгоритма расчета расхождения, возможность использования рассчитанных параметров в качестве управляющих для расхождения. При проведении математического моделирования учитывались реальные массово-инерционные характеристики судна и целей, погрешности измерения командных приборов а также задержки съема информации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нормы технико-эксплуатационных характеристик автоматических средств радиолокационной прокладки (АСРП). Резолюция ИМО А.422(XI), 15 ноября 1979г.
2. Техничко-эксплуатационные требования к параметрам судовых РЛС. Резолюция ИМО А.477(12), 19 ноября 1981 г.
3. Navi-Trainer Professional 5000 (версия 5.35). Навигационный мостик, Transas MIP Ltd, октябрь 2014.
4. Navi-Trainer Professional 5000 (версия 5.35) : руководство инструктора, Transas MIP Ltd, октябрь 2014.
5. Пинник Ю. В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений / Ю. В. Пинник. – М., 1962.
6. Боков Г. В. Радиолокационное наблюдение и прокладка : методические указания к практическим и семинарским занятиям по дисциплине «Использование РЛС и АСРП при

расхождении судов» / Г. В. Боков, Е. В. Гембать, В. Г. Ткаченко. – Севастополь : СевНТУ, 2009. – 76 с.

7. Песков. Ю. А. Практическое пособие по использованию САРП / Ю. А. Песков. – М. : Транспорт, 1955. – 224 с.

8. Песков Ю. А. Использование РЛС в судовождении / Ю. А. Песков. – М. : Транспорт, 1986. – 144 с.

9. Рекомендации по использованию судовой РЛС для предупреждения столкновений судов. / под редакцией А. Я. Сейрановой. – М. : Мортехинформреклама, 1983. – 8 с.

10. Баранов Ю. К. Сборник задач по использованию радиолокатора для предупреждения столкновений судов / Ю. К. Баранов, М. М. Лесков, Н. А. Кубачев, С. С. Кургузов. – М. : Транспорт, 1989. – 96 с.

REFERENCES

1. Resolyucia IMO A.422(XI). (15 noyabrya 1979). *Normy tehniko-ekspluatatsionnykh harakteristik avtomaticheskikh sredstv radiolokatsionnoy prokladki (ASRP)*.

2. Resolyucia IMO A.477(12). (19 noyabrya 1981). *Tehniko-ekspluatatsionnye trebovaniya k parametram sudovykh RLS*.

3. Transas MIP Ltd. (oktober 2014). *Navi-Trainer Professional 5000 (v.5.35). Navigation breadge*.

4. Transas MIP Ltd, oktober 2014. *Navi-Trainer Professional 5000. Instructor's manual*.

5. Pinnik, Yu. V. (1962). *Metod naimenshih kvadratov I osnovy matematiko-statisticheskoy teorii obrabotki nabludenij*. Moskva.

6. Bokov, G. V., Gembaty, E. B. & Tkachenko V. G. (2009). *Radiolokatsionnoe nabludenie i prokladka. Metodicheskie ukasaniya k prakticheskim I seminarским zanyatiyam po discipline "Ispolzovanie RLS I SARP pri rashojdenii sudov"*. Sevastopol. SevNTU. 76s.

7. Peskov, Yu. A. (1955). *Prakticheskoe posobie po ispolzovaniyu SARP*, Moskva : Transport. 224 s.

8. Peskov, Yu. A. (1986). *Ispolzovanie RLS v sudovojdenii*. Moskva : Transport. 144 s.

9. Sejránova, A. Ya. (1983). *Rekomendacii po ispolzovaniyu sudovoy RLS dlya preduprezhdeniya stolknovenij sudov*, Moskva: Morteinformreklama.

10. Baranov Yu. K., Leskov M. M., Kubachev N. A. & Kurhusov S. S. (1989). *Sbornik zadach po ispolzovaniyu radiolokatora dlya preduprezhdeniya stolknoveniya sudov*, Moskva. Transport. 96 s.

Зінченко С. М., Ляшенко В. Г. РОЗХОДЖЕННЯ З МАНЕВРУЮЧИМИ ЦІЛЯМИ

Розглянуті питання синтезу і розрахунку алгоритмів розходження з маневруючими цілями в бортовому контролері. Розроблена математична складова алгоритмів розходження, побудовані області допустимих управлінь при розходженні, синтезовані алгоритми автоматичного розходження. Робота алгоритмів перевірена математичним моделюванням розходження з маневруючими цілями.

Ключові слова: розходження суден, математичне моделювання.

Zinchenko S. N., Lyashenko V. G. DEVIATION FROM MANEUVERING OBJECTIVES

The problems of synthesis and calculation of divergence algorithms with maneuvering targets in the on-board controller are considered. A mathematical component of the discrepancy algorithms is developed, domains of admissible controls are constructed for the discrepancy, algorithms for automatic discrepancy are synthesized. The work of algorithms is verified by mathematical modeling of the discrepancy with maneuvering targets.

Keywords: ship divergence, mathematical modeling.

© Зінченко С. М., Ляшенко В. Г.

Статтю прийнято
до редакції 8.11.17

КОНЦЕПЦИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ ПАТРУЛЬНОГО СУДНА ТИПА SWATH

Кондратьева Л. Ю., младший научный сотрудник Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова, г. Николаев, e-mail: kondratieva@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2788-9116

Рассматриваются особенности выбора оптимальных проектных характеристик корабля береговой охраны. Приводится описание выбора оптимальных характеристик судна типа СМПВ, а также функциональных ограничений, связанных с оценкой работы патрульного корабля. В связи с введением в модель оптимизации патрульного корабля ограничений n -мерного евклидова поискового пространства внешними штрафными функциями, основанными на современных требованиях к мореходности, существенно повышается качество результата оптимизации в целом. Как следствие процесс оптимизации основывается не только на требованиях предъявляемым к классическим кораблям, но и позволяет выбрать главные размерения корабля типа СМПВ. Метод Пауэлла-Флэтчера-Давидона является эффективным методом поиска максимума (минимума) целевой функции и дает возможность решить поставленную задачу уже на ранних стадиях проектирования.

Ключевые слова: корабль береговой охраны, метод Пауэлла, ограничения, целевая функция, оптимизация.

Постановка проблемы. Эффективность береговой охраны любой страны определяется многими факторами, один из которых – ее корабельный состав, содержащий разного типа и класса надводные корабли и катера в количестве и сочетаниях, соответствующие задачам, стоящим перед флотом. Эффективность корабля береговой охраны обуславливается его свойствами – вооруженностью, скрытностью, живучестью, надежностью, мореходность и т.д. Эти свойства количественно зависят от тактико-технических характеристик (ТТХ) корабля, тактико-технических элементов (ТТЕ), представляющая собой совокупность, и параметров технических решений (ПТР) [1]. Оптимизация выбора главных размерений таких судов на начальных стадиях проектирования с применением систем автоматизированного проектирования значительно снижает трудоемкость проектных работ и обеспечивает выбор наиболее рационального в практическом отношении судна.

Анализ последних достижений и публикаций. На основании [2], разработанная схема оптимизации. Методы, описанные в [7–9] позволяют смоделировать функционирование корабля в виртуальной среде. Графическое описание метода Пауэлла и основной алгоритм его применения [10].

В [11–12] подробно описаны техника статистических вычислений, а также теория Марковских процессов, которые являются универсальным инструментом при проектировании и оптимизации судов разных типов.

Цель статьи – формирование модели оптимизации корабля береговой охраны типа СМПВ.

Изложение основного материала. Для оценки эффективности корабля береговой охраны используется комплексный критерий «стоимость – эффективность» основными составляющими, которого являются показатели функциональной E и экономической эффективности S_i с учетом уровня надежности самого КБО и его систем:

$$f(X, U) = S_i/E \rightarrow \min, \quad (1)$$

где U – вектор параметров задачи проектирования; X – вектор независимых переменных. Определение этих показателей происходит с помощью компьютерного моделирования различных сценариев развития событий при решении той или иной задачи, которая возложена на КБО.

Все возможные функции КБО разделены на четыре группы (миссии): поисково-спасательная (SAR); соблюдение правового режима и предотвращения угроз (ELT); охрана окружающей среды, борьба с загрязнением моря (MEP); военное использование (MR).

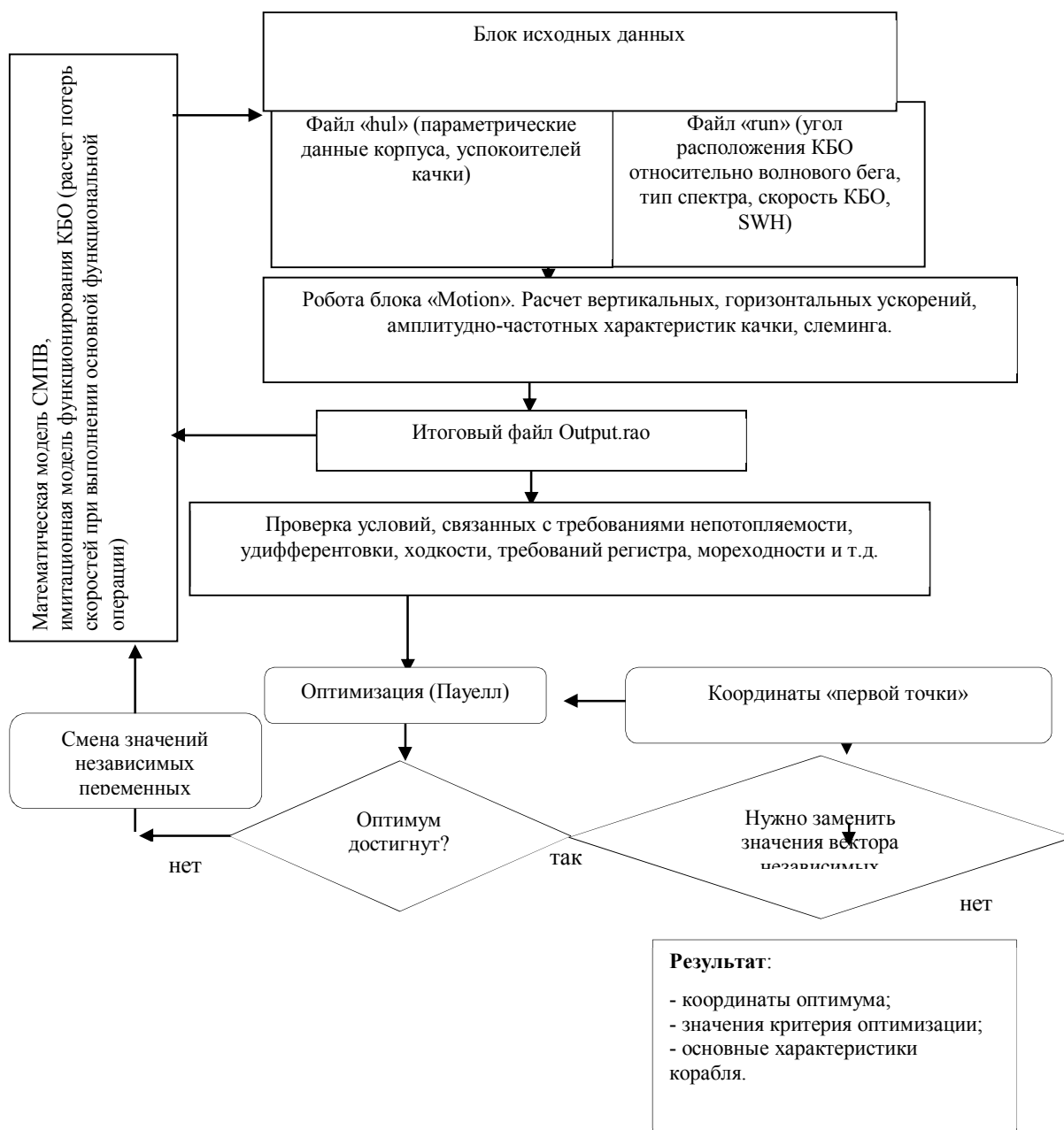


Рисунок 1 – Блок схема методики определения тактико-технических характеристик патрульного судна

Эффективность *SAR* функции определяется суммарной вероятностью успешного выполнения совокупности следующих основных элементов:

- поиска и спасения людей;
- тушения пожара;
- буксировка аварийного судна небольшого водоизмещения к месту ремонта или ближайшего порта.

Функция *MEP* предусматривает проведение:

- предупредительные меры: инспекции в порту и различные береговые функции, например, портовый надзор;

– мероприятий по ликвидации аварийных ситуаций по загрязнению окружающей среды: ограничения для предотвращения расширения зоны загрязнения, ликвидация загрязнения.

Корабли береговой охраны являются сложными, как правило, населенными инженерными сооружениями, предназначенными для автономного функционирования на поверхности водной среды. Поэтому основой предложенной концепции является системный подход [1–3] согласно которому, корабль рассматривается как единый комплекс разнородных по принципу действия и характера использования взаимодействующих (функционально) и взаимосвязанных сложных технических систем, включающих механизмы, оборудование, конструкции, личный состав, расположенных специальным образом внутри замкнутого трехмерного пространства, ограниченного внешним корпусом, и частично и на этом корпусе.

В предложенной концепции используются общенаучные методы исследований (методы математической статистики, исследования операций теории вероятности и т.д.), а также математический аппарат теории корабля теории надежности [5]. Моделирование функционирования корабля в виртуальной среде выполняется при помощи теории Марковских процессов [6–9] и имитационного моделирования. Имитационное моделирование основано на воспроизведении развернутого во времени процесса функционирования корабля береговой охраны с учетом взаимодействия с внешней средой с учетом гидро и метео условий. В результате такого моделирования фиксируются определенные события и состояния, по значениям которых рассчитываются характеристики эффективности системы. Обязательной предпосылкой моделирования процесса является возможность построения для него четкого формального описания, учитывающего главные закономерности процесса и действующие факторы. Метод имитационного моделирования состоит из следующих этапов:

- формулировка задачи;
- разработка модели исследования;
- программная реализация;
- проведение машинного эксперимента;
- анализ результатов моделирования.

Требования к надежности и безопасности корабля береговой охраны учитываются с помощью марковских процессов. В терминах теории надежности в течение жизненного цикла КБО может находиться в одном из следующих состояний: работоспособном, неработоспособном и опасном. Если корабль находится в работоспособном состоянии, то он может выполнять возложенные на него функции по охране морской границы государства. Функционирование корабля связано с определенными операциями. Для корабля береговой охраны это: переход к месту патрулирования, патрулирования, обнаружения нарушителя, преследования, задержка нарушителя и тому подобное.

Опыт научных школ кафедры теории и проектирования судов НУК свидетельствует о том, что все функциональные операции корабля береговой охраны можно формализовано представить марковскими случайными функциями.

Предполагается, что целевая функция подлежит минимизации. В этом случае, математическая формулировка задачи условной оптимизации имеет вид:

$$F(X) \rightarrow \min. \quad (2)$$

при ограничениях

$$G_j(X) \geq 0, (j=1, \dots, m); \quad (3)$$

$$(x_i)_{\min} \leq (x_i) \leq (x_i)_{\max}, (i=1, \dots, n), \quad (4)$$

где $F(X)$ – целевая функция; $G_j(X)$ – функциональные ограничения; $(x_i)_{\min}$, $(x_i)_{\max}$ – нижнее и верхнее допустимые значения i -ой независимой переменной.

Существуют различные методы преобразования задач с ограничениями в задачи без ограничений. Методы, основанные на преобразовании задачи с ограничениями в последовательность задач минимизации без ограничений называются методами последовательной безусловной минимизации (SUMT – Sequential Unconstrained Minimization Techniques). Это преобразование осуществляется при помощи соответствующей вспомогательной функции, которая определяет новую целевую функцию, имеющую безусловные минимумы. По мере увеличения влияния ограничений на вспомогательную функцию, строят последовательность задач без ограничений, решения которых сходятся к решению исходной задачи.

Среди методов SUMT, наиболее популярными стали методы штрафных функций. Принцип методов штрафных функций заключается в том чтоб из задачи минимизации целевой функции $F(X)$ с ограничениями получить задачу минимизации вспомогательной функции $P(X, r_k) = F(X) + \Phi(X)$ без ограничений. В этой формуле r_k – коэффициент штрафа, $\Phi(X)$ – функция штрафа. По сущности поиск минимума вспомогательной функции $P(X, r_k)$ может быть осуществлен любым методом безусловной оптимизации. При этом безусловный минимум вспомогательной функции $P(X, r_k)$ будет являться искомым условным минимумом целевой функции $F(X)$. Среди методов штрафных функций различают метод внутренних штрафных функций и метод внешних штрафных функций.

В методе внутренних штрафных функций начальная точка и траектория поиска могут находиться только внутри области допустимых решений, при этом штраф задает как бы барьер вдоль границы допустимой области вследствие неограниченного возрастания функции штрафа $\Phi(X)$. В методе внешних штрафных функций точки начальная точка и траектория поиска могут находиться вне области допустимых решений. При выходе из этой области, то есть при нарушении ограничений, $P(X, r_k)$ становится существенно большей, чем функция $F(X)$. Другими словами, при нарушении ограничений налагается штраф, что приводит к ухудшению функции $P(X, r_k)$. В этих двух методах вспомогательные функции могут быть представлены в следующем виде:

- метод внутренних штрафных функций – $P(X, r_k) = F(X) + r_k \sum_m \frac{1}{G_j(X)} 1$,
- метод внешних штрафных функций – $P(X, r_k) = F(X) + r_k \sum_m \left| \bar{G}_j(X) \right|^n$,

где $\bar{G}_j(X) = 0$ – в области допустимых значений и $\bar{G}_j(X) = G_j(X)$ – вне области допустимых значений.

По сравнению с методом внутренних штрафных функций, метод внешних штрафных функций более универсален и применим для практических расчетов. Кроме того, метод внешних штрафных функций позволяет находить экстремум функции из любой начальной точки. Следовательно, в данной работе в качестве метода преобразования задач с ограничениями в задачи без ограничений используется метод внешних штрафных функций.

Таким образом, поиск оптимума целевой функции может осуществляться с использованием метода Пауэлла и метода внешних штрафных функций.

По характерным чертам все методы оптимизации можно разделить на две группы: прямые методы (методы, не использующие производных, методы поиска или методы нулевого порядка) и косвенные методы (методы, использующие производные).

В прямом методе направления движения точки поиска и шаги её движения полностью определяются на основе последовательных вычислений целевой функции. Наиболее распространенными из прямых методов являются метод покоординатного спуска, метод конфигураций, метод вращающихся координат и метод Пауэлла.

Метод Пауэлла (метод параллельных касательных) ориентирован на решение задач с квадратичными целевыми функциями и основывается на методе Хука и Дживса. Этот метод использует свойство параллельного подпространства: любая прямая, проходящая через точку экстремума квадратичной функции, пересекает под равными углами

касательные к поверхностям равных уровней этой функции в точках пересечения. В противном случае это свойство тоже действительно: прямая, соединяющая точки пересечения касательных под равными углами к поверхностям равных уровней этой функции проходит через точку экстремума. Можно доказать, что направление, определяемое вектором, сопряжено с направлением. Эти свойства могут быть распространены на n -мерную задачу. Таким образом, для того, чтобы достигать экстремума целевой функции необходимо строить систему сопряженных направлений. Эта задача решается с использованием метода Хука и Дживса.

Суть метода такова. Выбирается некоторая начальная точка $x[0]$ и выполняется одномерный поиск вдоль произвольного направления, приводящий в точку $x[1]$. Затем выбирается точка $x[2]$, не лежащая на прямой $x[0] - x[1]$, и осуществляется одномерный поиск вдоль прямой, параллельной $x[0] - x[1]$. Полученная в результате точка $x[3]$ вместе с точкой $x[1]$ определяет направление $x[1] - x[3]$ одномерного поиска, дающее точку минимума x^* . В случае квадратичной функции n переменных оптимальное значение находится за n итераций. Поиск минимума при этом в конечном счете осуществляется во взаимно сопряженных направлениях. В случае не квадратичной целевой функции направления поиска оказываются сопряженными относительно матрицы Гессе.

Алгоритм метода параллельных касательных состоит в следующем.

1. Задаются начальной точкой $x[0]$. За начальные направления поиска $p[1], \dots, p[0]$ принимают направления осей координат, т. е. $p[i] = e[i]$, $i = 1, \dots, n$ (здесь $e[i] = (0, \dots, 0, 1, 0, \dots, 0)^T$).

2. Выполняют n одномерных поисков вдоль ортогональных направлений $p[i]$, $i = 1, \dots, n$. При этом каждый следующий поиск производится из точки минимума, полученной на предыдущем шаге. Величина шага a_k находится из условия:

$$f(x[k] + a_k p[k]) = \min_a f(x[k] + a p[k]). \quad (5)$$

Полученный шаг определяет точку:

$$x[k+1] = x[k] + a_k p[k]. \quad (6)$$

3. Выбирают новое направление $p = -x[n] - x[0]$ и заменяют направления $p[1], \dots, p[n]$ на $p[2], \dots, p[n]$, p . Последним присваивают обозначения $p[1], \dots, p[n]$.

4. Осуществляют одномерный поиск вдоль направления $p = p[n] = x[n] - x[0]$. Заменяют $x[0]$ на $x[n+1] = x[n] + a_n p[n]$ и принимают эту точку за начальную точку $x[0]$ для следующей итерации. Переходят к п. 1 [10].

Таким образом, в результате выполнения рассмотренной процедуры осуществляется поочередная замена принятых вначале направлений поиска. В итоге после n шагов они окажутся взаимно сопряженными. С теоретической точки зрения при решении задач нелинейного программирования косвенные методы сходятся быстрее, чем прямые методы. Но на практике при применении косвенных методов приходится сталкиваться с тем, что в задачах со многими переменными довольно трудно и во многих случаях даже невозможно получить производные в виде аналитических функций. Во всяком случае, прямые методы не требуют непрерывности целевой функции и существования производных. Вследствие этого, несмотря на то, что прямые методы иногда медленнее реализуются, но на практике оказываются более удовлетворительными, чем косвенные методы [12].

Вывод. В данной статье предложена методика оценки эффективности и надежности корабля береговой охраны, которая дает возможность учитывать требования к эффективности судов такого назначения на начальном этапе проектирования. В целом это позволяет значительно улучшить качество проектных разработок и повысить безопасность морских границ государства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Томашевский, В. Т. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет: К. В. Фролов (пред.) и др. – М. : Машиностроение; СПб. : Политехника. Расчет и конструирование машин. Раздел IV. Корабли и суда. Т. IV-20. Общая методология и теория кораблестроения. Кн. 1 [Текст] / В. Т. Томашевский, В. М. Пашин, И. Г. Захаров и др; Под ред. В. Т. Томашевского, В. М. Пашина. – СПб. : Политехника, 2003. – 744 с.
2. Пашин, В. М. Оптимизация судов / В. М. Пашин. – Л. : Судостроение, 1983. – 296 с.
3. Захаров, И. Г. Теория проектирования надводных кораблей / И. Г. Захаров, С. И. Постонен, В. И. Романьков. – СПб. : Военно-Морская Академия им. Адмирала Флота Советского Союза Н. Г. Кузнецова, 1997. – 678 с.
4. Supporting the US NAVY Fleet in any sea from design through in-life sustainment to modernization [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.navalengineers.org/ProceedingsDocs/FMMS/FMMS2013/FMMS Papers/Bozzelli_paper.pdf
5. Рябинин, И. А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем / И. А. Рябинин. – СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2007. – 276 с.
6. Абчук, В. А. Справочник по исследованию операций / В. А. Абчук, Ф. А. Матвейчук, Л. П. Томашевский. – М. : Воениздат, 1979. – 368 с.
7. Волгин, Н. С. Исследование операций. Часть I [Текст] / Н. С. Волгин, Н. В. Махров, В. А. Юровский. – Л. : ВМА им. Н. Г. Кузнецова, 1978. – 400 с.
8. Волгин, Н. С. Исследование операций. Часть II [Текст] / Н. С. Волгин, Н. В. Махров, В. А. Юровский. – Л. : ВМА им. Н. Г. Кузнецова, 1979. – 110 с.
9. Тихонов В. И., Миронов М. А. Марковские процессы. – М.: Сов. радио, 1977. – 488 с.
10. Трифонов А. Г. Постановка задачи оптимизации и численные методы ее решения [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://matlab.exponenta.ru/optimiz/book_2/index.php, свободный. Яз. рус. (дата обращения 25.01.2015)
11. Митропольский, А. К. Техника статистических вычислений [Текст] / А. К. Митропольский. – М. : Наука, 1971. – 412 с.
12. Химмельблау, Д. Прикладное нелинейное программирование [Текст] / Д. Химмельблау. – М. : Мир, 1975. – 534 с.

REFERENCES

1. Tomashevskyy, V. T. Mashynobuduvannya. Entsyklopediya / Red. совет: K. V. Frolov (pred.) I dr. - M. : Mashynobuduvannya; SPb. : Politekhnyka. Rozrakhunok i konstruyuvannya mashyn. Rozdil IV. Korabli ta suda. T. IV-20. Zahal'na metodolohiya i teoryya korablestroenny. Kн. 1 [Tekst] / V. T. Tomashevskyy, V. M. Pashyn, I. H. Zakharov i dr; Pid red. V. T. Tomashevs'koho, V. M. Pashyna. - SPb. : Politekhnyka, 2003. - 744 s.
2. Pashyn, V. M. Optymyzatsyya sudiv [Tekst] / V. M. Pashyn. - L. : Sudostroenye, 1983. - 296 s.
3. Zakharov, I. H. Teoryya proektyrovannya nadvodnykh korabliv [Tekst] / I. H. Zakharov, S. Y. Postonen, V. I. Roman'kiv. - SPb. : Voenno-Morskaya Akademiya im. Admirala Flota SSSR N. H. Kuznetsova, 1997. - 678 s.
4. Supporting the US NAVY Fleet in any sea from design through in-life sustainment to modernization. – Retrived from: https://www.navalengineers.org/ProceedingsDocs/FMMS/FMMS2013/FMMS Papers/Bozzelli_paper.pdf
5. Ryabynyn, I. A. Nadiynist' ta bezpeka strukturno-skladnykh system [Tekst] / I. A. Ryabynin. - SPb. : Yzd-vo S.-Peterb. Un-ta, 2007. - 276 s.
6. Abchuk, V. A. Spravochnyk po doslidzhennyu operatsiy [Tekst] / V. A. Abchuk, F. A. Matveychuk, L. P. Tomashevs'kyy - M. : Voennydat, 1979. - 368 s.

7. Volhyn, N.S. Issledovanye operatsiy. Chast' I [Tekst] / N.S. Volhyn, N.V. Makhrov, V.A. Yurovskyy. - L.: VMA im. N.H. Kuznetsova, 1978. - 400 s.
8. Volhyn, N.S. Issledovanye operatsiy. Chast' II [Tekst] / N.S. Volhyn, N.V. Makhrov, V.A. Yurovskyy. - L.: VMA im. N.H. Kuznetsova, 1979. - 110 s.
9. Tykhonov V.I., Myronov M.A. Markovskye protsesy. - M.: Sov. radio, 1977. - 488 s.
10. Tryfonov A.H. Postanovka zadannya optimizatsiyi ta chyslenni metody yiyi vyrishennya [Elektronnyy resurs]. Rezhym dostupa: http://matlab.exponenta.ru/optimiz/book_2/index.php, vil'ne. Yaz. rus. (data zvernennya, 25.01.2015 r.)
11. Mytropol'skyy, A.K. Tekhnika statystycheskykh vychyslenyy [Tekst] / A.K. Mytropol'skyy. - M.: Nauka, 1971. - 412 s.
12. Khimmelblau, D. Prikladnoe nelineynoe programmirovaniye [Tekst] / D. Khimmelblau. - M.: Mir, 1975. - 534 s.

Кондратьева Л. Ю. КОНЦЕПЦІЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЦІЛЬОВОЇ ФУНКЦІЇ ПАТРУЛЬНОГО СУДНА ТИПУ SWATH

Розглядаються особливості вибору оптимальних проектних характеристик патрульних суден. Наводиться опис вибору оптимальних характеристик суден типу СМПВ, а також функціональні обмеження, пов'язані з оцінкою роботи патрульного корабля. У зв'язку з введенням в модель оптимізації патрульного корабля обмежень n-мірного евклідового пошукового простору зовнішніми штрафними функціями, заснованими на сучасних вимогах до мореплавства, істотно підвищується якість результату оптимізації в цілому. Як наслідок процес оптимізації ґрунтується не тільки на вимогах пред'являються до класичних кораблів, а й дозволяє вибрати головні розміри корабля типу СМПВ. Метод Пауелла-Флетчера-Давідона є ефективним методом пошуку максимуму (мінімуму) цільової функції і дає можливість вирішити поставлене завдання вже на ранніх стадіях проектування.

Ключові слова: патрульне судно, метод Пауелла, обмеження, цільова функція, оптимізація.

Kondratieva L. Yu. THE CONCEPT OF OPTIMIZATION OF GOAL FUNCTION OF SWATH COAST GUARD

The main features of selection of optimal design characteristics of the patrol ship are considered. The paper describes the process of choosing of optimal characteristic related with estimation of coast guard's work quality. Relatively to entrance in optimization model of craft limitation of multidimensional Euclid searching space by outside penalty function, based on today's requirements to sea keeping, significant increasing the quality of optimization results generally. As result, the optimization process became to process based not only on typical requirements presented to standards vessels, but it let us to choose the main dimensions of SWATH. The method of Paul-Fletcher-Davidon is the most efficiency method of maximum (minimum) of goal function searching and give an opportunity to decide delivered task yet vat early stages of design.

Keywords: patrol ship, Paul method, restrictions, goal function, optimization.

© Кондратьева Л. Ю.

Статтю прийнято
до редакції 5.11.17

УДК 656.614

РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЩОДО СТВОРЕННЯ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИТОРСЬКОЇ КОМПАНІЇ ЯК ЕЛЕМЕНТУ СЕРВІСНОЇ ЕРГАТИЧНОЇ СИСТЕМИ

Кузьменко Є. С., аспірант кафедри морських перевезень Національного університету «Одеська морська академія», e-mail: kuzmenko.iegor@gmail.com

Петров І. М., к.т.н., професор кафедри морських перевезень Національного університету «Одеська морська академія», e-mail: firmness2017@gmail.com, ORCID: 0000-0002-1962-6463

Робота присвячена розробці процедур створення транспортно-експедиторської компанії та містить аналіз сучасного стану транспортно-експедиторської діяльності. Враховується, що останнім часом експедиторськими операціями стали займатися спеціально створені підрозділи (відділи) морських агентських компаній в порядку диверсифікації діяльності. Для структуризації робіт по створенню транспортно – експедиторських компаній застосовано інструмент WBS (Work Breakdown Structure) – структура розбиття робіт (СРР). Розподіл ресурсів, їх вирівнювання та складання календарного плану виконано за допомогою діаграм Ганта. Теоретичні положення можуть бути корисні також практикам, маючи на увазі підвищення конкурентоспроможності підприємства та забезпечення росту вантажоперевезень в цілому.

Ключові слова: транспортно-експедиторська компанія, агентська компанія, транспортно-експедиторська діяльність, експедитор, морський агент, логістика, мультимодальні перевезення.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Останні роки транспортно-експедиторська діяльність в Україні активно розвивається. Сьогодні, за інформацією з різних джерел, в Україні функціонують від 2 до 3-х тисяч транспортно-експедиторських компаній (ТЕК) різних форм власності. Більшість міжнародних ТЕК розміщується в прикордонних областях. Зокрема, в Одеському регіоні їх налічується близько однієї тисячі [1, 2].

В даний час, відзначає FIATA, 80 % обсягів світового вантажообігу здійснюється за участі ТЕК [3]. Слід зазначити, що в міру «дорослішання» галузі поняття «ТЕК» теж зазнає істотні зміни [3, 4]. Якщо ще 5–6 років тому так називалися компанії, що надають послуги портового експедирування (поняття, що існує лише в країнах колишнього СРСР), і часто складалися з одного-двох десятків працівників, то зараз ринком в значно більшій мірі затребувані фірми з набагато більш високим ступенем вертикальної інтеграції, що представляють повний пакет послуг з перевезення «від дверей до дверей» самостійно, з мінімальним залученням субпідрядників.

У сучасній практиці чітко формується тенденція до відмови від «чистої» експедиції пов'язаними з цим родом діяльності компаніями. Сучасні експедитори, бажаючи забезпечити собі переваги в конкурентній боротьбі, стали впроваджувати широкий комплекс послуг, що раніше не складали предмет «класичної» експедиції. До них відноситься митне очищення імпорту і експорту, управління постачаннями, операції по вивезенню і доставці контейнерів; упаковка вантажів; складання різних звітів; зберігання; контроль і регулювання попиту; повне страхове покриття; виписка консолідованих рахунків і т. д. Експедиторськими операціями стали займатися спеціально створені підрозділи (відділи) агентських компаній в порядку диверсифікації діяльності [3–8]. Їх ми теж далі по тексту будемо іменувати ТЕК.

Організація обслуговування судна під час його стоянки в порту с точки зору системного підходу створює сервісну ергатичну систему (СЕС) «людина – техніка – середовище», під якою розуміються взаємодії суб'єкту та об'єкту праці. В якості суб'єкту праці в ній виступає оператор СЕС, тобто морський агент, експедитор, брокер [9–15].

На сучасному етапі ускладнення організації функціонування транспортних систем і підвищення вимог до транспортних операцій за показниками стійкості, надійності, безпеки і конкурентоспроможності особливу актуальність має проблема формування ефективного транспортного експедирування. Також слід зауважити, що після кризи 2008 р. галузь

пережила серйозний спад, пов'язаний з різким падінням транспортних потоків з одного боку, та зниженням їх прибутковості – з іншого, в силу різкого перевищення пропозиції транспортних послуг від численних транспортних компаній над попитом на ці послуги. Все, що сказано вище, є особливо актуальним для сектора контейнерних вантажоперевезень, частка яких у загальному вантажообігу безперервно зростає як в Україні, так і в усьому світі. І саме у сфері контейнерних перевезень конкуренція на ринку в останні кілька років посилюється за рахунок більш глибокого проникнення в них транспортно-логістичних мереж з інших країн. Нові учасники прийшли на ринок з відпрацьованими технологіями, великим досвідом мультимодальних перевезень, готовими перевіреними логістичними ланцюжками.

Україна, завдяки своєму вигідному географічному розташуванню, є транзитною країною, тому має високий логістичний потенціал. Але цей потенціал, по даним аналітиків, не використовується і на 10 %. Зауважимо, що ринок логістичних послуг є одною з головних галузей економіки України. Звідси випливає питання, пов'язане з актуальністю створення транспортно-експедиторської компанії в Україні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання даної проблеми, на які посилаються автори. Теоретичною основою дослідження є наукові праці зарубіжних і вітчизняних вчених з проблем транспорту, логістики, експедирування та агентування. Авторами робіт є Плужніков К. І., Брухис Г. Є., Гуревич Г. Є., Чунтомова Ю. А., Чекаловець В. І., Воєвудський Є. М., Рілов С. І., Оберг Р. Р., Фафурін Н. А., Цимбал М. М., Ніколаєва Л. Л., Шибаєв О. В., Галін А. В., Міротін Л. Б., Попова О. В., Балух Ісса, Хрістофер М., Пек Е., Мейстер Д., Альберт М., Мескон М. Х., Ульман Дж., Уидом Дж., Коннолли Т., Хедоурі Ф., Бегг К., Бейнон-Девіс П. та інші.

Існуючи методики заходів щодо створення ТЕК спираються та історично базуються на елементах командно-адміністративної системи управління, або, переважно у зарубіжних авторів, відрізняються теоретичною спрямованістю та не відображають сучасних умов, в яких опинились підприємства та компанії, що експедирують вантажі в Україні. Без необхідної уваги поки що залишаються СЕС на морському транспорті. Ці та інші обставини роблять дане дослідження актуальним.

Формулювання цілей статті (постановка задачі). Метою даної роботи є розробка теоретико-методологічної бази для створення конкурентоспроможної ТЕК. Для досягнення цієї мети необхідно сформулювати та вирішити задачі по розробці структури робіт по створенню ТЕК, матриці відповідальностей, розрахувати тривалість операцій.

Об'єкт дослідження – процес експедирування вантажів з їх перевалкою в українських портах. Предмет дослідження – створення та організація роботи ТЕК.

Викладення основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Для структуризації робіт по створенню ТЕК авторами застосуємо інструмент, що називається WBS. Термін WBS (Work Breakdown Structure) перекладається різними способами, наприклад, структура розбиття робіт (СРР), ієрархічна структура робіт (ІСР), структура декомпозиції робіт (СДР) і структура поділу робіт. СРР – це ієрархічна структура, що визначає декомпозицію проекту за його основним і проміжними продуктами або за іншою ознакою.

WBS (СРР, СДР) дозволяє позначити роботи, які потрібно виконати для реалізації проекту і встановити єдину структуру управління цими роботами. На найвищому рівні декомпозиції представлений весь комплекс робіт по створенню ТЕК. На самому нижньому рівні зображені одиничні роботи, іноді звані пакетом робіт або робочим пакетом. Пакет робіт – елемент WBS, подальша декомпозиція якого неможлива або просто не потрібна.

Ключовою орієнтацією структури розбиття робіт є створювані результати, які можна визначити як вимірні, відчутні виходи, які перевіряються; продукти, які отримані внаслідок виконання робіт за проектом або окремої його частини. Одне з правил створення якісної WBS – планувати результати, а не дії (точніше, дії по досягненню результатів планувати

після визначення конкретних, досяжних і вимірних результатів). Створювані цільові результати діяльності становлять у сукупності сам кінцевий результат.

WBS жодною мірою не замінює інших інструментів, що використовуються в роботі над створенням ТЕК (плану управління роботами, розклади робіт на різноманітних етапах, списку ресурсів тощо), але є практично головним з них, як на ранній стадії (з метою планування), так і на кінцевих (для контролю результатів), оскільки: є ключовим інструментом контролю ризику складності; визначає ієрархію результатів; описує весь обсяг робіт, необхідний для досягнення кінцевих цілей або результатів; розробляється шляхом ділення результатів на такі, які піддаються обліку та вимірюванню; є механізмом для об'єднання та оцінки виконання проекту за обсягом робіт і вартості.

Принципи, на яких повинна будуватися якісна WBS такі: орієнтоване на результати групування елементів розробок; чітко визначає роботи та описує їх зміст стосовно всіх учасників; містить 100 % робіт, визначених змістом; включає проміжні результати в термінах виконуваних робіт, включаючи власне управління; складена таким чином, що кожен нижчий рівень включає 100 % робіт, зазначених на елементі вищого рівня; містить описи пакетів робіт, які дозволяють чітко ідентифікувати завдання (роботи), які необхідно виконати для здачі цього пакету робіт;

WBS є ключовим елементом плану робіт. Без неї неможливо визначити роботу, яку необхідно зробити для досягнення цілей, а значить неможливо визначити ні вартість проекту, ні його календарний план. А без цього не можна розрахувати, які ресурси будуть потрібні для виконання всього комплексу робіт і в який час ці ресурси повинні бути доступні. Кошти, виділені на проект, будуть отримані вчасно тільки за умови ретельного опрацювання детального, поетапного бюджету проекту. Для вирішення всіх перелічених вище завдань і необхідна WBS. WBS створення ТЕК, об'єднана з матрицею відповідальності зі строками виконання всіх робіт, приведена в табл. 1.

Виходячи зі складеної WBS і ресурсів можна приступити до розподілу ресурсів, їх вирівнюванню та складання календарного плану за допомогою стрічкових діаграм («діаграми Ганта»).

Діаграма Ганта – це популярний тип стовпчастих діаграм (гістограм), який використовується для ілюстрації плану, графіка робіт [16, 17] (по суті складає методологію створення ТЕК).

Перший формат діаграми був розроблений Генрі Л. Гантом в 1910 році. По суті, діаграма Ганта складається зі смуг, орієнтованих вздовж осі часу. Кожна смуга на діаграмі представляє окрему задачу у складі проекту (вид роботи), її кінці – моменти початку і завершення роботи, її довжина – тривалість роботи. Вертикальною віссю діаграми служить перелік завдань. Крім того, на діаграмі можуть бути відзначені сукупні завдання, відсотки завершення, покажчики послідовності і залежності робіт, мітки ключових моментів (віхи), мітка поточного моменту часу «Сьогодні» та інше.

Переваги використання діаграми Ганта: планує завдання, які повинні бути завершені в певний момент часу; є основою для складання розкладів; дозволяє планувати розподіл ресурсів, необхідних для реалізації проекту; визначає критичний шлях проекту; допомагає відслідковувати хід виконання проекту; у разі відхилень, дозволяє коригувати виконання проектних дій таким чином, щоб повернутися до вихідного розкладу.

Для проведення зазначених вище розрахунків використано програму «Microsoft Project» пакета «Microsoft Office».

Таблиця 1 – WBS (структура розбиття робіт) по створенню ТЕК, матриця відповідальності та строки виконання робіт

№ п/п	Роботи	Замовник	Керівник групи	Менеджер з маркетингу	Менеджер по фінансам	Ризик менеджер	Менеджер з персоналу	Менеджер з якості	Юрист	Тривалість	Початок	Закінчення	Попередники
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	Ініціація завдання									<u>14 днів</u>	<u>Чт</u> <u>01.09.16</u>	<u>Вт</u> <u>20.09.16</u>	
1.1	Розробка концепції									<u>9 днів</u>	<u>Чт</u> <u>01.09.16</u>	<u>Вт</u> <u>13.09.16</u>	
1.1.1	Аналіз проблеми та потреби в результатах	Р	П, В	-	-	-	-	-	-	<u>2 дні</u>	<u>Чт</u> <u>01.09.16</u>	<u>Пт</u> <u>02.09.16</u>	
1.1.2	Збір вихідних даних	-	П, В	-	-	-	-	-	-	<u>5 днів</u>	<u>Пн</u> <u>05.09.16</u>	<u>Пт</u> <u>09.09.16</u>	<u>4</u>
1.1.3	Визначення цілей і завдань	Р	У, В	-	-	-	-	-	-	<u>2 дні</u>	<u>Пн</u> <u>12.09.16</u>	<u>Вт</u> <u>13.09.16</u>	<u>5</u>
1.2	Розгляд і затвердження концепції	У	Р	П	-	-	-	-	-	<u>1 день</u>	<u>Ср</u> <u>14.09.16</u>	<u>Ср</u> <u>14.09.16</u>	<u>6</u>
1.3	Ухвалення рішення про початок робіт									<u>4 дні</u>	<u>Чт</u> <u>15.09.16</u>	<u>Вт</u> <u>20.09.16</u>	<u>7</u>
1.3.1	Визначення та призначення керівника групи	Р, В	-	-	-	-	-	-	-	<u>2 дні</u>	<u>Чт</u> <u>15.09.16</u>	<u>Пт</u> <u>16.09.16</u>	
1.3.2	Ухвалення рішення про забезпечення ресурсами виконання першої фази робіт	У	П	-	В	-	-	-	-	<u>2 дні</u>	<u>Пн</u> <u>19.09.16</u>	<u>Вт</u> <u>20.09.16</u>	<u>9</u>
2	Планування робіт									<u>15 днів</u>	<u>Ср</u> <u>21.09.16</u>	<u>Вт</u> <u>11.10.16</u>	<u>10</u>
2.1	Планування цілей та змісту робіт	К	Р	-	-	-	-	-	-	<u>1 день</u>	<u>Ср</u> <u>21.09.16</u>	<u>Ср</u> <u>21.09.16</u>	<u>8</u>
2.2	Календарне планування робіт	У	Р, В	-	-	-	В	-	-	<u>2 дні</u>	<u>Чт</u> <u>22.09.16</u>	<u>Пт</u> <u>23.09.16</u>	<u>12</u>
2.3	Планування витрат і фінансування робіт	У	Р, К	У	В	-	-	-	-	<u>2 дні</u>	<u>Пн</u> <u>26.09.16</u>	<u>Вт</u> <u>27.09.16</u>	<u>13</u>
2.4	Планування якості	-	К	-	-	-	-	В	-	<u>1 день</u>	<u>Ср</u> <u>28.09.16</u>	<u>Ср</u> <u>28.09.16</u>	<u>14</u>
2.5	Організаційне планування	-	Р, В	-	-	-	У	-	-	<u>2 дні</u>	<u>Чт</u> <u>29.09.16</u>	<u>Пт</u> <u>30.09.16</u>	<u>15</u>
2.6	Планування комунікацій	-	В	-	-	-	-	-	-	<u>1 день</u>	<u>Пн</u> <u>03.10.16</u>	<u>Пн</u> <u>3.10.16</u>	<u>16</u>
2.7	Планування управління ризиками	-	К	-	-	В	-	-	-	<u>2 дні</u>	<u>Вт</u> <u>04.10.16</u>	<u>Ср</u> <u>05.10.16</u>	
2.8	Планування контрактів	-	К	-	-	-	-	-	В	<u>1 день</u>	<u>Чт</u> <u>06.10.16</u>	<u>Чт</u> <u>06.10.16</u>	<u>18</u>
2.9	Розробка зведеного плану робіт	У	В, П	-	-	-	-	-	-	<u>3 дні</u>	<u>Пт</u> <u>07.10.16</u>	<u>Вт</u> <u>11.10.16</u>	<u>19</u>
3	Комплекс робіт по реалізації									<u>21 день</u>	<u>Ср</u> <u>12.10.16</u>	<u>Ср</u> <u>09.11.16</u>	<u>70</u>
3.1	Розподіл функціональних обов'язків та відповідальності	У	Р	-	-	-	-	-	-	<u>1 день</u>	<u>Ср</u> <u>12.10.16</u>	<u>Ср</u> <u>12.10.16</u>	<u>11</u>
3.2	Організація контролю над створенням ТЕК									<u>3 дні</u>	<u>Чт</u> <u>13.10.16</u>	<u>Пн</u> <u>17.10.16</u>	<u>22</u>
3.2.1	Організація контролю виконання розкладу робіт	-	В	-	-	-	-	В	-	<u>1 день</u>	<u>Чт</u> <u>13.10.16</u>	<u>Чт</u> <u>13.10.16</u>	

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
3.2.2	Організація контролю витрат в процесі робіт	К	В	-	В	-	-	-	-	<u>1 день</u>	<u>Пт</u> <u>14.10.16</u>	<u>Пт</u> <u>14.10.16</u>	<u>24</u>
3.2.3	Організація контролю якості	-	К	-	-	-	-	В	-	<u>1 день</u>	<u>Пн</u> <u>17.10.16</u>	<u>Пн</u> <u>17.10.16</u>	<u>25</u>
3.3	Постановка системи звітності	-	В	-	П	-	-	-	-	<u>2 дні</u>	<u>Вт</u> <u>18.10.16</u>	<u>Ср</u> <u>19.10.16</u>	<u>26</u>
3.4	Оперативне управління заходами щодо зниження ризиків	-	-	В	-	В	-	-	-	<u>21 день</u>	<u>Ср</u> <u>12.10.16</u>	<u>Ср</u> <u>09.11.16</u>	
3.5	Реагування на негативні ризикові події	-	-	-	-	П	-	-	-	<u>21 день</u>	<u>Ср</u> <u>12.10.16</u>	<u>Ср</u> <u>09.11.16</u>	
3.6	Управління командою розробників	-	В	-	-	-	У	-	-	<u>1 день</u>	<u>Чт</u> <u>20.10.16</u>	<u>Чт</u> <u>20.10.16</u>	<u>27</u>
3.7	Розподіл інформації по користувачам інформації	-	В	-	-	-	-	-	-	<u>1 день</u>	<u>Пт</u> <u>21.10.16</u>	<u>Пт</u> <u>21.10.16</u>	<u>30</u>
3.8	Набір персоналу	У	Р	В	-	-	П, В	-	-	<u>3 дні</u>	<u>Пн</u> <u>24.10.16</u>	<u>Ср</u> <u>26.10.16</u>	<u>31</u>
3.9	Організація приміщення та обладнання для офісу	У, К	Р, В	В	-	-	-	-	-	<u>5 днів</u>	<u>Чт</u> <u>27.10.16</u>	<u>Ср</u> <u>02.11.16</u>	<u>32</u>
3.10	Організація автопарку												
3.10.1	Придбання вантажних автомобілів та причепів	У, В	-	-	-	-	-	-	-	<u>3 дні</u>	<u>Чт</u> <u>03.11.16</u>	<u>Пн</u> <u>07.11.16</u>	
3.10.2	Укладення договору зі станцією технічного обслуговування	-	-	-	-	-	-	-	В	<u>1 день</u>	<u>Чт</u> <u>03.11.16</u>	<u>Чт</u> <u>03.11.16</u>	
3.10.3	Забезпечення стоянки для автомобілів	-	В	-	-	-	-	-	-	<u>1 день</u>	<u>Чт</u> <u>03.11.16</u>	<u>Чт</u> <u>03.11.16</u>	
3.11	Підготовка та укладення контрактів	У	Р, К	-	-	-	-	-	В	<u>2 дні</u>	<u>Вт</u> <u>08.11.16</u>	<u>Ср</u> <u>09.11.16</u>	<u>37</u>
3.12	Управління змінами в ході робіт	У	В	-	-	В	-	-	-	<u>20 днів</u>	<u>Чт</u> <u>13.10.16</u>	<u>Ср</u> <u>09.11.16</u>	
4	Завершення робіт												
4.1	Заключна оцінка фінансової ситуації	К	К	-	В	-	-	-	-	<u>1 день</u>	<u>Чт</u> <u>10.11.16</u>	<u>Чт</u> <u>10.11.16</u>	
4.2	Заключний звіт по виконаній роботі та документація	К	П, У	В	У	В	В	В	В	<u>1 день</u>	<u>Пт</u> <u>11.11.16</u>	<u>Пт</u> <u>11.11.16</u>	<u>41</u>
4.3	Список відкритих питань і заключних робіт	-	В	В	-	-	-	-	-	<u>1 день</u>	<u>Пн</u> <u>14.11.16</u>	<u>Пн</u> <u>14.11.16</u>	<u>42</u>
4.4	Вирішення всіх суперечливих питань	У	В	-	-	-	-	-	-	<u>3 дні</u>	<u>Вт</u> <u>15.11.16</u>	<u>Чт</u> <u>17.11.16</u>	<u>43</u>
4.5	Документування та аналіз досвіду, накопиченого в процесі створення ТЕК	-	В	-	-	-	-	-	-	<u>1 день</u>	<u>Пт</u> <u>18.11.16</u>	<u>Пт</u> <u>18.11.16</u>	<u>44</u>

Примітка: В – виконання рішення; К – контроль виконання; У – узгодження рішення; П – підготовка рішення; Р – прийняття рішення.

Результати розрахунків дані на рис. 1.

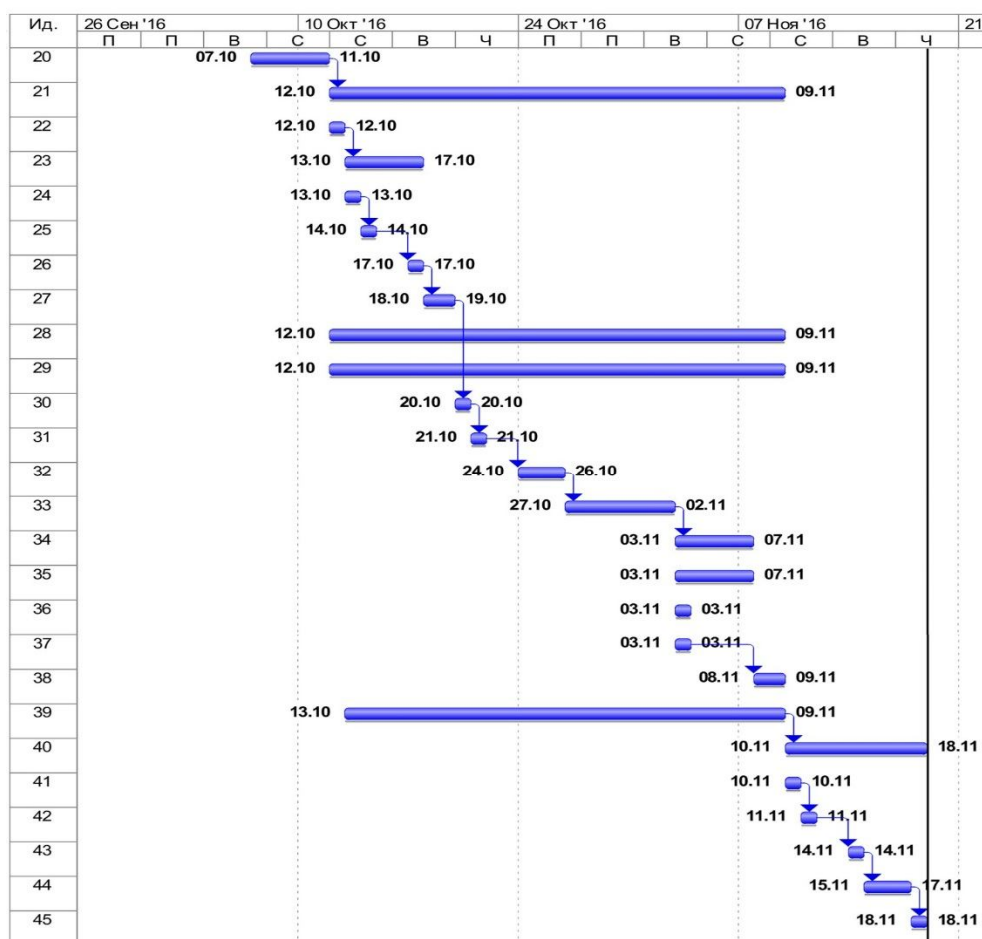
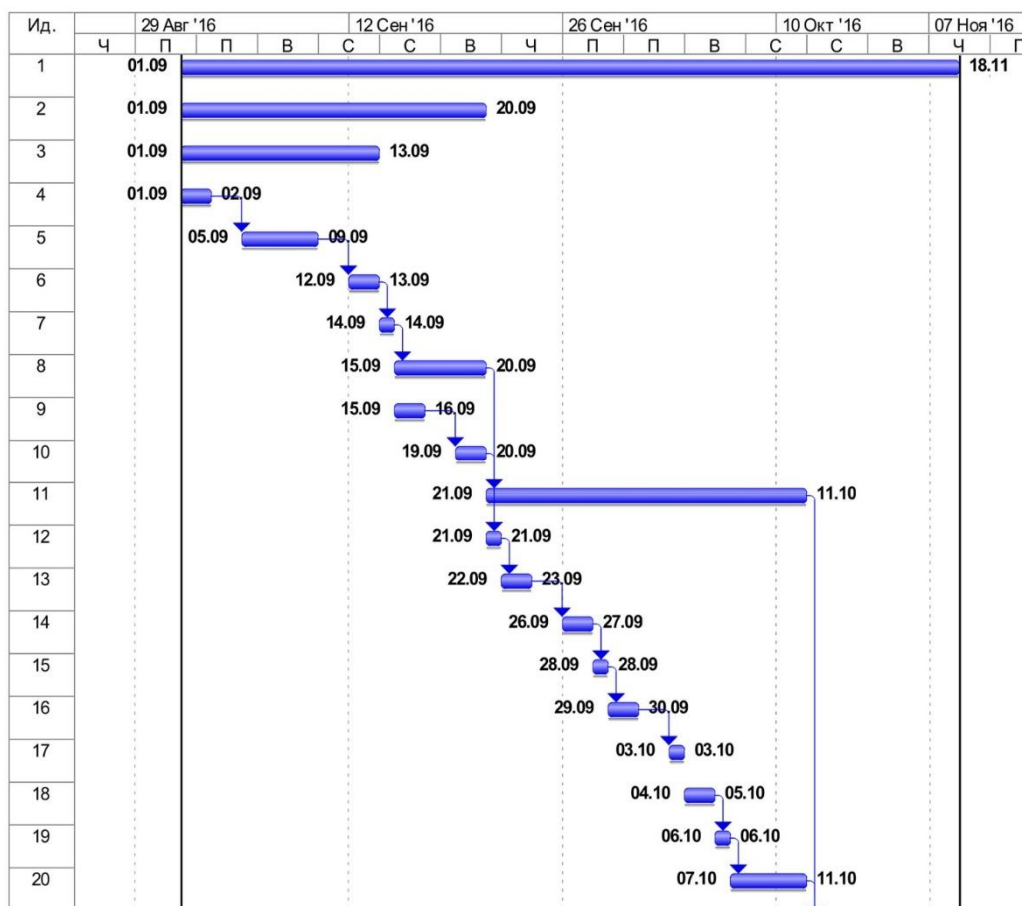


Рисунок 1 – Діаграма Ганта

Основні фази життєвого циклу створеного підприємства є передінвестиційна, інвестиційна та виробнича (експлуатаційна) [18].

Роботи по створенню ТЕК не застраховані від негативних результатів, тобто від ризиків, серед яких найбільш важливі ризики: збільшення кількості конкурентів; погіршення платоспроможності клієнтів у зв'язку з уповільненням економічного зростання; маркетинговий; спаду обсягу перевезень внаслідок несприятливої політики держави; неправильної оцінки необхідних для створення ТЕК ресурсів.

Висновки щодо даного дослідження та перспективи подальших наукових досліджень у даному напрямку.

1. Для захоплення певного сегменту на ринку необхідно створити широкий спектр послуг компанії, виробити тактичні рішення відповідно короткочасних змін ситуацій на ринку, а також створити систему моніторингу ринку.

2. У ході роботи з програмою «Microsoft Project» складена і оптимізована структура декомпозиції робіт. Вдалося досягти рівномірного, без перевищень доступності, завантаження ресурсів та оптимальної тривалості робіт по створенню ТЕК, яка в кінцевому варіанті становить 57 днів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Материалы сайта [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ameu.org.ua>.
2. Никулин С. Г. Развитие портовой инфраструктуры Большой Одессы / С. Г. Никулин // Судоходство. – 2007. – № 4. – С.41– 43.
3. Материалы сайта [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.fiata.com>.
4. Плужников К. И. Транспортное экспедирование, агентирование и брокераж : учеб. / К. И. Плужников, Ю. А. Чунтомова. – М. : ТрансЛит, 2012. – 576 с.
5. Петров И. М. Организационные и коммерческие взаимоотношения морского агента : учебн. пособие / И. М. Петров. – Севастополь : УМИ, 2007. – 131 с.
6. Обзор деятельности ФИАТА // ФИАТА и КЛЕКАТ [Электронный ресурс] обзор деятельности ФИАТА – Швейцария, 2005. – Режим доступа : <http://www.fiata.com/index.php?id=41>, свободный
7. Аксенов И. Я. Транспорт: история, современность, перспективы, проблемы. / И. Я. Аксенов. – М. : Транспортная книга, 1985. – 385 с.
8. UNCTAD. Огляд морського транспорту за 2016 р. Видання Організації Об'єднаних Націй [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://unctad.org/rmt>.
9. Климов Е. А. Психология профессионального самоопределения / Е. А. Климов. – М. : Изд. центр «Академия», 2010. – 304 с.
10. Пряжникова Е. Ю. Психология труда / Е. Ю. Пряжникова, Н. С. Пряжников. – М. : Изд. центр «Академия», 2009. – 480 с.
11. Дубровский В. Я. Проблема распределения функций в системах человек – машина / В. Я. Дубровский, Л. П. Щедровицкий. // Инженерно-психологическое проектирование. – 1970. - Вып. 1. – М. : Изд-во МГУ, 1970. – С. 54–76.
12. Atkinson J. W., Feather N. T. (eds). A theory of achievement motivation / J. W. Atkinson, N. T. Feather. – N.Y. : Wiley, 1966. – 391 p.
13. МакКена П. Первые среди равных: Как руководить профессионалами / П. МакКена, Д. Мейстер: пер. с англ. Ю.Г. Кирьяка. – М. : «ООО «Издательство АСТ»; ЗАО НПП «Ермак»», 2004. – 312 с.
14. Engineering Psychology and Human Performance by Christophen D. Wickens, Justin G. Hollands, 1999. – 326 p.
15. Вудсон У. Справочник по инженерной психологии для инженеров / У. Вудсон, Д. Коновер. – М. : Изд-во «Мир», 1968. – 432 с.
16. Кларк У. Графики Гантта. Учёт и планирование работы. / У. Кларк. – М. : Техника управления, 1931. – 164 с.

17. Clark Wallace. The Gantt chart, a working tool of management / Wallace Clark, Henry Gantt. – New York: Ronald Press, 1922.
18. Щукін Б. М. Аналіз інвестиційних проєктів : конспект лекцій / Б. М. Щукін. – К. : МАУП, 2002. – 128 с.

REFERENCES

1. Materyaly saitа [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupa: <http://www.ameu.org.ua>.
2. Nykulyn S.H. Razvytye portovoi ynfrastruktury Bolshoi Odessy / S.H. Nykulyn // Sudokhodstvo. – 2007. – # 4. – S.41–43.
3. Materyaly saitа [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupa: <http://www.fiata.com>.
4. Pluzhnykov K.Y. Transportnoe ekspedirovaniye, ahentirovaniye y brokerazh: ucheb/ K.Y. Pluzhnykov, Yu.A. Chuntomova. – M. : TransLyt, 2012. – 576 s.
5. Petrov I.M. Orhanyzatsyonnye y kommercheskiye vzaymootnosheniya morskoho ahenta: [uchebn. posobyе] / Y.M. Petrov. – Sevastopol: UMY, 2007. – 131 s.
6. Obzor deiatelnosti FYATA // FYATA y KJIEKAT [Elektronnyi resurs] obzor deiatelnosti FYATA – Shveitsariya, 2005. – Rezhym dostupa: <http://www.fiata.com/index.php?id=41,svobodnii>
7. Aksenov Y. Ya. Transport: ystoriya, sovremennost, perspektivy, problemy. / Y. Ya. Aksenov. – M.: Transportnaia knyha, 1985. – 385 s.
8. UNCTAD. Ohliad morskoho transportu za 2016 r. Vydannia Orhanizatsii Obiednanykh Natsii [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <http://unctad.org/rmt>.
9. Klymov E.A. Psykholohiya professyonalnoho samoopredeleniya / E. A. Klymov. – M.: Yzd. tsentr «Akademyia», 2010. – 304 s.
10. Priazhnykova E.Yu. Psykholohiya truda / E.Yu. Priazhnykova, N.S. Priazhnykov – M. : Yzd. tsentr «Akademyia», 2009. – 480 s.
11. Dubrovskiy V. Ya. Problema raspredeleniya funktsyi v systemakh chelovek – mashyna / V.Ya. Dubrovskiy, L.P. Shchedrovitskiy – Sb. «Ynzhenerno–psykholohicheskoe proektyrovaniye». – 1970. – vyp. 1. – Yzd.–vo MHU, 1970. – S. 54 – 76.
12. Atkinson J. W., Feather N. T. (eds). A theory of achievement motivation / J.W. Atkinson, N.T. Feather. – N.Y.: Wiley, 1966. – 391 p.
13. MakKena P. Pervye sredi ravnykh: Kak rukovodyt professyonalamy / P. MakKena, D. Meister: per. s anhl. Yu.H. Kyriaka. – M.: «ООО «Yzdatelstvo AST»; ЗАО NPP «Ermak», 2004. – 312 s.
14. Engineering Psychology and Human Performance by Christophen D. Wickens, Justin G. Hollands, 1999. – 326 p.
15. Vudson U. Spravochnik po ynzhenernoi psykholohyy dlia ynzhenеров / U. Vudson, D. Konover. – M.: Yzd.-vo «Myr», 1968. – 432 s.
16. Clark W. Grafiki Gantta. Uchet i planirovaniye raboty. 5–ye izdanie/ W. Clark. – M. : Tekhnika upravleniya, 1931. – 164 s.
17. Clark Wallace. The Gantt chart, a working tool of management / Wallace Clark, Henry Gantt. – New York: Ronald Press, 1922.
18. Shchukin B.M. Analiz investitsiinykh proektiv : Konspekt lekttsii / B. M. Shchukyn. – K.: MAUP, 2002. – 128 s.

Кузьменко Е. С., Петров И. М. РАЗРАБОТКА МЕР ПО СОЗДАНИЮ ТРАНСПОРТНО-ЭКСПЕДИТОРСКОЙ КОМПАНИИ КАК ЭЛЕМЕНТА СЕРВИСНОЙ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Работа посвящена разработке процедур создания транспортно-экспедиторской компании и содержит анализ современного состояния транспортно-экспедиторской деятельности. Учитывается, что в последнее время экспедиторскими операциями стали заниматься специально созданные подразделения (отделы) морских агентских компаний в порядке диверсификации их деятельности. Для структуризации работ по созданию транспортно-экспедиторских компаний использован инструмент WBS (Work Breakdown Structure) – структура разбивки работ (СРР). Распределение ресурсов, их выравнивание и составление календарного плана выполнено при помощи

диаграмм Ганта. Теоретические положения могут также быть использованы практиками, имея в виду повышение конкурентоспособности предприятия и обеспечение роста грузоперевозок в целом.

Ключевые слова: транспортно-экспедиторская компания, агентская компания, транспортно-экспедиторская деятельность, экспедитор, морской агент, логистика, мультимодальные перевозки.

Kuzmenko E. S., Petrov I. M. DEVELOPMENT OF MEASURES FOR CREATION OF THE FREIGHT FORWARDING COMPANY AS AN ELEMENT OF THE SERVICE ERGOTIC SYSTEM

The work is devoted to the development of procedures for the creation of a freight forwarding company and contains an analysis of the current state of freight forwarding activities. It is taken into account that recently, specially created divisions (departments) of sea agency companies began to deal with forwarding operations in order to diversify their activities. For the structuring of works on the creation of freight forwarding companies, the WBS (Work Breakdown Structure) tool is used - the structure of the work breakdown (SWB). The allocation of resources, their alignment and the compilation of a calendar plan is carried out using Gantt charts. Theoretical provisions can also be used by practitioners, referring to increasing the competitiveness of an enterprise and ensuring the growth of cargoes transportations in general.

Keywords: freight forwarding company, agency company, freight forwarding activity, forwarder, sea agent, logistics, multimodal transportation.

© Кузьменко Є. С., Петров І. М.

Статтю прийнято
до редакції 14.11.17

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ИДЕНТИФИКАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМ КОНТУРОМ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ

Михайленко В. С., к.т.н., доцент кафедры электрооборудования и судовой автоматики Национального университета «Одесская морская академия», e-mail: vlad_mihailenko@mail.ru, ORCID: 0000-0003-2793-8966;

Харченко Р. Ю., старший преподаватель кафедры морской электроники Национального университета «Одесская морская академия», e-mail: romannn30@gmail.com, ORCID: 0000-0003-3051-7513

Исследуется возможность применения метода динамической идентификации Калмана для определения математической модели контура охлаждения судовой дизельной установки. Определена математическая модель в виде передаточной функции на основе которой рассчитаны экспертные настройки для типового ПИ-регулятора АСР системы охлаждения. Результаты имитационного моделирования АСР с ПИ-регулятором, в пакете Matlab, показали перспективность предложенного метода и возможность его использования при адаптации локальных систем автоматического управления объектами СЭУ.

Ключевые слова: математическая модель, динамическая идентификация, судовая дизельная установка, контур охлаждения, ПИ-регулятор.

Вступление. Системы охлаждения современных главных судовых двигателей внутреннего сгорания (СДВС) служат для обеспечения максимально высоких технико-экономических показателей эксплуатации этих двигателей исключительно на номинальных режимах работы. Однако современная практика показывает, что судовые энергетические установки эксплуатируются продолжительное время на частичных режимах нагрузок [1]. В этой связи усовершенствование систем охлаждения главных СДВС является весьма актуальной задачей. В системах охлаждения цилиндров СДВС от температуры охлаждающей воды в зарубашечном пространстве в значительной мере зависит температура стенки, которая, в свою очередь, влияет на протекание рабочего процесса в цилиндре, величину работы трения в цилиндропоршневой группе и интенсивность ее износа [2, 3]. Повышение температуры охлаждающей воды до определенных пределов уменьшает износ цилиндропоршневой группы. Верхний предел температуры определяется условиями безопасной работы двигателя. В связи с применением сернистого и высоковязкого сортов топлива намечается тенденция к повышению температурного режима в системе охлаждения цилиндров и форсунок у мощных малооборотных двигателей до 62–85 °С. Система регулирования температуры охлаждающей воды главных судовых дизелей должна поддерживаться постоянной при различных нагрузках и температурах забортной воды. Наиболее приемлемой для дизелей, в настоящее время, считается температура воды на выходе из двигателя равная 80 °С (двигатели Зульцер, Бурмейстер, Ман и т.д.), при которой обеспечивается нормальный режим охлаждения. Повышение уровня поддержания температуры охлаждающей воды зависит от конструктивных особенностей двигателя, сорта применяемого масла и сорта топлива [3]. Для разработки автоматизированной системы регулирования (АСР) температурным режимом, необходимо знание математической модели объекта управления. И одним из сравнительно современных методов динамической идентификации [4], основанных на результатах наблюдения за изменениями значений контролируемых параметров объекта управления на определенном интервале времени, является метод Калмана [5]. Этапы реализации метода заключаются в следующем:

- в процессе эксплуатации через строго фиксированные интервалы времени записывают значения входных и выходных параметров;
- выбирают упрощенный вид аналитической модели, записанной в виде разностного уравнения того или иного порядка;

- по результатам наблюдения и принятого типа модели методом минимума суммы квадратов отклонений определяют коэффициенты разностного уравнения;
- решают разностное уравнение и сравнивают полученные динамические характеристики с экспериментом;
- при больших отклонениях задаются разностным уравнением более высокого порядка и повторяют расчет.

Для дифференциального линейного уравнения с k -го порядка, описывающего динамику объекта управления, аналогом будет разностное уравнение вида:

$$y_n = A_0 y_{n-1} + A_1 y_{n-2} + \dots + A_{k-1} y_{n-k} + B_0 x_{n-1} + B_1 x_{n-2} + \dots + B_{k-1} x_{n-k},$$

где n – номер точки эксперимента; A, B – коэффициенты разностного уравнения.

Оно может быть принято в качестве исходной модели при динамической идентификации. где n – номер точки эксперимента; A, B – коэффициенты разностного уравнения. Оно может быть принято в качестве исходной модели при динамической идентификации.

Поскольку порядок идентифицируемого объекта обычно неизвестен, следует начинать с наиболее простой модели, а именно – разностного уравнения первого порядка вида $y_n = A_0 y_{n-1} + B_0 x_{n-1}$.

Если модель окажется недостаточно адекватной, следует взять в качестве модели разностное уравнение второго порядка:

$$y_n = A_0 y_{n-1} + A_1 y_{n-2} + B_0 x_{n-1} + B_1 x_{n-2}.$$

Далее, используя методику минимизации суммы квадратов отклонений, т.е. функционала вида:

$$F = \min \sum_{i=1}^n (y_{\text{э}i} - y_{\text{п}i})^2,$$

Получаем систему уравнений:

$$\frac{\partial F}{\partial A_0} = 0; \quad \frac{\partial F}{\partial A_1} = 0; \quad \frac{\partial F}{\partial B_0} = 0; \quad \frac{\partial F}{\partial B_1} = 0.$$

Из которых можно определить коэффициенты A_0, A_1, B_0, B_1 , удовлетворяющие критерию оптимальности.

Постановка задачи. Рассмотрим задачу идентификации на примере нахождения математической модели объекта судовой энергетической установки СЭУ (главного двигателя) для канала измерения «температура охлаждающей воды» [6]. На рис. 1 представлена схема регулирования температуры охлаждающей воды $t_2 = T_{\text{вых}}$, действующая по наиболее распространенному способу перепуска.

Результаты исследования. Приведем аналитическое описание представленной системы [2]. Количество отведенной теплоты определяется формулой теплового баланса:

$$q_{\text{отв}} = c_v G_v g (T_{\text{вых}} - T_x), \quad (1)$$

где c_v – удельная теплоемкость воды, G_v – расход пресной воды через зарубашечное пространство, g – положение регулирующего органа (РО) (трехходового клапана), T_x – температура воды после охладителя (t_1).

Количество подведенной теплоты выражается функцией температуры газов и регулируемой температуры на выходе из двигателя:

$$q_{\text{под}} = f(T_g; T_{\text{вых}}). \quad (2)$$

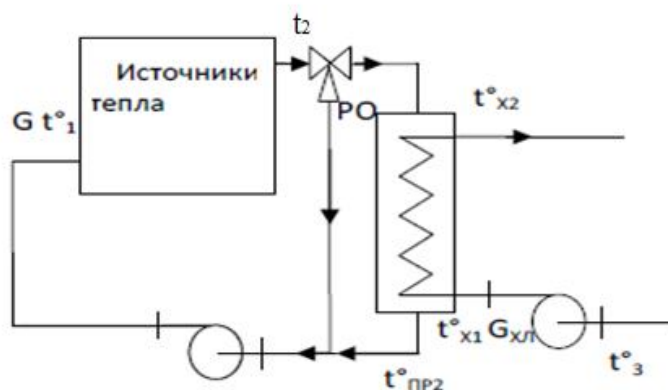


Рисунок 1 – Схема регулирования температуры охлаждающей воды перепуском

В соответствии с выражением (1):

$$q_{отв} = f(g; T_{вых}; T_x). \quad (3)$$

После разложения зависимостей (1), (2) в ряд Тейлора и использовании его линейных членов подставим линеаризованные выражения для $q_{отв}$ $q_{под}$ в формулу 3 выражающую неустойчивое (динамическое) состояние системы (нарушение статического равновесия между количеством подводимой и отводимой теплоты):

$$c_{п} = dT_{вых}/dt = q_{под} - q_{отв}, \quad (4)$$

где $c_{п}$ – приведенная теплоемкость системы охлаждения.

С учетом условий статического равновесия получаем уравнение динамики системы охлаждения двигателя:

$$c_n \frac{dT_{вых}}{dt} + \left[\left(\frac{\partial q_{отв}}{\partial T_{вых}} \right)_0 - \left(\frac{\partial q_{под}}{\partial T_{вых}} \right)_0 \right] \Delta T_{вых} = \left(\frac{\partial q_{под}}{\partial T_{газ}} \right)_0 \Delta T_{газ} - \left(\frac{\partial q_{отв}}{\partial g} \right)_0 \Delta g - \left(\frac{\partial q_{отв}}{\partial T_x} \right)_0 \Delta T_x. \quad (5)$$

Уравнение (4) разделим на фактор устойчивости температурного режима охлаждения дизеля (5):

$$F_{\epsilon} = \frac{\partial q_{отв}}{\partial T_{вых}} - \frac{\partial q_{под}}{\partial T_{вых}}. \quad (6)$$

и введем относительные координаты $y_m = \Delta T_x/T_{хо}$; $y_0 = \Delta T_{вых}/T_{выхо}$; $y_{г} = \Delta T_{г}/T_{го}$; $x = \Delta g/g_0$. После введения постоянной времени T , коэффициентов усиления по исследуемым каналам K_z, K_g, K_x получим уравнение динамики системы охлаждения двигателя (инерционное звено):

$$(T_p + 1)y_0 = K_z y_z - K_g x_g - K_x y_m. \quad (7)$$

Для анализа температурного режима судового двигателя (СД) фиксировалось нарастание температуры охлаждающей воды при приложении номинальной нагрузки. Результаты измерений приведены в таблице 1. Требуется определить постоянную времени нагрева двигателя и получить математическую модель процесса для системы эргатического регулирования температуры охлаждающей воды на выходе из СД (АСР t_2).

Таблица 1 – Данные теплоэнергетического процесса

$t, \text{ мин}$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\Theta, ^\circ \text{C}$	12	38,7	54,9	64,8	70,7	74,3	76,6	77,9	78,7	80
$\Theta_{\text{модели}}, ^\circ \text{C}$	–	–	54,91	–	70,70	–	–	–	78,6	–

Из данных наблюдения видно, что температура изменилась от $\Theta_{нач} = 12^{\circ}C$ до $\Theta_{ycm} = 80^{\circ}C$. Согласно методу Калмана [5], для идентификации математической модели объекта управления, используем разностное уравнение первого порядка:

$$\Theta_n = A_0 \Theta_{n-1} + B_0 \Theta_{ycm}.$$

Для упрощения расчетов примем интервал времени измерений замеров $t = 2$ ч. Для минимизации суммы квадратов отклонений запишем функционал:

$$F = \min \sum_1^m (\Theta_{\text{зн}} - \Theta_n)^2 = \min \sum_1^m (\Theta_n - A_0 \Theta_{n-1} - B_0 \Theta_{ycm})^2.$$

Приравняем нулю частные производные от функционала:

$$\frac{\partial F}{\partial A_0} = \sum_1^m 2(\Theta_n - A_0 \Theta_{n-1} - B_0 \Theta_{ycm}) \Theta_{n-1} = 0;$$

$$\frac{\partial F}{\partial B_0} = \sum_1^m (\Theta_n - A_0 \Theta_{n-1} - B_0 \Theta_{ycm}) \Theta_{ycm} = 0.$$

И с учетом того, что

$$\sum_1^m \Theta_{ycm} = m \Theta_{ycm} \text{ и } \Theta_{ycm} \neq 0,$$

получим систему канонических уравнений:

$$A_0 = \frac{\sum_1^m \Theta_n \Theta_{n-1}}{\sum_1^m \Theta_{n-1}^2} + B_0 m \Theta_{ycm} = \frac{\sum_1^m \Theta_n}{\sum_1^m \Theta_{n-1}};$$

$$A_0 = \frac{\sum_1^m \Theta_n^2}{\sum_1^m \Theta_{n-1}^2} + B_0 \Theta_{ycm} \frac{\sum_1^m \Theta_n}{\sum_1^m \Theta_{n-1}} = \frac{\sum_1^m \Theta_n \Theta_{n-1}}{\sum_1^m \Theta_{n-1}^2}.$$

откуда:

$$A_0 = \frac{m \sum_1^m \Theta_n \Theta_{n-1} - \sum_1^m \Theta_{n-1} \sum_1^m \Theta_n}{m \sum_1^m \Theta_{n-1}^2 - \left(\sum_1^m \Theta_{n-1} \right)^2};$$

$$B_0 = \frac{\sum_1^m \Theta_n \sum_1^m \Theta_{n-1}^2 - \sum_1^m \Theta_{n-1} \sum_1^m \Theta_n \Theta_{n-1}}{\Theta_{ycm} \left(m \sum_1^m \Theta_{n-1}^2 - \left(\sum_1^m \Theta_{n-1} \right)^2 \right)},$$

где m – число экспериментальных точек.

Так как интервал времени принят равным 2 ч, то из полученных экспериментально данных при $m = 4$ выбираем точки, представленные в табл. 2.

Таблица 2 – Расчетные данные

t, ч	0	2	4	6	8
$\Theta_n, ^{\circ}C$	–	54,9	70,7	76,6	78,7
$\Theta_{n-1}, ^{\circ}C$	12	54,9	70,7	76,6	–

Тогда:

$$\sum_1^4 \Theta_n = 282 ; \sum_1^4 \Theta_{n-1} = 215 ; \sum_1^4 \Theta_{n-1}^2 = 14139 ;$$

$$\sum_1^4 \Theta_n \Theta_{n-1} = 16110 .$$

Подставляя полученные значения в выражения для A_0 и B_0 , получаем:

$$A_0 = 0.368 ; B_0 = 0.632 ,$$

и разностное уравнение при $\Theta_{ycm} = 80^\circ C$ принимает вид:

$$\Theta_n = 0.368 \Theta_{n-1} + 50.5 .$$

Для проверки адекватности модели по полученному выражению рассчитаны значения Θ в при тех же интервалах времени (табл. 2 (модели)). Сравнивая расчетные данные с данными эксперимента, убеждаемся в допустимой адекватности математической модели объекту управления. Это позволяет сделать вывод возможности описания объекта в виде дифференциального уравнения первого порядка вида:

$$T \frac{d\Theta}{dt} + \Theta = \Theta_{ycm} . \quad (8)$$

где T – постоянная времени.

Решением которого является:

$$\Theta = \Theta_{ycm} (1 - e^{-t/T}) + \Theta_{нач} e^{-t/T} ,$$

где полагая $\Theta = \Theta_n$, $\Theta_{нач} = \Theta_{n-1}$ и $t = n \cdot t$, при $n = t$ получаем:

$$A_0 = e^{-t/T} ,$$

откуда

$$T = -t / \ln A_0 = -2 / \ln 0.368 = 2 / 0.9997 = 2 \text{ ч} .$$

Постоянная времени нагрева равна 2 мин., а дифференциальное уравнение (7) примет вид:

$$2 \frac{d\Theta}{dt} + \Theta = 80 . \quad (9)$$

Уравнение (8) является инерционным звеном первого порядка [7]. С учетом влияния возмущения (степень открытия клапана (рис. 1). Определяется коэффициент усиления K объекта по каналу регулирования: $K = \frac{\Delta Y}{\Delta N}$, возмущение клапаном $\Delta N = 10\%$, таким образом $K = 8$ ($^\circ C$ % УП), где УП – показания указателя положения клапана. Инерционное звено принимает следующий вид:

$$W(s) = \frac{8}{(2s + 1)} . \quad (10)$$

Примем транспортное запаздывание $\tau = 0.5$ мин., тогда передаточная функция объекта примет вид:

$$W(s) = \frac{8}{(2s+1)} e^{-0.5s} \quad (11)$$

Рассчитаем значения параметров настроек ПИ - регулятора K_p , T_i по формулам (табл. 3) табличного метода предложенного Копеловичем [8] для объектов с самовыравниванием, с целью получения наилучшего переходного процесса АСР температуры охлаждающей воды авторами была произведена экспертная подстройка параметров регулятора с усовершенствованием табличного метода т.к. известные формулы при устойчивости АСР не обеспечивают заданных показателей качества.

Таблица 3 – Параметры регулятора

Закон регулирования	Тип переходного процесса		
	апериодический	с 20 %-ным перерегулированием	минимальный интегральный критерий качества
ПИ	$K_p = \frac{0,4T_{об}}{K_{об}\tau_{об}};$ $T_i = 1,5T_{об}$	$K_p = \frac{0,7T_{об}}{K_{об}\tau_{об}};$ $T_i = 1,7T_{об}$	$K_p = \frac{0,5T_{об}}{K_{об}\tau_{об}};$ $T_i = 2T_{об}$

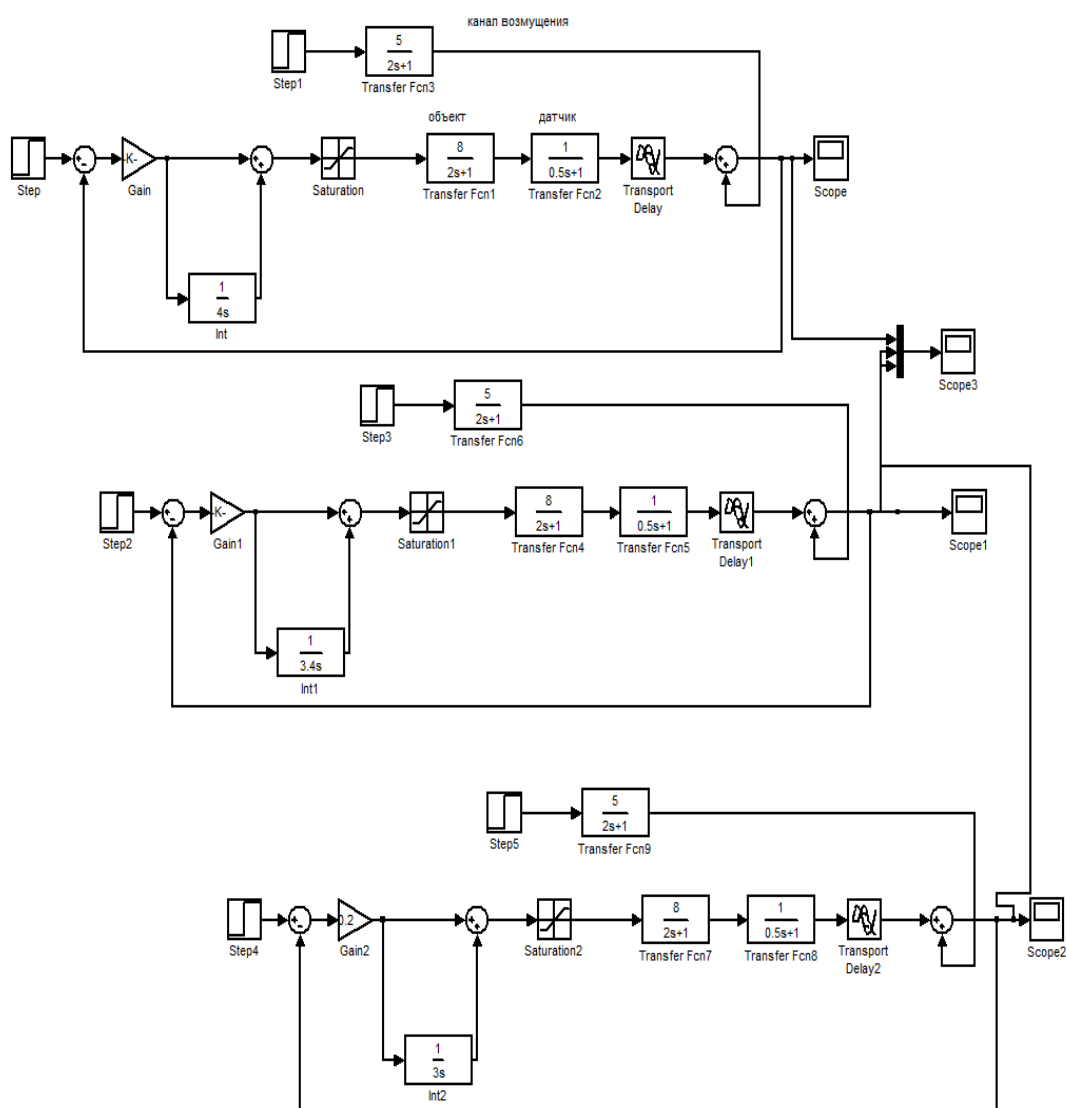


Рисунок 2 – АСР температуры охлаждающей воды дизеля

Программный эксперимент. Для сравнительного анализа по выбору наилучшего типа переходного процесса, по критериям времени регулирования и заброса, проведем программный эксперимент по апробации значений настроечных параметров типового регулятора. Выполнив соответствующие расчеты по формулам табл. 3, получены значения настроек ПИ-регулятора: $K_p = 0,2$, $T_i = 3$ (апериодический); $K_p = 0,35$, $T_i = 3,4$ (с 20 % перерегулированием); $K_p = 0,25$, $T_i = 4$ (с интегральным критерием). Для анализа эффективности действия АСР (рис.2) с разными настроечными параметрами проведен программный эксперимент в пакете MathLab (Simulink) [9,10], температура воды на выходе из дизеля $t = 80^\circ\text{C}$. Переходные процессы АСР при рассчитанных параметрах ПИ-регулятора представлены на рис. 3 (1 – 20 % перерегулирование, 2 – интегральный, 3 – апериодический).

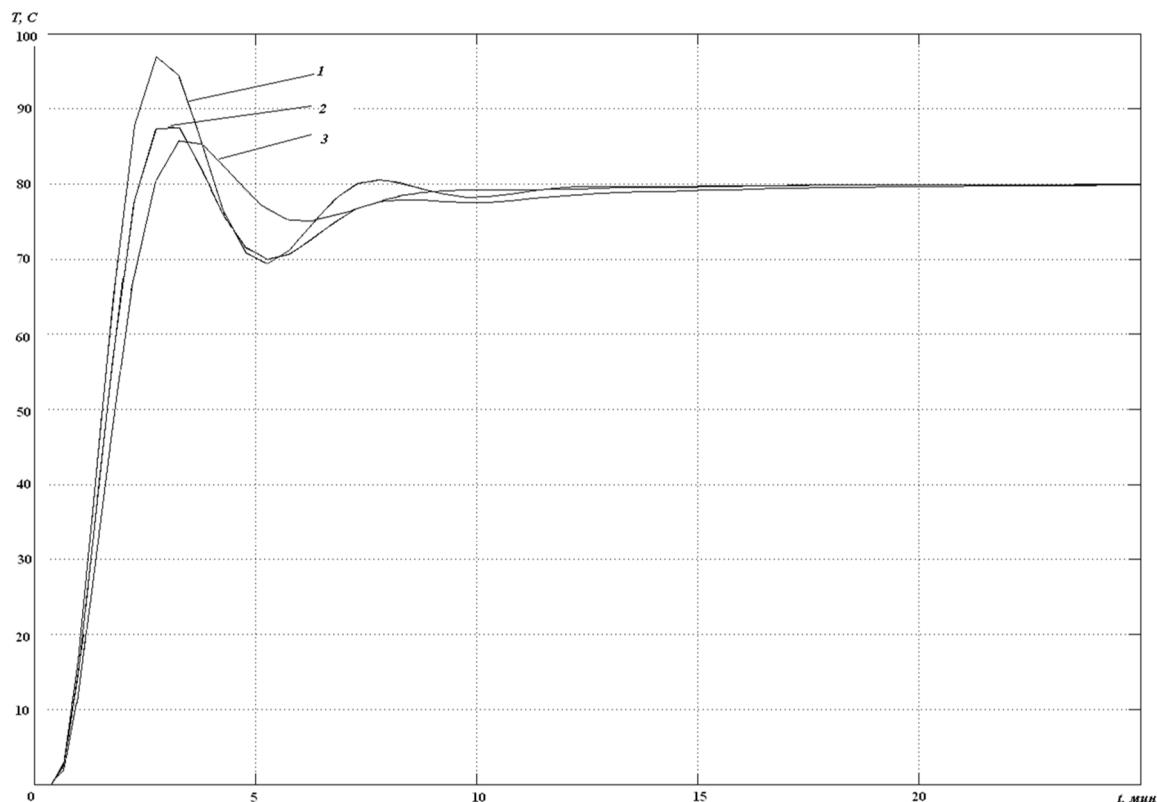


Рисунок 3 – Переходные процессы АСР

Таким образом, проведена динамическая идентификация, рассчитаны и апробированы на модели настройки ПИ – регулятора для АСР температуры охлаждающей воды дизеля (СДВС).

Выводы. Сравнительный анализ типов переходных процессов АСР позволяет прийти к заключению о преимуществе экспертных табличных формул для апериодического процесса по критериям заброса и времени регулирования. Представленный метод идентификации математических моделей объектов управления, позволяет получить, для дальнейшего исследования, модели широкого класса тепловых объектов СЭУ. Аналитический метод Калмана позволяет более точно, в отличие от экспериментальной методики и без дополнительных затрат на экспериментальное оборудование, определить параметры моделей, а в последующем и рассчитать значения настроечных параметров для ПИ и ПИД - регуляторов в автоматизированных системах регулирования судовых объектов. Внедрение данного метода в компьютерные системы управления объектами СЭУ является перспективной практической задачей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернышев С. К. Судовые ДВС. Пособие для подготовки вахтенных механиков. Diesel Engines / С. К. Чернышев. – М. : Негоциант, 2006. – 303 с.
2. Ланчуковский В. И. Автоматизированные системы управления судовых дизельных и газотурбинных установок : учебник / В. И. Ланчуковский, А. В. Козьминых. – М. : Транспорт, 1983. – 320 с.
3. Возницкий И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Том 1. / И. В. Возницкий. – М. : Моркнига, 2008. – 282 с.
4. Kalman R. E. Contribution to the Theory of Optimal Control / R. E. Kalman. // Bull. Soc. Mat. Mech. 1960. – Vol. 5, № 1. – P. 102–119.
5. Дилигенская А. Н. Идентификация объектов управления / А. Н. Дилигенская. – Самара : СГТУ, 2009. – 136 с.
6. Михайленко В. С. Решение задачи идентификации математической модели судового энергетического оборудования / В.С. Михайленко // Матеріали 8-ї Міжнародної науково-практичної конференції СЕУТТОО. – Херсон : ХДМА, 2017. – С.114–118.
7. Ротач В. Я. Теория автоматического управления / В. Я. Ротач. – М. : МЭИ, 2008. – 396 с.
8. Копелович А.П. Инженерные методы расчета автоматических регуляторов, / А.П. Копелович. – М.: ГНТИ, 1960. – 190 с.
9. Дьяконов В. П. MATLAB. Самоучитель / В. П. Дьяконов.– М. : ДМК Пресс, 2012. – 768 с.
10. Черных И.В. Simulink. Среда создания инженерных приложений / И. В. Черных. – М. : Диалог МИФИ, 2014. – 491 с.

REFERENCES

1. Chernihshev S. K. Sudovihe DVS. Posobie dlya podgotovki vakhtennikh mekhanikov. Diesel Engines / S. K. Chernihshev. – M. : Negociant, 2006. – 303 s.
2. Lanchukovskiy V. I. Avtomatizirovannihe sistemih upravleniya sudovihkh dizeljnihkh i gazoturbinnikh ustanovok : uchebnik / V. I. Lanchukovskiy, V. Kozjminikhkh. – M. : Transport, 1983. – 320 s.
3. Voznickiy I. V. Sudovihe dvigateli vnutrennego sgoraniya. Tom 1. / I. V. Voznickiy. – M. : Morkniga, 2008. – 282 s.
4. Kalman R. E. Contribution to the Theory of Optimal Control / R. E. Kalman. // Bull. Soc. Mat. Mech. 1960. – Vol. 5, № 1. – P. 102–119.
5. Diligenskaya A. N. Identifikaciya objhektov upravleniya / A. N. Diligenskaya. – Samara : SGTU, 2009. – 136 s.
6. Mikhaylenko V. S. Reshenie zadachi identifikacii matematicheskoy modeli sudovogo ehnergeticheskogo oborudovaniya / V.S. Mikhaylenko // Materiali 8-ї Mizhnarodnoї naukovo-praktichnoї konferencії SEUTTOO. – Kherson : KhDMA, 2017. – S.114–118.
7. Rotach V. Ya. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya / V. Ya. Rotach. – M. : MEhI, 2008. – 396 s.
8. Kopelovich A.P. Inzhenernihe metodih rascheta avtomaticheskikh regulyatorov, / A.P. Kopelovich. – M.: GNTI, 1960. – 190 s.
9. Djyakonov V. P. MATLAB. Samouchitelj / V. P. Djyakonov.– M. : DMK Press, 2012. – 768 s.
10. Chernihkh I.V. Simulink. Sreda sozdaniya inzhenernihkh prilozheniyj / I. V. Chernihkh. – M. : Dialog MIFI, 2014. – 491 s.

Михайленко В. С., Харченко Р. Ю. РІШЕННЯ ЗАДАЧ ІДЕНТИФІКАЦІЇ І УПРАВЛІННЯ ТЕМПЕРАТУРНИМ КОНТУРОМ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ СУДНОВОГО ДИЗЕЛЯ

Досліджується можливість застосування методу динамічної ідентифікації Калмана для визначення математичної моделі контуру охолодження суднової дизельної установки. Визначено математична модель у вигляді передавальної функції на основі якої розраховані експертні настройки для типового ПІ регулятора АСР системи охолодження. Результати імітаційного моделювання АСР з ПІ - регулятором, в пакеті Matlab, показали перспективність запропонованого методу і можливість його використання при адаптації локальних систем автоматичного управління об'єктами СЕУ.

Ключові слова: математична модель, динамічна ідентифікація, суднова дизельна установка, контур охолодження, ПІ-регулятор.

Mikhailenko V. S., Kharchenko R. Yu. SOLVING THE PROBLEMS OF IDENTIFICATION AND CONTROL IN TEMPERATURE CIRCUIT OF THE COOLING SYSTEM ON THE SHIP DIESEL

The possibility of using the Kalman dynamic identification method to determine the mathematical model of the cooling circuit of a ship diesel unit is investigated. A mathematical model is defined in the form of a transfer function on the basis of which the expert settings for a typical PI regulator of the ACS of the cooling system are calculated. Results of simulation modeling of ACS with PI-regulator, in the package Matlab, showed the promise of the proposed method and the possibility of its use when adapting local systems for automatic control of SPP objects.

Keywords: mathematical model, dynamic identification, ship diesel installation, cooling circuit, PI-regulator.

© Михайленко В. С., Харченко Р. Ю.

Статтю прийнято
до редакції 14.11.17

ФОРМУВАННЯ СТОЯНОЧНОГО ЧАСУ РЕЙСА СУДНА З УРАХУВАННЯМ ЧАРТЕРНИХ УМОВ

Онищенко С. П., д.е.н., професор кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень» Одеського національного морського університету, e-mail: onyshenko@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9660-1921;

Коскіна Ю. О., к.т.н., професор кафедри «Експлуатація флоту і технологія морських перевезень» Одеського національного морського університету, e-mail: yuliia.koskina@ukr.net, ORCID: 0000-0002-3164-6504

У статті розглянуто засади формування стояночного часу рейса, виходячи із умов договору рейсового фрахтування та особливостей виконання рейса. При цьому тривалість стояночного часу розглядається як сумарні часові витрати на вантажні роботи (сталійний час) та додаткові витрати часу, які є наслідком формулювань чартерних умов та обставин, які можуть виникнути під час виконання рейсу, вже після укладання чартеру. Останні визначено як такі, що знаходяться поза межами контролю судновласника, у той час як кожна чартерна умова щодо знаходження судна у порту передбачає декілька можливих формулювань та є предметом торгу між судновласником і фрахтувальником. Відповідно, судновласник може з одного боку торгуватися про прийнятні для себе формулювання, виходячи з конкретної ситуації, а з іншого – використовувати їх як засади калькуляції часових (і у подальшому – грошових) витрат. За результатами рейсів виконано аналіз структури стояночного часу, та проілюстровано частку додаткових витрат часу у загальному стояночному часі (за типами суден, найбільш поширеними у Чорноморсько-Середземноморському регіоні). Подано можливі варіанти формулювань чартерних умов, якими формуються додаткові витрати стояночного часу, та формалізовано порядок визначення складових загального стояночного часу рейса.

Ключові слова: стояночний час рейса, умови чартера.

Постановка проблеми. Чартерні умови, якими регламентуються терміни знаходження суден у портах, мають принципове значення для судновласника, оскільки формують стояночний час рейсу як складову загального часу його виконання, а через це – впливають на величину витрат судновласника, пов'язаних із його виконанням. Саме тому торгуванню умов щодо сталійного часу судновласник має приділити найретельнішу увагу. Майже усі умови, які стосуються сталії, є предметом торгування, що дає судновласнику певні можливості «відстоювати» свої інтереси. Наразі слід пам'ятати, що під час торгування будь-яких умов, які стосуються портів (у тому рахунку – і умов про сталійний час) судновласник знаходиться у менш вигідному становищі порівняно із фрахтувальником. Тому він має орієнтуватися на найгірший для себе варіант.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Умови чартерів про сталійний час детально викладено у багатьох виданнях вітчизняних авторів [1–6]. Втім, вони викладають тлумачення чартерних формулювань про сталію із акцентом на їх «вигідність» або «невигідність» для судновласника. Жодних спроб встановити їх кількісний вплив на оцінку тривалості знаходження судна у портах під вантажними роботами у згаданих публікаціях немає. Окрім того, на нашу думку, не коректним виглядає визначення різних варіантів фіксації умов про сталійний час як «вигідних» та «невигідних» адже жодного критерію такої «вигідності» названими авторами не запропоновано. При цьому, у багатьох із згаданих робіт апіорі виходять з того, що час стоянки судна у порта має бути якомога меншим. Така постановка питання була вигідна за часі існування планової системи господарювання, коли чи не основою задачею судноплавних компаній було виконання державного плану перевезень. Наразі у сьогоденних умовах основна задача судновласника полягає у забезпеченні ефективності роботи суден. Тому, на нашу думку, єдиним критерієм «вигідності» будь-яких умов чартер-партії (у тому рахунку і умов про сталійний час) для судновласника є ефективність виконання рейса, яку можна виміряти грошима – прибутком. А з цього випливає, що судновласник може погодитися навіть на «найневигідніші», як їх класифікують автори у згаданих роботах, формулювання, за умови, якщо йому буде запропоновано таку фрахтову ставку, яка забезпечить ефективне виконання рейсу. Однією

із складових визначення прибутку є рейсові витрати, величина яких залежить власне від часу рейса, у тому рахунку – і від стояночної складової.

Велику увагу способам оцінки тривалості стояночного часу судна у рейсі приділено у [7] зокрема з урахуванням умов чартер-партій: «Знание условий чартеров ..., относящихся к сталийному времени, их правильно понимание и толкование позволяют ... предотвратить неоправданные расходы...». Автор перераховує фактори, що вони впливають на тривалість стояночного часу і зокрема підкреслює необхідність їх чіткого урахування. Наразі у роботі також наголошується теза щодо зменшення стояночного часу як способу підвищити ефективність рейсів, що на нашу думку, за викладеними вище причинами, є доволі суперечним твердженням.

У [5] зазначається, що стояночний час рейса залежить цілком від фрахтувальника, оскільки саме він опікується та несе відповідальність за виконання вантажних робіт. Жодним чином не спростовуючи це твердження, на нашу думку, судовласник має певні можливості впливати на ті домовленості, які зафіксовано чартер-партії щодо термінів на умов виконання вантажних робіт (за дотримання яких дійсно відповідальним є фрахтувальник), оскільки усі вони є результатом домовленостей.

Публікації іноземних авторів, присвячені сталійному часу, також носять характер викладання – чартерні умови, які використовуються у договорах рейсового фрахтування, наводяться у вигляді переліку із більш або менш детальними коментарями до них [11-16]. За зрозумілих причин у них відсутня притаманне раніше згаданим публікаціям вітчизняних авторів віддзеркалення засад планової економіки на визначення та оцінці ефективності виконання рейсів. Наразі, так само, у них і немає чітко визначених критеріїв оцінки впливу умов чартер-партії на тривалість знаходження судна у портах; у названих роботах автори також обмежуються лише тлумаченнями загального характеру. Широко відомі присвячені чартерним умовам та зокрема – сталійному часу – роботи [17, 18], втім вони носять суто юридичний характер; у них згадано та прокоментовано поширені або незвичайні юридичні справи.

Окремі роботи, у яких подано результати досліджень сталійного часу, розглядають його, залежно від факторів, які дійсно визначають його тривалість як частину часу стоянки судна у портах. Зокрема, у [19] стояночний час судна досліджується як випадкова функція, аргументом якої є кількість вантажу. У [20] інструменти теорії масового обслуговування використовуються для оцінки тривалості знаходження судна у порту, враховуючи можливі паламки перевантажувального обладнання. Тим не менш, дані результати оцінюють вплив на стояночний час судна специфічних факторів та розглядають окремі ситуації, які можуть виникнути під час знаходження судна у порту. Наразі жодна з робіт не аналізує вплив чартерних умов та їх формулювань на тривалість стояночного часу рейса судна.

Мета статті. Виходячи з викладеного, метою цього дослідження є структуризація стояночного часу та формування його по складових, тривалість яких залежить від формулювань чартерних умов щодо сталійного часу на знаходження судна у портах.

Виклад основного матеріалу. Важливою складовою загального часу рейса є стояночний час. При цьому його тривалість, сформована у великому ступені, чартерними умовами, знаходиться під більшим контролем судовласника на відміну від ходової складової часу рейса – вона залежить від відстані між портами, які однозначно називаються фрахтувальником та судовласник не може торгуватися щодо їх зміни, та швидкості руху судна, варіювати якою судовласник має певні можливості.

Більшість умов, за допомогою яких судовласник може оцінити ймовірну тривалість знаходження судна у портах, міститься у пропозиції (оферті) фрахтувальника. Наразі, вони є предметом торгу та обговорення. А отже для судовласника насамперед постає задача оцінити наскільки запропоновані умови щодо сталійного часу відповідають «ідеї» ставки. Зрозуміло, що для судовласника прийнятою буде ставка фрахта та такому рівні, яка, сформувавши загальну величину фрахта, дозволить йому щонайменше відшкодувати свої витрати, пов'язані із виконанням рейсу. Відповідно, отримавши від фрахтувальника

пропозицію з «ідеєю» фрахтової ставки, судновласник має співвіднести величину фрахта, який він отримує, із своїми витратами, основою яких є беззаперечно час рейса. Як складова загального часу рейса, стояночний час впливає на загальні рейсові витрати судновласника. У свою чергу, загальні рейсові витрати, якщо віднести їх на кількість вантажу, можуть слугувати підставою для порівняння отриманої величини (яка фактично є собівартістю перевезення 1 т вантажу) із запропонованою «ідеєю» ставки.

У найбільш загальному вигляді тривалість стояночного часу рейса можна подати як:

$$t_{cm} = t_{3PP} + t_{\text{дод}}, \quad (1)$$

де t_{cm} – стояночний час рейса, діб; t_{3PP} – тривалість виконання вантажних робіт, діб;

$t_{\text{дод}}$ – додаткові витрати часу під час знаходження судна у порту, діб.

При цьому обидві складові наведеного виразу залежать як від формулювань чартерних умов, так і від особливостей виконання рейса, перелік яких подано на рис. 1.

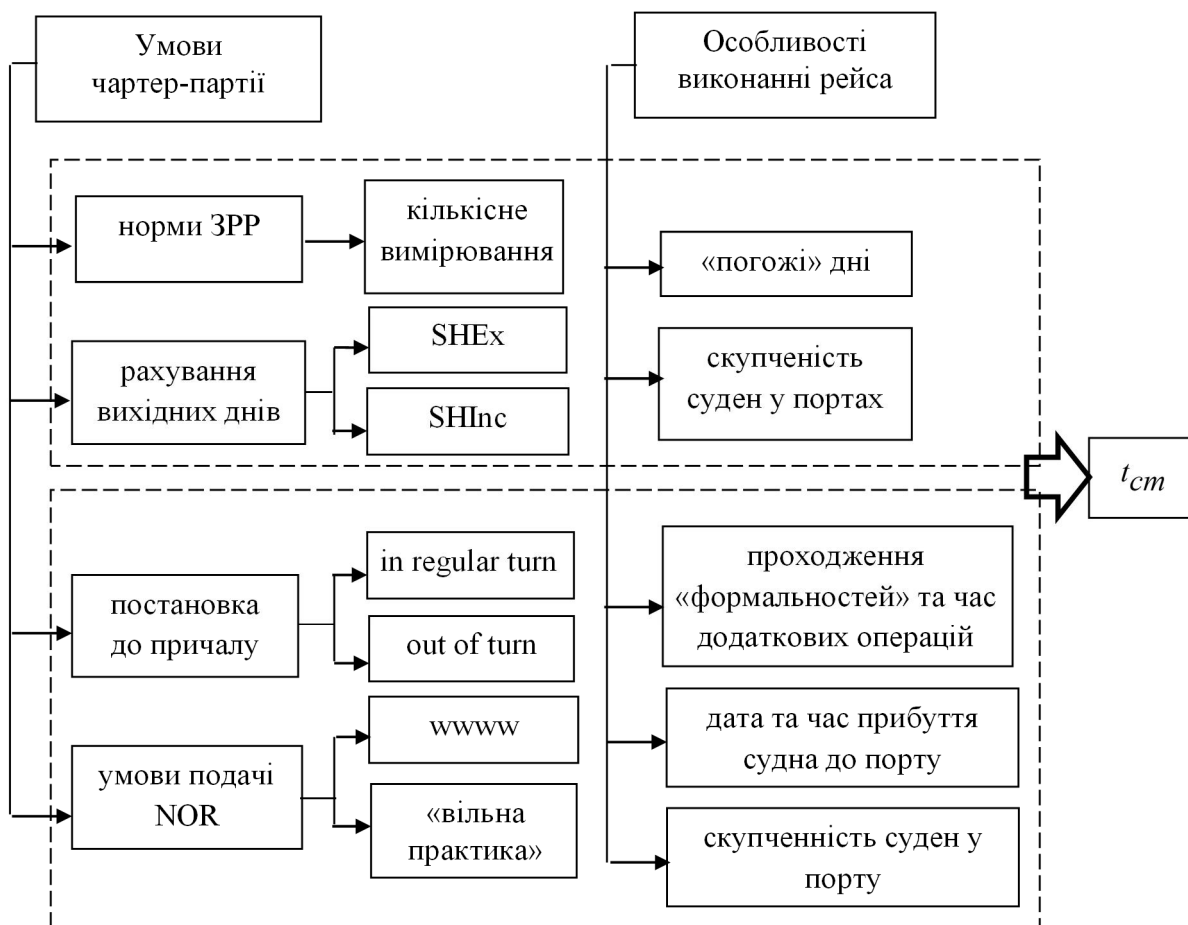
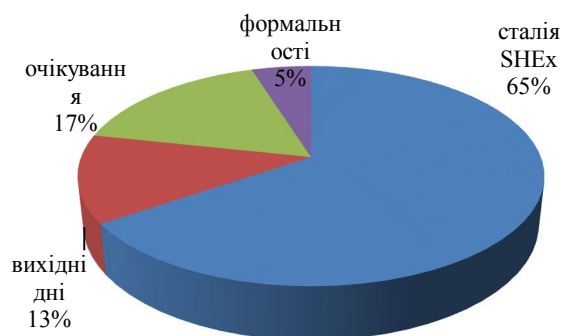


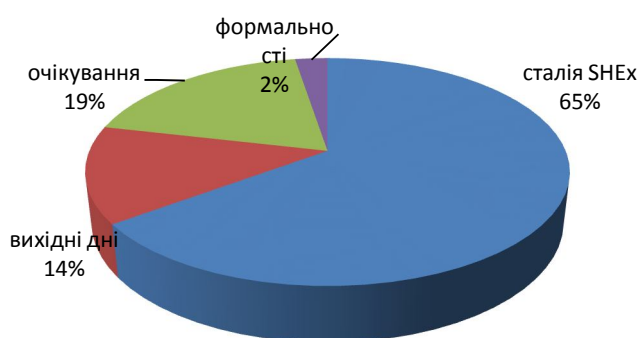
Рисунок 1 – Фактори, які впливають на формування стояночного часу судна

Як відомо, стояночний час рейса складається із сталісного часу – тривалості безпосереднього виконання вантажних робіт, а також так званих додаткових витрат часу – очікування постановки до причалу, проходження формальностей тощо. За підрахунками авторів, такі додаткові витрати часу становлять до 20 % загального стояночного часу. Зокрема, розрахунки виконувались по малотоннажних суднах, міні-балкерах та балкерах handysize як найбільш поширених суднах у Чорноморсько-Середземноморському регіоні. Авторами було проаналізовано статистичні дані про стояночний час знаходження суден у портах та визначено частки сталісного та «додаткового» часів у загальному стояночному часі. Результати обробки подано на рис. 2 а) для малотоннажних суден дедвейтом до 5000 т, в) міні-балкери, в) балкери handysize).

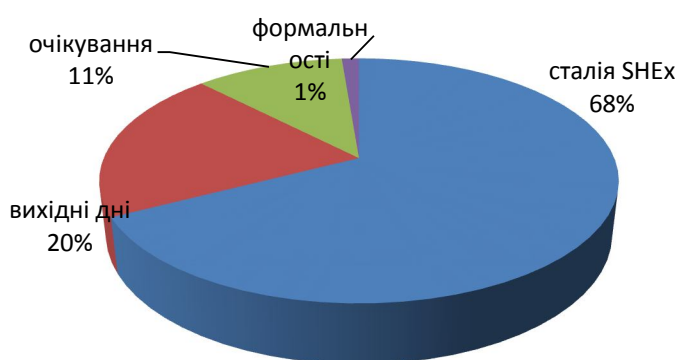
Як можна переконатися за усіма суднами сталійний час становить приблизно $\frac{2}{3}$ загального стояночного часу; відповідно третина перепадає на «додатковий» час. При цьому доволі вагомою є частка часу, доки судно очікує дати лейдейз, прибувши до порту завантаження раніше зазначеної у чартер-партії дати. По портах розвантаження такої ситуації, зрозуміло, немає. Тому час очікування у портах завантаження включає лише фактичний час в очікуванні постановки судна до причалу.



а) малотоннажні судна



б) міні-балкери



в) балкери-handysize

Рисунок 2 – Структура стояночного часу для балкерів

Першовихідним для оцінки тривалості стояночного часу рейса є, як вже зазначалось, чартерні умови про сталійний час. Здебільшого у чартер-партію вносяться норми відповідних вантажних робіт. Саме з використанням норм вантажних робіт судовласник може скалькулювати кількість днів, які надаються фрахтувальнику для виконання

завантаження та розвантаження (або обох цих операцій – за умови погодження так званого реверсивного сталійного часу):

$$t_{3PP} = \frac{Q}{M_{вр}}, \quad (2)$$

де t_{3PP} – кількість днів сталійного часу, діб; Q – кількість вантажу, який завантажуються/розвантажуються на/з судна, т; $M_{вр}$ – норми вантажних робіт (завантаження/розвантаження), т/судно-добу.

Слід зазначити, що договора перевезення можуть укладатися відразу ж із зазначенням цієї кількості днів, а не через норми вантажних робіт. Цифрові визначення кількості днів, які відводяться для виконання вантажних робіт, або вказівка норм вантажних робіт є для судновласника більш прийнятними, оскільки надають йому конкретну інформацію на відміну від чартерних формулювань на кшталт «із звичайною швидкістю», «за звичаями портів» тощо. Зрозуміло, за таких визначень розрахунок кількості днів на завантаження та/або розвантаження викликає певні складнощі у судновласника. Тим не менш так чи інакше, судновласник має можливість (щонайменше – приблизно) оцінити цю величину. У дослідженні розглядатимемо більш поширені варіанти, які практикуються при укладанні чартерних угод на перевезення вантажів – коли сталійний час у чартері зафіксовано або кількістю днів або через норми вантажних робіт. Слід зазначити, що умови чартерів зобов'язують проводити виконання завантаження та розвантаження лише у «погожі» дні – лише за умови, якщо погодні умови не перешкоджають виконанню вантажних робіт. Застереження про це завжди супроводжує кількісні домовленості про сталійний час: або певна кількість «погожих» днів, які надаються фрахтувальнику для вантажної обробки судна або, за вказівки норми вантажних робіт, використовують застереження «за погожий робочий день». При цьому за будь-яких варіантів кількісної вказівки сталійного часу «робочим» днем за замовченням вважається 24 години.

Наступним етапом є урахування у визначеній так чи інакше кількості днів порядку підрахунку сталійного часу – домовленостей щодо необхідності проведення вантажних робіт під час вихідних та святкових днів. Як відомо, існують два принципові варіанти погодження цих умов. Чартерне формулювання SHInc (Sundays and Holidays Included) включає вихідні та святкові дні до підрахунку сталійного часу. Відповідно, це зобов'язує фрахтувальника забезпечити виконання вантажних робіт у такі дні. Протилежна домовленість SHEx (Sundays and Holidays Excluded) навпаки, не включає вихідні та святкові дні до підрахунку сталійного часу, що надає фрахтувальнику право не виконувати вантажні роботи у оговорені дні. Відповідно до викладеного, кількість вихідних днів або включається до загальної величини стояночного часу (тобто тривалість знаходження судна у порту збільшується на можливу кількість вихідних та святкових днів, які перепадуть на період виконання вантажних робіт, і відповідно у розрахунку слід буде додати t_{SH}) або покладається рівною 0.

На цьому етапі оцінки тривалості знаходження судна у порту є визначення того дня, якого судно прибуде до порту для виконання вантажних робіт. Це є вкрай важливим, оскільки саме від цього дня залежатиме тривалість періоду, що виключається (вихідні та святкові дні), якщо це відповідну умову зазначено у чартер-партії (SHEx).

Визначити день та час прибуття судна до порту судновласник судна, яке працює у трамповому режимі, може лише орієнтовно, оскільки він залежить від віддаленості судна відносно порту, де виконуватимуться вантажні роботи. Слід також мати на увазі, що під час переходу можуть виникнути обставини, які затримують судно, що безумовно внесе певні корективи у розрахунки судновласника.

Для визначення дня прибуття судна (робочий чи вихідний згідно до умов чартер-партії) можна скористатися методом експертних оцінок.

Виконання чи невиконання вантажних робіт у вихідні та святкові дні зрозуміло у великому ступені впливає на загальну тривалість знаходження судна у порту. Наразі врахувати таке «збільшення» можливим є лише за умови, коли судновласник розуміє, якого дня розпочнуться вантажні роботи. А це є у свою чергу залежить не лише від чартерних домовленостей. Насамперед, це визначається днем та часом прибуття судна, на які слід «накласти» умови чартер-партії щодо подачі Нотіса про готовність судна (далі – Нотіса) до вантажних робіт та домовленостей щодо постановки судна до причалу. Якого б дня судно не прибуло до порту (вихідного або робочого, згідно до умов чартер-партії) час очікування початку «робочого» періоду часу згідно до чартерних домовленостей має бути врахований у тривалості стояночного часу. Він може бути меншим або більшим, залежно від того, чи прибуває судно у робочий чи вихідний день:

$$t'_{0ч}, t'_{0ч} \rightarrow 0; \quad (3)$$

$$t''_{0ч}, t''_{0ч} > t'_{0ч}, \quad (4)$$

де $t'_{0ч}$ і $t''_{0ч}$ – час очікування початку «робочого» часу відповідно до чартерних домовленостей, діб.

Початок відрахування сталійного часу в умовах чартер-партій пов'язується із поданням капітаном Нотіса про готовність судна до вантажних робіт (Нотіса). Класичне визначення «готовності» судна до вантажних робіт вимагає не лише факта фізичного знаходження судна у порту. Судно має повністю пройти усі портові формальності, які пов'язані із прибуттям, та дійсно бути готовим прийняти або здати вантаж, включаючи підготовленість вантажних приміщень та відкриття люків.

Постановка судна до причалу та проходження формальностей взагалі-то майже цілком залежить від оперативності дій фрахтувальника. У практичній діяльності відомі випадки, коли фрахтувальники, керуючись власними обставинами та ситуацією (зокрема – із наявністю, а точніше – відсутністю підготовленого вантажу у порту) навмисно «затримували» судно під формальностями для того, щоб унеможливити подачу Нотіса про готовність капітаном.

Щодо умов подачі Нотісу, то згідно до домовленостей сторін, його може бути подано або на умовах *www* без отримання судном «вільної практики» (що вважається більш прийнятним для судновласника варіантом, оскільки дозволяє подавати Нотіс фактично з рейда, не вимушує судно очікувати проходження формальностей та до того ж позбавляє фрахтувальника можливостей навмисно затримувати подачу Нотіса) або ж після отримання судном «вільної практики», тобто після фактично після проходження судном усіх митних, прикордонних та інших формальностей, пов'язаних із прибуттям судна, а тому вважається менш вигідним формулюванням для судновласника. Зазначимо, що ці умови є предметом торгування між сторонами, а отже судновласник має можливість наполягати на вигідних для себе умовах. Залежно від таких домовленостей, до загальної тривалості стояночного часу має бути включено тривалість проходження формальностей t_{ϕ} та так званий «пільговий» період часу t_{NOR} .

У чартер-партії може бути обумовлено постановку судна до причалу «in regular turn» або «out of turn». За першого формулювання час очікування постановки судна до причалу не включається до сталійного часу та його відрахунок почнеться лише з моменту постановки судна до причалу; за іншого – сталія почнеться відраховуватися після подачі Нотісу згідно до умов чартер-партії. Вочевидь, перший варіант є вкрай невигідним для судновласника, оскільки ставить його у цілковиту залежність від фрахтувальника (наразі, він рідко практикується – частіш домовляються про те, що за рахунок судновласника буде віднесено певну кількість годин очікування причала). Так чи інакше, ці варіанти також є предметом обговорення під час проведення перемовин та обрання того чи іншого варіанту щодо «черги» також у певному розумінні знаходиться під контролем судновласника. Якщо

ж сторони погодили перший варіант домовленостей щодо постановки судна до причалу, то до загальної тривалості стояночного часу має бути включено час очікування черги:

$$t_{PPR} + t_{SH} + t''_{оч} + t_{\phi} + t_{NOR} + t_{черг}, \quad (5)$$

де $t_{черг}$ - час очікування черги, діб.

За другого варіанта маємо покласти:

$$t_{черг} = 0. \quad (6)$$

Щодо черговості постановки судна до причалу, то тут судновласник має також враховувати поточну ситуацію, яка складатиметься у порту на момент прибуття судна. Велике скупчення суден у певних портах у певні сезони може призвести до доволі тривалого очікування постановки судна до причалу – відомі факти простоїв судна у портах Китаю від двох до трьох тижнів залежно від обстановки у конкретному порту [21, 22]. Оглядові публікації, присвячені морському транспорту, також констатують «чергові» простої суден у портах під вантажними роботами [23, 24].

Ще один фактор, який вкрай складно урахувати під час попередніх розрахунків, це періоди часу, які виключатимуться за причини поганої погоди або такої погоди, яке не дозволяє виконання вантажних робіт. Тут за основу судновласник може покласти лише гідрометеорологічні прогнози, особливо – коли відомою є повторюваність опадів та штормових вітрів – два погодні явища, які у найбільшому ступені впливають на можливість виконання вантажних робіт [10].

Висновки. Подана у дослідженні деталізована структура тривалості стояночного часу рейса, з урахуванням чартерних умов та варіантів їх формулювань, є підставою для оцінки їх впливу на ефективність рейса, який виконується. Саме чартерні формулювання тих чи інших умов про сталійний час, разом із особливостями виконання рейсів впливатимуть на тривалість окремих складових стояночного часу рейса, і відповідно – на тривалість рейса. Враховуючи, що саме час виконання рейса є «витратноформуючим» для судновласника, визначення найбільш прийнятних варіантів формулювання умов щодо знаходження судна у портах під вантажними роботами може бути використано ним під час проведення переговорів у конкретній угоді та враховуватися у торгуванні величини фрахтової ставки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бурмистров М. М. Организация фраховых и внешнеторговых транспортных операций: учебник для морских вузов. / Бурмистров М. М. – М. : Транспорт, 1982. – 288 с.
2. Панибратец Н. П. Организация коммерческой деятельности на морском транспорте: учебное пособие / Н. П. Панибратец, В. И. Сухоцкий. – М. : Транспорт, 1981. – 248 с.
3. Гуревич И. Н. Коммерческая эксплуатация морского судна / И. Н. Гуревич, Э. Л. Лимонов – М. : Транспорт, 1983. – 258 с.
4. Рылов С. И. Фрахтование судов: учебное пособие / С. И. Рылов, Я. А. Горшков, Ю. А. Коскина – Одесса : Изд-во Одесского национального морского университета, 2010. – 269 с.
5. Бабкин Е. В. Международные фраховые и транспортные операции / Е. В. Бабкин, А. Л. Мартынов. – СПб. : СПГУВК, 2002. – 204 с.
6. Забелин В. Г. Фрахтовые операции во внешней торговле / Забелин В. Г. – М. : Росконсульт, 2000. – 256 с.
7. Ярмолевич Р. П., Джежер Е. В. Практика фрагования судов / Р. П. Ярмолевич, Е. В. Джежер – О. : Фенікс, 2006. – 328 с.

8. Николаева Л. Л. Коммерческая эксплуатация судна / Николаева Л. Л. – О. : Фенікс, 2004. – 754 с.
9. Раховецкий А. Н. Эффективность рейса морского судна. / Раховецкий А. Н. – М. : Транспорт, 1989. – 141 с.
10. Раховецкий А. Н. Оперативная фрахтовая деятельность на морском транспорте / Раховецкий А. Н. – М. : Транспорт, 1986. – 160 с.
11. Gorton, L., Hileniua, P., Ihre, R. & Sandervan A. (2009). *Shipbrokering and Chartering Practice*. Infroma Law.
12. Collins, N. (2009). *The Essential Guide to Chartering and Dry Freight Market*. Clarkson Research Studies.
13. Isbester, C. J. (2010). Bulk carrier practice: a practical guide. Nautical Institute.
14. Cooke, J., Young QC, T., Kimball, J., LeRoy, L., Taylor, A. & Martowski, D. (2007). Voyage Charters. Informa.
15. Tsoudis, G. N. (2015). The Shipbroker's Working Knowledge: Dry Cargo Chartering in Practice. AKAKIA Publications.
16. Cooley, H. B. (1974). Chartering & Charter Parties. Cornell Maritime Press.
17. Summerskill, M. B. (1988). Laytime. Stevens & Son.
18. Davies, D. (2014). Commencement of Laytime. Informa Law from Routledge.
19. Семенов К. М. Стохастическое исследование продолжительности стоянки судов в порту / К. М. Семенов // Весник Астраханского государственного технологического университета. – 2014. – № 1. – С. 100–108.
20. Постан М. Я. Разработка метода оценки риска дополнительного простоя судна под грузовыми операциями из-за риска ограниченной возможности перегрузочных машин / М. Я. Постан, Т. Е. Корниец, Л. В. Москалюк // Технологический аудит и резервы производства. – 2014. – № 5/2(19). – С. 69–74.
21. Войниченко В. В. Вопреки прогнозам [Электронный ресурс] : <http://portsukraine.com/node/2310/>.
22. Войниченко В. В. Волны мирового фрахтового рынка [Электронный ресурс] : <http://portsukraine.com/node/1079/>.
23. Some Observations on Port Congestion, Vessel Size and Vessel Sharing Agreements [Электронный ресурс] : http://www.worldshipping.org/industry-issues/transportation-infrastructure/Observations_on_Port_Congestion_Vessel_Size_and_VSA_May_28_2015.pdf.
24. Ship congestion hits China's ports [Электронный ресурс] : <http://shipsandports.com.ng/ship-congestion-hits-chinas-ports/>.

REFERENCES

1. Burmystrov, M.M. (1982). *Orhanizatsiia frakhtovykh i vneshnetorhovykh transportnykh operatsii: uchenbnyk dlia morskikh vuziv*. Izd. 2, pererab. i dop. Moskva : Transport.
2. Panibratets, M.P. (1981). *Orhanizatsiia komertcheskoi deyatel'nosti na morskoy transporte: uchebnoye posobie*. Moskva : Transport.
3. Hurevych, I.M. & Lymonov, E.L. (1983). *Komertcheskaya ekspluatatsiia morskogo sudna*. Moskva : Transport.
4. Rylov, S.Y., Horshkov, Ya.A. & Koskina, Yu.A. (2010). *Frakhtovaniye sudov: uchebnoye posobie*. Odessa : Yzd-vo Odesskogo natsional'nogo morskogo unyversyteta.
5. Babkin, E.V. & Martynov, A.L. (2002). *Mezhdunarodniye frakhtovye i transportnye operatsii*. Sankt-Peterburg : SPGUVK.
6. Zabelin, V.G. (2000). *Frakhtovyye operatsii vo vneshnei torgovle*. Moskva : Roskonsult.
7. Yarmolovitch, R.P. & Dzheder, E.V. (2006). *Praktika frakhtovaniya sudov*. Odessa : Feniks.
8. Nikolaeva, L.L. *Komertcheskaya ekspluatatsiia morskogo sudna*. Odessa : Feniks.
9. Rakhovetskiy, A.N. (1989). *Effektivnost reisa morskogo sudna*. Moskva : Transport.

10. Rakhovetskiy, A.N. (1986). *Operativnaya frakhtovaya deyatel'nost na morskoy transporte*. Moskva : Transport.
11. Gorton, L., Hileniua, P., Ihre, R. & Sandervan A. (2009). *Shipbrokering and Chartering Practice*. Infroma Law.
12. Collins, N. (2009). *The Essential Guide to Chartering and Dry Freight Market*. Clarkson Research Studies.
13. Isbester, C. J. (2010). *Bulk carrier practice: a practical guide*. Nautical Institute.
14. Cooke, J., Young QC, T., Kimball, J., LeRoy, L., Taylor, A. & Martowski, D. (2007). *Voyage Charters*. Informa.
15. Tsoudis, G. N. (2015). *The Shipbroker's Working Knowledge: Dry Cargo Chartering in Practice*. AKAKIA Publications.
16. Cooley, H.B. (1974). *Chartering & Charter Parties*. Cornell Maritime Press.
17. Summerskill, M. B. (1988). *Laytime*. Stevens & Son.
18. Davies, D. (2014). *Commencement of Laytime*. Informa Law from Routledge.
19. Semyonov, K.M. (2014). Stokhasticheskoe issledovanie prodolzhitel'nosty stoyanki sudna v portu. *Vesnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta, 1*, 100-108.
20. Postan, M.Ya., Korniets, T.E, Moskaluyak, L.V. (2014). Razraborka metoda otsenki dopolnitelnogo prostoya sudna pod gruzovymi operatsiyami iz-za riska ogranichennoi vozmozhnosti peregruzochnih mashin. *Tekhnologicheskij audit i rezervy proizvodstva, 5/2(19)*, 69-74.
21. Vopreki prognozam. *portsukraine.com*. Retrieved from <http://portsukraine.com/node/2310/>.
22. Volny mirovogo frakhtovogo rynku. *portsukraine.com*. Retrieved from <http://portsukraine.com/node/1079/>.
23. Some Observations on Port Congestion, Vessel Size and Vessel Sharing Agreements. *worldshipping.org*. Retrieved from: http://www.worldshipping.org/industry-issues/transportation-infrastructure/Observations_on_Port_Congestion_Vessel_Size_and_VSA_May_28_2015.pdf.
24. Ship congestion hits China's ports. *shipsandports.com.ng*. Retrieved from: <http://shipsandports.com.ng/ship-congestion-hits-chinas-ports/>.

Онищенко С. П., Коскина Ю. А. ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТОЯНОЧНОГО ВРЕМЕНИ РЕЙСА СУДНА С УЧЕТОМ ЧАРТЕРНЫХ УСЛОВИЙ

В статье рассмотрены принципы формирования стояночного времени рейса, исходя из условий договора рейсового фрахтования и особенностей выполнения рейса. При этом продолжительность стояночного времени рейса рассматривается как суммарные временные затраты на грузовые работы (сталийное время) и дополнительные затраты времени, которые являются следствием формулировок чартерных условий и обстоятельств, возникающих при выполнении рейса, уже после заключения чартера. Последние находятся вне контроля судовладельца, в то время как каждое чартерное условие, связанное с нахождением судна в порту, предполагает несколько возможных формулировок и является предметом торга между судовладельцем и грузовладельцем. Соответственно, судовладелец может с одной стороны торговаться о наиболее приемлемых для себя формулировках, исходя из конкретной ситуации, а с другой – использовать их как основу калькуляции временных (и в дальнейшем – денежных) затрат. По результатам рейсов выполнен анализ структуры стояночного времени, и проиллюстрирована доля дополнительных затрат времени в общем стояночном времени (по типам судов, наиболее популярным в Черноморско-Средиземноморском регионе). Приведены возможные формулировки чартерных условий, которые формируют дополнительные затраты стояночного времени, и формализован порядок определения составляющих общего стояночного времени рейса.

Ключевые слова: стояночное время рейса, условия чартера.

Onyshchenko S. P., Koskina Yu. A. BASICS OF FORMING THE VESSEL'S TIME IN PORT CONSIDERING THE CHARTER PARTY'S TERMS

The article deals with the principles of the formation of the voyage time in port, based on the terms of the charter-party and the features of the voyage. The duration of the time in port is considered as time for loading operations (laytime) and additional time a consequence of the wording of the charter-party terms and circumstances arising during the voyage, after the fact that charter-party is already concluded. The last ones are out the control of shipowner while each charter-party term regarding the time in port has some possible wordings and they are the subject to discuss for shipowner and charterer. Hence the shipowner may form one hand chaffer for the most acceptable for him wordings on the assumption of current situation and from other hand – to use them in calculations of time duration (and voyage costs as a next step). The structure of time in port was analyzed and the percentage of the additional time is showed. The calculations were made for the most popular in Black Sea – Mediterranean region vessels. The possible wordings of the charter-party terms regarding the additional time listed and their calculation procedure is formulated.

Keywords: time in port, terms of charter party.

© Онищенко С. П., Коскіна Ю. О.

Статтю прийнято
до редакції 29.11.17

ЛОКАЛЬНО-НЕЗАВИСИМОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ РАСХОЖДЕНИЯ СУДОВ

Пятаков Э. Н., к.т.н., доцент кафедры судовождения Национального университета «Одесская морская академия», e-mail: burmaka-mob@ukr.net;

Омельченко Т. Ю., старший преподаватель кафедры морских перевозок Национального университета «Одесская морская академия», e-mail: burmaka-mob@ukr.net;

Волков Е. Л., аспирант Национального университета «Одесская морская академия», e-mail: burmaka-mob@ukr.net

Рассмотрен принцип локально-независимого управления процессом расхождения. Показано, что для безопасного расхождения судов необходима координация их маневров расхождения с помощью обобщенного бинарного координатора.

Для ситуаций сближения судна с целью предложена процедура оценки опасности сближения с помощью области недопустимых параметров движения судна. Если скорость судна больше скорости цели, то при опасном сближении с помощью упомянутой области можно выбрать маневр расхождения изменением курса судна. Показана реализация предлагаемой процедуры с помощью компьютерной программы. Приведен численный пример оценки опасности сближения судна с целью и выбора безопасного маневра расхождения изменением курса судна.

Получены аналитические выражения, с помощью которых возможен расчет моментов времени поворота судна для реализации маневра расхождения изменением курса судна, зависящие от показателей формы относительной траектории.

Ключевые слова: безопасность судовождения, процесс расхождения судов, локально-независимое управление, система бинарной координации, область недопустимых параметров, оценки опасности сближения, расхождение изменением курса, аналитические выражения расчета параметров стратегии расхождения.

Постановка проблемы. При опасном сближении судов, когда дистанция кратчайшего сближения меньше предельно-допустимой дистанции, возникает необходимость выполнения маневра расхождения. Основным принципом управления процессом расхождения судов является локально-независимое управление, суть которого заключается в контроле каждым из судов текущей ситуации сближения и при возникновении ситуационного возмущения его компенсация производится маневрами обоих судов, причем выбор маневра расхождения производится каждым из них независимо. Для обеспечения безопасности процесса расхождения необходима согласованность маневров расхождения судов, т. е. их координация, позволяющая увеличивать дистанцию кратчайшего сближения. Высокий риск столкновения сближающихся судов в значительной мере обусловлен несовершенной процедурой выявления ситуации опасного сближения и отсутствием простого и оперативного способа принятия решения по выбору безопасного маневра расхождения в зависимости от степени угрозы столкновения. Так как маневр расхождения изменением курса судна является предпочтительным при наличии достаточного водного пространства, то следует сформировать способ выбора маневра уклонения судна для безопасного расхождения. В процессе расхождения изменением курса приращение истинного курса вызывает приращение относительного курса, которые могут иметь разные знаки, что ведет к неоднозначности расчетов параметров расхождения. Пути решения этих вопросов рассмотрены в данной статье.

Анализ последних достижений и публикаций. В работе [1] рассмотрены принципы локально-независимого и внешнего управления процессом расхождения опасно сближающихся судов, а также приведен анализ методов их реализации. Подробное исследование методов локально-независимого управления приведено в работе [2], а для расхождения оперирующего судна с несколькими опасными целями предложен метод формирования гибких стратегий расхождения. Вопросы учета навигационных опасностей и инерционности судна при выборе стратегии расхождения судна освещены в работах [3, 4]. Взаимодействие судов в ситуации опасного сближения и выбор стратегии

расхождения для предупреждения их столкновения рассмотрены в работе [5]. Описание процесса расхождения судов в терминах дифференциальной антагонистической игры предложено в работе [6], а в работе [7] предложена экстренная стратегия расхождения в ситуации чрезмерного сближения судов. Выбор оптимального стандартного маневра расхождения пары судов рассмотрен в работе [8].

В работах [9, 10] отмечается, что задача выбора оптимального маневра расхождения очень сложная, так как процесс управления движением судна является многомерным с нелинейными и нестационарными характеристиками, причем задача носит игровой характер. Работы носят теоретический характер, рассматривая возможность описания процесса расхождения судов в терминах дифференциальных игр.

В работе [11] излагается понимание содержания автономной судовой системы уклонения от столкновения СА (Collision avoidance) и её теоретическое обоснование. Совместно с алгоритмом по уклонению от столкновения рассмотрены дополнительно познавательные возможности человека и Правила уклонения от столкновения COLREG. С учетом факторов, влияющих на процесс уклонения от столкновения, рассматриваются требования к автономной навигации. Эти факторы способен оценить человек и осуществить управление судном на удовлетворительном уровне, однако принятые решения являются субъективными и могут быть ошибочными, в результате чего может возникнуть столкновение. В работе указывается, что исследования по автоматизации управления судном могут быть представлены в классической или компьютерной категориях. Классическая техника основана на математических моделях и алгоритмах. Программы основаны на использовании искусственного интеллекта AI (Artificial Itelligence). Областью AI для систем автономного уклонения от столкновения, рассматриваемых в статье, являются эволюционные алгоритмы, логика фuzzi, экспертные методы, нейросеть NN (Neural networks) и комбинация этих методов – гибридные системы (hybrid system). При теоретическом направлении работа не содержит рекомендаций практическому судовождению.

В последнее время появились исследования по проблеме обеспечения безопасного расхождения судов методами внешнего управления с использованием недопустимых областей курсов или скоростей судов [1]. Предлагаемый подход к решению проблемы предупреждения столкновения судов целесообразно использовать и при локально-независимом управлением процессом расхождения. Этому вопросу посвящена настоящая статья.

Цель статьи. Целью настоящей статьи является рассмотрение способов оценки опасности сближения судна с целью и, в случае необходимости, выбор судном маневра расхождения изменением курса при локально-независимом управлении с помощью области недопустимых параметров движения судна.

Изложение основного материала. При локально-независимое управлении появление ситуационного возмущения ω между судами ведет к их взаимодействию B_z , в результате которого программный участок относительного движения с ситуационным возмущением заменяется относительной траекторией без ситуационного возмущения маневром расхождения $M = (m_1, m_2)$ судов.

Взаимодействие судов B_z можно интерпретировать, как оператор или отображение параметров ситуации сближения во множество параметров стратегии расхождения M , причем оно состоим из оператора Crd координации маневров и оператора P_{rm} расчета параметров маневров и осуществляется с помощью координатора $c_0(B_z)$, входом которого является вектор ситуации сближения $\bar{R}$, а выходом - сигналы судам θ_1 и θ_2 , как показано на рис. 1. Сигналы θ_i содержит координирующий сигнал γ_i и сигнал связи μ_i , причем координирующие сигналы γ_i предписывают подмножество курсов уклонения каждого судна, обеспечивающих согласованность маневров расхождения, а сигналы связи μ_i

содержат информацию каждому судну о прогнозируемом поведении другого судна. При этом, $\mu_1 = \gamma_2$ и $\mu_2 = \gamma_1$.

Каждый из координирующих сигналов γ_i содержит три составляющие: о наличии приоритета, предписываемого координатором, и сигналы, регламентирующие взаимодействующим судам возможность уклонения вправо и влево.

Исходя из сигнала θ_i и вектора $\bar{R}$, каждое из взаимодействующих судов c_i производит выбор маневра расхождения m_i из допустимого подмножества курсов уклонения, которое регламентируется координирующим сигналом γ_i .

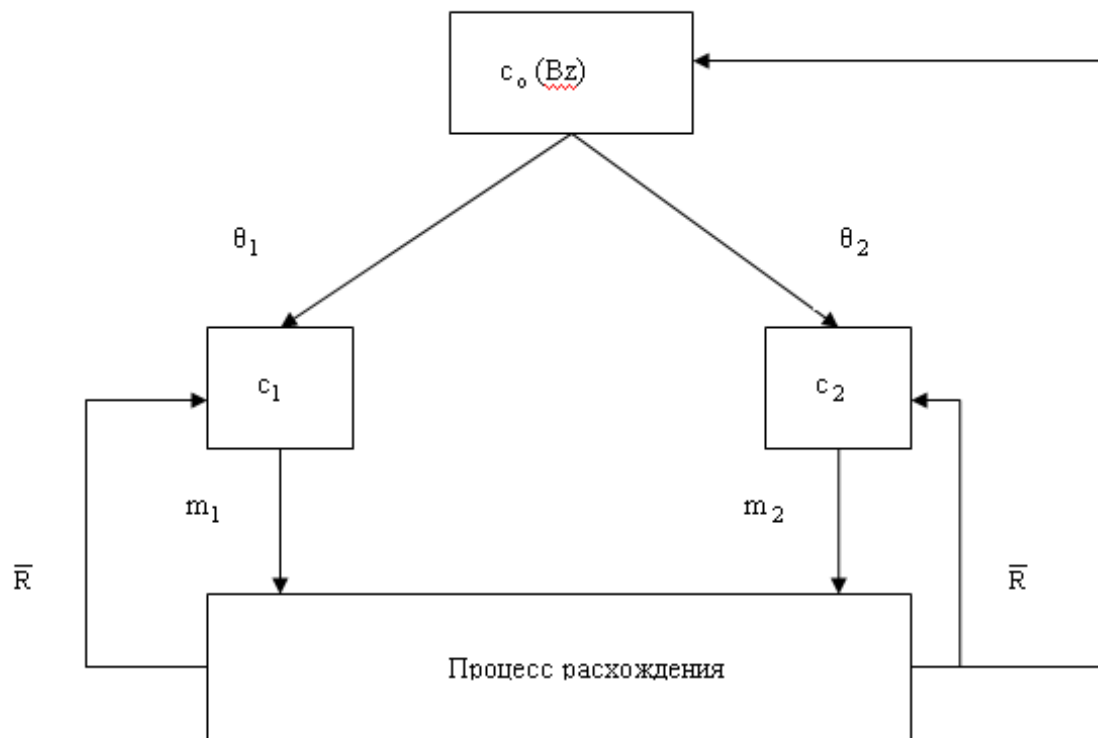


Рисунок 1 – Принцип локально-независимого управления процессом расхождения

По определению сближение является опасным, если при сближении судна с целью дистанция кратчайшего сближения $\min D$ меньше предельно-допустимой дистанции d_d . Так как значение $\min D$ зависит от пеленга на цель α и дистанции D между судном и целью, а также от параметров движения судна (курса K_1 , скорости V_1) и цели K_2 , V_2 [5], то при заданных значениях α , D , K_2 и V_2 существует множество сочетаний параметров движения судна K_1 и V_1 , при которых имеет место неравенство $\min D \leq d_d$. Если сочетания K_1 и V_1 рассматривать, как точки (K_1, V_1) координатной плоскости $K_1 \times V_1$, то область Ω_d , для каждой точки (K_1, V_1) которой выполняется неравенство $\min D \leq d_d$, будем называть областью недопустимых параметров движения судна.

Очевидно, границей области Ω_d является совокупность точек (K_1, V_1) , для каждой из которой достигается равенство $\min D = d_d$. Учитывая, что данное равенство достигается при относительном уклонении судна как вправо так и влево относительно направления пеленга, то имеется две границы, которые ограничивают область недопустимых параметров движения судна Ω_d . В этом случае если точка (K_{1i}, V_{1i}) принадлежит области Ω_d , то сближение судна с целью является опасным, так как $\min D < d_d$. В противном случае при сближении опасность столкновения не возникает. Найдем аналитическое выражение для

границ области Ω_d . Для этого в равенство $\min D = d_d$ следует подставить выражение для $\min D$ [5]:

$$\Delta D \sin(\alpha - K_{ot}) = d_d,$$

где K_{ot} – относительный курс; Δ – относительное уклонение, знак которого обеспечивает положительное значение $\min D$.

Очевидно:

$$K_{ot} = \alpha - \arcsin \frac{d_d}{\Delta D}. \quad (1)$$

Обозначим $\gamma = \alpha - \arcsin \frac{d_d}{\Delta D}$. В зависимости от знака $\Delta(\pm)$ получим:

$$\gamma^{(1,2)} = \alpha \mp \arcsin \frac{d_d}{D}.$$

Из выражения (1) следует:

$$\operatorname{tg} K_{ot} = \operatorname{tg} \gamma^{(1,2)},$$

или в развернутом виде [2]:

$$\operatorname{tg} K_{ot} = \frac{V_1 \sin K_1 - V_2 \sin K_2}{V_1 \cos K_1 - V_2 \cos K_2} = \frac{\sin \gamma^{(1,2)}}{\cos \gamma^{(1,2)}}.$$

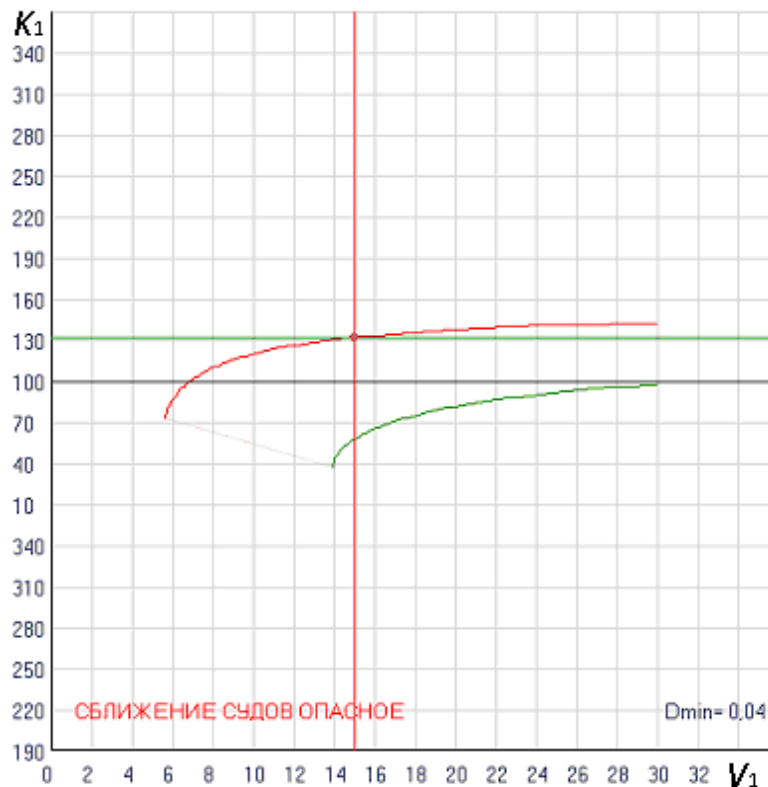
Из полученного выражения несложно получить уравнения границ области Ω_d , связующих курс судна K_1 с его скоростью V_1 , при которых справедливо равенство $\min D = d_d$, причем для сближения судна с целью на встречных курсах:

$$K_{11}^{(1)} = \gamma^{(1)} + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(1)})}{V_1}, \quad (2)$$

$$K_{11}^{(2)} = \gamma^{(2)} + \arcsin \frac{V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(2)})}{V_1}, \quad (3)$$

при этом необходимо учитывать ограничения на значения скорости судна V_1 . Так при расчете границы (2) $V_1 \geq V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(1)})$, а в случае расчета границы (3) $V_1 \geq V_2 \sin(K_2 - \gamma^{(2)})$.

С помощью области недопустимых параметров движения судна Ω_d можно оценить, является ли опасным сближение судна с целью. Для этого достаточно проверить принадлежность точки с параметрами движения судна (K_1, V_1) области Ω_d . Если $(K_1, V_1) \in \Omega_d$, то сближение является опасным, в противном случае судно и цель сближаются безопасно. В случае опасного сближения с помощью области Ω_d можно выбрать маневр расхождения изменением курса судна при неизменной его скорости. Такому маневру соответствует точка (K_{1y}, V_1) , находящаяся на границе области Ω_d . В качестве примера на рис. 2 приведена область недопустимых параметров движения судна Ω_d для ситуации сближения судов на встречных курсах для следующих значений параметров ситуации сближения: $\alpha = 140^\circ$; $D = 4$ мили; $d_d = 1$ мили; $K_1 = 100^\circ$; $V_1 = 15$ узлов; $K_2 = 350^\circ$; $V_2 = 20$ узлов.


 Рисунок 2 – Область недопустимых параметров движения судна Ω_d

Из рис. 2 видно, что сближение судна с целью является опасным так как точка (K_1, V_1) , соответствующая параметрам движения судна, принадлежит области их недопустимых значений Ω_d , причем $\min D = 0,04$ мили. Следовательно, для предупреждения столкновения следует предпринять маневр расхождения, для чего необходимо выбрать курса уклонения K_{1y} , соответствующий точке пересечения вертикальной линии $V_1=15$ узлов с границей области Ω_d . На рис. 2 показан курс уклонения судна $K_{1y} = 132^\circ$ отворотом вправо, обеспечивающим $\min D = 1,00$ мили.

Маневр расхождения изменением курса помимо курса уклонения K_{1y} содержит еще два параметра: момент времени начала уклонения t_y , т. е. поворота судна на курс уклонения и момент времени t_{b*} поворота судна в сторону его программной траектории движения. Для определения времени уклонения t_y приведем рис. 3, из которого следует:

$$t_y = \frac{OM}{V_{otn}},$$

где V_{otn} – начальная относительная скорость.

Искомое значение OM определяется из выражения:

$$OM = \frac{x}{\sin(K_{otn} - \tilde{K}_{oty})},$$

где K_{otn} – начальный относительный курс.

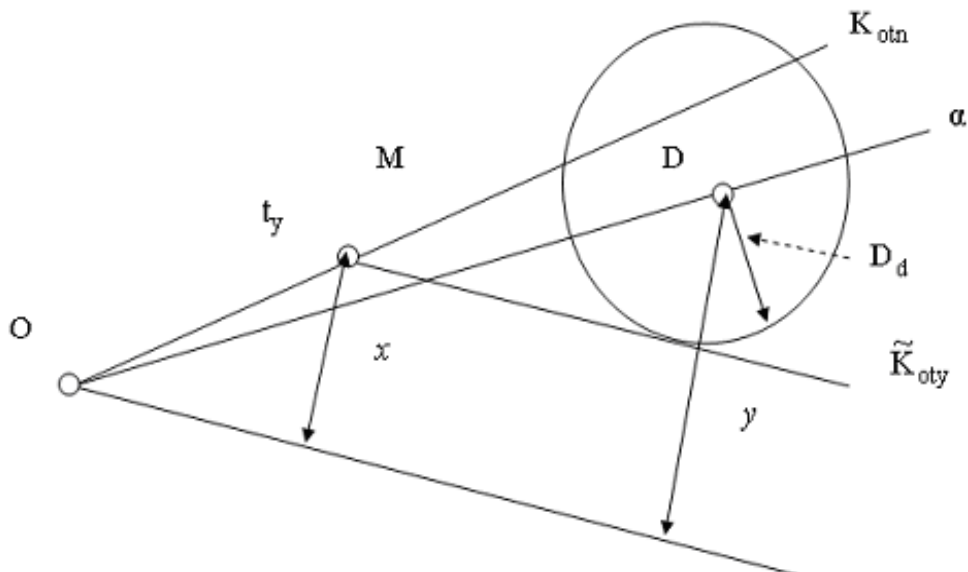


Рисунок 3 – Определение значения t_v

В свою очередь,

$$x = y - D_d \text{ и } y = \Delta_y D \sin(\tilde{K}_{\text{отy}} - \alpha),$$

где $\Delta_y = \text{sign}[\sin(\tilde{K}_{\text{oty}} - K_{\text{otn}})] = \pm 1$.

Поэтому:

$$t_y = \frac{\Delta_y D \sin(\tilde{K}_{oty} - \alpha) - D_d}{\Delta_y V_{otn} \sin(K_{otn} - \tilde{K}_{oty})}. \quad (4)$$

Рассмотрим процедуру расчета момента времени t_{b*} поворота судна в сторону его программной траектории движения. Условием безопасного расхождения на участке выхода является равенство дистанции кратчайшего сближения $D_{\min 2}$ и предельно-допустимой дистанции D_d , т. е. $D_{\min 2} = D_d$, как показано на рис. 4. Из рис. 4 для форм относительной траектории расхождения, характеризующихся разными знаками относительных уклонений Δ_y и $\Delta_b = \text{sign}[\sin(K_{otb} - K_{oty})]$, получено выражение для момента времени t_{b*} поворота к заданной траектории движения [2]:

$$t_{b*} = t_y + \frac{\Delta_b D_d + D_n \sin(\alpha_n - K_{otb}) + V_{otn} t_y \sin(K_{otb} - K_{otn})}{V_{oty} \sin(\tilde{K}_{oty} - K_{otb})}, \quad (5)$$

где $V_{отв}$ – относительная скорость на участке выхода.

Если формы относительных траекторий расхождения характеризуются относительными уклонениями с одинаковыми знаками ($\Delta_y \Delta_b = 1$), то расчет величины t_{b*} производится другим способом. Для получения требуемого аналитического выражения обращаемся к рис. 5.

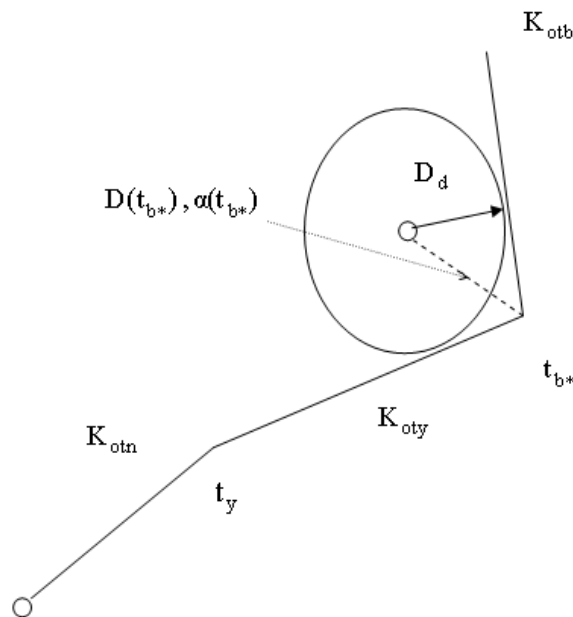


Рисунок 4 – Определение момента времени t_{b*} для относительных уклонений с разными знаками

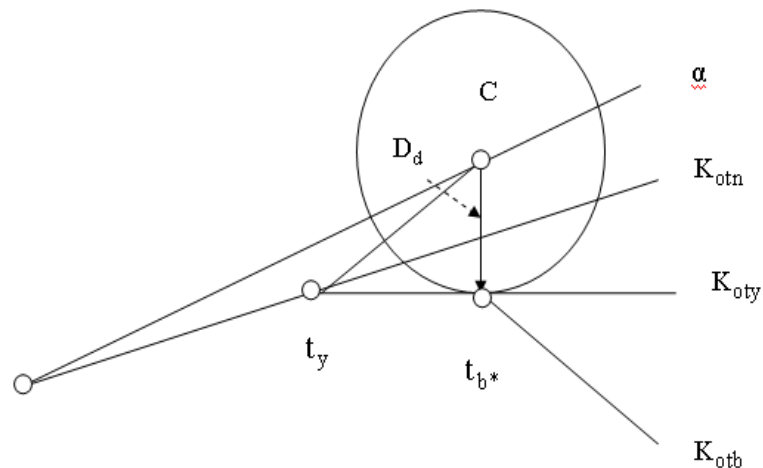


Рисунок 5 – Определение t_{b*} для относительных уклонений с одинаковыми знаками

Из рисунка следует:

$$t_{b*} = t_y + \frac{D_y \cos(K_{oty} - \alpha_y)}{V_{oty}}, \quad (6)$$

где α_y и D_y – соответственно пеленг и дистанция до цели в момент времени t_y .

Таким образом, для расчета параметров стратегии расхождения, как следует из выражений (4)–(6), следует учитывать значения относительных уклонений Δ_y и Δ_b относительной траектории расхождения.

Выводы.

1. Рассмотрен принцип локально-независимого управления процессом расхождения и приведена формализация взаимодействия судов при возникновении ситуационного возмущения.

2. Получены аналитические выражения формализации области недопустимых параметров движения судна, с помощью которой возможна оценка опасности сближения

судна с целью и выбор маневра расхождения изменением курса судна в ситуации, когда скорость судна больше скорости цели.

3. Получены аналитические выражения для расчета моментов времени поворота судна при расхождении, которые зависят от показателей формы относительной траектории.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

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

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

3. Петриченко Е. А. Вывод условия существования множества допустимых маневров расхождения с учетом навигационных опасностей / Е. А. Петриченко // Судовождение. – 2003. – №.6. – С. 103–107.

4. Бурмака И. А. Результаты имитационного моделирования процесса расхождения судов с учетом их динамики / И. А. Бурмака // Судовождение. – 2005. – № 10. – С. 21–25.

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

6. Lisowski J. Game and computational intelligence decision making algorithms for avoiding collision at sea/ Lisowski J. // Proc. of the IEEE Int. Conf. on Technologies for Homeland Security and Safety. – 2005. – Gdańsk. – P. 71–78.

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

8. Сафин И. В. Выбор оптимального маневра расхождения / И. В. Сафин // Автоматизация судовых технических средств. – 2002. – №7. – С. 115–120.

9. Lisowski J. Game control methods in navigator decision support system / Lisowski J. // The Archives of Transport. – 2005. – No 3-4, Vol. XVII. – P. 133–147.

10. Lisowski J. Dynamic games methods in navigator decision support system for safety navigation / Lisowski J. // Advances in Safety and Reliability. – 2005. – Vol. 2. – London-Singapore, Balkema Publishers. – P. 1285-1292.

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

REFERENCES

1. Burmaka I. Management by vessels in the situation of dangerous rapprochement / Burmaka I., Pyatakov E., Bulgakov A.– LAP LAMBERT Academic Publishing, – Saarbryukken (Germany), – 2016. – 585 p.

2. Tsymbal N. Flexible strategies of divergence of vessels / N. Tsymbal, I. Burmaka, E. Tyupikov, Odessa: KP OGT, 2007. – 424 p.

3. Petrichenko E.A. Conclusion of condition of existence of great number of possible manoeuvres of divergence taking into account navigation dangers/ Petrichenko E.A. // Sudovozhdenie. – 2003.– №6.– p. 103–107.

4. Burmaka Y.A. Results of imitation design of process of divergence of vessels taking into account their dynamics / Burmaka Y.A.// Sudovozhdenye: sb. nauchn. trudov. – 2005.– № 10. – P. 21 – 25.

5. Pyatakov E. Cooperation of vessels at divergence for warning of collision / Pyatakov E., Buzhbetskiy R., Burmaka I., Bulgakov A., Kherson: Grin D.S., 2015. – 312 p.

6. Lisowski J. Game and computational intelligence decision making algorithms for avoiding collision at sea/ Lisowski J. // Proc. of the IEEE Int. Conf. on Technologies for Homeland Security and Safety. – 2005. – Gdańsk. – P. 71 – 78.
7. Burmaka I. Urgent strategy of divergence at excessive rapprochement of vessels / Burmaka I., Burmaka A., Buzhbetskiy R. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. – 202 p.
8. Safin I.V. Choice of optimum maneuver of divergence / I.V. Safin // Avtomatizatsiya sudovykh tekhnicheskikh sredstv. – 2002. – №7. – p. 115 –120.
9. Lisowski J. Game control methods in navigator decision support system/ Lisowski J. // The Archives of Transport. – 2005. – No 3–4, Vol. XVII. – P. 133–147.
10. Lisowski J. Dynamic games methods in navigator decision support system for safety navigation/ Lisowski J. // Advances in Safety and Reliability. – 2005. – Vol. 2. – London–Singapore, Balkema Publishers. – P. 1285–1292.
11. Statheros Thomas. Autonomous ship collision avoidance navigation concepts, technologies and techniques / Statheros Thomas, Howells Gareth, McDonald–Maier Klaus. // J. Navig. 2008. 61, № 1, p. 129–142.

Пятаков Е. М., Омельченко Т. Ю., Волков Є. Л. ЛОКАЛЬНО НЕЗАЛЕЖНЕ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ РОЗХОДЖЕННЯ СУДЕН

Розглянуто принцип локально незалежного управління процесом розходження. Показано, що для безпечного розходження суден необхідна координація їх маневрів розходження за допомогою узагальненого бінарного координатора.

Для ситуацій зближення судна з ціллю запропонована процедура оцінки небезпеки зближення за допомогою області неприпустимих параметрів руху судна. Якщо швидкість судна більше швидкості цілі, то при небезпечному зближенні за допомогою згаданої області можна вибрати маневр розходження зміною курсу судна. Показана реалізація запропонованої процедури за допомогою комп'ютерної програми. Приведено чисельний приклад оцінки небезпеки зближення судна з ціллю і вибору безпечного маневру розходження зміною курсу судна.

Одержані аналітичні вирази, за допомогою яких можливий розрахунок моментів часу повороту судна для реалізації маневру розходження зміною курсу судна, залежні від показників форми відносної траєкторії.

Ключові слова: безпека судноводіння, процес розходження суден, локально незалежне управління, система бінарної координації, область неприпустимих параметрів, оцінки небезпеки зближення, розходження зміною курсу, аналітичні вирази розрахунку параметрів стратегії розходження.

Pyatakov E. N., Omelchenko T. Y., Volkov Y. L. LOCALLY-INDEPENDENT PROCESS CONTROL OF DIVERGENCE OF VESSELS

Principle of locally-independent process control of divergence is considered. It is shown that for safe divergence of vessels coordination of their maneuvers of divergence by the generalized binary coordinator is needed.

For the situations of rapprochement of ship with a target procedure of estimation of danger of rapprochement by the region of impermissible parameters of motion of ship is offered. If speed of ship more of speed of target, at dangerous rapprochement by the mentioned region it is possible to choose the maneuver of divergence by the change of course of ship. Realization of the offered procedure by the computer program is shown. The numeral example of estimation of danger of rapprochement of ship is resulted with a target and choice of safe maneuver of divergence by the change of course of ship.

Analytical expressions are got, which the calculation of moments of time of turn of ship for realization of maneuver of divergence by the change of course of ship is possible by, depending on the indexes of form of relative trajectory.

Keywords: safety of navigation, process of divergence of vessels, locally-independent management, system of binary coordination, region of impermissible parameters, estimation of danger of rapprochement, divergence by the change of course, analytical expressions of calculation of parameters of strategy of divergence.

© Пятаков Е. М., Омельченко Т. Ю., Волков Є. Л.

Статтю прийнято
до редакції 04.12.17

СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ СУДНОВОГО ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Сіманенков А. Л., аспірант кафедри експлуатації суднового електрообладнання та засобів автоматики Херсонської державної морської академії, e-mail: symon2007@ukr.net, ORCID: 0000-0003-0797-5276

Аналіз роботи систем охолодження суднового двигуна внутрішнього згоряння (СДВЗ), за допомогою показника Херста, дозволив встановити зв'язок між підсистемами керування температурою та тиском. За матрицями параметрів температури та тиску у системах охолодження та підготовки палива. У подальшій перспективі це дозволяє використати отримані результати у визначенні необхідного завдання управління агрегатним енергетичним комплексом.

Ключові слова: судновий ДВЗ, температурний режим, кореляційний аналіз, показчик Херста, фрактальний аналіз.

Вступ. Одним з основних напрямків підвищення ефективності роботи судна є експлуатація його енергетичної установки (СЕУ) на оптимальних режимах роботи. Мета оптимізації – досягнення екстремального (максимального або мінімального) значення однієї або декількох величин, які називаються критеріями оптимальності.

Під час вибору критеріїв оптимального керування на рівні СЕУ доволі ефективним є застосування принципу послідовної декомпозиції нижнього рівня дворівневої лінійної ієрархічної структури. Сутність методу полягає в тому, що будь-яка складна система може бути виражена у вигляді типових ланок. Кожна ланка у якості вхідного параметру має критерій, а у якості вихідного – мету. При цьому за мету мають – максимальний добуток у економічному, технічному, соціальному або інших аспектах розуміння, а під критерієм розуміють – мінімальне відхилення від мети ланки вищого рівня. Найважливішими параметрами процесу згоряння палива у суднових двигунах внутрішнього згоряння (СДВЗ) є: коефіцієнт надлишку повітря α , коефіцієнт наповнення η_n , середній індикаторний тиск p_i . Ці параметри залежать від температури повітря наддуву, тиску повітря, відносної вологості, температури охолоджуючої рідини двигуна та в'язкості палива.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Функціонування систем охолодження суднових дизелів доцільно характеризувати двома групами показників: режимними, такими як температура охолоджуючої рідини, її витрата, перепад температур в контурах охолодження, тиск в системі охолодження, і водно-хімічними, що характеризують фізичні і хімічні властивості охолоджуючої рідини. Вплив фізико-хімічних і теплофізичних властивостей охолоджуючих рідин на ресурсні, економічні та екологічні показники роботи дизелів є вкрай важливим фактором. У зв'язку з цим сучасна концепція регулювання охолодження повинна передбачати як автоматичне регулювання режимних показників, так і регулювання водно-хімічних параметрів охолодження рис. 1 [1, 1].

Переваги, які можуть бути отримані від впровадження систем автоматичного регулювання охолодження в суднових дизельних установках, зводяться до наступного:

- обслуговуючий персонал звільняється від безпосереднього спостереження за режимними і водно-хімічними параметрами в системах дизеля і від праці, пов'язаної з ручним управлінням;
- автоматизоване управління здатне забезпечити роботу суднового дизеля при оптимальних параметрах охолодження.

Таким чином, проблемами автоматичного регулювання температурного стану СДВЗ є завдання підвищення точності і якості процесу регулювання. При цьому слід відзначити, що при синтезі систем потрібно домогтися не просто заданих показників якості, таких як точність, запас стійкості, швидкодія, прийнятний характер перехідних процесів та ін., але й відповідності параметрів системи автоматичного регулювання (САР) охолодженням режиму роботи двигуна [3, 4].

Питання про кількісну оцінку близькості оптимальної системи відповідуючій їй «ідеальній» є нелегким, недостатньо розробленим теоретично. Практично така оцінка може бути проведена шляхом порівняння показників виконаної реальної системи з показниками, отриманими при розрахунку математичної моделі. Однак при цьому неминуче доводиться стикатися з питанням про те, яка кількісна оцінка близькості математичної моделі і реальної системи [5, 6].

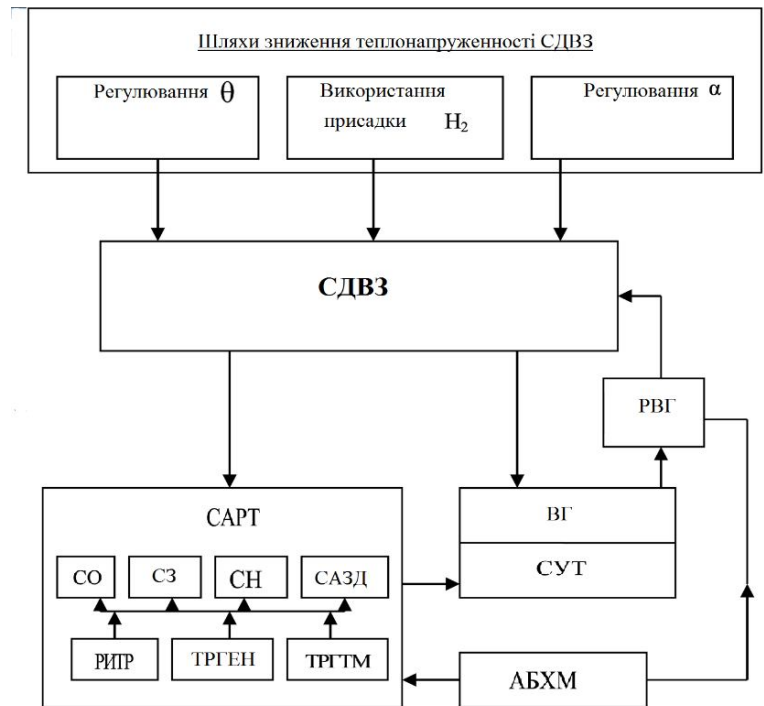


Рисунок 1 – Фактори, що визначають температурний і теплонапружений стан дизеля:

θ – кут випередження впорскування палива; H_2 – водень у вигляді присадки; α – коефіцієнт надлишку повітря; РВГ – рециркуляція ВГ; ВГ – відпрацьовані гази; СУТ – система утилізації теплоти; АБХМ – абсорбційна холодильна машина; САРТ – система автоматичного регулювання теплового стану СДВЗ; СО – система охолодження; СЗ – система змазки; СН – система наддуву; САЗД – система аварійної зупинки дизеля; РІТР – релейно-імпульсний терморегулятор; ТРГЕН – терморегулятор з електронагрівачем; ТРГТМ – терморегулятор з термоелектричним модулем

У загальному випадку система регулювання охолодження дизеля складається з програматора-задатчика (П) 1, який виробляє задаючий вплив (програму, програмний рух); регулятора (Р) 2 та об'єкта у правління (ОУ) 3 – рис. 2.

В таких системах, зазвичай, у якості задатчика використовують конвенційний ПІД контролер, регулятором виступає механічний клапан перерозподілу потоків охолоджуючої рідини з електричним приводом, а ОУ – головний судновий двигун внутрішнього згоряння [7, 8].

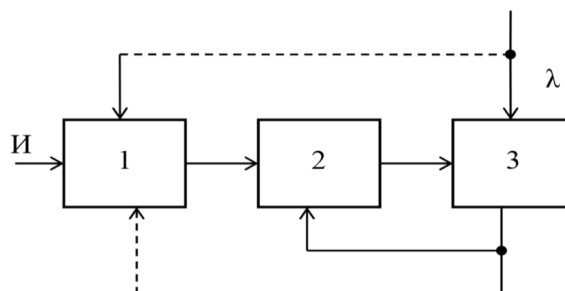


Рисунок 2 – Функціональна схема системи регулювання:
1 - програматор; 2 - терморегулятор; 3 - об'єкт управління

На схемі символ I позначає сукупність зовнішньої інформації, яка надходить на програматор. Завдання синтезу оптимальної системи полягає в тому, щоб для заданого об'єкта синтезувати регулятор і програматор, які, в певному сенсі, найкращим чином вирішують поставлене завдання регулювання. Математично ці завдання можуть бути сформульовані одноманітно і вирішуватися одними і тими ж методами, але в той же час вони мають специфічні особливості, які роблять доцільним на певному етапі їх роздільний розгляд. Ці особливості обумовлюються тим, що рішення першого завдання пов'язано, як правило, з визначенням програмного регулювання, а рішення другого - з визначенням регулювання зі зворотним зв'язком. Таким чином, програмне регулювання - це управління у вигляді функції від часу, а регулювання зі зворотним зв'язком - регулювання у вигляді функції від фазових координат.

Систему автоматичного регулювання температурного стану дизеля можна структурно розглядати як одну контурну, у вигляді умовних зображень ланок і зв'язків між ними. У загальному вигляді система складається з двох укрупнених структурних ланок: об'єкта і регулятора рис. 3.

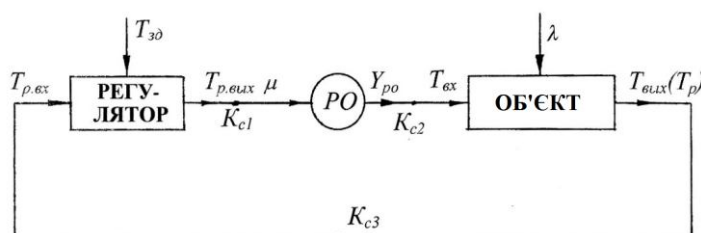


Рисунок 3 – Структурна схема системи автоматичного регулювання температурного стану СДВЗ

Об'єкт з регулятором визначає головний зворотний зв'язок. Видно, що система автоматичного регулювання температури являється замкнутою системою ланок спрямованої дії [9].

Об'єкт характеризується координатами: температурою входу $T_{вх}$, температурою виходу $T_{вих}(T_p)$ і координатою навантаження λ , яка служить другою входною координатою в дизелі. Регулятор характеризується температурою входу $T_{p.вх}$, температурою виходу $T_{p.вих}$ і температурою завдання $T_{зд}$. На лініях зв'язку вказують передавальні коефіцієнти зв'язків K_{c1} , K_{c2} , K_{c3} .

За допомогою спеціальних настроювальних органів завдання, якими обладнуються терморегулятори (ТРГ), можна встановити те чи інше значення температури завдання $T_{зд}$. Відповідно до цього параметру визначаються і значення регульованого параметра, яке буде підтримуватися ТРГ. За допомогою збурюючого впливу λ об'єкт змінює заданий режим. Збурюючими впливами прийнято називати впливи, що прагнуть порушити необхідний функціональний зв'язок між заданою дією і регульованою температурою. При цьому під задаючим впливом розуміється вплив на систему, що визначає необхідний закон зміни регульованої температури. Дію ТРГ на об'єкт, внаслідок якого останній повертається в рівноважний режим при забезпеченні необхідного значення параметра, назовемо регулюючим впливом μ . ТРГ здійснює вплив на дизель через регулюючий орган (РО), який перетворює зміну одержуваної на виході з ТРГ температури води, що надходить на вхід в дизель.

Вимоги до точності підтримки регульованої температури в статиці і динаміці допускають тут застосування найпростіших конструкцій статичних ТРГ і регулювання тільки по відхиленню регульованої температури. ТРГ, а також дизель з його системою охолодження являються складовими частинами системи регулювання температури охолоджуючої рідини. Відхилення регульованої температури охолоджуючої рідини від заданого значення залежить, з одного боку, від властивостей ТРГ, а з іншого – від властивостей самого дизеля з його системою охолодження. Таким чином, операція регулювання температури дизеля включає п'ять основних етапів:

- вимірювання регульованої температури;

- порівняння вимірюваної величини зі значенням, заданим уставкою;
- обробку цієї різниці (помилки) в ТРГ;
- переробку керуючого сигналу в регулюючий вплив;
- повернення регульованої температури до заданого значення регулюючим впливом.

В існуючих системах автоматичного регулювання температурного стану СДВЗ на всіх режимах роботи дизеля алгоритм функціонування містить припис про підтримання постійного значення регульованої температури охолоджуючої рідини, який є системою стабілізації. Використовуючи крім системи стабілізації, електричні елементи у виконавчому регулюючому пристрої ТРГ, передбачається створити систему програмного регулювання, яка містить алгоритм функціонування системи автоматичного регулювання температури (САРТ), тобто припис про зміну регульованої температури відповідно до заздалегідь заданої функції. Необхідна зміна регульованої температури по навантаженню дизеля забезпечується в цій системі за строго певною програмою. На вхід об'єкта надходить регулюючий вплив μ від ТРГ. Якщо таких впливів декілька: $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n$, то їх можна об'єднати в вектор $\underline{\mu}$ з координатами μ_j ($j = 1, \dots, n$); $\underline{\mu} = (\mu_1, \dots, \mu_n)$.

На вхід ТРГ подається задаючий вплив $t_{зд}$, що представляє собою інструкцію про те, якою має бути вихідна температура (регульована температура) $T_{вих}$ (T_p) охолоджуючої рідини. Ця інструкція повинна конкретизувати мету регулювання. Інструкція може являти собою деяку кількість n величин $T \cdot 1, \dots, T \cdot n$, які вважатимемо координатами вектора $T \cdot$: $\underline{T \cdot} (T \cdot 1, \dots, T \cdot n)$. Наприклад, можна прийняти, щоб в ідеальному випадку задовольнялися умови $T_i = T \cdot i$ ($i = 1, \dots, n$), де $T \cdot i$ - задані функції часу.

Відхилення величини вихідної (регульованої) температури $T_{вих}$ (T_p) від встановлених значень може статися з наступних причин:

- неправильне, неточне або запізніле використання ТРГ інформації про характеристики об'єкта і про цілі регулювання, цей недолік, в принципі, може бути виправлений удосконаленням закону дії (алгоритму) ТРГ.
- обмеження ресурсів регулювання, тобто неможливість за тих чи інших причин подавати на об'єкт такі регулюючі дії $\underline{\mu}$, які можуть забезпечити необхідну поведінку $\underline{\mu}$ об'єкта. (В умовах експлуатації дизелів ресурси управління завжди обмежені, і цю обставину необхідно враховувати).
- деякий заздалегідь непередбачений і не контрольований збурюючий вплив λ , що впливає на його вихідну величину, наприклад, різка зміна температури охолоджуючої заборотної води, що надходить на об'єкт.

Метою дослідження є виявлення прихованих закономірностей між основними параметрами роботи СДВЗ.

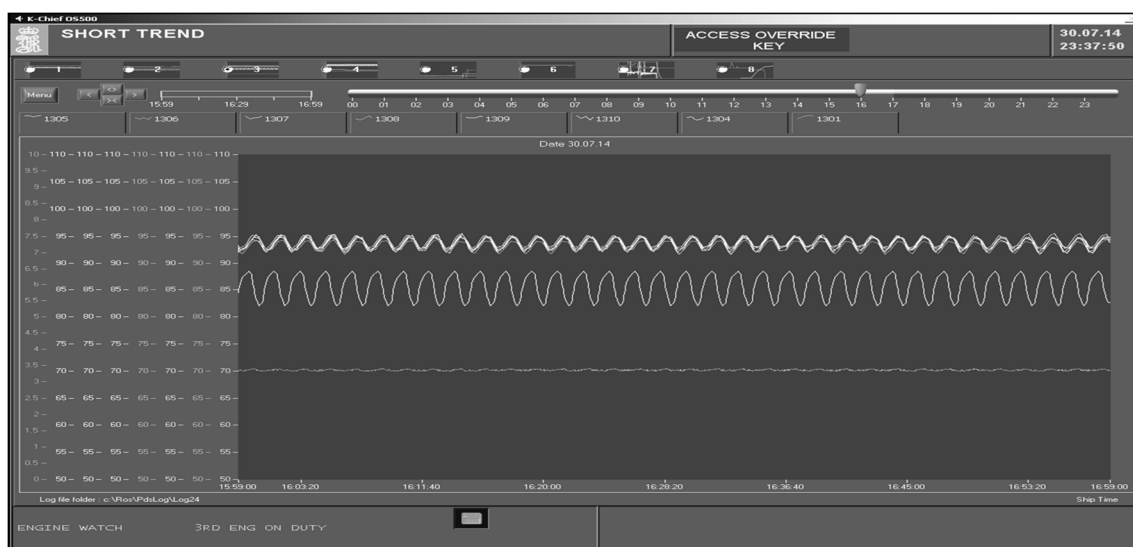
За основні параметри роботи СДВЗ прийнято: тиск і температуру охолоджуючої рідини СДВЗ та тиск і температуру палива у паливній магістралі високого тиску СДВЗ.

Для аналізу використовувалися дані зібрані на протязі 24 годин сталого режиму роботи СДВЗ, типу Wärtsilä – Sulzer 6 RT-flex 50b [10], (морський перехід) з інтервалом у 9 хвилин.

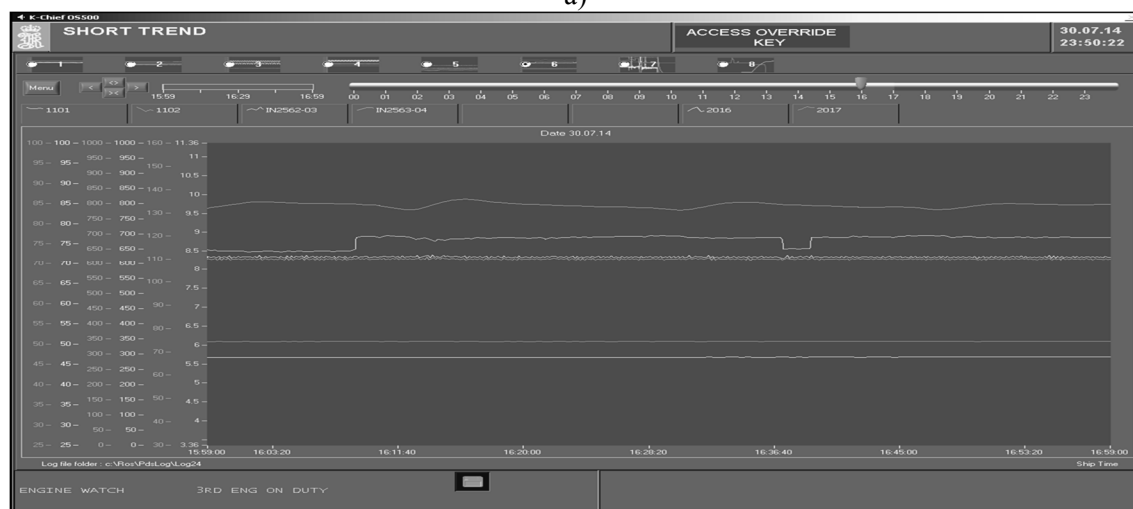
Методи дослідження та критерії оцінювання кореляційних залежностей робочих параметрів агрегатного комплексу. При підвищенні температури охолоджуючої рідини ефективна потужність СДВЗ підвищується, у той час як питома витрата палива $g_e = G_e / N_e$ зменшується. Значне зменшення питомої витрати палива має місце при рості температури охолоджуючої рідини до 85–95 °С (для середньо-оборотних двигунів). У абсолютних значеннях зменшення витрати палива на кожні 10 °С підвищення температури охолоджуючої рідини виражається величиною від 2 до 7 г/кВт/год (у інтервалах температур від 40 до 80 °С). Слід відзначити, що в цей час не здійснюють впливу не конструктивні особливості дизеля, не якість палива.

На рис. 4 представлені криві зміни значення температури охолоджуючої рідини СДВЗ по окремих циліндрах, а також дані про зміну значення температури та тиску палива. Дані дають змогу побачити неефективність роботи конвенційного ПД регулятора, за рахунок незатухаючих коливань.

Зняття параметрів виконувалося за допомогою системи контролю та моніторингу основних параметрів роботи СДВЗ типу KONGSBERG ACC20. Дані з вказаної моніторингової системи були отримані за допомогою вбудованої функції «Shorttrend», яка дає змогу обслуговуючому персоналу отримувати інформацію про стан основних параметрів роботи СДВЗ у вигляді трендів. Вимірювання проводилися під час сталого режиму роботи (морський перехід) на протязі 24 годин з інтервалом у 9 хвилин.



а)



б)

Рисунок 4 – Криві зміни значення:

а - температури охолоджуючої рідини СДВЗ по окремих циліндрах; б - тиску і температури палива СДВЗ

Визначення закону розподілення та прихованих періодичностей у статистичних даних. При визначенні закону розподілення виникає задача згладжування статистичних даних за допомогою простих аналітичних залежностей для їх наведення в більш компактному вигляді. Для цього застосовується відновлений статистичний ряд, за даними якого можна провести аналіз розподілу випадкової величини кількості відхилень параметру. Використовуючи дані статистичного ряду побудовано гістограми щільності розподілу даних для вказаних вище параметрів та визначено типи розподілу за критерієм узгодження Пірсона [11, 9].

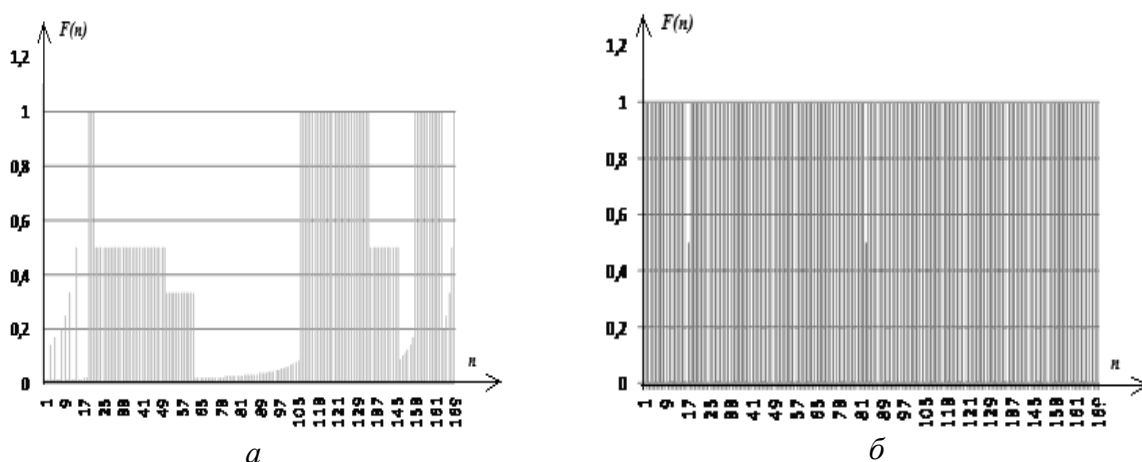


Рисунок 5 – Гістограма зміни:

a - тиску охолоджуючої рідини; *б* - температури охолоджуючої рідини

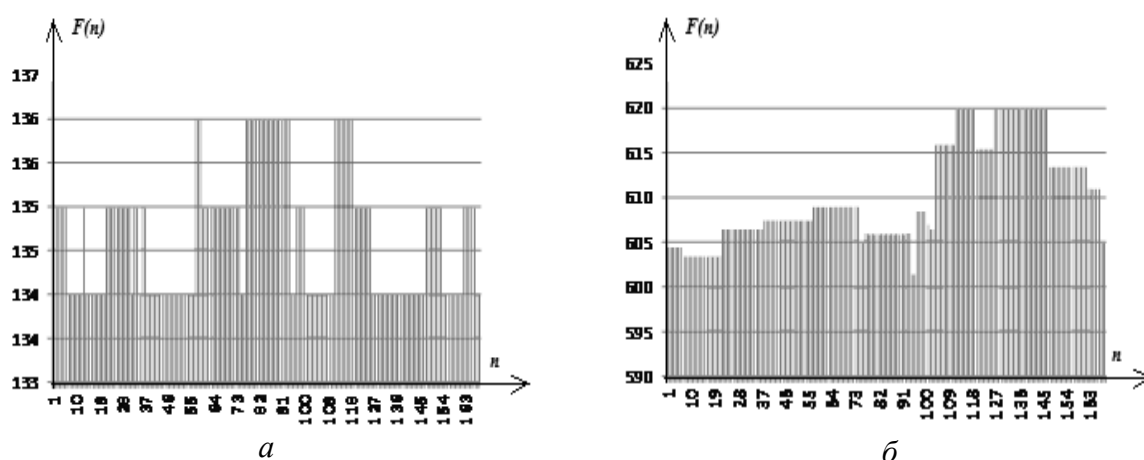


Рисунок 5 – Гістограма зміни:

a - температури палива; *б* - тиску палива

Відповідність певному закону розподілення статистичних даних про відхилення дозволяє використовувати їх для подальшого аналізу. Для виявлення прихованих періодичностей у статистичних даних відхилення параметрів використаємо кореляційний аналіз.

Дослідження кореляційно функції об'єкта. Для доведення зв'язку між даними за відхиленнями різних параметрів дослідимо кореляційну функцію, що відноситься до різних часових моментів t і знаходиться за формулою:

$$K_{xy}(t, t') = M \left[\overset{\circ}{x}(t) \overset{\circ}{y}(t') \right], \quad (1)$$

де $\overset{\circ}{x}(t)$, $\overset{\circ}{y}(t')$ – центровані випадкові величини окремих часових процесів.

Для розрахунку кореляційних функцій вважаємо, що процеси стаціонарні та коливання відбуваються відносно деякого середнього значення [12]. Статистичні характеристики випадкових функцій наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Статистичні характеристики випадкових функцій

<i>Вид розрахунку</i>	<i>Температура охолоджуючої рідини</i>	<i>Тиск охолоджуючої рідини</i>	<i>Температура палива</i>	<i>Тиск палива</i>
Математичне очікування	93,56	3,4	134,7	613,9
Дисперсія	0,16	15814	0,561	40,36
Середньоквадратичне відхилення	62,23	1,371	68,22	292,43

На основі отриманих результатів розрахунку коефіцієнтів кореляції між часовими рядами даних за табл. 2 можна зробити висновок, що найбільш взаємозалежними є температура та тиск палива: коефіцієнт кореляції $R_{43}(t) = 0,39$, а також температура палива та тиск охолоджуючої рідини: коефіцієнт кореляції $R_{43}(t) = 0,37$. Результати розрахунків кореляційних функцій представлено на рис. 7.

Таблиця 2 – Матриця коефіцієнтів кореляції

<i>Параметр</i>	<i>Температура охолоджуючої рідини</i>	<i>Тиск охолоджуючої рідини</i>	<i>Температура палива</i>	<i>Тиск палива</i>
Температура охолоджуючої рідини	1,00	0,103	0,11	0,3
Тиск охолоджуючої рідини	0,103	1,00	0,22	0,37
Температура палива	0,11	0,22	1,00	0,39
Тиск палива	0,3	0,37	0,39	1,00

Зображення коефіцієнтів нормованої кореляції для досліджуваного статистичного ряду спостережень свідчить про розподілення кореляційних властивостей за місяцями. Аналіз графіків дозволяє виявити періодичність коливань даних.

Апроксимуємо данні за допомогою ряду Фур'є наступного виду:

$$\phi(t) = A_0 + A_1 \cos(\omega t + \alpha_1) + A_2 \cos(2\omega t + \alpha_2) + A_3 \cos(3\omega t + \alpha_3) + \dots = A_0 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega t + \alpha_n). \quad (2)$$

де $\omega = 2\pi / T$ – основна частота.

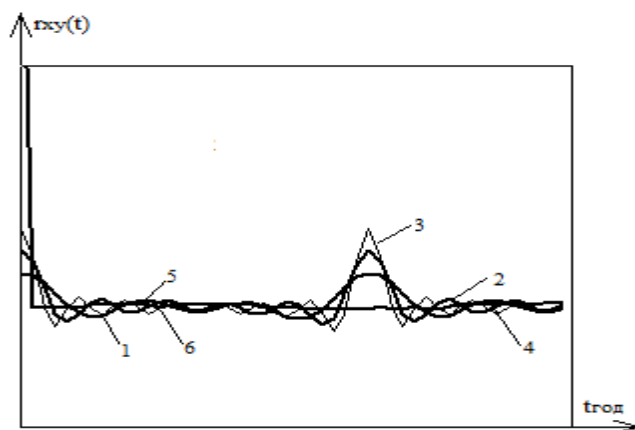


Рисунок 7 – Коефіцієнти нормованої кореляції для значень параметрів: температура охолоджуючої рідини (1), тиск охолоджуючої рідини (2), температура палива (3) та тиск палива (4) 1 – для 1 і 2 параметрів; 2 – для 1 і 3 параметрів; 3 – для 1 і 4 параметрів; 4 – для 2 і 3 параметрів; 5 – для 2 і 4 параметрів; 6 – для 3 і 4 параметрів

В результаті розкладання ряду на окремі коливання отримуємо графік рис. 8 для значення параметрів температури та тиску палива.

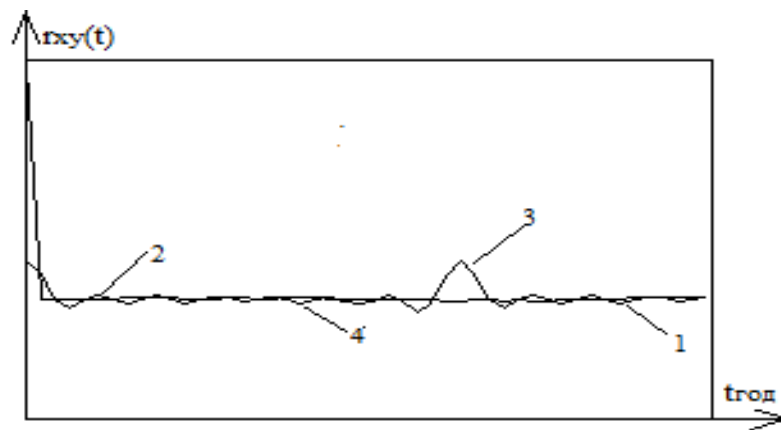


Рисунок 8 – Апроксимація графіку нормованої кореляції для значення параметрів температури та тиску палива:

1 – вихідні дані кореляції; 2 – за 3-ма гармоніками; 3 – за 5-ма гармоніками; 4 – за 7-ма гармоніками

В результаті розрахунків апроксимуюча функція приймає вигляд:

$$P_r(t) = 0.035 - 0.018 \cos(\omega_1 t + 2.963) - 0.022 \cos(\omega_2 t + 3.073) - \\ - 0.022 \cos(\omega_3 t + 3.056) - 0.024 \cos(\omega_4 t + 3.097) - \\ - 0.022 \cos(\omega_5 t + 3.072) - 0.024 \cos(\omega_6 t + 3.167) - 0.022 \cos(\omega_7 t + 3.113), \quad (3)$$

де $\omega_i = 2\pi i / T = i\omega_1$, $T = 24 \text{ год}$, $i = 1..n-1$.

В результаті перевірки значимості коефіцієнтів за критерієм Ст'юдента вираз (3) приймає наступний вигляд:

$$P_r(t) = 0.035 - 0.022 \cos(\omega_2 t + 3.073) - 0.022 \cos(\omega_3 t + 3.056) - 0.024 \cos(\omega_4 t + 3.097) - \\ - 0.022 \cos(\omega_5 t + 3.072) - 0.024 \cos(\omega_6 t + 3.167) - 0.022 \cos(\omega_7 t + 3.113). \quad (4)$$

Перевірка адекватності моделі (4) за критерієм Фішера підтверджує її відповідність об'єкту.

На відміну від традиційних методів статистичного аналізу випадкових величин, нові методи засновані на дослідженні фрактальної природи процесів та вейвлет-перетворенні поряд з глобальними характеристиками стохастичних процесів дозволяють розкрити особливості їх локальної структури. Відомо [6], що для застосування фрактального аналізу необхідно довести, що задані часові ряди даних про відхилення володіють основними фрактальними властивостями: само-подібністю та дробовою розмірністю.

Загальне визначення само-подібності стохастичного процесу базується на прямому масштабуванні безперервної змінної часу. Само-подібність процесів виникнення відхилень параметрів роботи СДВЗ може бути визначена за допомогою параметру Херста [13].

Для випадку стохастичного процесу, визначеного в дискретні моменти часу, стохастичний процес $X(t)$ визначається як $\{x_t, t = 0, 1, 2, \dots\}$. Для стаціонарних часових серій x знайдемо m -агреговані часові серії $x^{(m)} = \{x_k^{(m)}, k = 0, 1, 2, \dots\}$, складаючи початкові часові серії по сусідніх блоках розміром m , що не перекриваються, за виразом:

$$x_k^{(m)} = \frac{1}{m} \sum_{i=km-(m-1)}^{km} x_i. \quad (5)$$

Агреговані часові серії являють собою метод стиснення шкали часу. Якщо статистичні характеристики процесу (середнє значення, дисперсія) зберігаються при

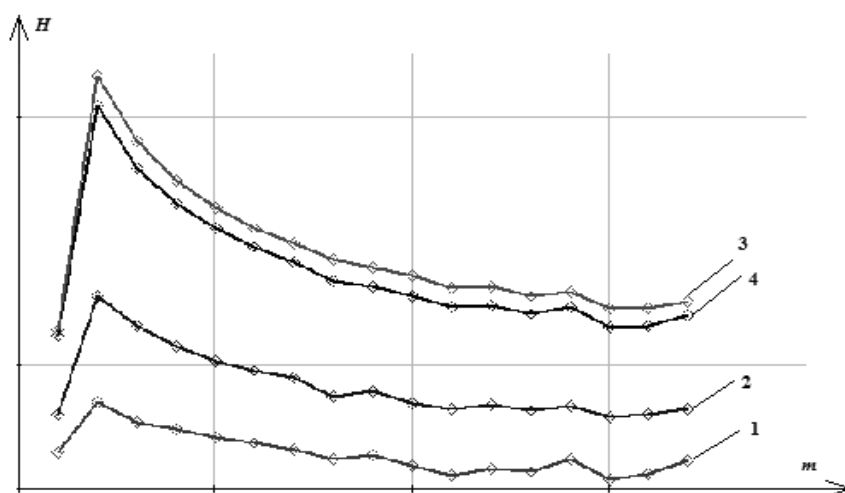
стисненні, тоді можна стверджувати про самоподібність процесу. Таким чином процес x являється в точності самоподібним з параметром β ($0 < \beta < 1$), який пов'язаний з параметром Херста як $H = 1 - (\beta / 2)$, якщо для всіх $m = 1, 2, \dots$ існує дисперсія:

$$D(x^{(m)}) = \frac{D(x)}{m^{\beta}}. \quad (6)$$

Якщо прологарифмувати цей вираз, то отримаємо: $\log[D(x^{(m)})] = \log[D(x)] - \beta \log(m)$. Звідки:

$$\beta = \frac{\log[D(x) / D(x^{(m)})]}{\log(m)}. \quad (7)$$

При аналізі самоподібності часових рядів відхилення кожного параметру з кількістю статистичних точок n для агрегованих за часом серій $x^{(m)}$ знайдено параметр Херста H , параметр β , дисперсію не агрегованого процесу $D(x)$ та дисперсію для процесів різної агрегації $D(x^{(m)})$. Майже в усіх випадках параметр Херста H знаходиться в межах від 0,5 до 1, що свідчить про наявність довгострокової залежності та фрактальних властивостей. На рис. 9 зображено графік залежності параметра Херста H від ступеня агрегації m .



Рисунк 9 – Графік залежності параметра Херста H від ступеню агрегації m для параметрів: 1 – температура охолоджуючої рідини; 2 – тиск охолоджуючої рідини; 3 – температура палива; 4 – тиск палива

Таким чином, подальший аналіз на основі фрактальних властивостей можливий лише з використанням моделей з більшим ступенем агрегації.

Результати дослідження впливу обраних характеристичних параметрів на ефективність роботи агрегатного комплексу. З метою виявлення зв'язку між агрегованими даними за допомогою кореляційного аналізу дослідимо отримані функції, де розрахунок виконують аналогічно наведеному вище для статистичних даних. Коефіцієнти кореляції представлено в табл. 3.

Таблиця 3 – Матриця коефіцієнтів кореляції агрегованих даних 5-го ступеню

<i>Параметр</i>	<i>Температура охолоджуючої рідини</i>	<i>Тиск охолоджуючої рідини</i>	<i>Температура палива</i>	<i>Тиск палива</i>
Температура охолоджуючої рідини	1,00	0,2	0,21	0,49
Тиск охолоджуючої рідини	0,2	1,00	0,38	0,52
Температура палива	0,21	0,38	1,00	0,73
Тиск палива	0,49	0,52	0,73	1,00

Обговорення результатів дослідження прихованих закономірностей між основними характеристичними параметрами роботи СДВЗ у складі агрегатного комплексу. При дослідженні вибірок статистичних даних роботи підсистем регулювання температури та тиску охолоджуючої рідини, а також температури та тиску палива у системі підготовки палива СДВЗ, найбільш зручним методом визначено застосування відновленого статистичного ряду.

Використання критерію узгодженості Пірсона дозволило провести розподіл статистичних вибірок про відхилення параметрів, що досліджуються, за обраним законом. Подальший кореляційний аналіз показав взаємозалежність між тиском і температурою охолоджуючої рідини та тиском і температурою палива. Що є цілком суб'єктивним твердженням, адже як показано авторами у [1], підсистеми автоматичного регулювання охолодження СДВЗ діють шляхом перерозподілу потоків охолоджуючої рідини або через теплообмінник або в обхід останнього, і таким чином паралельно до температури змінюють тиск рідини у магістралі. Говорячи про підсистеми підготовки палива, однозначно встановлено [1] співвідношення між температурою та тиском у замкнутому контурі циркуляції палива.

Під час оцінювання коефіцієнтів нормованої кореляції, засвідчено розподіл кореляційних властивостей за місцями, що дозволило виявити періодичність коливань параметрів у контурах досліджуваних підсистем автоматичного регулювання. Розклад ряду на окремі коливання та перевірка моделі за критерієм Фішера підтверджує її відповідність реальному об'єкту. З чого можна визначити твердження про ідентичність розробленої моделі та її прихованих зв'язків між параметрами, до дійсного об'єкту.

Використовуючи нові методи статистичного аналізу при дослідженні фрактальної природи процесів, що вивчаються, було розкрито особливості фрактальної структури вибірок статистичних даних об'єкту дослідження. З метою виявлення зв'язку між агрегованими даними за допомогою кореляційного аналізу було встановлено, що основні параметри роботи СДВЗ мають значне відхилення своїх значень від встановлених, що в свою чергу вказує на недоліки підсистем автоматичного регулювання температури та тиску охолоджуючої рідини та палива, а саме:

- недостатня швидкодія систем автоматичного регулювання;
- недоліки прийнятих математичних моделей вказаних систем;
- незлагодженість між підсистемами регулювання та системою дистанційного автоматичного управління ДАУ СДВЗ.

Висновки. Під час аналізу факторів, що впливають на тепловий режим СДВЗ, виявлено групу головних факторів, які визначають температурний та тепло-напружений стан СДВЗ.

Показчик Херста підтверджує само-подібність процесів теплообміну та вказує на наявність фрактальних властивостей. Більш високий ступінь агрегації систем дозволяє провести послідовний аналіз фрактальних властивостей.

Для вирішення задачі керування у автоматичних системах управління охолодженням (АСУ) повинна бути сформована більш доцільна модель керування, що дозволить забезпечити найоптимальніший закон керування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Carlton J. S. Marine propellers and propulsion. / J. S. Carlton. First edition. – Elsevier Ltd Waltham, USA, 1994. – 518 p.
2. Фомин А. Я. Судовые двигатели внутреннего сгорания : учебник / А. Я. Фомин, А. И. Горбань, В. В. Добровольский. – Л. : Судостроение, 1989. – 344 с.
3. Гацуц А. Г. Повышение эффективности работы судовых энергетических установок путем обеспечения оптимального температурного режима. [Текст] / А. Г. Гацуц, А. Р. Мыська, А. О. Дранкова // Електромеханічні та енергозберігаючі системи. – 2015. – № 3/201. – С. 71–74.
4. Тимофеев В. Н. Температурный режим двигателей внутреннего сгорания и его регулирование / В. Н. Тимофеев. – Чебоксары : Изд-во Чуваш. ун-та, 2008. – 358 с.
5. Безюков О. К., Совершенствование конструкции систем охлаждения судовых двигателей. / О. К. Безюков, В. А. Жуков, М. А. Тарасов // Развитие транспорта в регионах России: проблемы и перспективы : материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Киров, 2007. – С. 67–70.
6. Roberts, G. N. Advances in unmanned marine vehicles. / G. N. Roberts, R. Sutton. – MGP Books Ltd, Bodmin Cornwall, 2006. – 461 p.
7. Patel R. Mukund. Shipboard propulsion, power electronics and ocean energy / Mukund S. Patel. – FL: CRC Press / Taylor & Francis, Boca Raton, 2012. – 352p.
8. Morris, A. S. Measurement and instrumentation principles. / Allan S. Morris. – Butterworth-Heinemann, Woburn, 2001. – 491 p.
9. Michalsky L. Temperature measurement. / L. Michalsky, K. Eckersdorf, J. Kucharski, J. McGhee. Includes bibliographic references and index. – John Wiley&Sons Ltd., Chichester, 1991. – 496 p.
10. RT-flex. Operation & Practical Training Course [Електронний ресурс]. Режим доступу: URL: <http://dieselturbo.man.eu>.
11. Мойсюк Б. Н. Идентификация и оптимизация сложных объектов методами активного эксперимента : учебное пособие по курсу «Экспериментально-статистические методы оптимизации и исследований» / Б. Н. Мойсюк. – Моск. энерг. ин-т, 1988. – 333 с.
12. Потапов А. А. Методы классической и современной теории автоматического управления. В 5 томах. Том 5. Новейшие методы обработки изображений. / А. А. Потапов, Ю. В. Гуляев, С. А. Никитов. – М. : Физматлит, 2008. – 496 с. .
13. Рожков С. О. Ідентифікація параметрів текстильних виробництв методами аналізу часових рядів. [Текст] / С. О. Рожков, Г. В. Рудакова // Вісн. Нац. ун-ту «Львів. політехніка». – 2011. – № 719. – С. 126–132.

REFERENCES

1. Carlton, J. S. (1994). Marine propellers and propulsion. Elsevier Ltd, Waltham, USA, 518. First edition. ISBN 978-0-08-097123-0.
2. Fomin, A. Ya., Gorbanj, A. Ya., Dobrovolskiy, V. V. (1989). Sudovye dvigateli vnutrennego sgoraniya. L.: Sudostroenie, 344.
3. Gacuc, A. G., Mihsjka, A. R., Drankova, A. O. (2015). Povihszenie ehffektivnosti rabotih sudovihkh ehnergeticheskikh ustanovok putem obespecheniya optimaljnogo temperaturного rezhima. Elektromekhanichni ta energozberigayuchi sistemi, 3/201, 71-74.
4. Timofeev, V. N. (2008). Temperaturniy rezhim dvigateley vnutrennego sgoraniya i ego regulirovanie. Cheboksari: Izd-vo Chuvash. un-ta, 358.

5. Bezyukov, O. K., Zhukov, V. A., Tarasov, M. A. (2007). Sovershenstvovanie konstrukcii sistem okhlazhdeniya sudovihkh dvigateleyj. Razvitie transporta v regionakh Rossii: problemih i perspektivih; materialih Vseros. nauch.-prakt. konf. — Kirov, 67–70.
6. Roberts, G. N., Sutton R. (2006). Advances in unmanned marine vehicles. MGP Books Ltd, Bodmin Cornwall, 461. ISBN 978-0-86341-450-3.
7. Patel, R. Mukund (2012). Shipboard propulsion, power electronics and ocean energy. FL: CRC Press / Taylor & Francis, Boca Raton, 352p. ISBN 978-1-4398-8850-6.
8. Morris, A. S. (2001). Measurement and instrumentation principles. Butterworth-Heinmann, Woburn, 491. ISBN 075-06-50818.
9. Michalsky, L., Eckersdorf, K., Kucharski, J., McGhee, J. (1991). Temperature measurement. John Wiley&Sons Ltd., Chichester, 496. Includes bibliographic references and index. ISBN 047-1-86779-9.
10. RT-flex. Operation & Practical Training Course. <http://dieselturbo.man.eu>.
11. Moyjsyuk, B. N. (1988). Uchebnoe posobie po kursu «Ehksperimentaljno-statisticheskie metodih optimizacii i issledovaniy». Identifikaciya i optimizaciya slozhnihkh objhektov metodami aktivnogo ehksperimenta. Mosk. ehnerg. in-t, 333.
12. Potapov, A. A., Gulyaev, Yu. V., Nikitov, S. A. (2008). Metodih klassicheskoyj i sovremennoy teorii avtomaticheskogo upravleniya. V 5 tomakh. Tom 5. Noveyjshe metodih obrabotki izobrazheniyj. M.: Fizmatlit, 496.
13. Rozhkov, S. O., Rudakova, G. V. (2011). Identifikaciya parametriv tekstilnihkh virobniectv metodami analizu chasovikh ryadiv. Visn. Nac. un-tu «Ljviv. politehnika», 719, 126-132. Bibliogr.: 6 nazv. ukr.

Симаненков А. Л. СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ СУДОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Статья рассматривает анализ статистических выборок данных основных характеристических параметров работы судового двигателя внутреннего сгорания (СДВС), с целью выделения параметра или группы параметров, оказывающих наибольшее влияние на эффективность работы агрегатного комплекса, а так же выявление скрытых закономерностей между ними.

Используя восстановленный статистический ряд и критерий согласования Пирсона, по выбранным законам разделения, позволило структурировать данные для дальнейшего корреляционного анализа. С помощью коэффициентов нормированной корреляции определена периодичность колебательности данных характеристических параметров. После разложения данных в ряд Фурье получена аппроксимирующая функция. Что позволило, используя фрактальную природу данных процессов и вейвлет-преобразования, определить сходство стохастических процессов изменения данных. Показатель Хэрста подтверждает схожесть процессов теплообмена и наличие фрактальных свойств.

В результате проведенные исследования указывают на актуальность изучения процессов теплообмена в подсистемах СДВС. А так же, будут использованы в ходе разработки более эффективной модели управления тепловыми режимами агрегатного комплекса.

Ключевые слова: СДВС, температурный режим, корреляционный анализ, показатель Хэрста, фрактальный анализ.

Simanenkov A. L. SHIP INTERNAL COMBUSTION ENGINE THERMAL CONDITIONS STATISTICAL ANALYSIS

The article deals with the analysis of statistical sampling of the data of the main characteristic parameters of the operation of the internal combustion engine (SCDV), in order to isolate the parameter or group of parameters that have the greatest impact on the efficiency of the aggregate complex, as well as to reveal the hidden regularities between them.

Using the reconstructed statistical series and Pearson's matching criterion, according to the selected separation laws, it was possible to structure the data for further correlation analysis. Using the normalized correlation coefficients, the periodicity of the oscillation of these characteristic parameters is determined. After the expansion of the data into a Fourier series, an approximating function is obtained. This made it possible, using the fractal nature of these processes and wavelet transforms, to determine the similarity of stochastic data modification processes. The Hurst index confirms the similarity of heat exchange processes and the presence of fractal properties.

As a result, the studies indicate the relevance of the study of heat transfer processes in the subsystems of the ADS. And also, will be used in the course of developing a more efficient model for managing the thermal conditions of the aggregate complex.

Keywords: *SADV, temperature regime, correlation analysis, Hurst index, fractal analysis.*

© Сіманенков А. Л.

Статтю прийнято
до редакції 18.09.17

КЕРУВАННЯ ПОЛОЖЕННЯМ ПОЛЮСУ ПОВОРОТУ НА ДВОГВИНТОВОМУ КОНВЕНЦІЙНОМУ СУДНІ

Товстокорий О. М., к.т.н., завідувач кафедри управління судном Херсонської державної морської академії, e-mail: otovstokory@gmail.com;

Мойсєєнко В. С., асистент кафедри управління судном Херсонської державної морської академії, e-mail: v.moiseienko@yandex.ua

В роботі запропоновані принципи керування положенням полюсу повороту (ПП) на двогвинтовому конвенційному судні з носовим підрулюючим пристроєм у різних умовах маневрування.

Положення ПП під час маневрування грає дуже велику роль у виконанні запланованого маневру і можливість керувати цим положенням надає суттєві переваги для вірного та безпечного виконання маневру. Змінюючи склад трастерів, що працюють та перекладку пер керма, на судні, що не має ходу відносно води, можна перемістити ПП у будь-яке бажане положення відносно центру ваги вздовж діаметральної площини (від центру ваги до безкінечності вперед чи назад).

При наявності руху судна картина деяк змінюється.

Класична ситуація, коли при русі вперед при перекладці керма ПП зміщується в носову частину судна. Також при русі назад в ролі керма можна використовувати носовий підрулюючий пристрій. ПП в такому разі зміщується в кормову частину судна.

На невеликих швидкостях можна змінювати положення ПП, прикладаючи узбічну силу на стороні від міделю, протилежній положенню ПП, яке нам бажано отримати.

Ключові слова: полюс повороту, керування положенням, узбічна сила.

Постановка проблеми в загальному вигляді. При оглядово-порівняльному способі керування судном оператору здається, що обертання відбувається навколо нього, в той час, коли фактично відбувається навколо полюсу повороту (ПП). В більшості випадків при такому маневруванні судна судноводій використовує окомірну оцінку та керує прикладенням керуючих впливів на підставі свого досвіду по керуванню конкретним судном та інтуїції.

Це призводить до невірної оцінки відстаней до орієнтирів та утворює передумови для виникнення аварійної ситуації. Навколо ПП відбувається обертання та кут дрейфу в ньому дорівнює 0^0 . При зміні точки прикладення поперечних сил положення ПП змінюється, що суттєво впливає на характер маневрування. Тому знання положення ПП дуже сильно впливає на успішність виконання запланованого маневру. Можливість зміни положення полюсу повороту може надати суднові нових можливостей у маневруванні.

Аналіз останніх досягнень та публікацій. Так, в роботі [1] показано, що положення ПП залежить від точки прикладання рівнодіючої бокових сил та запропоновані формули для розрахунку положення ПП для різних варіантів прикладення сил.

В роботі [2] відмічається, що переміщення ПП залежить від відношення величини лобового опору до рушійної сили та спрямовано в бік дії цієї сили.

В роботі [3] приведені формули расчета положення ПП при маневруванні в узкостях при різній ширині занимаемой полосы движения.

В роботі [4] удосконалено алгоритми розрахунку положення ПП при декількох поперечних силах та отримана формалізована модель розрахунку його положення з індикацією судноводієві на контурі ватерлінії.

В роботі [5] приведені змістовні моделі оцінки положення ПП, що отримані на підставі особистого виробничого досвіду виконання практичного маневрування.

В роботі [6] показано, що зміна положення ПП при маневруванні вітрильного судна відбувається за рахунок зміни кута перекладки керма та набору вітрил. Однак формалізовані моделі не приведені.

В роботі [7] надані алгоритми та формули розрахунку положення ПП за тангенціальними швидкостями носа та корми.

Але ніде не надані рекомендації по зміні положення ПП на борту судна під час маневрування.

Постановка завдання. Для вироблення алгоритму зміни положення ПП під час маневрів та надання рекомендацій необхідно виконати ряд експериментів на одному й тому ж судні з різними комбінаціями керма та рушіїв, визначити положення ПП та проаналізувати, яким чином ми можемо змінювати положення ПП під час маневрування.

Викладення матеріалу дослідження. Експерименти проводилися на тренажері DP – місток фірми TRANZAS. Для експерименту була обрана модель судна OSV 3 АН з конвенційною схемою розташування керма та рушіїв. Водотоннажність судна 5291 т, довжина 80,4 м, ширина 18,0 м, осідання 6,6 м, висота ока – 14 м. Двигун – середньооборотовий дизель 2х6166 кВт, гвинт – ГРК, максимальна швидкість 16,3 вузла. Має один носовий підрулюючий пристрій.

Під час обертання судна ПП може бути розташованим в одній з 5 принципових позицій, як на малюнках нижче.

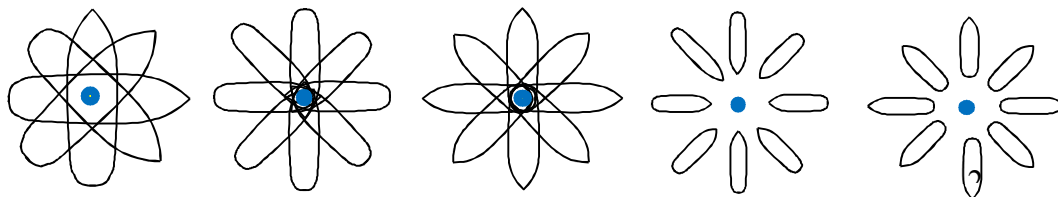


Рисунок 1 – Принципові позиції положення ПП

Експерименти проводилися наступним чином. Задавався режим руху судна (кут перекладки пер керма, напрямок та потужність роботи гвинтів та підрулюючого пристрою). На екрані висвітлювалось положення судна під час експерименту зі збереженням попередніх положень. Крім того на екрані висвітлювалася швидкість судна вперед – назад, а також тангенціальні швидкості носа та корми. Зображення експериментів зберігалось. Положення ПП визначалось за тангенціальними швидкостями.

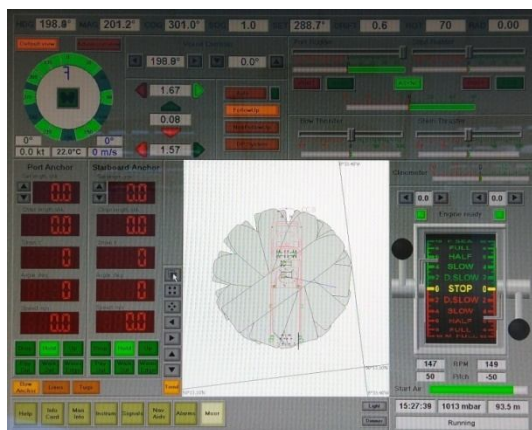


Рисунок 2 – Положення ПП на міделі під час обертання праворуч



Рисунок 3 – Положення ПП на міделі під час обертання ліворуч

Так, пустивши головні двигуни вроздрай (лівий вперед, правий назад) та надавши їм потужність в 50 %, ліве кермо праворуч на борт, праве кермо прямо, НПП на стопі, отримали обертання судна праворуч з положенням ПП на міделі.

У наступному експерименті ГД (рис. 3) вроздрай (лівий 39 % назад, правий 40 % вперед), праве кермо ліворуч на борт, ліве кермо прямо, НПП на стопі. Отримали обертання судна ліворуч з положенням ПП на міделі.

Наступний експеримент (рис. 4). ГД вроздрай (лівий 60 % вперед, правий 61 % назад), праве кермо прямо, ліве кермо праворуч на борт, НПП ліворуч 40 %. Отримали обертання судна праворуч з положенням ПП в носовій частині судна.

Наступний експеримент (рис. 5). ГД вроздрай (лівий 61 % назад, правий 60 % вперед), праве кермо ліворуч на борт, ліве кермо прямо, НПП праворуч 60 %. Отримали обертання судна ліворуч з положенням ПП в носовій частині судна.



Рисунок 4 – Положення ПП у носовій частині судна під час обертання праворуч

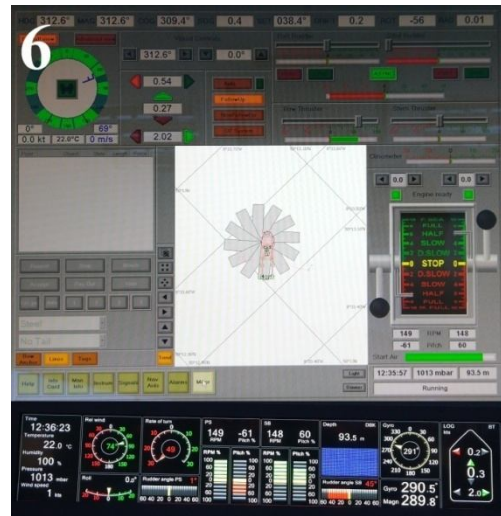


Рисунок 5 – Положення ПП у носовій частині судна під час обертання ліворуч

Наступний експеримент (рис. 6). ГД вроздрай (лівий 40 % вперед, правий 39 % назад), праве кермо прямо, ліве кермо ліворуч на борт, НПП праворуч 40 %. Отримали обертання судна праворуч з положенням ПП в кормовій частині судна.

Наступний експеримент (рис. 7). ГД вроздрай (лівий 39 % назад, правий 40 % вперед), праве кермо праворуч на борт, ліве кермо прямо, НПП ліворуч 40 %. Отримали обертання судна ліворуч з положенням ПП в кормовій частині судна.



Рисунок 6 – Положення ПП у кормовій частині судна під час обертання праворуч

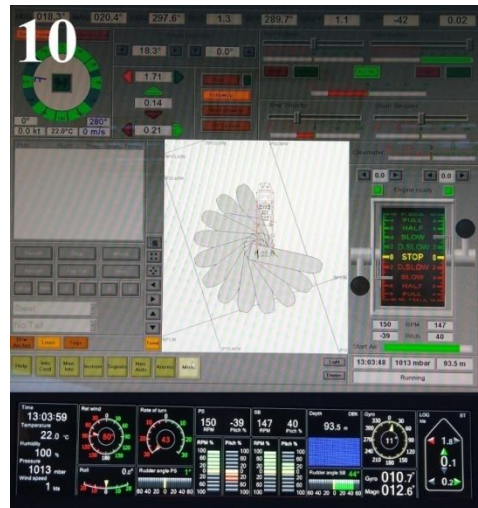


Рисунок 7 – Положення ПП у кормовій частині судна під час обертання ліворуч

Наступний експеримент (рис. 8). ГД вроздрай (лівий 60 % вперед, правий 70 % назад), праве кермо прямо, ліве кермо праворуч на борт, НПП ліворуч 70 %. Отримали обертання судна ліворуч з положенням ПП попереду носа судна.

Наступний експеримент (рис. 9). ГД вроздрай (лівий 39 % назад, правий 40 % вперед), праве кермо ліворуч на борт, ліве кермо прямо, НПП ПП попереду носа судна. праворуч 40 %. Отримали обертання судна праворуч з положенням



Рисунок 8 – Положення ПП попереду носа судна під час обертання ліворуч



Рисунок 9 – Положення ПП попереду носа судна під час обертання праворуч

Наступний експеримент. ГД вроздрай (лівий 60 % вперед, правий 100 % назад), праве кермо прямо, ліве кермо ліворуч на борт, НПП на стопі. Отримали обертання судна праворуч з положенням ПП позаду корми судна.

Наступний експеримент. ГД вроздрай (лівий 100 % назад, правий 60 % вперед), праве кермо праворуч на борт, ліве кермо прямо, НПП на стопі. Отримали обертання судна ліворуч з положенням ПП позаду корми судна.



Рисунок 10 – Положення ПП позаду корми судна під час обертання праворуч



Рисунок 11 – Положення ПП позаду корми судна під час обертання ліворуч

Таким чином ми отримали усі бажані положення ПП при відсутності руху судна вперед чи назад.

Таки ж самі результати були отримані при використанні моделі Ro-ro passenger ferry 13. Водотоннажність 7796,8 т, довжина 125,0 м, ширина 23,4 м, осідання 5,3 м, висота ока спостерігача 24 м, двигун – середньо обертовий дизель 2x4000 кВт, гвинти – гвинти регульованого кроку, є НПП. Максимальна швидкість 20,5 вузлів.

На обох моделях також виконані експерименти на ходові вперед.

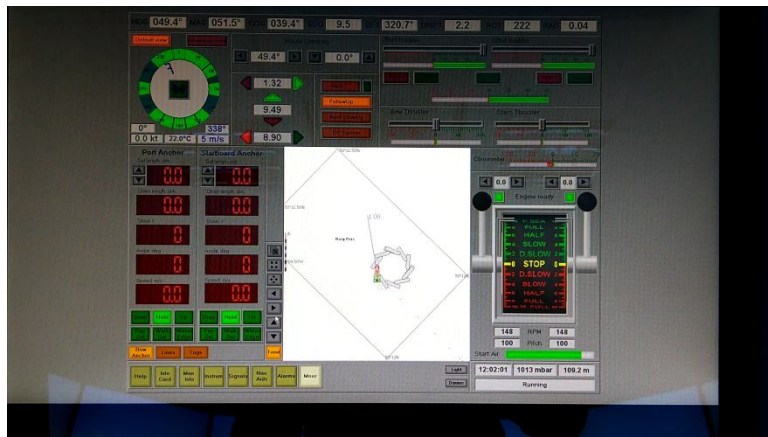


Рисунок 12 – Модель OSV 3 АН. Положення ПП між міделем та носом на ходові вперед під час повороту праворуч

Обидва двигуна вперед 100 %. Обидва керма праворуч на борт. Швидкість судна на початку експерименту 15,51 вузла. ПП розташований між міделем та носом судна.



Рисунок13 – Модель OSV 3 АН. Положення ПП між міделем та носом на ходові вперед під час повороту ліворуч

Обидва двигуна вперед 100 %. Обидва керма ліворуч на борт. Швидкість судна на початку експерименту 15,82 вузла. ПП розташований між міделем та носом судна.



Рисунок 14 – Модель Ro-ro passenger ferry 13. Положення ПП між міделем та носом на ходові вперед під час повороту праворуч

Обидва двигуна вперед 100 %. Обидва керма праворуч на борт. Швидкість судна на початку експерименту 20,18 вузла. ПП розташований між міделем та носом судна.



Рисунок 15 – Модель Ro-go passenger ferry 13. Положення ПП між міделем та носом на ходові вперед під час повороту ліворуч

Обидва двигуна вперед 100 %. Обидва керма ліворуч на борт. Швидкість судна на початку експерименту 20,35 вузла. ПП розташований між міделем та носом судна. Також на обох моделях виконані експерименти на ходові назад.



Рисунок 16 – Модель OSV 3 АН. Положення ПП між міделем та кормою на ходові назад під час повороту ліворуч

Обидва двигуна назад 50 %. Обидва керма прямо. Швидкість судна на початку експерименту 4,82 вузла. Носовий підрулюючий пристрій (НПП) 100 % праворуч. Отримали обертання судна ліворуч. ПП розташований між міделем та кормою судна.



Рисунок 17 – Модель OSV 3 АН. Положення ПП між міделем та кормою на ходові назад під час повороту праворуч

Обидва двигуна назад 50 %. Обидва керма прямо. Швидкість судна на початку експерименту 4,96 вузла. НПП 100 % ліворуч. Отримали обертання судна праворуч. ПП розташований між міделем та кормою судна.

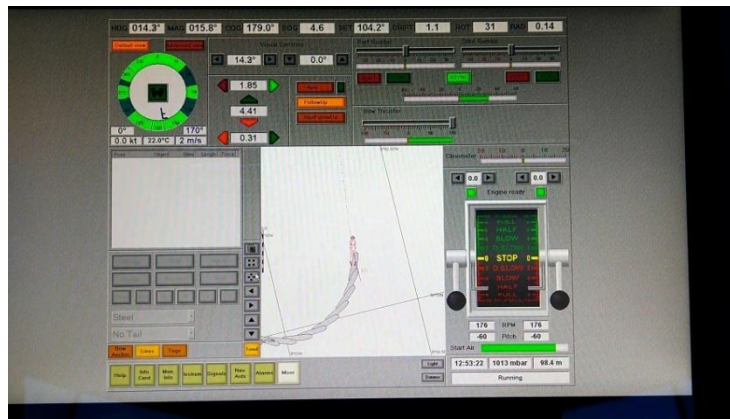


Рисунок 18 – Модель Ro-go passenger ferry 13. Положення ПП між міделем та кормою на ходові назад під час повороту ліворуч

Обидва двигуна назад 60 %. Обидва керма прямо. Швидкість судна на початку експерименту 4,76 вузла. НПП 100 % праворуч. Отримали обертання судна ліворуч. ПП розташований між міделем та кормою судна.

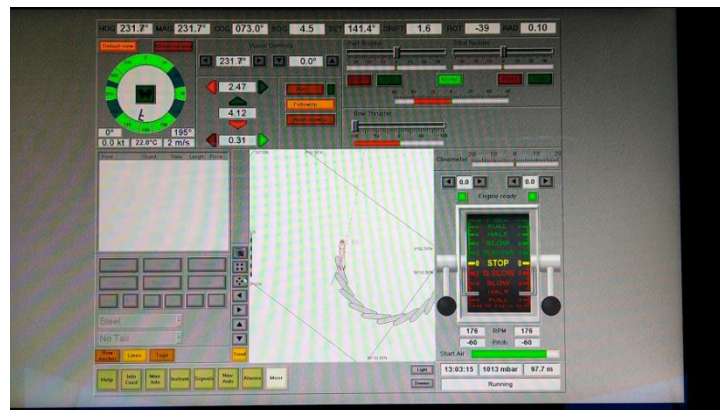


Рисунок 19 – Модель Ro-go passenger ferry 13. Положення ПП між міделем та кормою на ходові назад під час повороту праворуч



Рисунок 20 – Модель OSV 3 АН. Положення ПП в задній частині судна на ходові вперед під час обертання судна праворуч



Рисунок 21 – Модель OSV 3 АН. Положення ПП в задній частині судна на ходові вперед під час обертання судна ліворуч

Обидва двигуна назад 60 % (рис. 19). Обидва керма прямо. Швидкість судна на початку експерименту 4,74 вузла. НПП 100 % ліворуч. Отримали обертання судна праворуч. ПП розташований між міделем та кормою судна.

Обидва двигуни вперед 30 % (рис. 20), обидва керма прямо, НПП праворуч 100 %. Швидкість судна вперед 5,29 вузла. Отримали обертання судна праворуч з положенням ПП між міделем та кормою.

Обидва двигуни вперед 30 % (рис. 21), обидва керма прямо, НПП ліворуч 100 %. Швидкість судна вперед 5,31 вузла. Отримали обертання судна ліворуч з положенням ПП між міделем та кормою.

Висновки. Таким чином, можна зробити висновки, що:

1. Отримані змістовні моделі переміщення ПП у потрібну позицію на борту конвенційного судна.

2. При відсутності руху судна вперед – назад на двогвинтовому конвенційному суднові в носовим підрулюючим пристроєм можна переміщувати ПП в будь-яке положення на лінії діаметральної площини шляхом зміни комбінації трастерів та пер керма. Це надає дуже великі можливості судноводієві під час маневрування на обмеженій акваторії.

3. При русі вперед при перекладці керма ПП займає класичне положення – в носовій частині судна. При русі назад обертання судна можна викликати роботою носового підрулюючого пристрою, який працює в такому випадку в ролі керма. ПП в такому разі зміщується в кормову частину судна.

4. На швидкості до 5 вузлів є можливість пересувати ПП за різних комбінаціях трастерів та пер керма, але в декілька обмеженому варіанті. Основною ідеєю залишається переміщення ПП за допомогою узбічної сили на стороні від міделю, протилежній положенню ПП, яке нам бажано отримати.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Демин С. И. Управление судном / С. И. Демин, Е. И. Жуков и др. – М. : Транспорт, 1991. – 359 с.
2. Генри Г. Хойер. Управление судами при маневрировании / Генри Г. Хойер. – М. : Транспорт, 1992. – 101 с.
3. Павельев А. Д. Определение положения полюса поворота и его учет при маневрировании судна : дисс....к.т.н. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.disscat.com/content/opredelenie-polozeniya-polyusa-povorota-i-ego-uchet-pri-manevrirovanii-sudna-0>
4. Голиков В. В. Алгоритм определения положения полюса поворота морского судна / В. В. Голиков, С. Э. Мальцев. // Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2013. – № 1 (8). – С. 21–27.
5. Capt. Hugues Cauvier. The Pivot Point / The PILOT №295. October 2008. The official organ of the United Kingdom Maritime Pilot Association.
6. Andy G. Chase. Sailing Vessel Handling and Seamanship-The Moving Pivot Point/ The Northern Mariner / Le Marin du nord, IX, No. 3 (July 1999), 53–59.
7. Мальцев С. Э. Полюс поворота и его учет при маневрировании морского судна : монография / С. Э. Мальцев, О. Н. Товстокорый. – Херсон : Издательство ХГМА, 2016 – 124 с.

REFERENCES

1. Demin S. I. Upravlenie sudnom / S. I. Demin, E. I. Zhukov i dr. – M. : Transport, 1991. – 359 s.
2. Genri G. Khoyjer. Upravlenie sudami pri manevrirovanii / Genri G. Khoyjer. – M. : Transport, 1992. – 101 s.
3. Paveljev A. D. Opredelenie polozheniya polyusa povorota i ego ucheta pri manevrirovanii sudna : diss....k.t.n. [Elektronniy resurs]. – Rezhim dostupa:

<http://www.dissercat.com/content/opredelenie-polozeniya-polyusa-povorota-i-ego-uchet-pri-manevrirovanii-sudna-0>

4. Golikov V. V. Algoritm opredeleniya polozheniya polyusa povorota morskogo sudna / V. V. Golikov, S. Eh. Maljcev. // Naukoviy visnik Khersonskoy derzhavnoy morskoy akademii : naukoviy zhurnal. – Kherson : Vidavnistvo KhDMA, 2013. – № 1 (8). – S. 21–27.

5. Capt. Hugues Cauvier. The Pivot Point / The PILOT №295. October 2008. The official organ of the United Kingdom Maritime Pilot Association.

6. Andy G. Chase. Sailing Vessel Handling and Seamanship-The Moving Pivot Point/ The Northern Mariner / Le Marin du nord, IX, No. 3 (July 1999), 53–59.

7. Maljcev S. Eh. Polyus povorota i ego uchets pri manevrirovanii morskogo sudna : monografiya / S. Eh. Maljcev, O. N. Tovstokorihyj. – Kherson : Izdatelstvo KhGMA, 2016 – 124 s.

Товстокорый О. Н., Мойсеенко В. С. УПРАВЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЕМ ПОЛЮСА ПОВОРОТА НА ДВУХВИНТОВОМ КОНВЕНЦИОННОМ СУДНЕ

В работе предложены принципы управления положением полюса поворота (ПП) на двухвинтовом конвенционном судне с носовым подруливающим устройством в разных условиях маневрирования.

Положение ПП во время маневрирования играет очень большую роль в выполнении запланированного маневра и возможность управлять этим положением дает существенные преимущества для правильного и безопасного выполнения маневра.

Изменяя состав работающих трастеров, перекладку рулей, на судне, не имеющему хода относительно воды, можно переместить ПП в любое желаемое положение относительно центра тяжести вдоль диаметральной плоскости (от центра тяжести до бесконечности вперед или назад). При наличии движения судна картина несколько меняется.

Классическая ситуация, когда при движении вперед при перекладке руля ПП перемещается в носовую часть судна. Также при движении назад в роли руля можно использовать носовое подруливающее устройств. ПП в таком случае перемещается в кормовую часть судна.

На небольших скоростях можно изменять положение ПП, прикладывая боковую силу на стороне от миделя, противоположной желаемому положению ПП.

Ключевые слова: полюс поворота, управление положением, боковая сила.

Tovstokoryi O., Moiseienko V. MANAGING OF POSITION OF PIVOT POINT ONBOARD TWIN-SCREW CONVENTIONAL VESSEL

In article the principles of managing of position of pivot point (PP) onboard twin-screw conventional vessel with bow thruster are offered.

Position of pivot point during maneuvering is very important to fulfill maneuver expected and possibility to manage position of PP gives considerable advantages for correct and save fulfilling of maneuver.

Changing set of thrusters in operation and position of rudders on the vessel dead in the water, it's possible to shift position of PP in any desired position regarding centre of gravity along central line (from centre of gravity to infinity ahead and astern).

In case vessel has speed through the water picture is a little bit changing.

Classical situation is when on headway shifting the rudder to any angle we move PP to the bow. Also on sternway we can use bowthruster as rudder. PP in such case will move to the stern.

At slow speed we can change position of PP applying transversal force a the side regarding middle opposite to desired position of PP.

Keywords: pivot point, managing of position, transversal force.

© Товстокорый О. М., Мойсеенко В. С.

Статтю прийнято
до редакції 31.10.17

ПРОБЛЕМИ ВИЩОЇ ШКОЛИ

ФОРМУВАННЯ ПРЕДМЕТНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ ПРИ ВИВЧЕННІ ЗАГАЛЬНОІНЖЕНЕРНИХ ДИСЦИПЛІН

Знамеровська Н. П., к.пед.н., завідувач кафедри загальноінженерних дисциплін
Херсонської державної морської академії, e-mail: kaf_mech@kma.ks.ua;

Васильченко Г. Ю., к.пед.н., доцент кафедри загальноінженерних дисциплін
Херсонської державної морської академії, e-mail: kaf_mech@kma.ks.ua

У даній статті аналізується процес підготовки і створення оптимальних умов інтеграції дисциплін, що викладають викладачі кафедри загальноінженерної підготовки Херсонської державної морської академії у дисципліні професійного спрямування за спеціальностями: судноводіння, експлуатації суднових енергетичних установок та експлуатації суднового електрообладнання і засобів автоматики. У статті розглядаються шляхи впровадження тісних міжпредметних зв'язків між загально інженерними дисциплінами такими як теоретична механіка, нарисна геометрія та інженерна графіка, прикладна механіка, технічна механіка, теоретична та прикладна механіка та ін. Для успішної експлуатації складних механічних систем екіпаж судна повинен володіти ґрунтовними знаннями в галузі механіки та інженерної графіки.

Автори виокремлюють аспекти інтеграції загальноінженерних дисциплін з фаховими, описують компетентності, які формуються при вивченні загальноінженерних дисциплін та шляхи їх реалізації.

Наведено приклади організації лекційних і лабораторно-практичних занять із застосуванням міжпредметних зв'язків зі спецпредметами фахового спрямування. Проілюстровано створене викладачами лабораторне обладнання для досліджень з прикладної та технічної механіки, наведені конкретні приклади міжпредметних взаємозв'язків спеціальних дисциплін з теоретичною і прикладною механікою, нарисною геометрією та інженерною графікою і т.п.

Ключові слова: міжпредметні зв'язки, компетентнісний підхід, професійна підготовка.

Актуальність теми. Сучасна концепція модернізації морської освіти висуває необхідність компетентнісного підходу, який передбачає розвиток ключових компетенцій у студентів, необхідних для успішної професійної діяльності. Такий підхід до підготовки кадрів з вищою освітою висуває на перше місце не інформованість студента, а вміння застосовувати випускником знання, вміння та навички при вирішенні проблем в конкретній професійній діяльності – у судноводінні, судновій енергетиці та детально засвоювати, здобувати

Аналіз останніх публікацій. Аналіз досвіду освітніх систем багатьох зарубіжних країн засвідчив, що одним зі шляхів оновлення змісту освіти й освітніх технологій, узгодження їх із сучасними потребами, інтеграції до світового освітнього простору є орієнтація фахової підготовки на компетентнісний підхід та створення ефективних механізмів його запровадження. Таким чином, особливу значущість для професійного успіху набувають особистісні якості та компетентність фахівця. Вимоги до результату вищої освіти формуються категоріями «компетенції», «компетентність» [2].

Аналіз досліджень з даної проблеми засвідчив, що поняття професійної компетентності є складним. Так, О. Савченко, характеризуючи компетентнісну освіту, визначає її як особистісно-діяльнісну, результативну освіту, що зміщує акцент на здатності особи до практичної діяльності у певному контексті. Одним з базових понять компетентнісної освіти є компетентнісний підхід. Цей перехід від кваліфікаційної моделі фахівця до компетентнісної, тобто орієнтованої на конкретний результат, що і знайшло своє відображення у державних документах. Так, у листі Міністерства освіти і науки України від 31.07.2008 р. № 1/9-484 щодо нормативно-методичного забезпечення розроблення галузевих стандартів вищої школи зазначено, що в основі розробки стандартів нового покоління покладено компетентнісний підхід [1]. Тому, компетентнісний підхід у навчанні стає визначальним для підготовки фахівців, готових до виконання своїх професійних функцій і до праці в команді.

Метою статті є ознайомлення з практикою впровадження компетентнісного підходу у підготовку майбутніх суднових механіків, електромеханіків та судноводіїв під час їхнього навчання у Херсонській державній морській академії.

Виклад основного матеріалу. Реалізація компетентнісного підходу при викладанні дисциплін кафедри для фахівців морського та річкового транспорту враховує наступні основні умови: забезпечення неперервності формування компетентностей завдяки існуванню вертикальних та горизонтальних зв'язків між дисциплінами та елементами курсів впродовж усього періоду навчання та максимальна наближеність завдань і питань з дисциплін кафедри до практичної сфери компетентності роботи суднового механіка, електромеханіка та судноводія.

Перед Херсонською державною морською академією стоїть задача підготовки компетентних судноводіїв, суднових механіків та електромеханіків, розв'язання якої вимагає підвищення рівня підготовки спеціалістів в галузі фундаментальних та професійних знань, зокрема технічних.

Викладачі чітко уявляють роль і місце кожної навчальної дисципліни кафедри у формуванні компетентностей майбутніх фахівців, зокрема, при свідомому засвоєнні спеціальних професійних навчальних дисциплін.

Стосовно засобів реалізації компетентнісного підходу при вивченні навчальних дисциплін кафедри, на нашу думку, доцільним є моделювання виробничих (експлуатаційних) умов роботи машин та механізмів, технічного обслуговування і поточного ремонту суднового обладнання із створенням викладачами необхідного навчально-методичного забезпечення.

Для реалізації цього було зроблено наступне:

- внесено зміни до навчальних робочих програм з дисциплін відповідно до вимог IMO model course та принципів компетентнісного підходу у конкретних навчальних дисциплінах;
- внесені зміни до навчально-методичних комплексів дисциплін кафедри;
- продовжується робота зі складання завдань для практичних занять прикладного характеру за спеціальностями та проводиться апробація вже розроблених завдань.

Так, доцент кафедри Васильченко Г. Ю. та старший викладач Алексенко В. Л. почали розробку циклу навчальних посібників з усіх основних розділів прикладної та технічної механіки з компетентнісним підходом. Основні відмінності цих посібників від вже існуючих – це, насамперед, орієнтація на задачі професійної спрямованості або такі, що необхідні для засвоєння фахових дисциплін на старших курсах.

За допомогою посібника можна працювати над запропонованими розділами, як в аудиторії з викладачем, так і самостійно, а також дистанційно (за умови онлайн-консультацій). Матеріали кожного розділу впорядковані таким чином, що дозволяє враховувати різні форми навчання, що є дуже важливим, враховуючи специфіку даного морського навчального закладу, і, навіть, підготовленість курсантів (студентів). Отже, кожен розділ прикладної механіки опрацьовано та викладено за наступною схемою:

1. Теоретичний матеріал у звичному академічному викладанні, але з використанням прикладів суднових машин і механізмів (для денної форми навчання курсантів та студентів).
2. Методичні рекомендації до виконання лабораторних та розв'язання задач з даної теми з використанням прикладів суднових машин і механізмів (для самостійної роботи, виконання домашніх завдань, підготовки до контрольних робіт всіх форм навчання).
3. Тестові завдання (розраховані на перевірку рівня сформованих компетенцій за фахом чи предметних).
4. Тренувальні вправи (можуть бути використанні на практичних заняттях у вигляді робочих зошитів дисциплін).
5. Індивідуальні розрахункові завдання (варіанти для індивідуальної роботи).

6. Зразки виконання індивідуальних завдань (допомога курсантам та студентам у їх виконанні).

7. Застосування певної теми і прикладів задач у сфері морської практики та спец предметів.

З метою поглиблення вмінь практичного застосування набутих знань було переглянуто перелік лабораторних робіт для курсантів судноводійської спеціальності, які проводяться при вивченні нарисної геометрії та інженерної графіки і розроблено методичні рекомендації до їх проведення з використанням комп'ютерних програм.

На сьогодні продовжується робота зі створення нових лабораторних робіт з прикладної та технічної механіки, які сприятимуть кращому розумінню фундаментальних основ фахової діяльності майбутніх моряків;

Так викладачами Васильченко Г. Ю. та Алексенко В. Л. створена, обладнана і впроваджена в навчальний процес спеціалізована, компетентнісно спрямована навчальна лабораторія прикладної механіки.

Оснащення лабораторії виконане викладачами за такою структурою:

- лабораторні установки і пристрої для проведення конкретних експериментальних досліджень (для 9-ти лабораторних робіт);
- методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з прикладної механіки.

Враховуючи особливу значущість лабораторних занять при формуванні у курсантів необхідних компетентностей, викладачі приділяють особливу увагу становленню і розвитку матеріально-технічної бази лабораторії, самостійно створюють обладнання, що імітує механічні процеси, що відбуваються на судні при виконанні вантажно-розвантажувальних робіт, при роботі кранів, швартовно-якірних механізмів і т. п.

Для продовження становлення та удосконалення компетентнісного підходу при вивченні дисциплін кафедри продовжується розробка і виготовлення лабораторного обладнання для виконання лабораторних робіт з усіх напрямків навчальної роботи кафедри.

Ефективна організація самостійної роботи створює умови для підвищення рівнів навчальних досягнень курсантів, розвитку професійно-значимих якостей особистості, творчих здібностей, самостійності та активності, тим самим сприяючи становленню та розвитку професійної компетентності майбутнього морського фахівця.

Чим вище рівень самостійності пізнавальної діяльності курсанта у вузі, тим вища його здатність до подальшого професійного зростання, а відповідно й конкурентна спроможність його на ринку праці.

Впровадження мережевих технологій навчання є одним із способів підвищення результативності управління самостійною роботою курсантів як очної так і заочної форм навчання, що дозволяє оптимізувати процес вивчення фундаментальних дисциплін загалом дисциплін кафедри зокрема, створює сприятливі умови для здійснення всіх етапів пізнавальної діяльності.

Використовуючи НМКД на базі MOODLE у своїй педагогічній діяльності, викладач контролює час роботи курсантів над матеріалами курсу. Контролюючи результати роботи курсантів, викладач має змогу стимулювати неактивних учасників курсу, виявити слабкі місця кожного курсанта індивідуально, вчасно надати педагогічну підтримку тощо. Працюючи у системі, курсанти отримують всю необхідну методичну допомогу, мають можливість самостійно розраховувати власні сили та час для підготовки до занять. А викладач у той самий час може контролювати їх зусилля.

Створені словники з курсу «Матеріалознавство» та «Нарисна геометрія та інженерна графіка» допомагають курсантам повсякчас мати під рукою розшифровку всіх основних понять та термінів дисциплін та відповідними до них визначеннями.

До кожної теми курсів є у наявності електронний варіант лекційного матеріалу з розробками практичних і лабораторних занять.

Контроль над результатами самостійної роботи курсантів та рівнем сформованості інженерно-графічних компетенцій здійснюється завдяки розробленим тестовим завданням для курсантів по кожному тематичному блоку. Курсанти проходять тестування у зручний для них час та у зручній обстановці, навіть знаходячись на морській практиці. Тестовий редактор автоматично перевіряє та оцінює результати роботи курсантів. Результати виконання фіксуються.

Як показує досвід, використання дистанційного навчально-методичного комплексу в організації самостійної роботи курсантів під час вивчення дисциплін кафедри дає змогу:

- підвищувати рівень пізнавальної самостійності курсантів;
- формувати мотивацію процесу навчання;
- активізувати творчий потенціал курсантів, залучаючи курсантів до науково-дослідної роботи, яка тісно пов'язана з майбутньою професією;
- створити сучасні системи контролю за процесом формування відповідних компетентностей курсантів;
- упроваджувати інноваційні технології навчання;
- надавати вчасну консультативну допомогу курсантам та викладачам,
- формувати у курсантів та викладачів комунікативні вміння, культуру спілкування, готовності до дискусії, виробляти навички дослідної діяльності;
- навчати пошуку, обробки, збереження та передачі інформації за допомогою сучасних комп'ютерних технологій [4].

Кафедра загальноінженерної підготовки провела велику роботу з переходу від класичного викладання дисциплін до компетентнісного навчання. Для цього викладачі кафедри творчо переробили робочі програми, взявши за основу ІМО- моделі курсів та вимоги Кодексу Міжнародної конвенції з підготовки, дипломування моряків та несення вахти (ПДМНВ) і розробили навчально-методичні матеріали для реалізації компетентнісного навчання, а саме: запровадили систему контрольних-тестових завдань, рейтингову систему оцінки навчально-пізнавальної діяльності курсантів(студентів), що дозволяє здійснювати постійний контроль процесу якості їх підготовки, тексти лекцій (в тому числі і електронні), методичні рекомендації до виконання практичних та лабораторних занять; комплекти різнорівневих тестів.

Для формування інтересу до занять з дисциплін кафедри нами були розроблені лекції, які склалися з двох частин, об'єднаних в єдине ціле: з елементів професійних знань та матеріалу, що вивчається на занятті з дисциплін кафедри. Зосередження уваги курсантів (студентів) на практичному застосуванні набутих знань з предметів кафедри на судні з одночасною демонстрацією технічного пристрою, допоміжних механізмів або приладів, що розміщені на судні, відразу включає майже всі компоненти інтересу до знань: мотиваційний, інформаційний, емоційно-вольовий (психологічний), а також такий важливий компонент інтересу, як професійна самосвідомість і відчуття професійної необхідності. Теоретична механіка є обов'язковою фундаментальною загальнонауковою дисципліною фізико-математичного циклу для отримання освітнього рівня бакалавр з усіх напрямів підготовки фахівців з експлуатації морського транспорту. Її вивчення сприяє розширенню наукового світогляду, розвитку мислення, а знання теоретичної механіки необхідні майбутньому фахівцю для розуміння механічних явищ, з якими йому доведеться зустрічатися у своїй практичній діяльності. Крім того, теоретична механіка одночасно є базовою дисципліною для таких загальнонаукових та спеціальних дисциплін, як «Гідромеханіка», «Прикладна механіка (Опір матеріалів, Теорія машин, механізмів та деталі машин)», «Суднові допоміжні механізми і системи», «Двигуни внутрішнього згоряння», «Теорія та устрій судна» тощо.

Весь матеріал дисциплін умовно розділений на дві частини:

1. У першій частині наводяться завдання, які стосуються засвоєння основних положень чи теорем.

2. У другій частині отримані загальні знання з дисципліни потрібно застосувати для розв'язання задач, які мають фахову спрямованість.

Так, курсанти спеціальності «Судноводіння» у теоретичній механіці виконують задачу «Рух судна в області дії постійної течії», а курсанти спеціальності «Експлуатація суднових енергетичних установок» – задачу на «Знаходження прискорень точок тіла, що здійснюють плоский рух». Спеціальні питання, що розглядаються у теоретичній механіці пов'язані з судном – це:

- остійність судна; статична остійність судна; динамічна остійність судна; коливання судна як фізичного маятника;
- нелінійні коливання; нелінійні вільні коливання; нелінійні вимушені коливання; хитавиця судна.

Організація навчального процесу здійснювалась з урахуванням того, що знання теоретичної механіки потрібні майбутньому фахівцю для розуміння механічних явищ, з якими йому доведеться зустрічатися у своїй практичній діяльності, зокрема, при самостійному вирішенні проблем, які можуть виникнути при експлуатації механізмів суден, при завантаженні чи роботі з палубними механізмами. Отже метою дисципліни «Теоретична механіка» відповідно до державної програми морських навчальних закладів та ІМО-моделі курсу є:

- формування у курсантів сучасного наукового уявлення про навколишній світ природи, його закономірності;
- формування у курсантів знань певних законів природи та умінь їх використовувати, тобто формування у курсантів компетентностей, які є базовими для сприйняття та формування професійних компетентностей;
- формування знань, умінь та навичок, необхідних для: розуміння механічних явищ у практичній діяльності, складання розрахункових схем механізмів і машин, розвиток навичок, самостійного розв'язання різноманітних технічних задач, розуміння кількісних і якісних закономірностей, що спостерігаються у природі.

Самим очевидним підходом до реалізації цих вимог вважаємо використання при теоретичному викладенні та практичному використанні основних положень теоретичної механіки прикладів пов'язаних з майбутньою професійною діяльністю. Також ми вважаємо за доцільне формування вмінь під час виконання лабораторних робіт, які імітують певні ситуації на судні, що відповідає вимогам Кодексу Міжнародної конвенції з підготовки, дипломування моряків та несення вахти (ПДМНВ) при перевірці компетентності здобувача диплома.

Розглянемо одну з лабораторних робіт, тема якої тісно пов'язана з роботою вантажопідйомного пристрою судна на тему «Визначення реакцій опор вантажопідйомного пристрою». Мета лабораторної роботи – навчитися визначати реакції в опорах і натяг тросів при різних варіантах розташування опор і вантажу на судні. До основних теоретичних відомостей відноситься знайомство курсантів з обладнанням машинного відділення та розрахунок за індивідуальним варіантом величину й напрямки сил при використанні тельфера. Результати розрахунків пропонується експериментально перевірити на лабораторній установці, яка розроблена доцентом кафедри Васильченко Г. Ю.

Розроблений лабораторний практикум з теоретичної механіки тісно пов'язаний з формуванням компетентностей фахівців морського транспорту, показав можливості їх ефективного формування шляхом організації вивчення інженерних дисциплін.

Для успішної експлуатації таких складних механічних систем екіпаж судна повинен володіти ґрунтовними знаннями в галузі механіки. Після основного курсу «Теоретичної механіки», курсанти судноводії та електромеханіки вивчають дисципліни «Прикладна механіка», яка включає в себе опір матеріалів і теорію машин, механізмів та деталей машин, а суднові механіки «Технічну і прикладну механіку», які розглядають питання міцності корпусу судна, головних та допоміжних суднових механізмів та їх деталей.

Таким чином, при засвоєнні положень прикладної і технічної механіки, у курсантів (студентів) морської академії формуються відповідні інженерні компетенції, які допоможуть їм легше сприйняти матеріал спеціальних фахових дисциплін, таких як теорія управління судном, остійність, сили, що діють на судно у різних погодних умовах і т.п.

До програми нарисної геометрії та інженерної графіки включені компетенції, які формують професійні навички майбутнього морського фахівця. Інженерна освіта передбачає серйозну графічну підготовку майбутніх фахівців, якість якої покликана забезпечити такі загальнопрофесійні дисципліни, як нарисна геометрія, інженерна та комп'ютерна графіка, прикладна та теоретична механіка, які сприяють розвитку просторової уяви, творчого і конструктивного мислення фахівця.

Професійна графічна компетентність інженера передбачає:

- рівень усвідомленого застосування технічних знань, умінь і навичок, що спирається на знання функціональних і конструктивних особливостей технічних об'єктів; досвід графічної професійно орієнтованої діяльності;
- вільну орієнтацію в середовищі графічних інформаційних технологій;
- ставлення до успішної професійної діяльності, її значенням і певним інженерним завданням.

Фахівець, що володіє великим досвідом логічних знань і навичок, не впорається з конкретним завданням, якщо відсутні конкретні предметні знання та вміння за спеціальними, в тому числі і графічними дисциплінами, якими він повинен оволодіти в процесі навчання.

Наведемо приклади використання міжпредметних зв'язків при вивченні нарисної геометрії та інженерної графіки. Так, вивчаючи площини проекцій у курсі нарисної геометрії та інженерної графіки ми розглядаємо і площини, що перетинають судно. При вивченні теми «Зображення – види, розрізи, перерізи» звертаємо увагу на види зображень судна та пов'язуємо зображення з його будовою. Вивчаючи теми «Кресленики складальні і загального виду. Види передач. Зубчасті передачі» розглядаємо всі ці питання на прикладах тісно пов'язаних з судовими машинами та механізмами: валопроводом, перерізи судна розглядаємо при вивченні теми «Зображення – види, розрізи, перерізи», координати географічні за допомогою координатного методу Г. Монжа. Геометричні побудови тісно пов'язані з такими темами: поділ істинного горизонта, кругова і румбова системи ділення істинного горизонта (ділення круга на n -частин) і т.п.

Формування графічних знань та умінь сучасного фахівця інженерного профілю має бути забезпечено системою графічної підготовки, яка спрямована на становлення професійної компетентності майбутнього інженера-механіка.

Так, у навчальну програму дисципліни «Нарисна геометрія та інженерна графіка» для спеціальностей «Транспорт» включені компетенції загальні і особливі: стратегічні та часткові.

Навчання – складний, багатоступінчатий процес, який передбачає передачу навчальної інформації, знань і умінь від викладача чи інших джерел, її сприйняття і переробку курсантами (студентами). Навчання можна вважати ідеальним в інформаційному сенсі, коли вся передана інформація засвоюється курсантами (студентами). Однак таке навчання реалізувати неможливо [3]. Втрати інформації в навчанні виникають з різних причин. Починаючи процес навчання, викладач повинен знати рівень підготовленості студентів з елементарної геометрії і креслення. Протягом семестру викладачеві необхідна інформація про рівень знань, умінь і навичок кожного курсанта (студента) для проведення занять та організації індивідуальної роботи зі студентами. На першому занятті першого семестру для визначення початкового рівня графічної компетентності студентів, проводилась письмова робота та анкетування. Письмова робота, містила три завдання, виконання яких було розраховано на дві академічні години. Перше завдання дозволяло визначити рівень розвитку просторового мислення студентів, їх знання з креслення і навички креслярської роботи. Друге завдання дозволяло уточнити уявлення про

розвиненість просторового мислення курсанта. Третє завдання орієнтовано на виявлення знань і розуміння курсантами основних положень геометрії.

Аналіз проведеного вхідного контролю показав, що приблизно чверть курсантів (студентів) підготовлені до вивчення нарисної геометрії інженерної графіки. Результати проведеної діагностики дозволили диференціювати студентів за рівнем підготовки до вивчення нарисної геометрії та інженерної графіки, а вже у процесі навчання графічних дисциплін забезпечити вирівнювання знань курсантів (студентів) за рахунок використання графічних завдань різного рівня складності. Поточний контроль є одним з основних видів перевірки знань, умінь і навичок курсантів і проводиться на кожному занятті. Він займає невелику частину навчального заняття (5–10 хв.), щоб не призводити до поспіху, при закріпленні нової інформації отриманої на лекції. Щотижневий поточний контроль змушує студента регулярно готуватися до занять, а, отже, систематично закріплювати пройдений матеріал. Даний контроль проводиться у вигляді індивідуально опитування або тестування всієї групи. При проведенні тестування застосовувалось два види завдань: завдання множинного вибору, коли до кожного питання завдання пропонується кілька відповідей на вибір, а студент повинен знайти серед них правильну; завдання перехресного вибору, або завдання на зіставлення, коли необхідно встановити відповідності між кількома запитаннями та кількома відповідями, записаними в графічній формі у вигляді окремих креслеників. Цей метод застосовується в органічній єдності з усною, письмовою та практичною перевіркою знань, умінь і навичок. Періодичний (рубіжний) контроль дозволив визначити якість вивчення курсантом навчального матеріалу з модулів предмета. Для чого використовувались домашні роботи, над якими студент працює декілька днів. Виконання їх вимагає серйозної самостійної роботи з підручником та іншими довідковими матеріалами. Прийом і відпрацювання таких завдань супроводжується перевіркою знань теоретичних основ студентом по виконаній роботі та розв'язком подібних завдань. При наявності помилок у роботі, задаються додаткові запитання, які допомагають знайти цю помилку самостійно. Після перевірки і оцінки робіт проводиться аналіз результатів їх виконання, виявляються типові помилки та причини, що їх викликали. При великій кількості однотипних помилок, які свідчать про недостатність засвоєння багатьма студентами того чи іншого розділу (теми), на наступному занятті проводиться розбір матеріалу, що викликав ускладнення при засвоєнні.

Періодичний контроль дозволяє перевірити міцність засвоєння отриманих знань і набутих умінь, так як він проводиться через тривалий період часу за кількома розділами навчального матеріалу. Підсумковий контроль проводиться в кінці семестру і визначає рівень і якість знань, умінь і навичок, отриманих студентами в процесі вивчення нарисної геометрії та інженерної графіки протягом семестру. Виконується у вигляді письмової контрольної роботи і є складовою частиною заліку, що здається студентами-судноводіями в кінці семестру, а студенти-механіки складають іспит у комп'ютерному тестовому виді. Друга частина дисципліни починається з визначення рівня графічних компетентностей курсантів, що дозволяє провести зрівняльний аналіз рівня компетентності кожного курсанта. Завершується курс підсумковою контрольною роботою та проведенням заліку чи іспиту. За підсумками цих робіт визначаються конкретні результати навчання, ступінь оволодіння студентами системою знань, умінь і навичок, отриманих в процесі вивчення інженерної графіки. Протягом усього курсу вивчення нарисної геометрії та інженерної графіки проводиться статистична обробка результатів контролю рівня знань студентів. Аналіз статистичних даних дозволяє визначити ступінь засвоєння окремої теми і простежити формування графічної компетентності кожного студента і групи в цілому. Надалі компетентність студентів визначається під час заліку чи іспиту, що дозволяє оцінити рівень і якість графічної підготовки студентів. Залік і іспит являють собою тестування студентів, які закінчили вивчення дисципліни. Підсумкова оцінка складається з балів поточного і семестрового контролю.

Визначена структура графічних компетенцій – це загальнокультурні графічні компетенції, професійні графічні компетенції, організаційні нормативні, аналітичні, графічні, проектні, інформаційні, а також рівні сформованості графічних компетенцій: достатній, стандартний, творчий

Розроблено інструментарій самостійної роботи – це робочий зошит для самостійної підготовки до занять, розв'язку задач на лабораторному чи практичному занятті та для ведення конспекту, електронні лекції, тести, графічний редактор Компас 3D-V.

Діагностичні засоби визначення рівнів сформованості відповідних компетентностей курсантів:

1. Графічні роботи, їх оформлення згідно ДСТУ та СКД, своєчасний захист.
2. Уміння у нестандартних умовах використовувати стандартний розв'язок.
3. Знання типових алгоритмів розв'язку задач та їх використання.
4. Уміння використовувати графічні редактори для виконання креслень.

Для формування графічних компетентностей організовано самостійну роботу курсантів. За видами самостійної роботи курсантів (аудиторна та позааудиторна), вона має на меті набуття нових знань, уміння самостійно набувати і поглиблювати знання; читання та конспектування електронного підручника, додаткової літератури, роботу з довідковою літературою, з нормативними документами СКД.

Працювати над закріпленням і систематизацією знань розв'язувати завдання в робочому зошиті з нарисної геометрії та інженерної графіки, написання рефератів, повідомлень на конференціях.

При виконанні завдань самостійної роботи відбувається формування практичних умінь: розв'язування варіативних задач, виконання креслеників, схем, експериментально-дослідних робіт. Вибір критеріїв оцінки якості самостійної роботи студентів проводиться на початку кожного семестру. Для цього студенти забезпечуються графіком виконання самостійної роботи із зазначенням термінів проведення контрольних заходів і оцінювання кожного виду робіт у балах. Здійснення систематичного контролю мотивує студента на більш якісне опрацювання теоретичного матеріалу та набуття практичних навичок вирішення графічних завдань.

Рівні сформованості інженерно-графічних компетентностей курсантів визначаються за розробленими критеріями оцінювання якості навчальної роботи курсантів.

До професійних складових інженерно-графічної компетенції слід віднести:

– знання основних елементів нарисної геометрії та понять інженерної графіки, способів розв'язування завдань з просторовими формами, основних правил і способів побудови графічних зображень, державних стандартів для виконання креслеників, програмних засобів комп'ютерної графіки;

– уміння користуватися стандартами і довідковою літературою, самостійно виконувати кресленики деталей в олівці і за допомогою комп'ютерної графіки, використовувати теоретичний матеріал для вирішення конкретної графічної роботи, користуватися спеціальними вимірювальними і креслярськими інструментами, використовувати комп'ютерні технології при підготовці до заняття, самоорганізовувати учбовий процес.

Висновки. Таким чином, впровадження компетентнісного підходу в навчальний процес на кафедрі загальноінженерної підготовки у викладення нарисної геометрії та інженерної графіки, матеріалознавства, прикладної механіки (опір матеріалів, теорія машин, механізмів та деталі машин) та теоретичної механіки відбувається згідно плану, за яким кафедра працює над впровадженням. На даному етапі викладачі кафедри завершують процес підготовки дидактичних матеріалів для експериментальної роботи. Навчально-методичні матеріали створені на кафедрі з компетентнісним підходом: електронні лекції з усіх курсів, що викладаються на кафедрі, лабораторні та практичні роботи з урахуванням напрямків професійної підготовки, тестові екзаменаційні завдання та залікові тести для виявлення відповідних компетентностей курсантів (студентів) і викладені на сайт академії,

сприяють активізації пізнавальної діяльності курсантів (студентів), так як спрямовують їх на засвоєння знань і вмінь, які мають прикладне значення для формування відповідних фахових компетентностей у подальшому навчанні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бедь В. Компетентнісний підхід в процесі модернізації ВНЗ / В. Бедь, М. Артемова // Освіта регіону: Політологія. Психологія. Комунікації : Український науковий журнал. – № 5. – 2011. – С. 43.
2. Драч І. І. Аналіз базових категорій компетентнісного підходу та їх співвідношення / І. І. Драч // Теорія та методика управління освітою [Електронний ресурс]. – К. : ДВНЗ «Університет менеджменту освіти» НАПН України. – № 10. – 2013. – Режим доступу : <http://umo.edu.ua/katalog/692-elektronne-naukove-fahove-vydannja-qteorija-ta-metodyka-upravlinnja-osvitojuq-vypusk-10-2013>.
3. Компетентнісний підхід у сучасній освіті: світовий досвід та українські перспективи [текст] // Бібліотека з освітньої політики / під заг. ред. О. В. Овчарука. – К. : «К.І.С.», 2004. – 112 с.
4. Кремень В. Г. Нові вимоги до якісної освіти / В. Г. Кремень // Освіта України. – 2006. – № 45–46. – С. 6–7.
5. Хуторской А. Ключевые компетенции: Технология конструирования / А. Хуторской // Народное образование. – 2003. – № 5.

REFERENCES

1. Bedj V. Kompetentnisnijj pidkhdid v procesi modernizacii VNZ / V. Bedj, M. Artemova // Osvita regionu: Politologiya. Psikhologiya. Komunikacii : Ukraïnskijj naukovijj zhurnal. – № 5. – 2011. – S. 43.
2. Drach I. I. Analiz bazovikh kategorijj kompetentnisnogo pidkhdodu ta ikh spivvidnoshennja / I. I. Drach // Teoriya ta metodika upravlinnja osvityu [Elektronnijj resurs]. – K. : DVNZ «Universitet menedzhmentu osviti» NAPN Ukraïni. – № 10. – 2013. – Rezhim dostupu : <http://umo.edu.ua/katalog/692-elektronne-naukove-fahove-vydannja-qteorija-ta-metodyka-upravlinnja-osvitojuq-vypusk-10-2013>.
3. Kompetentnisnijj pidkhdid u suchasnijj osviti: svitovijj dosvid ta Ukraïnskijj perspektivi [tekst] // Biblioteka z osvithnoï politiki / pid zag. red. O. V. Ovcharuka. – K. : «K.I.S.», 2004. – 112 s.
4. Kremenj V. G. Novi vimogi do yakisnoï osviti / V. G. Kremenj // Osvita Ukraïni. – 2006. – № 45–46. – S. 6–7.
5. Khutorskoyj A. Klyuchevihe kompetencii: Tekhnologiya konstruirovaniya / A. Khutorskoyj // Narodnoe obrazovanie. – 2003. – № 5.

Знамеровская Н. П., Васильченко Г. Ю. ФОРМИРОВАНИЕ ПРЕДМЕТНЫХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ОБЩЕИНЖЕНЕРНЫХ ДИСЦИПЛИН

В статье описываются оптимальные условия интеграции дисциплин, которые преподаются на кафедре общинженерной подготовки Херсонской государственной морской академии в дисциплины профессионального направления по специальностям: судовождение, эксплуатации судовых энергетических установок и эксплуатации судового электрооборудования и средств автоматики.

Для успешной эксплуатации сложных механических систем экипаж судна должен обладать глубокими знаниями в области механики и инженерной графики.

Авторы выделяют аспекты интеграции общинженерных дисциплин с профессиональными, которые изучаются на последующих курсах. Описаны компетентности, которые формируются при изучении общинженерных дисциплин и пути их реализации в учебном процессе.

Приведены наглядные примеры организации лекционных и лабораторно-практических занятий с применением межпредметных связей со спецпредметами профессионального направления. Показано созданное преподавателями лабораторное оборудование для исследований по теоретической, прикладной и технической механике, приведены конкретные примеры межпредметных взаимосвязей специальных дисциплин с теоретической и прикладной механиками, начертательной геометрией и инженерной графикой и т.п.

Ключевые слова: межпредметные связи, компетентностный подход, профессиональная подготовка.

Znamerovskaya N. P., Vasiljchenko G. Yu. FORMATION OF SUBJECT COMPETENCIES IN THE STUDY OF GENERAL ENGINEERING DISCIPLINES

The represented article is directed on creation of optimum integration conditions of disciplines that teachers of department of General Engineering Training of the Kherson State Maritime Academy put in disciplines of professional directions by specialties: navigation, operation of ship power plants and operation of ship electric and automatic equipment.

The ways of implementation of close intersubjective communications between general engineering disciplines such as theoretical mechanics, descriptive geometry and engineering graphics, applied mechanics, technical mechanics, theoretical and applied mechanics were considered in the article.

The vessel crew should have knowledge in branch of mechanics for successful operation of difficult mechanical systems.

Authors mark out aspects of integration of general engineering disciplines with professional which are studied on the next courses. The competences that are formed during study of general engineering disciplines that are thought at department and ways of their realization were described in the article.

Examples of the organization of lectures and laboratory works using intersubjective communications with special subject of the professional direction are given. The laboratory equipment created by teachers for researches of applied and technical mechanics was shown and specific examples of intersubjective communications of special disciplines with theoretical and applied mechanics, descriptive geometry and an engineering graphics were given.

Keywords: interdisciplinary connections, competence approach, professional training.

© Знамеровська Н. П., Васильченко Г. Ю.

Статтю прийнято
до редакції 28.08.17

***РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОХОРОНА
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА***

СНИЖЕНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВА И ИНТЕНСИВНОСТИ РАЗВИТИЯ «ПАРНИКОВОГО» ЭФФЕКТА – СТРАТЕГИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА СОВРЕМЕННОГО СУДОХОДСТВА

Жмур В. Н., старший преподаватель кафедры судовождения и электронных навигоационных систем Херсонской государственной морской академии, e-mail: viz.post@ukr.net;

Леонов В. Е., д.т.н., профессор кафедры управления судном Херсонской государственной морской академии, e-mail: leonov_v_e@i.ua

План управления энергоэффективностью судна (ПУЭС) с 1 января 2013 года является обязательным для судов с валовой вместимостью свыше 400 тонн. Этот план был разработан в соответствии с ИМО Руководством (Резолюция МЕРС.213(63)). Целью ПУЭС является оценка и контроль эффективности использования судов и энергоресурсов. В нем признается необходимость оказания помощи компании и отрасли в управлении экологическими показателями судов и, что эта эффективность эксплуатации внесет неоценимый вклад в снижение мировых выбросов углерода. Новизна полученных результатов заключается в сценарном подходе к разработке алгоритма выбора стратегии принятия решений, гарантирующей минимальную разность между гарантированной оценкой (конструктивная энергоэффективность) и гарантированной стратегией (операционная энергоэффективность), путем изменения составляющих сложного движения судна в зависимости от интенсивности воздействия природных неопределенных факторов, взаимосвязи между показателем операционной энергоэффективности работы судна и величиной расхода топлива энергетической установкой.

Экономический стимул для судоходной отрасли заключается в инвестировании в более топливосберегающие суда и технологии, а также использовать их в более энергоэффективный способ.

Ключевые слова: план управления энергоэффективностью, EEDI, EEOI, коэффициент выбросов, конструктивный коэффициент энергоэффективности.

Вступление. В условиях сложившегося функционирования технических систем экономические преобладают, являясь значимыми и первоочередными в ущерб экологическим проблемам современного общества. В настоящей статье изложены принципы решения экономических и экологических проблем на примере морского транспорта. В Меморандуме климатического саммита (Париж, 2015 г.) морской транспорт не включен, что по сути освобождает его от последствий, приводящих к «парниковому» эффекту. В то же время вклад в «парниковый» эффект морского транспорта составляет 15 % и имеет тенденцию к росту.

И, вот, первый шаг уже сделан – это План управления энергоэффективностью судна (ПУЭС, Ship Energy Efficiency Management plan – SEEMP) [1–3].

Требования к SEEMP регламентированы следующими документами:

- Правилем 22 Приложения VI МАРПОЛ;
- Резолюцией МЕРС.203(62);
- Резолюцией МЕРС.212(63);
- Резолюцией МЕРС.213(63);
- Резолюцией МЕРС.214(63);
- Резолюцией МЕРС.231(65);
- Резолюцией МЕРС.282(70) – вступает в силу 1 марта 2018 г. [4–10].

Анализ Резолюций по энергоэффективности судов. Комитет по защите морской среды (МЕРС) 65 (май, 2013) рассмотрел предложение США о том, чтобы повысить энергоэффективность международного судоходства путем поэтапного подхода.

Комитет по защите морской среды Международной морской организации резолюцией МЕРС.282(70) от 28.10.2016 принял Руководство 2016 года по разработке плана управления энергоэффективностью судна (ПУЭС). В связи с принятием этого Руководства отменено Руководство 2012 года, принятое резолюцией МЕРС.213(63). Основное отличие нового Руководства – учёт требований резолюции МЕРС.278(70) от

28.10.2016 по обеспечению ежегодной отчётности судов валовой вместимостью 5000 и более о расходе топлива, пройденном расстоянии и времени в пути. Резолюция МЕРС.278(70) от 28.10.2016 должна вступить в действие 01.03.2018, но, как отмечено в резолюции МЕРС.282(70), заблаговременное изменение Руководства связано с необходимостью обеспечения «единообразного и эффективного осуществления правил, а также предоставления отрасли достаточного времени для подготовки» [5–11].

Целью данной статьи является исследование значения индекса энергоэффективности ЕЕОІ, снижение расхода топлива для его уменьшения при плавании в различных погодных условиях.

Основная часть. Согласно Руководству 2016 года ПУЭС должны иметь две части: часть I «План управления, направленный на повышение энергоэффективности» (то, что требовалось Руководством 2012 года) и дополнительно часть II «План сбора данных по расходу топлива» со следующей примерной формой:

- сведения о судне;
- форма учета изменений, вносимых в План сбора данных по расходу судового топлива;
- судовые двигатели, другие потребители судового топлива и типы используемого судового топлива;
- коэффициент выбросов (CF – безразмерный коэффициент преобразования расхода судового топлива в выбросы CO_2 , указанный в Руководстве 2014 года по методу вычисления фактического конструктивного коэффициента энергоэффективности (ККЭЭ) для новых судов (резолюция МЕРС.245(66) с поправками). Общий годовой объём выбросов CO_2 рассчитывается путём умножения годового расхода судового топлива на CF для данного типа топлива).

Тип судового топлива	C_F , т CO_2 /т топлива
Дизельное/газойль (например, ИСО 8217, марки от DMX до DMB)	3,206
Легкое жидкое топливо (например, ИСО 8217, марки от RMA до RMD)	3,151
Тяжелое жидкое топливо (например, ИСО 8217, марки от RME до RMK)	3,114
Сжиженный нефтяной газ (пропан)	3,000
Сжиженный нефтяной газ (бутан)	3,030
Сжиженный природный газ	2,750
Метанол	1,375
Этанол	1,913
Прочее (.....)	

Рисунок 1 – Таблица коэффициентов преобразования расхода топлива в выбросы CO_2

Для сбора данных о годовом расходе судового топлива рекомендованы следующие методы:

1. Метод на основе накладных на поставку бункерного топлива.
2. Метод на основе использования расходомеров.
3. Метод на основе мониторинга количества бункерного судового топлива в танках, имеющих на борту.

Если используются виды судового топлива, которые не относятся ни к одной из категорий, указанных в Руководстве 2014 года по методу вычисления фактического ККЭЭ для новых судов (резолюция МЕРС.245(66)) с поправками и не имеют установленного коэффициента CF (например, некоторые виды «гибридного судового топлива»), то

коэффициент CF для соответствующего продукта должен предоставить поставщик судового топлива, обосновав его документально.

Пройденное расстояние должно регистрироваться в журнале в соответствии с правилом V/28.1 Конвенции СОЛАС. При этом учитывается только расстояние, пройденное при движении судном самостоятельно. Время в пути должно представлять собой суммарную продолжительность движения судна своим ходом. План сбора данных должен содержать меры контроля качества данных, которые должны быть интегрированы в действующую на судне систему управления безопасностью. Также в План можно включить процедуры: идентификации пробелов в данных и их устранения; устранения пробелов в данных в случае отсутствия данных мониторинга, например, вследствие неисправности расходомера. Собранные данные должны предоставляться в стандартизированном формате:

1 – в соответствии с Системой опознавательных номеров судов ММО, принятой резолюцией А.1078(28);

2 – как определено в правиле 2 Приложения VI к Конвенции МАРПОЛ или в ином месте (указать);

3 – валовая вместимость должна рассчитываться в соответствии с Международной конвенцией по обмеру судов 1969 года;

4 – NT должна рассчитываться в соответствии с Международной конвенцией по обмеру судов 1969 года. Если это не применимо, указывается «н/п»;

5 – DWT означает разницу в тоннах между водоизмещением судна в воде с относительной плотностью 1025 кг/м^3 при осадке по летнюю грузовую марку и при весе судна порожнем. Осадка по летнюю грузовую марку должна пониматься как максимальная летняя осадка, подтвержденная в буклете об остойчивости, который одобрен Администрацией или признанной ею организацией.

6 – ККЭЭ должен рассчитываться в соответствии с Руководством 2014 года по методу вычисления фактического ККЭЭ для новых судов с поправками, принятым резолюцией МЕРС.245(66). Если это не применимо, указывается «н/п»;

7 – ледовый класс должен быть обозначен в соответствии с определением, приведенным в Международном кодексе для судов, эксплуатирующихся в полярных водах, принятом резолюциями МЕРС.264(68) и МСC.385(94). Если это не применимо, указывается «н/п»;

8 – приводится мощность двигателей, если она превышает 130 кВт. Номинальная мощность означает максимальную длительную мощность, указанную в паспортной табличке двигателя;

9 – один из трёх вышеуказанных методов.

В Руководстве 2016 года указано, что часть I ПУЭС может быть элементом судовой системы управления безопасностью, но, если в судоходной компании действует система экологического менеджмента, соответствующая стандарту ИСО 14001, то мониторинг эксплуатационной экологической эффективности может быть неотъемлемой частью системы экологического менеджмента.

Проектный индекс энергетической эффективности для новых судов $EEDI$ (или конструктивный коэффициент энергетической эффективности) и эксплуатационный критерий энергетической эффективности судна $EEOI$ имеют одинаковый физический смысл – отношение количества произведенного парникового газа CO_2 к величине транспортной работы судна за определенный период времени (рейс, год и т.д.) и различаются лишь способом подсчета составляющих:

$$EEDI = \frac{(\text{МТЭР}_{\text{пр}} \times CF)}{A_{\text{пр}}},$$

$$EEOI = \frac{(\text{МТЭР}_{\text{ф}} \times CF)}{A_{\text{ф}}},$$

где $MTЭР_{пр}$; $MTЭР_{ф}$ – проектное и действительное (фактическое) потребление топливно-энергетических ресурсов всеми судовыми потребителями энергии, кг; $A_{пр}$; $A_{ф}$ – проектная и действительная (фактическая) произведенная работа судна, т·км (за рейс, год или другой расчётный период); CF – безразмерный конверсионный фактор приведения расхода топлива к выбросам CO_2 , кг CO_2 /кг топлива.

Судовой план управления энергоэффективностью судна (*SEEMP*) разрабатывается компанией для каждого судна с использованием эксплуатационного (операционного) коэффициента энергетической эффективности (*EEOI*) в соответствии с рекомендациями *MEPC.1/Circ.684* от 17.08.2009 года и Резолюцией *MEPC 203*, принятой 15.07.2011 года. При этом каких-либо ограничений или технологических требований не существует, могут быть использованы и иные показатели.

Для примера покажем расчет EEOI m/v «BBC Steinhoeft» HLFT voy. 1031–027 Houston – Maracaibo: груз 2884,7 мт; расстояние 1948 миль, израсходовано тяжелого топлива HFO – 95500 кг, дизельного MGO – 12800 кг; средняя скорость – 12,48 узла; море – 5–6 баллов.

[illegible]

Рисунок 2 – Пример расчет ЕОІ m/v «BBC Steinhoeft»

В качестве примера приводим методы повышения энергоэффективности. К таким методам относятся:

1. Планирование рейса. Оптимальный маршрут и точное его выполнение способствует повышению энергоэффективности.
2. Погодное планирование. На отдельных маршрутах затраты на преодоление плохих условий плавания могут быть выше, чем затраты на преодоление лишнего пути с целью избежать эти плохие условия.
3. Временное планирование. Коммуникация со следующим портом даёт возможность раннего предупреждения о доступности причала и, как следствие, возможность планирования оптимальной скорости судна.
4. Оптимизация скорости судна. Один из наиболее действенных методов уменьшения расхода топлива и повышения энергоэффективности.
5. Оптимизация развиваемой мощности главного двигателя.

6. Оптимальное управление судном. Включает в себя использование оптимального дифферента, принятие оптимального количества балласта, оптимизация набегающего потока воды на судовой винт и оптимизация авторулевого.

7. Обслуживание корпуса.

8. Оптимизация работы судовой энергетической установки. Включает в себя систематическое уменьшение механических потерь и потерь теплоты.

9. Обслуживание судовой энергетической установки. Использование системы контроля износа может быть полезным инструментом для поддержания высокой эффективности судовой энергетической установки.

10. Утилизация теплоты. Современные системы могут использовать тепло выхлопных газов при производстве электричества или дополнительным воздействием на валопровод.

11. Улучшение управления судами. Лучшая утилизация мощностей судов компании может улучшить их энергоэффективность. К, примеру, минимизация балластных переходов.

12. Оптимизация грузовых операций.

13. Управление электроэнергией. Пересмотр потребления электроэнергии может привести к оптимизации управления электроэнергией.

14. Использование альтернативных видов топлива.

В заключение хотелось бы отметить, что при разработке ПУЭС необходимо использовать инновационно-технические решения в области ресурсосберегающих технологий, направленных на повышение технико-экономических и эксплуатационных показателей рейса. Ведь целью ПУЭС является разработка рекомендаций направленных на повышение энергетической эффективности морских перевозок при безусловном выполнении требований по защите окружающей среды. В свою очередь эффективность ПУЭС зависит от использования накопленного научного и практического опыта в части экономии судового топлива, планирования, уменьшения эмиссии вредных токсичных компонентов с отработанными газами СЭУ.

Выводы

1. Проведен подробный анализ плана управления энергетической эффективностью судна, дающий нам возможность утверждать, что он является регулятором эксплуатационной экологической эффективности.

2. Произведен практический расчет EEOI m/v «BBC Steinhoeft» при переходе Houston – Maracaibo, что является доказательством влияния исходного судового топлива на эмиссию диоксида углерода – компонента «парниковых» газов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горб С. И. Новая отчетность по расходу топлива судами // Работник моря. – 2017. – № 16 (128). – С. 4.

2. Современные информационные технологии обеспечения безопасности судоходства и их комплексное использование : монография / под ред. В. Е. Леонова. – Херсон : ХГМА 2014. – 452 с.

3. Обеспечение безопасности плавания судов и предотвращение загрязнения окружающей среды : монография / под ред. В. И. Дмитриева, В. Е. Леонова. – Херсон, 2012. – 399 с.

4. Правила предотвращения загрязнения воздушной среды с судов : электронный текст документа подготовлен ЗАО «Кодекс», сверен по МАРПОЛ. Книга III, пересмотренное Приложение VI к МАРПОЛ. – М. : издание ЗАО «ЦНИИМФ», 2012.

5. IMO – Model – Course charters 7.01–7.04, 7.08, 1.38 – Marine Inviromental Awareness. – London: IMO, MEPC, 2010. – 37 p.

6. Резолюция МЕРС.203(62). – Электронный текст документа : http://rise.odessa.ua/texts/MEPC203_62.php3
7. Резолюция МЕРС.212(63). – Электронный текст документа : [http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-\(MEPC\)/Documents/MEPC.212\(63\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-(MEPC)/Documents/MEPC.212(63).pdf)
8. Резолюция МЕРС.213(63). – Электронный текст документа : http://rise.odessa.ua/texts/MEPC213_63r.php3
9. Резолюция МЕРС.214(63). – Электронный текст документа: http://rise.odessa.ua/texts/MEPC214_63.php3
10. Резолюция МЕРС.231(65). – Электронный текст документа: http://rise.odessa.ua/texts/MEPC231_65.php3
11. Резолюция МЕРС.278(70). – Электронный текст документа: [http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-\(MEPC\)/Documents/MEPC.282\(70\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-(MEPC)/Documents/MEPC.282(70).pdf)

REFERENCES

1. Gorb S.I. Novaya otchotnost' po raskhodu topliva sudami //Rabotnik morya. – 2017, № 16 (128), s. 4.
2. Sovremennyye informatsionnyye tekhnologii obespecheniya bezopasnosti sudokhodstva i ikh kompleksnoye ispol'zovaniye. Monografiya. Pod redaktsiyey d.t.n., professora V.Ye.Leonova. Kherson-KHGMA 2014,s. 452.
3. Obespecheniye bezopasnosti plavaniya sudov i predotvrashcheniye zagryazneniya okruzhayushchey sredy. Monografiya. Pod redaktsiyey k.t.n., professora V.I.Dmitriyeva i d.t.n., professora V.Ye.Leonova, Kherson – 2012, s. 399.
4. Elektronnyy tekst dokumenta podgotovlen ZAO «Kodeks» i sveren po: MARPOL. Kniga III, peresmotrennoye Prilozheniye VI k MARPOL «Pravila predotvrashcheniya zagryazneniya vozduшной sredy s sudov», izdaniye ZAO «TSNIIMF», 2012.
5. IMO – MODEL – COURSE CHARTERS 7.01 – 7.04, 7.08,1.38 – MARINE INVIROMENTAL AWARENESS. LONDON: IMO,MEPC – 2010, 37 p.
6. Rezolyutsiya МЕРС.203(62). Elektronnyy tekst dokumenta: http://rise.odessa.ua/texts/MEPC203_62.php3
7. Rezolyutsiya МЕРС.212(63). Elektronnyy tekst dokumenta: [http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-\(MEPC\)/Documents/MEPC.212\(63\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-(MEPC)/Documents/MEPC.212(63).pdf)
8. Rezolyutsiya МЕРС.213(63). Elektronnyy tekst dokumenta: http://rise.odessa.ua/texts/MEPC213_63r.php3
9. Rezolyutsiya МЕРС.214(63). Elektronnyy tekst dokumenta: http://rise.odessa.ua/texts/MEPC214_63.php3
10. Rezolyutsiya МЕРС.231(65). Elektronnyy tekst dokumenta: http://rise.odessa.ua/texts/MEPC231_65.php3
11. Rezolyutsiya МЕРС.278(70). Elektronnyy tekst dokumenta: [http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-\(MEPC\)/Documents/MEPC.282\(70\).pdf](http://www.imo.org/en/KnowledgeCentre/IndexofIMOResolutions/Marine-Environment-Protection-Committee-(MEPC)/Documents/MEPC.282(70).pdf)

Жмур В. М., Леонов В. Є. ЗНИЖЕННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА І ІНТЕНСИВНОСТІ РОЗВИТКУ «ПАРНИКОВОГО» ЕФЕКТУ – СТРАТЕГІЧНЕ ЗАВДАННЯ СУЧАСНОГО СУДНОПЛАВСТВА
План управління енергоефективністю судна (ПУЕС) з 1 січня 2013 року є обов'язковим для суден з валовою місткістю понад 400 тонн. Цей план був розроблений у відповідності з ІМО Керівництвом (Резолюція МЕРС.213 (63)). Метою ПУЕС є оцінка і контроль ефективності використання суден і енергоресурсів. У ньому визначається необхідність надання допомоги компанії і галузі в управлінні екологічними показниками суден і, що внесе неоціненний внесок в зниження світових викидів вуглецю.

Новизна отриманих результатів полягає в сценарному підході до розробки алгоритму вибору стратегії прийняття рішень, що гарантує мінімальну різницю між гарантованою оцінкою (конструктивна енергоефективність) і гарантованою стратегією (операційна енергоефективність), шляхом зміни складових складного руху судна в залежності від інтенсивності впливу природних невизначених факторів, взаємозв'язку між показником операційної енергоефективності роботи судна і величиною витрати палива енергетичною установкою.

Економічний стимул для судноплавної галузі полягає в інвестуванні в більш паливозберігаючі судна і технології, а також використовувати їх в енергоефективніший спосіб.

Ключові слова: план управління енергоефективністю, EEDI, EEOI, коефіцієнт викидів, конструктивний коефіцієнт енергоефективності.

Zhmur V. N., Leonov V. E. REDUCTION IN FUEL CONSUMPTION AND INTENSITY OF DEVELOPMENT OF THE «GREENHOUSE» EFFECT – STRATEGIC TASK OF MODERN NAVIGATION

The Ship Management Plan for the Energy Efficiency of the Ship (SEEMP) from January 1, 2013 is mandatory for vessels with a gross tonnage of more than 400 tons. This plan was developed in accordance with the IMO Guidelines (Resolution MEPC.213 (63)). The purpose of the SEEMP is to assess and monitor the efficiency of the use of ships and energy resources. It recognizes the need to assist the company and the industry in managing the environmental performance of ships and that this operational efficiency will make an invaluable contribution to reducing global carbon emissions. The novelty of the results is a scenario approach to developing an algorithm for choosing a decision strategy that guarantees the minimum difference between a guaranteed estimate (constructive energy efficiency) and a guaranteed strategy (operational energy efficiency), by changing the components of a complex ship movement, depending on the intensity of the impact of natural uncertain factors, the relationship between indicator of operational energy efficiency of the vessel and the amount of fuel consumption of energy system.

The economic incentive for the shipping industry is to invest in more fuel-efficient vessels and technologies, and also to use them in a more energy-efficient way.

Keywords: Energy Efficiency Management Plan, EEDI, EEOI, emission factor, constructive coefficient of energy efficiency.

© Жмур В. М., Леонов В. Є.

Статтю прийнято
до редакції 31.11.17

ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ «МЕТАЛИЧЕСКАЯ ОСНОВА – ЗАЩИТНОЕ ПОКРЫТИЕ»

Алексенко В. Л., старший преподаватель кафедры общинженерной подготовки Херсонской государственной морской академии, e-mail: aleksenko-vl@yandex.ua

Богдан А. П., ассистент кафедры общинженерной подготовки Херсонской государственной морской академии, e-mail: arundoalla@gmail.com

Выполнено исследование системы полимерное покрытие – стальная основа и рассчитаны нормальные и тангенциальные напряжения в покрытии. Проведен анализ существующих решений и рассмотрены вопросы обеспечения исследований в области композитных материалов и защитных покрытий на их базе средствами расчёта напряжённно-деформированного состояния образцов. Предложены итерационный алгоритм и программа метода конечных разностей, распространяемая в открытых кодах, рекомендуемые для использования и совершенствования как альтернатива программным комплексам метода конечных элементов для двумерных областей ограниченных произвольным контуром. Установлено, что результаты расчёта напряженно-деформированного состояния образцов эпоксикомпозитных покрытий хорошо согласуются с характером разрушения, наблюдаемым в экспериментах, и позволяют сделать относительно строгие количественные оценки их адгезионной прочности.

Ключевые слова: композитные материалы, защитные покрытия, напряжённно-деформированное состояние, автоматизация обработки результатов косвенных измерений.

Постановка проблемы. Одним из базовых направлений развития промышленности должна стать разработка и производство конструкционных материалов с заранее заданными свойствами [1–3]. Разработка и испытание КМ, в том числе и на эпоксидной основе, возможны только на самом совершенном оборудовании [2]. Важнейшим свойством КМ является их механическая прочность. Вопросы прочности лежат на стыке материаловедения, механики деформируемого тела и механики разрушения. Одним из направлений использования композитов в технике является создание на их базе высокоэффективных защитных покрытий. Актуальной является задача изучения механических свойств покрытий из КМ с привлечением аппарата теории упругости и обеспечения прочности покрытий.

Состояние вопроса. Различают испытания собственно материала покрытия и испытание покрытия в паре с материалом, на который оно наносится. В последнем случае механические свойства покрытий определяют при испытании образцов нанесённых на подложку из материала, подлежащего защите. Если покрытие, равномерно нанесено на подложку, растягиваемую за концы, то полагая его достаточно тонким и эластичным, чтобы существенно не влиять на деформации подложки и рассуждая «в рамках сопромата» приходим к выводу о концентрации напряжений на концах растянутой плёнки покрытия.

В рассматриваемом случае подходы сопротивления материалов не позволяют установить законы распределения усилий взаимодействия покрытия и подложки, а лишь указывают на наличие концентрации напряжений и дают оценку главного вектора системы напряжений в очаге концентрации.

Аналогичная ситуация возникает при испытаниях плоских образцов с однослойным композитным покрытием на изгиб по так называемой *трёхточечной* схеме [4].

Рассматривая деформации двух представленных типов образцов видим, что обе задачи могут быть сведены к двумерной, так называемой *плоской задаче* теории упругости. В первом случае это так называемое *плоское напряжённное состояние*. Во втором – *плоско-деформированное состояние*, обусловленное изгибом образца-пластины по цилиндрической поверхности. Теория цилиндрического изгиба пластин в принципе совершенно аналогична технической теории изгиба балок, и ни каких преимуществ по сравнению с сопроматом в рассматриваемых задачах не даёт [5, 6].

Цель работы – автоматизация метрологического обеспечения материаловедческих исследований и разработка блок-схемы программы двумерных задач средствами расчёта напряжённо-деформированного состояния образцов.

Решение вопроса. Наиболее прост для понимания и программной реализации в данном случае метод конечных разностей (МКР) [1].

Наложим на рассматриваемую область ортогональную сетку регулярной структуры с шагом Δ_x и Δ_y в направлении осей X и Y и нумерацией узлов по k и i соответственно. Тогда, производные функции $\varphi(x,y)$ выразятся через её значения в узлах сетки с погрешностью аппроксимации $O(\Delta^2)$ следующими конечно-разностными операторами [6]:

$$\begin{aligned}\phi_x^{k,i} &= \frac{1}{2\Delta_x}(\phi_{k,i+1} - \phi_{k,i-1}); \quad \varphi_{xx}^{k,i} = \frac{1}{\Delta_x^2}(\phi_{k,i-1} - 2\phi_{k,i} + \phi_{k,i+1}) \\ \varphi_{xy}^{k,i} &= \frac{1}{4\Delta_x\Delta_y}[\varphi_{k+1,i+1} - (\varphi_{k-1,i+1} + \varphi_{k+1,i-1}) + \varphi_{k-1,i-1}]; \\ \phi_y^{k,i} &= \frac{1}{2\Delta_y}(\phi_{k+1,i} - \phi_{k-1,i}); \quad \phi_{yy}^{k,i} = \frac{1}{2\Delta_y^2}(\phi_{k-1,i} - 2\phi_{k,i} + \phi_{k+1,i})\end{aligned}\quad (1)$$

где каждый нижний индекс означает дифференцирование по соответствующей координате, а верхние – узел сетки.

Точные конечные алгоритмы решения систем разностных уравнений со многими неизвестными становятся неустойчивыми (из-за малых разностей близких величин и ошибок округления), а также, не смотря на разрежённость матриц, требуют большого объёма машинной памяти. В этом случае отмечается эффективность итерационных методов [7]. Преобразуем выражение (1) для производных функций u и v и получаем их конечно-разностные аналоги в точке k,i в виде, преобразованном для итераций:

$$\begin{aligned}2u_{1k,i} &= \alpha_1(u_{1k,i-1} + u_{1k,i+1}) + \alpha_2(u_{1k-1,i} + u_{1k+1,i}) + \\ &+ \alpha_3(u_{2k-1,i-1} - u_{2k-1,i+1} - u_{2k+1,i-1} + u_{2k+1,i+1}) + \alpha_4 X_{k,i}; \\ 2u_{2k,i} &= \alpha_5(u_{2k,i-1} + u_{2k,i+1}) + \alpha_6(u_{2k-1,i} + u_{2k+1,i}) + \\ &+ \alpha_7(u_{1k-1,i-1} - u_{1k-1,i+1} - u_{1k+1,i-1} + u_{1k+1,i+1}) + \alpha_8 X_{k,i}.\end{aligned}\quad (2)$$

Здесь перебираются все пары k,i соответствующие точкам внутри области ограниченной контуром. Поскольку в левую часть (2) попадают значения u и v в контурных точках, то неизвестных больше чем уравнений. Для получения единственного решения система (2) должна быть дополнена конечно-разностными соотношениями, вытекающими из граничных условий.

Наиболее просто граничные условия учитываются на участках контура, где заданы перемещения, т.е. дислокационные нагрузки. В этом случае задают перемещения точек контура. После этого неизвестных будет столько, сколько уравнений, т.е. внутриконтурных точек. Итерации (2) выполняют для внутриконтурных точек. Численными экспериментами установлено, что для граничных условий в перемещениях итерации по Зейделю всегда сходятся.

Несколько сложнее записываются граничные условия в напряжениях, когда заданы усилия на контуре. Подставляя в конечно-разностные соотношения для функций u и v через центральные разности (1) получим:

$$\begin{aligned}\sigma_{xk,i} &= \frac{C_{11}}{(2\Delta_x)(u_{k,i+1} - u_{k,i-1})} + \frac{C_{12}}{(2\Delta_y)(v_{k+1,i} - v_{k-1,i})}; \\ \sigma_{yk,i} &= \frac{C_{21}}{(2\Delta_x)(u_{k,i+1} - u_{k,i-1})} + \frac{C_{22}}{(2\Delta_y)(v_{k+1,i} - v_{k-1,i})}; \\ \tau_{xyk,i} &= \frac{C_{44}}{2\Delta_y}(u_{k+1,i} - u_{k-1,i}) + \frac{C_{44}}{(2\Delta_x)}(v_{k,i+1} - v_{k,i-1}).\end{aligned}\quad (3)$$

Формулы (3) позволяют выразить перемещения в одном ряде законтурных точек через усилия на тех участках контура, где заданы граничные условия в напряжениях. После чего перемещения контурных точек определяют путём интерполяции, т.е. получают дополнительные уравнения (итерационные формулы). В ряде случаев целесообразно использовать односторонние разности и разности повышенной точности [8,9].

Блок-схема программы плоской задачи теории упругости (ПЗТУ) для ортотропного материала. На рис. 1 представлена блок-схема программы на языке Pascal ABC.

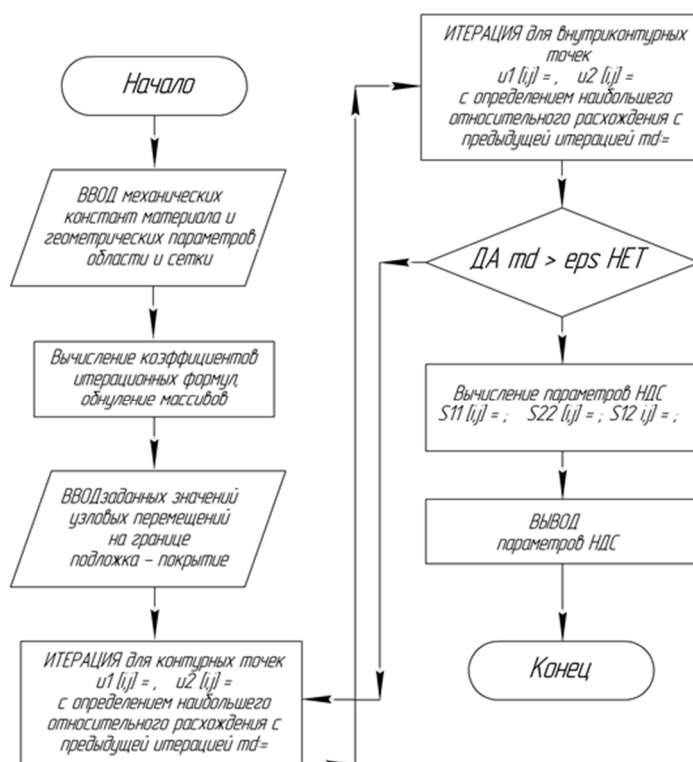


Рисунок 1 – Блок-схема программы решения в конечных разностях ПЗТУ в перемещениях

Поскольку определение напряжений включает численное дифференцирование и ведёт к снижению точности, вычисление функции перемещений необходимо вести с запасными цифрами. В качестве критерия точности принимается относительное расхождение результатов очередной и предыдущей итерации в точке k, i , т.е.

$$\delta_{k,i}^{(n)} = \text{mod}\left(\left(\phi_{k,i}^{(n)} - \phi_{k,i}^{(n-1)}\right) / \phi_{k,i}^{(n)}\right). \quad (4)$$

Здесь нижние индексы относятся к узлу сетки (точке), а верхние к номеру итерации. Итерации заканчиваются, когда для всех внутриконтурных точек выполняется условие:

$$\delta < \varepsilon. \quad (5)$$

Пример расчета НДС образца с покрытием. На рис. 2 представлены эпюры напряжений на границе раздела фаз стальная основа – покрытие, рассчитанные по программе, реализующей предложенный алгоритм. В качестве покрытия использовали промышленный эпоксидный олигомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-840) с отвердителем полиэтиленполиамином ПЕПА (ТУ 6-05-241-202-78). Параметры покрытия (в виде полимерной матрицы): модуль Юнга $E = 3,6 \cdot 10^5$ МПа. Параметры стальной основы: модуль Юнга $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu = 0,3$. Геометрические параметры основы и покрытия: длина – $l = 25$ мм; ширина – $b = 15$ мм; толщина покрытия – $h = 0,6$ мм.

В табл. 1 приведены напряжения на границе стальной основы (подложки) и покрытия, рассчитанные по программе, реализующей предложенный алгоритм.

Предполагали, что как тангенциальные, так и нормальные напряжения при трехточечном изгибе равномерно распределены на границе раздела фаз основа - покрытие в обоих направлениях от оси Y (рис. 2). Экспериментально установлено, что покрытие толщиной – $h = 0,6$ мм разрушается при силе нагрузки $P = 400$ Н (табл. 1). При этом вид разрушения покрытия – растрескивание. С использованием разработанной программы, алгоритм и блок-схема которой приведена выше, рассчитано и установлено, что в центре покрытия (на оси Y) величина нормальных напряжений составляет $\sigma_y = -0,12$ МПа (заметим, что при проведении эксперимента на изгиб покрытия находилось снизу относительно основания), а тангенциальные напряжения $\tau_{xy} = 0$.

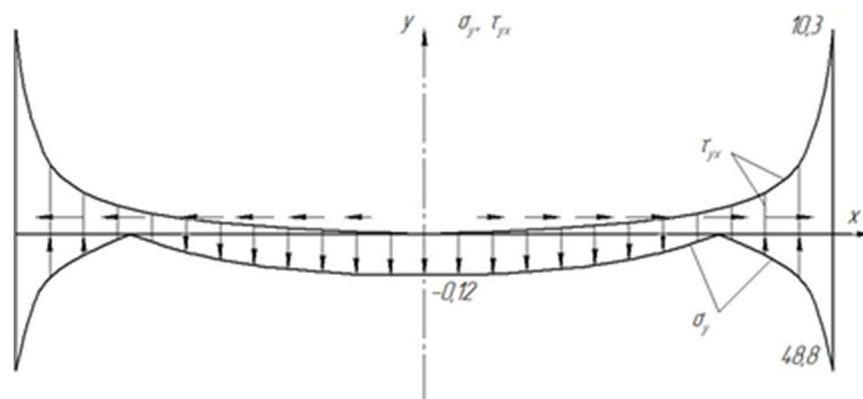


Рисунок 2 – Напряжения на границе раздела фаз покрытие – стальная основа

Таблица 1 – Напряжения на границе раздела фаз покрытие – основа

Расстояние от оси Y покрытия, мм	σ_y , МПа	τ_{xy} , МПа	Параметры, при каких разрушалось покрытие		Вид разрушения покрытия	Материал покрытия
			P , Н	Δl , мм		
0	-0,12	0	400	7,6	Растрескивание	Матрица
6,25	-0,07	0,07				
12,50	48,80	10,30				

Кроме этого, на расстоянии $l = 6,25$ мм от осевой линии y покрытия нормальные напряжения уменьшаются и составляют $\sigma_y = -0,07$ МПа, а тангенциальные напряжения возрастают до $\tau_{xy} = 0,07$ МПа. На торцах образца установлено максимальное возрастание напряжений в покрытии, величина которых составляет: $\sigma_y = 48,80$ МПа, $\tau_{xy} = 10,30$ МПа.

Таким образом, используя разработанное программное обеспечение на языке Pascal ABC относительно разработанных материалов, можно с помощью простой, разработанной нами методикой, анализировать показатели напряжений, которые возникают на границе раздела фаз основа – покрытие. Это, в свою очередь, позволит прогнозировать и управлять свойствами композитных материалов во время их эксплуатации в критических условиях.

Исходя из изложенного выше можно сделать следующие **выводы**.

1. Выполнен анализ существующих решений и предложены итерационный алгоритм и программа расчета напряжений в образцах по методу конечных разностей.
2. Выполнено исследование напряженно-деформированного состояния системы полимерное покрытие – стальная основа и рассчитаны нормальные и тангенциальные напряжения в покрытии; в качестве исходных данных использовали геометрические характеристики, модуль Юнга и коэффициент Пуассона основы и покрытия.
3. Установлено, что результаты расчёта напряженно-деформированного состояния образцов эпокомпозитных покрытий хорошо согласуются с характером разрушения, наблюдаемым в экспериментах, и позволяют сделать относительно строгие количественные оценки их адгезионной прочности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глазьев С. Ю. Эволюция технико-экономических систем: возможности и границы централизованного регулирования. Москва : Наука, 1992. 232с.
2. Крыжановский В. К. Технические свойства полимерных материалов: учеб.-справ. пособие. Санкт-Петербург : Профессия, 2007. 235 с.
3. Кербер М. Л., Виноградов В. М., Головкин Г. С. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие / под. ред. А. А. Берлина. Санкт-Петербург : Профессия, 2008. 560 с.
4. Стухляк П. Д. Эпоксидные композиты для защитных покрытий. Тернополь : Збруч, 1994. 177 с.
5. Долгов Н. А. Сопротивление деформированию и разрушению материалов с функциональными покрытиями. Тернополь : Крок, 2010. 231с.
6. Стухляк П. Д., Букетов А. В., Добротвор І. Г. Епоксикомпозитні матеріали, модифіковані енергетичними полями. Тернопіль : Збруч, 2009. 208 с.
7. Суслов В. П., Качанов Ю. П., Спихтаренко В. Н. Строительная механика корабля и основы теории упругости. Ленинград : Судостроение, 1972. 720 с.
8. Корнишин М. С. Нелинейные задачи теории пластин и пологих оболочек и методы их решения. Москва : Наука, 1964. 192 с.
9. Варвак П. М., Варвак Л. П. Метод сеток в задачах расчёта строительных конструкций. Москва : Стройиздат, 1977. 160 с.
10. Бойцов Г. В. Палий О. М., Постнов В. А., Чувиковский В. С. Справочник по строительной механике корабля. Теория упругости, пластичности и ползучести. Численные методы. Ленинград : Судостроение, 1982. Т. 2. 464 с.

REFERENCES

1. Glazev S.Yu. (1992). *Evolyutsiya tehniko-ekonomicheskikh sistem: vozmozhnosti i granitsyi tsentralizovannogo regulirovaniya*. M.: Nauka.
2. Kryzhanovskiy V. K. (2007). *Tekhnicheskie svoystva polimernyih materialov: ucheb.-sprav. posobie*. SPb.: Professiya.
3. Kerber M. L., Vinogradov V. M., & Golovkin G. S. (2008). *Polimernyye kompozitsionnyie materialyi: struktura, svoystva, tehnologiya: ucheb. posobie / pod. red. A. A. Berlina*. SPb.: Professiya.
4. Stuhlyak P. D. (1994). *Epoksidnyie kompozityi dlya zaschitnyih pokryitiy*. Ternopol: Zbruch.
5. Dolgov N.A. (2010). *Soprotivleniye deformirovaniyu i razrusheniyu materialov s funktsionalnyimi pokryitiyami*. Ternopol: Krok.
6. Stuhlyak P.D., Buketov A.V., & Dobrotvor I.G. (2009). *Epoksikompozitni materIali, modifIkovanI energetichnimi polyami*. Ternopol: Zbruch.
7. Suslov V.P., Kachanov Yu.P., & Spihtarenko V.N. (1972). *Stroitel'naya mehanika korablya i osnovyyi teorii uprugosti*. L.: Sudostroenie.

8. Kornishin M.S. (1964). *Nelineynnye zadachi teorii plastin i pologih obolochek i metody ih resheniya*. M.: Nauka.
9. Varvak P.M., & Varvak L.P. (1977). *Metod setok v zadachah raschyota stroitelnykh konstruktsiy*. M.: Stroyizdat.
10. Boytsov G.V. Paliy O.M., Postnov V.A., Chuvikovskiy V.S. (1982). *Spravochnik po stroitelnoy mehanike korablya. Teoriya uprugosti, plastichnosti i polzuchesti. Chislennyye metody*. L.: Sudostroenie.

Алексенко В. Л., Богдан А. П. ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ СИСТЕМИ «МЕТАЛЕВА ОСНОВА – ЗАХИСНЕ ПОКРИТТЯ»

Виконані дослідження системи полімерне покриття – стальна основа і розраховані нормальні та тангенціальні напруження в покритті. Проведений аналіз існуючих рішень і розглянуті питання забезпечення досліджень в області композитних матеріалів та захисних покриттів на їх основі засобами розрахунку напружено-деформованого стану зразків. Запропоновані ітераційний алгоритм і програма методу кінцевих різниць, що розповсюджується у відкритих кодах, що рекомендовані для використання і вдосконалення як альтернатива програмним комплексам метода кінцевих елементів для двовимірних областей обмежених довільним контуром. Встановлено, що результати розрахунку напружено-деформованого стану зразків епоксикомпозитних покриттів добре узгоджуються з характером руйнування, що спостерігаються в експериментах та дають можливість зробити кількісні оцінки адгезійної міцності.

Ключові слова: композитні матеріали, захисні покриття, напружено-деформований стан, автоматизація обробки результатів непрямих вимірювань.

Aleksenko V. L., Bohdan A. P. INVESTIGATION OF THE STRESSEDLY-DEFORMED CONDITION OF THE SYSTEM «METAL BASIS – PROTECTIVE COATING»

The questions of providing of researches are considered in area of composite materials and sheeting on their base by facilities of calculation of the tense-deformed state of standards. An iteration algorithm and program of method of eventual differences is offered, recommended for the use and perfection as an alternative to the programmatic complexes of method of eventual elements for the two-dimensional areas of limited by an arbitrary contour.

Keywords: composite material, protective coatings, stressedly-deformed state, automation of the processing of the results of indirect measurements.

© Алексенко В. Л., Богдан А. П.

Статтю прийнято
до редакції 19.11.17

ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ РІЗНИХ ФОРМ ЗАБІРНИХ ЧАСТИН ШНЕКОВИХ НАСОСІВ

Бодак В. І., к.т.н., доцент кафедри автомобілів і транспортних технологій Луцького національного технічного університету, e-mail: bodak@lenta.ru;

Бодак М. В., магістр Луцького національного технічного університету, e-mail: maksim-bodak@meta.ua

Для підвищення родючості ґрунтів необхідно вносити велику кількість органічних добрив, запасів яких не вистачає. Джерелом отримання органічних добрив на Волині є очищення прісноводних водойм від сапропелів - органічних донних відкладів. У статті проаналізовано способи добування сапропелів, які застосовуються на озерах Волинської області. Найбезпечнішим, з позиції екології, визнано шнековий спосіб добування. Розглянуто три варіанти конструкції забірної частини шнекового насоса. Приведено отримані формули для розрахунку об'ємів демпферних зон. У статті викладено результати порівняльних характеристик демпферних зон різних конструкцій забірних частин шнекових насосів. Встановлено, що для добування сапропелів слід застосовувати шнек у формі свердла, оскільки сапропелева маса не відбивається від забірної частини насоса. В результаті проведених експериментів представлено графіки залежності продуктивності шнекового насоса від форми забірної частини. Встановлено, що при низьких обертах шнекового насоса можна використовувати гвинти зі зрізаними конусами або циліндричні. При використанні високооборотних гвинтів кращими показниками кращими показниками характеризуються гвинти, які мають в забірній частині форму конуса. Очевидно, що при роботі на високих обертах гвинти зі зрізаними конусами частково відбивають сапропелеву масу при невеликих значеннях підпору ґрунту. Цей процес відбувається через малий об'єм демпферної зони. Гвинти з повними конусами, як при низьких, так і при високих обертах, плавно захоплюють сапропелеву масу.

Ключові слова: сапропель, шнековий насос, демпферна зона, екологія.

Постановка проблеми. На Західному Поліссі України переважають неродючі дерново-підзолисті ґрунти. Родючість цих ґрунтів можна підвищити за рахунок внесення органічних добрив, яких не вистачає [1]. Отримати органічні добрива можна з сапропелів – органічних відкладів прісноводних водойм. Внесення сапропелевих добрив покращує структуру ґрунту, зменшує частку радіонуклідів, які переходять з ґрунту в рослини [2]. При очищенні озер від донних відкладів відбувається відновлення водного, хімічного та біологічного режимів заболочених водойм [3].

В останні роки очищенням водойми від сапропелів починають займатися дрібні та середні приватні підприємства, які до вибору способу добування підходять тільки з економічних міркувань. Більшість цих підприємств добувають сапропель грейферним або екскаваторним способом, так як ці способи є найдешевшими. Але вищевказані способи негативно впливають на екологію водойми, оскільки в процесі добування проходить інтенсивне змивання сапропелевої маси з ковша. В період проведення добувних робіт в воді проходить значне збільшення біохімічної та хімічної потреби кисню (БПК та ХПК), колірності, вмісту завислих речовин, заліза, азоту, фосфатів, міді, хрому, зменшення розчинного кисню, прозорості[4]. Через ці причини недопустимо проведення добувних робіт серійними ковшами, особливо, на малих по площі водоймах. Добування сапропелів можливо тільки ковшами, які можуть герметично закриватись.

З метою зменшення впливу на оточуюче середовище необхідно використовувати на об'єктах по добуванню сапропелів вертикальні, захисні пливочні екрани, які б відділяли зону розробки від водойми.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Добування сапропелів на даний час проводиться переважно гідромеханізованим та грейферним способами. При гідромеханізованому способі добування відкачується велика кількість води з водойми і сапропель отримують високої вологості. При грейферному способі добування має місце високий ступінь замулення водойми та велика кількість перевалочних операцій.

Вищезгаданих недоліків немає у шнекового способу добування сапропелів.

Створення раціональних форм і вибір оптимальних параметрів забірних частин шнекових механізмів призводить до підвищення ефективності добування сапропелів.

В результаті пред'явлення високих вимог щодо екологічності шнековий спосіб добування набуває все ширшого використання [5]. При роботі шнекового насоса, просочування сапропелевої маси з закритої забірної частини незначний [6]. Як наслідок, – значно нижчі показники вмісту завислих речовин, розчинення у воді азоту, фосфатів, БПК, ХПК, більше розчинного кисню, менша зміна прозорості, не спостерігається у воді змін по вмісту міді, хрому, цинку, нікелю. Отже, екологічно вдалим для використання на малих та середніх по площі озерах є шнековий спосіб добування сапропелю [7].

Метою дослідження є розробка найефективнішої конструкції забірної частини шнекового насоса при добуванні сапропелів, покращення екологічних показників на місці добування при невисоких матеріальних затратах, збереженні низької собівартості продукції та достатній для середнього бізнесу продуктивності. Екологічні переваги добування за допомогою шнекових насосів свідчать про необхідність подальших розробок цих механізмів, особливо їх забірних частин [8].

Результати досліджень. Нами запропоновано метод розрахунку процесу добування сапропелів механізмами шнекового типу з конічною забірною частиною, визначення їх основних параметрів, необхідного крутного моменту на валу шнека, його продуктивності та затрачуваної потужності на транспортування добутого сапропелю. В результаті використання системного підходу, розроблена багатоваріантна структура схем забірних частин шнекових механізмів, які дозволяють підвищувати ефективність роботи при добуванні сапропелів.

Для синтезу раціональних форм забірної частини було проведено аналіз її можливих конструкцій. Найвдалішими було визнано три форми конструкцій забірних частин. Конструкція з параболічною формою твірної кожуха та конічною формою твірної шнека зображено на рис. 1 [9].

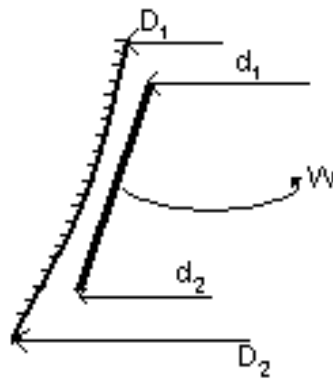


Рисунок 1 – Конструкція з параболічною формою твірної кожуха та конічною формою твірної шнека

При параболічній формі твірної кожуха та конічній формі твірної шнека об'єм демпферної зони визначається за формулою:

$$V_{\delta} = \pi h \left(\frac{h}{2k} - \frac{2}{3} D_2 \sqrt{\frac{h}{k} + \frac{D_2^2}{4} - \frac{d_2^2 + d_1^2 + d_2 d_1}{12}} \right). \quad (1)$$

Внаслідок малого об'єму демпферної зони, шнек зі змінним діаметром від d_1 до d_2 , при обертанні буде відбивати масу, що негативно впливає на продуктивність насоса.

Конструкція з параболічною формою твірної кожуха та циліндричною формою шнека зображена на рис. 2.

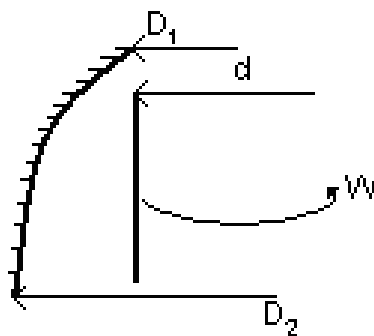


Рисунок 2 – Конструкція з параболічною формою твірної кожуха та циліндричною формою твірної шнека

При параболічній формі твірної кожуха та циліндричній формі твірної шнека об'єм демпферної зони визначається за слідуючою залежністю:

$$V_{\delta} = \pi h \left(\frac{h}{2k} - \frac{2}{3} D_1 \sqrt{\frac{h}{k} + \frac{D_1^2}{4} - \frac{d^2}{4}} \right) \quad (2)$$

Робота цієї конструкції є кращою від попередньої внаслідок збільшення демпферної зони забірної частини.

Найбільш вдалою конструкцією забірної частини є конічна форма твірної кожуха та параболічна форма твірної шнека (рис. 3).

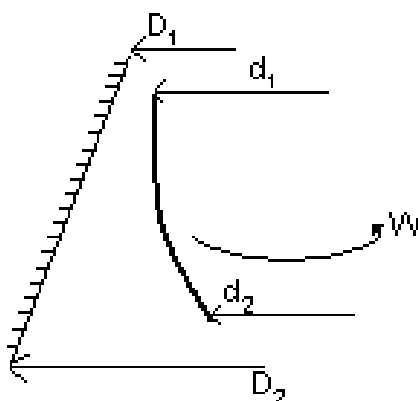


Рисунок 3 – Конструкція з конічною формою твірної кожуха та параболічною формою твірної шнека

При конічній формі твірної кожуха та параболічній формі твірної шнека об'єм демпферної зони визначається згідно залежності:

$$V_{\delta} = \pi h \left(\frac{D_2^2 + D_1^2 + D_2 D_1}{12} - \frac{h}{2k} - \frac{2d_2 \sqrt{h}}{\sqrt{k}} - \frac{d_2^2}{4} \right) \quad (3)$$

В результаті проведених експериментів зроблено висновок, що об'єм демпферної зони V_{δ} забірної частини повинен бути в межах:

- $V_{\delta} < 0,2 V_k$, при швидкості обертання гвинта $n < 11 \text{ c}^{-1}$;
- $0,2 V_k < V_{\delta} < 0,3 V_{\text{ю}}$ при швидкості обертання гвинта $n < 11 \text{ c}^{-1}$.

При проведенні дослідів отримані залежності продуктивності насоса з різними типами гвинтів в забірній частині від частоти обертання шнека (рис. 4).

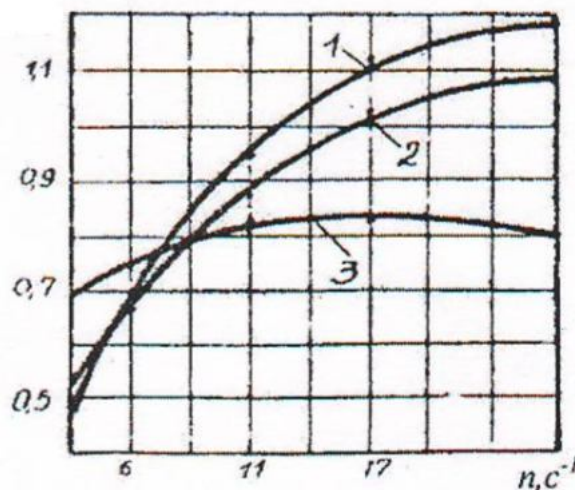


Рисунок 4 – Вплив форми забірної частини на продуктивність шнекового насоса:

1 – забірна частина, зображена на рис. 3; 2 – забірна частина, зображена на рис. 2; 3 – забірна частина, зображена на рис. 1

З графіків видно, що при частоті обертання до 11 с^{-1} слід застосовувати в забірній частині насоса гвинти із зрізаними конусами або циліндричні. При використанні високооборотних гвинтів з частотою обертання $n > 11 \text{ с}^{-1}$ та тиском $P > 80 \text{ кг/м}^2$ кращими показниками характеризуються гвинти, які мають в забірній частині форму конуса. Очевидно, що при роботі на високих обертах гвинти зі зрізаними конусами частково відбивають сапропелеву масу при невеликих значеннях підпору ґрунту. Цей процес відбувається через малий об'єм демпферної зони. Гвинти з повними конусами, як при низьких, так і при високих обертах, плавно захоплюють сапропелеву масу та не відбивають її. Остання конструкція забірної частини шнекового насоса є найпродуктивнішою, оскільки об'єм демпферної зони є найбільшим [10]. Шнек, завдяки своїй формі інтенсивніше втягує сапропелеву масу та не відбиває її при високих обертах.

Висновки. В результаті аналізу об'ємів демпферних зон встановлено, що для добування сапропелів слід застосовувати в забірній частині шнек у формі свердла, оскільки сапропелева маса не відбивається від забірної частини насоса. Встановлено, що при низьких обертах шнекового насоса можна використовувати гвинти зі зрізаними конусами або циліндричні. При використанні високооборотних гвинтів кращими показниками характеризуються гвинти, які мають в забірній частині форму конуса. Очевидно, що при роботі на високих обертах гвинти зі зрізаними конусами частково відбивають сапропелеву масу при невеликих значеннях підпору ґрунту. Цей процес відбувається через малий об'єм демпферної зони. Гвинти з повними конусами, як при низьких, так і при високих обертах, плавно захоплюють сапропелеву масу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Димитров Д. П. Некоторые результаты применения глубоководных органо-минеральных осадков дна Чёрного моря для агротехнических целей / Д. П. Димитров, Г. Ц. Георгиев, П. С. Димитров // Геология и полезные ископаемые мирового океана. – 2006. – № 1. – С. 74–80.
2. Шевчук М. Й. та ін. Ефективність сапропелізації ґрунтів в умовах радіоактивного забруднення : метод. посібник з організації проведення НДР в галузі сільськогосподарської радіології. – К., 2012.
3. Лиштван И. И. Восстановление озерных водоемов при добыче сапропеля // Торфяная промышленность. – 1988. – № 10. – С. 13.
4. Лопотко М. З. Сапропели в сельском хозяйстве / М. З. Лопотко, Г. А. Евдокимова, П. Л. Кузьмицкий. – Мн. : Наука и техника, 1992. – 216 с.

5. Булік Ю. В. Обґрунтування процесу і параметрів механізму для добування сапропелю : дис. ... кандидата техн. Наук : 05.05.11 / Булік Юрій Володимирович. – Луцьк, 2005. – 135 с.

6. Хайліс Г. А., Бодак В. І. Аналіз роботи шнекових пристроїв при добуванні сапропелів // Сільськогосподарські машини : сб. наук.статей. – Луцьк : ВО ІАУ, 1995. – С. 258–271.

7. Бодак В. І., Дідух В. Ф. Вплив механізмів для добування сапропелів на оточуюче середовище // Тези доп. Дев'ятої науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу. – Луцьк : ЛІІ, 1994. – С. 9.

8. Григорьев А. М. Винтовые конвейеры. – М. : Машиностроение, 1972. – 184 с.

9. Бодак В. І. Аналіз руху сапропелю в шнековому насосі // Наукові нотатки : міжвуз. зб. – 2009. – Вип. 26. – С. 10–13.

10. Шимчук О. П. Визначення доцільності використання шнека у якості засобу добування сапропелю / О. П. Шимчук, В. А. Матвійчик // Зб. наук. ст. – Луцьк : Ред.-вид. відділ ЛДТУ, 2007. – Вип. 15. – С 345–348.

REFERENCES

1. D.P. Dimitrov, G. Ts. Georgiev, P. S. Dimitrov. Some results of application of deep-sea organo-mineral sediments of the bottom of the Black Sea for agrotechnical purposes. Geology and mineral resources of the world ocean. 2006. №1, Kyiv, 74-80.

2. Shevchuk M.Y. etc. Efficiency of sapropelization of soils under conditions of radioactive contamination // Method. A manual on the organization of conducting research in the field of agricultural radiology. - K., 2012.

3. Lishtvan I.I. Recovery of lake reservoirs in the production of sapropel. Peat industry. - 1988 - No. 10. - P. 13.

4. Lopotko M.Z. Sapropeli in agriculture / Lopotko M.Z., Evdokimova G.A., Kuzmitsky P.L. - Mn .: Science and Technology, 1992. - 216 p.

5. Bulik Yu.V. Substantiation of the process and parameters of the mechanism for obtaining sapropel: dis. ... candidate techn. Sciences: 05.05.11 / Bulik Yuri Vladimirovich. - Lutsk, 2005. - 135 p

6. Heilis G.A., Bodak V.I. Analysis of the work of screw devices in the production of sapropel. In sat Sciences. «Agricultural machines». In IAU, Lutsk, 1995, pp. 258-271.

7. Bodak VI, Didukh VF Influence of mechanisms for extraction of sapropels on the environment // Abstracts of additional. The ninth scientific and technical conference of the teaching staff of the LII. Lutsk.1994.s.9.

8. Grigoriev AM Screw Conveyors. -M .: Mechanical Engineering, 1972.- P.184

9. Bodak V.I. Analysis of the motion of sapropel in a screw pump. - 2009. Scientific Notes. Interconnect save vip.26.-Lutsk, 2009. C.10-13

10. Shimchuk O.P. Determination of the expediency of using a screw as a means of obtaining sapropel / O.P. Shimchuk, VA Matvichich // Sb. sciences st., Lutsk: Rev. Department of Leningrad State Technical University, 2007. - 15. - p. 345-348.

Бодак В. И., Бодак М. В. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ РАЗЛИЧНЫХ ФОРМ ЗАБОРНЫХ ЧАСТЕЙ ШНЕКОВЫХ НАСОСОВ

Для повышения плодородия почв необходимо вносить большое количество органических удобрений, запасов которых не хватает. Источником получения органических удобрений на Волыни является очистка пресноводных водоемов от сапропелей – органических донных отложений. В статье проанализированы способы добытия сапропелей, которые применяются на озерах Волынской области. Безопасным, с точки зрения экологии, признано шнековый способ добычи. Рассмотрены три варианта конструкции заборной части шнекового насоса. Приведены полученные формулы для расчета объемов демпферных зон. В статье изложены результаты сравнительных характеристик демпферных зон различных конструкций заборных частей шнековых насосов. Установлено, что для получения сапропелей следует применять шнек в форме сверла, поскольку сапропелевая масса не отражается от заборной части насоса. В результате проведенных экспериментов представлены

графики зависимости производительности шнекового насоса от формы заборной части. Установлено, что при низких оборотах шнекового насоса можно использовать винты со срезанными конусами или цилиндрические. При использовании высокооборотных винтов лучшими показателями лучшими показателями характеризуются винты, которые имеют в заборной части форму конуса. Очевидно, что при работе на высоких оборотах винты со срезанными конусами частично отражают сапропелевыми массу при небольших значениях подпора грунта. Этот процесс через малый объем демпферной зоны. Винты с полными конусами, как при низких, так и при высоких оборотах, плавно захватывают сапропелевыми массу.

Ключевые слова: сапропель, шнековый насос, демпферная зона, экология.

Bodak V., Bodak M. ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF VARIOUS FORMS OF INTAKE PARTS OF SCREW PUMPS

To increase fertility of soils, it is necessary to make a large amount of organic fertilizers, the stocks of which are not enough. The source of organic fertilizers in Volhynia is the purification of freshwater reservoirs from sapropels – organic bottom sediments. The article analyzes the methods of obtaining sapropels, which are used in lakes of the Volyn region. From the standpoint of ecology, the safest method of extraction is recognized. Three variants of the design of the assembled part of the screw pump are considered. The formulas obtained for calculating the volume of damping zones are given. The article presents the results of comparative characteristics of damping zones of various designs of assembled parts of screw pumps. It is established that for the production of sapropel, a screw in the form of a drill should be used, since the sapropel mass does not affect the sampling part of the pump. As a result of the experiments, graphs of the dependence of the screw pump performance on the shape of the pick-up part are presented. It is established that at low revolutions of a screw pump it is possible to use screws with cut cones or cylindrical ones. When using high-turning screws the best indicators are characterized by better screws, which have a cone shape in the catchment. It is obvious that when working at high speed screws with cut cones partly reflect the sapropel mass at small values of the support of the soil. This process occurs due to the small volume of the damping zone. Screws with full cones, both at low and at high revolutions, gently grab the sapropel mass.

Keywords: sapropel, screw pump, damper zone, ecology.

© Бодак В. І., Бодак М. В.

Статтю прийнято
до редакції 24.11.17.

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

Волков В. П., д.т.н., професор, завідувач кафедри технічної експлуатації і сервісу автомобілів Харківського національного автомобільно-дорожнього університету;

Грицук І. В., д.т.н., доцент, професор кафедри експлуатації суднових енергетичних установок Херсонської державної морської академії, ORCID: 0000-0001-7065-6820;

Грицук Ю. В., к.т.н., доцент, в.о. завідувача кафедри загальної інженерної підготовки Донбаської національної академії будівництва і архітектури (м. Краматорськ), ORCID: 0000-0003-3389-1172;

Волков Ю. В., аспірант кафедри технічної експлуатації і сервісу автомобілів Харківського національного автомобільно-дорожнього університету

В роботі представлена реалізація формування інформаційної моделі предметної області моніторингу параметрів технічного стану транспортного засобу. Сформовано аналітичний опис семантики системи за допомогою булевих матриць суміжності, які описують відносини між компонентами предметної області. Визначено основні множини відносин (взаємозв'язків) між компонентами в межах інформаційної моделі предметної області транспортного засобу. В результаті формування опису предметної області моніторингу параметрів технічного стану транспортного засобу отримано інформаційні моделі, які забезпечують сталий однозначний зв'язок об'єктів системи з інформаційними елементами і з об'єктами автоматизації.

Ключові слова: збір даних, семантика, моніторинг, булева матриця суміжності, транспортний засіб, математична модель.

Вступ Для ефективної оцінки роботи транспортних засобів (ТЗ) в умовах оточуючого середовища, використовуючи нові технологічні і інформаційні методи та підходи вибору стратегії технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) ТЗ засобами ITS, використовуються електронні (комп'ютерні, інформаційні) системи, які контролюють різноманітні процеси їх експлуатації. Це можливо за допомогою і в процесі постійної конструктивної модернізації ТЗ і засобів забезпечення процесів їх експлуатації, що забезпечують інформатизацію означених процесів, оптимізують та планують їх роботу, а також створюють умови для проведення моніторингу параметрів технічного стану. Саме такі заходи і засоби забезпечують високий коефіцієнт технічної готовності ТЗ в умовах експлуатації, що змінюється у часі [1].

Забезпечення контролю фактичного стану ТЗ дозволяє регламентувати їх працездатний стан, проведення необхідних технічних дій з обслуговування. Все це ґрунтується на обробці інформації про параметри технічного стану ТЗ, безперервній діагностиці тощо.

Постановка задачі. Метою статі є вирішення актуального питання формування опису предметної області моніторингу параметрів технічного стану ТЗ, отримання інформаційних моделей, які б забезпечували сталий однозначний зв'язок об'єктів системи з інформаційними елементами і з об'єктами автоматизації.

Основні результати. Ґрунтуючись на структурному підході до розробки автоматизованої системи збирання даних і моніторингу параметрів технічного стану транспортного засобу і результатах виконаного дослідження [2] формуємо аналітичний опис семантики системи за допомогою булевих матриць суміжності, які описують відповідні відносини R між компонентами $M_{np.o.}$ предметної області, виходячи з наступних міркувань: якщо між відповідними компонентами є відношення (взаємозв'язок) – елементи даних матриць дорівнюють 1, а у іншому випадку (відсутність взаємозв'язку) – дорівнюють 0.

Визначаємо множини відносин (взаємозв'язків) $R_i = \{r_y | y = I, Y\}$ між компонентами $M_{np.o.}$ в межах інформаційної моделі предметної області транспортного засобу [(1) 2], де:

– $r_l(F, H)$ – відношення «Функції автоматизації (табл. 3 [2]) – Завдання обробки даних (табл. 4 [2])», за допомогою якого кортеж відносини r_1 (булева матриця суміжності) визначає використання конкретної функції відповідних завдань (процедур) обробки даних, представлено залежністю (1):

$$FH = \begin{bmatrix} 10000000000000000000 \\ 01000000000000000000 \\ 00100000000000000000 \\ 00010000000000000000 \\ 00001000000000000000 \\ 00000100000000000000 \\ 00000010000000000000 \\ 00000001000000000000 \\ 00000000100000000000 \\ 00000000010000000000 \\ 00000000001000000000 \\ 00000000000100000000 \\ 00000000000010000000 \\ 00000000000001000000 \\ 00000000000000100000 \\ 00000000000000010000 \\ 00000000000000001000 \\ 00000000000000000100 \\ 00000000000000000010 \\ 00000000000000000001 \\ 11111111111111111111 \end{bmatrix} \quad (1)$$

– $r_2(F, O)$ – відношення «Функції автоматизації (табл. 3 [2]) – об'єкти автоматизації (табл. 1 [2])», за допомогою якого кортеж відносини r_2 (булева матриця суміжності) характеризує приналежність об'єкта автоматизації до відповідної функції, представлено залежністю (2):

$$FO = \begin{bmatrix} 1000000 \\ 0100000 \\ 0010000 \\ 0001000 \\ 0000100 \\ 0000010 \\ 0000001 \\ 1000000 \\ 0100000 \\ 0010000 \\ 0001000 \\ 0000100 \\ 0000010 \\ 0000001 \\ 1000000 \\ 0100000 \\ 0010000 \\ 0001000 \\ 0000100 \\ 0000010 \\ 0000001 \\ 1111111 \end{bmatrix} \quad (2)$$

– $r_3(F, P)$ – відношення «Функції автоматизації (табл. 3 [2]) – склад експлуатаційного персоналу (табл. 5 [2])», за допомогою якого кортеж відносини r_3 (булева матриця суміжності) характеризує використання відповідної функції користувачем, представлено залежністю (3):

$$FP = \begin{bmatrix} 111 \\ 111 \end{bmatrix} \quad (3)$$

– $r_4(F, V)$ – відношення «Функції автоматизації (табл. 3 [2]) – інформаційні елементи об'єктів автоматизації (рис. 3 [2])», за допомогою якого кортеж відносини r_4 (булева матриця суміжності) визначає використання інформаційних елементів при

реалізації відповідної функції, представлено залежністю (4):

$$FV = \begin{bmatrix} 1111111111 & 1111111100 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000011 & 1111100000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000011111 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 1111110000 & 0000000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000011111 & 1100000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0011111111 & 1111111101 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000011 \\ 1111111111 & 1111111100 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000011 & 1111100000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000011111 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 1111110000 & 0000000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000011111 & 1100000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0011111111 & 1111111101 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000011 \\ 1111111111 & 1111111100 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000011 & 1111100000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000011111 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 1111110000 & 0000000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000011111 & 1100000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0011111111 & 1111111101 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000011 \\ 1111111111 & 1111111111 & 1111111111 & 1111111111 & 1111111111 & 1111111111 \end{bmatrix} \quad (4)$$

– $r_5(H, P)$ – відношення «Завдання обробки даних (табл. 4 [2]) – склад експлуатаційного персоналу (табл. 5 [2])», за допомогою якого кортеж відносини r_5 (булева матриця суміжності) визначає відповідність тих чи інших завдань обробки даних інформаційним потребам складу експлуатаційного персоналу, представлено залежністю (5):

$$HP = \begin{bmatrix} 1111111111 & 1111111111 & 1 \\ 1111111111 & 1111111111 & 1 \\ 1111111111 & 1111111111 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

– $r_6(H, O)$ – відношення «Завдання обробки даних (табл. 4 [2]) – об'єкти автоматизації (табл. 1 [2])», за допомогою якого кортеж відносини r_6 (булева матриця суміжності) визначає відповідність об'єктів автоматизації завданням (процедурам) обробки даних, представлено залежністю (6):

$$HO = \begin{bmatrix} 1000000100 & 0000100000 & 0 \\ 0100000010 & 0000010000 & 0 \\ 0010000001 & 0000001000 & 0 \\ 0001000000 & 1000000100 & 0 \\ 0000100000 & 0100000010 & 0 \\ 0000010000 & 0010000001 & 0 \\ 0000001000 & 0001000000 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

– $r_7(H, V)$ – відношення «Завдання обробки даних (табл. 4 [2]) – інформаційні елементи об'єктів автоматизації (рис. 2 [2])», за допомогою якого кортеж відносини r_7 (булева матриця суміжності) визначає використання вхідних і формування вихідних інформаційних елементів при виконанні відповідних процедур обробки даних, представлено залежністю (7):

$$HV = \begin{bmatrix} 1111111111 & 1111111100 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000011 & 1111100000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000011111 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 1111110000 & 0000000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000011111 & 1100000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0011111111 & 1111111101 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000011 \\ 1111111111 & 1111111100 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000011 & 1111100000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000011111 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 1111110000 & 0000000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000011111 & 1100000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0011111111 & 1111111101 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000011 \\ 1111111111 & 1111111100 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000011 & 1111100000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000011111 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 1111110000 & 0000000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000011111 & 1100000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0011111111 & 1111111101 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000011 \end{bmatrix} \quad (7)$$

– $r_s(O, V)$ – відношення «Об’єкти автоматизації (табл. 1 [2]) – інформаційні елементи об’єктів автоматизації (рис. 2 [2])», за допомогою якого кортеж відносини r_s (булева матриця суміжності) характеризує інформаційний зміст (опис) відповідного об’єкта, представлено залежністю (8):

$$O_1 V_1 = \begin{bmatrix} 1111111111 & 1111111100 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000011 & 1111100000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000011111 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 1111110000 & 0000000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000011111 & 1100000000 & 0000000001 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0011111111 & 1111111101 \\ 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000000 & 0000000011 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Висновки. В результаті формування опису предметної області [3–7] моніторингу параметрів технічного стану ТЗ отримано інформаційні моделі, які забезпечують сталий однозначний зв’язок об’єктів системи з інформаційними елементами і з об’єктами автоматизації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гриньків А. В. Використання методів прогнозування в керуванні технічним станом агрегатів та систем транспортних засобів / А. В. Гриньків // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – 2016. – Вип. 29. – С. 25–32.
2. Волков В. П. Структурний підхід до розробки автоматизованої системи збирання даних і моніторингу параметрів технічного стану транспортного засобу / В. П. Волков, І. В. Грицук, Ю. В. Грицук, Ю. В. Волков // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – 2017. – № 1 (16). – С. 132–143.
3. Волков В. П. Интеграция технической эксплуатации автомобилей в структуре и прогрессу интеллектуальной транспортной системы : монография / В. П. Волков, В. П. Матейчик, П. Б. Никонов [и др.]; под. ред. В. П. Волкова. – Донецк : Изд-во «Ноудмедж» (Донецкое отделение), 2013. – 398 с.
4. Атрощенко В. А. Технические возможности повышения ресурса автономных электростанций энергетических систем : монография / В. А. Атрощенко, Ю. Д. Шевцов,

П. В. Яцынин, Р. А. Дьяченко, М. Н. Педько. – Краснодар : Издательский Дом - Юг, 2010. – 192 с.

5. Махаммад М. Д. Разработка информационной системы для дизельных электростанций с возможностями прогноза их технического состояния : автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.01 / Махаммад Мааз Джасем Махаммад; ГОУ ВПО «Кубанский государственный технологический университет». – Краснодар, 2009. – 23 с.

6. Говорущенко Н. Я. Системотехника проектирования транспортных машин : учебное пособие / Н. Я. Говорущенко, А. Н. Туренко. – Харьков : ХНАДУ, 2002. – 166 с.

7. Говорущенко Н. Я. Системотехника автомобильного транспорта (расчётные методы исследований) : монография / Н. Я. Говорущенко. – Харьков : ХНАДУ, 2011. – 292 с.

REFERENCES

1. Hrynkiv, A. (2016) Using of forecasting techniques to manage the technical condition of aggregates and systems of vehicles [Vykorystannia metodiv prohnouzuvannia v keruvanni tekhnichnym stanom ahrehativ ta system transportnykh zasobiv]. *Technic in agriculture, industrial machine building, automation [Tekhnika v silskohospodarskomu vyrobnytstvi, haluzeve mashynobuduvannia, avtomatyzatsiia]*. Vol. 29, 2016, pp. 25 – 32.

2. Volkov, V.P., Gritsuk, I.V., Gritsuk Yu.V. & Volkov Yu.V. (2017) Structural approach to the development of an automated data collection system and monitoring vehicle's technical conditions parameters [Strukturnyi pidkhid do rozrobky avtomatyzovanoi systemy zbyrannia danykh i monitorynhu parametriv tekhnichnoho stanu transportnoho zasobu]. *Scientific Bulletin of Kherson State Maritime Academy [Naukovyi visnyk Khersonskoi derzhavnoi morskoi akademii]*. Vol. 1 (16), 2017, pp. 132–143.

3. Volkov, V.P., Mateichyk, V.P., Nikonov P.B. & other (2013) Integration of technical operation of cars in the structure and progress of an intelligent transport system: monograph [Yntehratsiia tekhnicheskoi ekspluatatsiyi avtomobylei v strukture y prohressy yntellektualnoi transportnoi systemy: monohrafiya]. Donetsk, Noulidzh (Donetsk dep.). 398 p.

4. Atroschenko, V., Shevtsov, Yu., Yatsyinin, P., Dyachenko, R. & Pedko, M. *Technical possibilities of increasing the life of autonomous power plants of power systems. Monograph [Tekhnicheskie vozmozhnosti povysheniya resursa avtonomnykh elektrostansiy energeticheskikh sistem. Monografiya.]* Krasnodar, Izdatelskiy Dom Yug, 2010, 192 p.

5. Mahammad M.D. *Razrabotka informatsionnoy sistemy dlya dizelnykh elektrostansiy s vozmozhnostyami prognoza ih tekhnicheskogo sostoyaniya. Avtoreferat Diss. [Development of an information system for diesel power plants with the possibility of forecasting their technical condition. Author's abstract]*: Krasnodar, 2009. 23 p.

6. Hovorushchenko, N.Ya & Turenko A.N. (2002) Systems engineering design of transport machines: [textbook] [Systemotekhnika proektyrovaniya transportnykh mashyn: [uchebnoe posobie]] Khar'kov, KhNADU Publ. 166 p.

7. Hovorushchenko, N. (2011) *System technic of vehicles (calculation methods of research) [Systemotekhnika avtomobil'noho transporta (raschetnye metody yssledovaniya)]*. Khar'kov, KhNADU Publ. 292 p.

Волков В. П., Грицук И. В., Грицук Ю. В., Волков Ю. В. ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

В работе представлена реализация формирования информационной модели предметной области мониторинга параметров технического состояния транспортного средства. Сформировано аналитическое описание семантики системы с помощью булевых матриц смежности, описывающее отношения между компонентами предметной области. Определены основные множества отношений (взаимосвязей) между компонентами в пределах информационной модели предметной области транспортного средства. В результате формирования описания предметной области мониторинга параметров технического состояния транспортного средства получены

информационные модели, которые обеспечивают устойчивую однозначную связь объектов системы с информационными элементами и с объектами автоматизации.

Ключевые слова: *сбор данных, семантика, мониторинг, булева матрица смежности, транспортное средство, математическая модель.*

Volkov V. P., Gritsuk I. V., Gritsuk Yu. V., Volkov Yu. V. THE FEATURES OF THE FORMATION OF INFORMATION MODEL OF THE SUBJECT FIELD OF MONITORING THE PARAMETERS OF THE VEHICLE TECHNICAL CONDITION

The work presents the implementation of the formation of information model of the subject field of monitoring parameters of the vehicle technical condition. The analytical description of the semantics of the system with the help of adjacency boolean matrices, which describes the relations between the components of the subject field, has been formed. The basic sets of relations (relationships) between the components within the information model of the vehicle subject field are determined. As the result of formation the description of the subject field of monitoring the parameters of the vehicle technical condition it has obtained the information models that provide a consistent unambiguous connection of the objects of the system with information elements and objects of automation.

Keywords: *data collection, semantics, monitoring, adjacent boolean matrix, vehicle, mathematical model.*

© Волков В. П., Грицук І. В., Грицук Ю. В., Волков Ю. В.

Статтю прийнято
до редакції 7.11.17

УДК 621.318

ДИФФУЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ «ОБЖИМЕ» ТРУБЧАТЫХ ЗАГОТОВОК В МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ

Волонцевич Д. О., д.т.н., профессор, заведующий кафедры информационных технологий и систем колесных и гусеничных машин им. О. О. Морозова Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», e-mail: vdo_khpi@ukr.net;

Барбашова М. В., к.т.н., доцент кафедры физики Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, e-mail: barbashova1987@gmail.com;

Еремينا Е. Ф., к.т.н., доцент кафедры физики Харьковского национального автомобильно-дорожного университета, e-mail: elena.yeryomina@gmail.com

В статье проведен анализ электродинамических процессов при обжиге трубчатых заготовок, в условиях значительных диффузионных эффектов, индукторной системой для традиционной магнитно-импульсной обработки металлов. Исследованы электромагнитные процессы с помощью математического аппарата теории электромагнитного поля, решение поставленных краевых задач проведено аналитическими методами математической физики с последующей компьютерной обработкой полученных результатов. Результаты вычислений позволяют производить количественные оценки параметров диффузионных процессов при обжиге тонких металлических труб и прогнозировать наиболее возможную эффективность соответствующей производственной операции. Показано, что диффузионные процессы при обжиге трубчатых заготовок по форме матриц из материалов различной физической природы протекают совершенно идентично. Наличие диэлектрической матрицы, практически, соответствует увеличению зазора в случае матрицы из металла с высокой электропроводностью. Даны рекомендации по практическому осуществлению технологической операции обжим при формовке тонкостенных трубчатых заготовок величинами относительного снижения давления при различных значениях геометрических параметров исследованной системы.

Ключевые слова: раздача труб, обжим, скин-эффект, магнитно-импульсная обработка.

Постановка проблемы. Производственные операции, выполняемые в традиционной магнитно-импульсной обработке металлов, условно разделяются на три основные группы [1–3]. Это, так называемые, плоская штамповка, «раздача» и «обжим» массивных хорошо проводящих металлических заготовок.

Современное производство требует расширения перечня технологических процессов, в основе которых лежит силовое воздействие на плохо проводящие или просто тонкостенные металлы [4].

Анализ последних исследований и публикаций. Авторами [5] для плоской штамповки «прозрачных» листовых металлов теоретически и экспериментально обоснованы направления, сущность которых состоит в создании определённого пространственно-временного распределения напряжённости магнитного поля в поперечном сечении обрабатываемой заготовки. Практическим выходом проведенных исследований явилось создание прогрессивной технологии по изготовлению печатных плат в электротехнике [6].

Практические проблемы «раздачи» и «обжима» заготовок из тонкостенных (с точки зрения электродинамики) металлов требуют отдельного рассмотрения. Именно эти операции являются основными при сочленении отдельных элементов в сборных конструкциях (например, это могут быть рамы автомобильных кузовов) из сталей различных марок или из тонких алюминиевых сплавов и др.

Особенностям магнитно-импульсной «раздачи» тонкостенных трубчатых заготовок посвящена статья [7], где, в конечном итоге, сформулированы рекомендации по практическому осуществлению данной технологической операции при формовке тонкостенных трубчатых заготовок.

Постановка задания. Так же как и ранее в случае раздачи, продолжим анализ электродинамических процессов в ситуации, когда диффузионные эффекты становятся весьма значимыми, то есть глубина проникновения поля соизмерима или даже больше толщины металла трубы (тонкостенная заготовка).

Напомним, что характерной особенностью данного режима является ослабление силового воздействия вследствие появления ненулевой напряжённости магнитного поля на внешней поверхности трубчатой заготовки.

Данная ситуация весьма интересна с практической точки зрения, поскольку речь идёт о возможностях магнитно-импульсной технологии по обработке металлов с низкой электропроводностью (либо достаточно тонких).

Рассмотрим диффузионные процессы сквозь заготовку цилиндрической геометрии в случаях, характерных для реальных производственных процессов: сочленение с внутренним элементом из металла или обжим по форме оправки из диэлектрика.

Начнём с диффузии сквозь тонкостенную заготовку в случае индукторной системы, традиционной для магнитно-импульсной обработки металлов. Речь идёт об обжиме замкнутой проводящей оболочки по форме металлической матрицы в поле цилиндрического соленоида.

Расчетная модель, полученная мысленным поперечным разрезом исследуемой системы в области рабочей зоны, представлена на рис. 1 а.

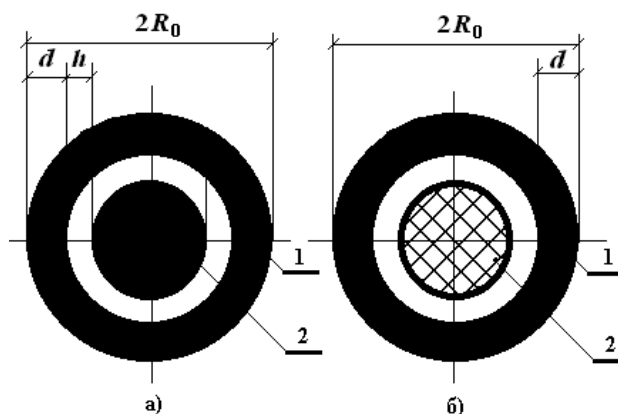


Рисунок 1 – Расчётная модель диффузионных процессов сквозь трубчатую заготовку при её обжиме по форме внутреннего элемента из металла (рис. 1 а) или диэлектрика (рис. 1 б): 1 – трубчатая заготовка; 2 – внутренний элемент, $2R_0$ – внешний размер заготовки, d – её толщина, h – зазор между внутренним элементом и заготовкой

При решении поставленной задачи полагаем, что:

- имеет место круговая симметрия (пренебрегаем наличием разреза в области токоподводов);
- на внешней поверхности цилиндрической заготовки возбуждается только z – компонента напряжённости магнитного поля $H_1(t)$ (z – направление, соответствующее оси, перпендикулярной плоскости чертежа на рис. 2 а, t – время);
- толщина металла заготовки много меньше характерных размеров индукторной системы: $\frac{d}{R_0} \ll 1$;

- внутренний элемент (матрица) выполнен из идеального проводника;

- зазор между заготовкой и матрицей достаточно мал, так что $\frac{h}{R_0} \ll 1$.

Уравнения Максвелла в полярной системе координат для составляющих напряженности электромагнитного поля ($E_\varphi \neq 0$, $H_z \neq 0$, φ – азимутальный угол), преобразованных по Лапласу с учетом нулевых начальных условий, можно записать в виде:

$$\begin{cases} \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \cdot (r \cdot E_{\varphi}(p, r)) = -\mu_0 p H_z(p, r); \\ -\frac{\partial H_z(p, r)}{\partial r} = \varepsilon_0 p E_{\varphi}(p, r); \\ -\frac{\partial H_z(p, r)}{\partial r} = \gamma E_{\varphi}(p, r); \end{cases} \quad \begin{matrix} (1) \\ (2) \\ (3) \end{matrix}$$

где p – параметр преобразования Лапласа; μ_0 и ε_0 – магнитная и диэлектрическая проницаемости вакуума; γ – электропроводность металла.

Из дифференциальной системы (1)–(3) получаем уравнение для напряжённости электрического поля в средах с различными электрофизическими характеристиками:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \cdot (r \cdot E_{\varphi}(p, r)) \right) - k_{1,2}^2(p) \cdot E_{\varphi}(p, r) = 0 \quad (4)$$

где $k_{1,2}(p)$ – волновые числа,

$$\begin{cases} k_1(p) = \frac{p}{c} \text{ (для областей с диэлектрическим заполнением),} \\ k_1(p) = c \text{ - скорость света в вакууме,} \\ k_2(p) = \sqrt{p\mu_0\gamma} \text{ (для областей с конечной проводимостью).} \end{cases}$$

Фундаментальная система решений уравнения (4) есть модифицированные функции Бесселя первого порядка – $I_1(z)$, $K_1(z)$.

Соответственно, общие интегралы для напряжённости электрического поля запишутся в виде:

а) в воздушном зазоре между заготовкой и идеально проводящей матрицей, $r \in [(R_0-d-h), (R_0-d)]$:

$$E_{\varphi}^1(p, r) = A(p) \cdot I_1(k_1(p) \cdot r) + B(p) \cdot K_1(k_1(p) \cdot r), \quad (5)$$

б) в металле тонкостенной заготовки, $r \in [(R_0-d), R_0]$:

$$E_{\varphi}^2(p, r) = C(p) \cdot I_1(k_2(p) \cdot r) + D(p) \cdot K_1(k_2(p) \cdot r), \quad (6)$$

где $A(p)$, $B(p)$, $C(p)$, $D(p)$ – произвольные постоянные интегрирования.

Выражения (5) и (6) подставим в уравнение (1). В результате получим формулы для напряжённости магнитного поля в выделенных областях:

а) в пространстве между матрицей и заготовкой, $r \in [(R_0-d-h), (R_0-d)]$:

$$H_z^1(p, r) = -\frac{1}{Z_0} (A(p) \cdot I_0(k_1(p) \cdot r) - B(p) \cdot K_0(k_1(p) \cdot r)), \quad (7)$$

б) в металле тонкостенной заготовки, $r \in [(R_0-d), R_0]$:

$$H_z^2(p, r) = -\sqrt{\frac{\gamma}{p\mu_0}} (C(p) \cdot I_0(k_2(p) \cdot r) - D(p) \cdot K_0(k_2(p) \cdot r)), \quad (8)$$

где Z_0 – волновое сопротивление вакуума, $I_0(z)$, $K_0(z)$ – модифицированные функции Бесселя нулевого порядка.

Неизвестные произвольные постоянные интегрирования в выражениях для компонент векторов электромагнитного поля можно найти с помощью соответствующих граничных условий и выразить их, в конечном итоге, через величины операторных форм напряжённости магнитного поля на поверхностях обрабатываемой тонкостенной

цилиндрической заготовки – $H_1(p)$ (внешняя поверхность: $r = R_0$) и $H_2(p)$ (внутренняя поверхность: $r = (R_0-d)$, $H_2(p) = L\{H_2(t)\}$).

Для диэлектрического зазора между матрицей и заготовкой произвольные постоянные интегрирования могут быть найдены из граничных условий: $E_\varphi^1(p, (R_0 - d - h)) = 0$ и $H_z^1(p, R_0 - d) = H_2(p)$.

В выражении (5) связь между $A(p)$ и $B(p)$ находим из условия равенства нулю касательной компоненты напряжённости электрического поля на поверхности идеального проводника. Тем самым исключаем одну из неизвестных констант. С помощью зависимости (7) выражаем оставшуюся произвольную постоянную через L – образ напряжённости магнитного поля на внутренней поверхности обрабатываемой заготовки – $H_2(p)$.

После тождественных преобразований получаем выражение для азимутальной составляющей напряжённости электрического поля в диэлектрическом зазоре – $r \in [(R_0-d-h), (R_0-d)]$:

$$E_\varphi^1(p, r) = -Z_0 \cdot H_2(p) \cdot \frac{f_3(r)}{f_4(p)}, \quad (9)$$

где $f_3(r) = K_1(k_1(p) \cdot (R_1 - h)) \cdot I_1(k_1(p) \cdot r) - I_1(k_1(p) \cdot (R_1 - h)) \cdot K_1(k_1(p) \cdot r)$,

$$f_4(p) = K_1(k_1(p) \cdot (R_1 - h)) \cdot I_0(k_1(p) \cdot R_1) - I_1(k_1(p) \cdot (R_1 - h)) \cdot K_0(k_1(p) \cdot R_1), R_1 = R_0 - d.$$

Аналогичным образом, в формуле (8) неизвестные произвольные постоянные интегрирования $C(p)$ и $D(p)$ выражаем через изображения напряжённостей магнитного поля на внутренней и внешней поверхностях заготовки. Полученные результаты подставляем в выражение (6).

В конечном итоге, после тождественных преобразований и введения упрощающих обозначений находим, что в металле заготовки ($r \in [(R_0-d), R_0]$) радиальное распределение электрического поля будет описываться зависимостью:

$$E_\varphi^2(p, r) = -\sqrt{\frac{p\mu_0}{\gamma}} (H_1(p) \cdot f_1(r) - H_2(p) \cdot f_2(r)), \quad (10)$$

$$\text{где } f_1(r) = \frac{I_0(k_2(p) \cdot R_1) \cdot K_1(k_2(p) \cdot r) + I_1(k_2(p) \cdot r) \cdot K_0(k_2(p) \cdot R_1)}{\Delta},$$

$$f_2(r) = \frac{K_0(k_2(p)(R_1 + d)) \cdot I_1(k_2(p) \cdot r) + K_1(k_2(p) \cdot r) \cdot I_0(k_2(p)(R_1 + d))}{\Delta},$$

$$\Delta = K_0(k_2(p)R_1) \cdot I_0(k_2(p)(R_1 + d)) - K_0(k_2(p)(R_1 + d)) \cdot I_0(k_2(p)R_1).$$

Выражения (9) и (10) можно упростить, если учесть реальные условия работы индукторных систем при магнитно-импульсной обработке металлов.

Для конкретных оценок будем ориентироваться на ранее проведенные эксперименты [5, 6], где рабочие частоты не превышали 50–70 кГц, а толщина обрабатываемой медной фольги составляла ~ 50 мкм. В этом случае имеет место оценка:

$$\omega \cdot \tau < 0,1 \ll 1, \quad (11)$$

где τ – характерное время диффузии поля, $\tau = \mu_0 \gamma d^2$.

Напомним, что по существу, неравенство (11) представляет собой условие тонкостенности деформируемого металла:

$$\begin{cases} \omega \cdot \tau \cdot \frac{R_1}{d} > 10 \gg 1; \\ \frac{\omega}{c} \cdot R_1 < 0,1 \ll 1. \end{cases} \quad (12)$$

Совокупность неравенств – (11) и (12) соответствуют предельным оценкам аргументов в выражениях (9), (10).

Неравенства (13) позволяют воспользоваться асимптотическими представлениями и разложениями в окрестности нуля для модифицированных функций Бесселя.

Выполняя предельные переходы в выражениях (9) и (10), получаем простые аналитически «прозрачные» зависимости для азимутальных компонент напряжённости

$$\begin{cases} |k_1(p) \cdot R_1| \ll 1; \\ |k_2(p) \cdot R_1| \gg 1; \\ |k_2(p) \cdot d| \ll 1. \end{cases} \quad (13)$$

электрического поля в полости между матрицей и заготовкой и собственно в металле тонкостенной цилиндрической заготовки:

$$E_\varphi^1(p, r) \cong \frac{p\mu_0 H_2(p)}{2} \cdot \frac{(r^2 - (R_1 - h)^2)}{r}, \quad (14)$$

$$E_\varphi^2(p, r) \cong \frac{1}{(\gamma \cdot d)} \cdot (H_1(p) - H_2(p)). \quad (15)$$

Как и следовало ожидать, электрическое поле (15) в тонком проводящем слое распределено равномерно по толщине.

Воспользуемся непрерывностью касательных составляющих напряжённости электрического поля на границе раздела различных сред и приравняем касательные составляющие напряжённости электрического поля (14) и (15) на границе раздела сред – $r = R_1 = (R_0 - d)$. Пренебрегая бесконечно малыми величинами второго порядка относительно $\left(\frac{h}{R_0 - d}\right)$, найдём связь между $H_1(p)$ и $H_2(p)$:

$$H_2(p) = H_1(p) \cdot G_1(p), \quad (16)$$

где $G_1(p)$ – операторный коэффициент экранирования магнитного поля металлом тонкостенной цилиндрической заготовки при его проникновении в полость, ограниченную идеально проводящей матрицей:

$$|G_1(p)| = \frac{1}{1 + p \cdot T_1}, \quad T_1 = \tau \cdot \left(\frac{h}{d}\right).$$

Выполним приближённую оценку величины коэффициента экранирования – $G_1(p)$ для характерных параметров исследуемой конструкции индукторной системы: частота ~ 60 кГц, $d = 5 \cdot 10^{-5}$ м, $R_0 = 5 \cdot 10^{-2}$ м, $h = 10^{-3}$ м.

В терминах формулы (16) получаем, что $\omega \cdot \tau = 0,071$; $\omega \cdot T_1 = 1,42$ и $|G_1(p)| \cong \frac{1}{1 + \omega \cdot T_1} \cong 0,41$. То есть, в случае металлической матрицы сквозь заготовку проникает $\sim 41\%$ внешнего магнитного поля (в степени достоверности этой оценки мы убедимся несколько позже на конкретном примере, где будет выполнено строгое обратное

преобразование Лапласа в выражении (16) при заданной временной функции поля индуктора).

Следует отметить, что данная величина коэффициента экранирования будет наименьшей, так как при движении заготовки $h \rightarrow 0$ и $|G_1(p)| \rightarrow 1$. То есть, в динамике, силовое воздействие со стороны магнитного поля будет резко падать и, в конечном итоге, начиная с какого-то значения воздушного зазора – $h(t)$ (как функции времени), прекратится совсем.

Перейдём к диффузии сквозь тонкостенную заготовку в индукторной системе, предназначенной для обжига замкнутой проводящей оболочки по форме диэлектрической матрицы в поле цилиндрического соленоида.

Расчетная модель, полученная мысленным поперечным разрезом исследуемой системы в области рабочей зоны, представлена на рис.1 б.

При тех же допущениях, что и ранее, аналогично запишем общие интегралы для компонент действующего электромагнитного поля в пространстве L – изображений.

Для напряжённости электрического поля получаем, что:

а) во внутреннем пространстве трубчатой заготовки, $r \in [0, (R_0-d)]$, условию ограниченности в нуле пространственной переменной удовлетворяет функция:

$$E_\phi^1(p, r) = A(p) \cdot I_1(k_1(p) \cdot r), \quad (17)$$

б) в металле тонкостенной заготовки, $r \in [(R_0-d), R_0]$:

$$E_\phi^2(p, r) = C(p) \cdot I_1(k_2(p) \cdot r) + D(p) \cdot K_1(k_2(p) \cdot r), \quad (18)$$

где $A(p)$, $B(p)$, $C(p)$, $D(p)$ – произвольные постоянные интегрирования.

Выражения (17) и (18) подставим в уравнение (1). В результате получим формулы для напряжённости магнитного поля в выделенных областях:

а) в пространстве между матрицей и заготовкой, $r \in [0, (R_0-d)]$:

$$H_z^1(p, r) = -\frac{1}{Z_0} A(p) \cdot I_0(k_1(p) \cdot r); \quad (19)$$

б) в металле тонкостенной заготовки, $r \in [R_0, (R_0-d)]$, $H_z^2(p, r)$ найдем аналогично (8).

Так же как и ранее, неизвестные произвольные постоянные интегрирования в выражениях для компонент векторов электромагнитного поля можно найти с помощью соответствующих граничных условий и выразить их, в конечном итоге, через величины операторных форм напряжённости магнитного поля на поверхностях обрабатываемой тонкостенной цилиндрической заготовки – $H_1(p)$ (внешняя поверхность: $r = R_0$) и $H_2(p)$ (внутренняя поверхность: $r = (R_0-d)$, $H_2(p) = L\{H_2(t)\}$).

После тождественных преобразований получаем выражение для азимутальной составляющей напряжённости электрического поля во внутренней полости трубчатой заготовки – $r \in [0, (R_0-d)]$:

$$E_\phi^1(p, r) = -Z_0 \cdot H_2(p) \cdot \frac{I_1(k_2(p) \cdot r)}{I_0(k_2(p) \cdot (R_0 - d))}. \quad (20)$$

Аналогичным образом, в формуле (8) неизвестные произвольные постоянные интегрирования $C(p)$ и $D(p)$ выражаем через изображения напряжённостей магнитного поля на внутренней и внешней поверхностях заготовки.

Полученные результаты подставляем в выражение (18).

В конечном итоге, после тождественных преобразований и введения упрощающих обозначений находим, что в металле заготовки ($r \in [(R_0-d), R_0]$) радиальное распределение электрического поля будет описываться зависимостью:

$$E_{\varphi}^2(p, r) = -\sqrt{\frac{p\mu_0}{\gamma}}(H_1(p) \cdot f_1(r) - H_2(p) \cdot f_2(r)), \quad (21)$$

$$\text{где } f_2(r) = \frac{K_0(k_2(p) \cdot R_0) \cdot I_1(k_2(p) \cdot r) + K_1(k_2(p) \cdot r) \cdot I_0(k_2(p) \cdot R_0)}{\Delta},$$

$$\Delta = K_0(k_2(p)R_1) \cdot I_0(k_2(p) \cdot R_0) - K_0(k_2(p) \cdot R_0) \cdot I_0(k_2(p)R_1).$$

Так же как и прежде, выражения (20) и (21) можно упростить, если учесть реальные условия работы индукторных систем при магнитно-импульсной обработке металлов [5, 6]. Принимаем, что рабочие частоты не превышают 50–70 кГц, а толщина обрабатываемой медной фольги составляет ~ 50 мкм.

В этом случае имеет место оценка (11)–(16):

$$E_{\varphi}^1(p, r) \cong \frac{p\mu_0 H_2(p)}{2} \cdot r \quad (22)$$

$$G_2(p) = \frac{1}{1 + p \cdot T_2}, \quad T_2 = \tau \cdot \left(\frac{R_0 - d}{2d} \right).$$

Первое, что следует отметить, это достоверность полученного результата.

Полученное значение $H_2(p)$ является аналогичным (16) и согласуется с аналогичным выводом, полученным в [8] при решении задачи о диффузии поля в замкнутую полость, ограниченную проводящими стенками малой толщины.

Выполним приближённую оценку величины коэффициента экранирования – $G_2(p)$ для характерных параметров исследуемой конструкции индукторной системы: частота ~ 60 кГц, $d = 5 \cdot 10^{-5}$ м, $R_0 = 5 \cdot 10^{-2}$ м, $h = 10^{-3}$ м.

В терминах формулы (16) получаем, что $\omega \cdot \tau = 0,071$; $\omega \cdot T_2 = 35,5$ и $|G_2(p)| \cong \frac{1}{1 + \omega \cdot T_2} \cong 0,027$. То есть, в случае внутренней матрицы из диэлектрика сквозь заготовку проникает всего лишь $\sim 2,7$ % внешнего магнитного поля.

Выражение для операторного коэффициента экранирования $G_2(p)$ позволяет оценить величину внутреннего радиуса тонкостенной трубчатой заготовки, для которого диффузионные процессы становятся весьма значимыми.

При той же величине $\omega \cdot \tau = 0,071$; но $\omega \cdot T_2 = 1,42$ сквозь стенки заготовки проникает уже ~ 41 % действующего поля индуктора, так как $|G_2(p)| \cong 0,41$.

Эти цифры совпадают с оценками, полученными при рассмотрении диффузионных процессов для обжима трубчатой заготовки по форме внутренней металлической матрицы. То есть, при рабочей частоте ~ 60 кГц диффузия поля сквозь заготовку толщиной $d = 5 \cdot 10^{-5}$ м будет достаточно интенсивной только для труб с очень малым внутренним размером, $R_0 - d \approx 2 \cdot 10^{-3}$ м. С уменьшением частоты прямо пропорционально возрастает соответствующий внутренний размер обрабатываемой заготовки. Так, при частоте ~ 10 кГц получаем, что $R_0 - d \approx 12 \cdot 10^{-3}$ м. И при этой же частоте внутренний диаметр, для которого диффузия поля индуктора не превышает 10%, должен быть не менее $\sim 7,5 \cdot 10^{-3}$ м.

Перейдём к оригиналам в выражении (16), характеризующих диффузионные процессы при обжиме трубчатых заготовок по форме металлических и диэлектрических матриц [9, 10]. Обычная временная зависимость для напряжённости поля индуктора, как следует из многочисленных экспериментов, описывается экспоненциально затухающей синусоидой, то есть $H_1(t) = H_{m1} \cdot e^{-\delta \cdot t} \cdot \sin(\omega \cdot t)$, H_{m1} – амплитуда, δ – декремент затухания, ω – циклическая частота, t – время. С учётом принятого вида $H_1(t)$ из (16) найдём отношение амплитуд проникшего и действующего полей.

$$\frac{H_{m2}}{H_{m1}} = \frac{e^{\frac{\pi \delta}{2\omega} (1 - \delta \cdot T_{1,2} + \omega \cdot T_{1,2} \cdot e^{\frac{\pi}{2\omega T_{1,2}} (1 - \delta T_{1,2})})}}{1 + \omega \cdot T_{1,2} \cdot (\omega T_{1,2} - \frac{\delta}{\omega} (2 - \delta T_{1,2}))} \quad (23)$$

Как следует из полученного результата, диффузионные процессы при обжиге трубчатых заготовок по форме матриц из материалов различной физической природы протекают совершенно идентично. Наличие диэлектрической матрицы, практически, соответствует увеличению зазора – h в случае матрицы из металла с высокой электропроводностью. Выражение (29) в функциональной зависимости от $\omega \cdot T_{1,2}$ представлено графиками на рис. 2.

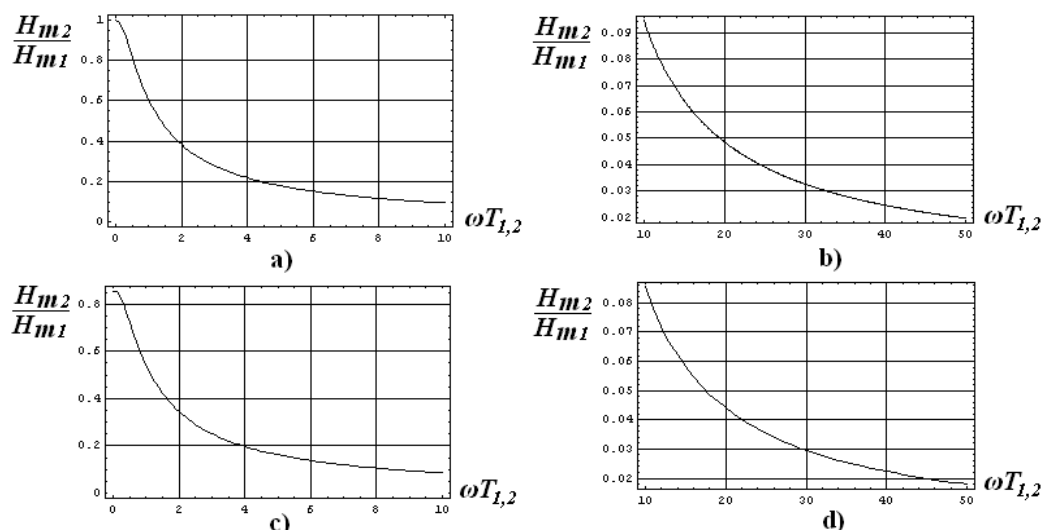


Рисунок 2 – Проникновение касательной компоненты напряжённости магнитного поля во внутреннюю полость трубчатой цилиндрической заготовки, а), б) $\delta = 0$; в), г) $\delta = 0,1 \cdot \omega$

Результаты вычислений позволяют производить количественные оценки параметров диффузионных процессов при обжиге тонких металлических труб и прогнозировать наиболее возможную эффективность соответствующей производственной операции.

В заключение оценим достоверность приближённых расчётов, выполненных ранее по формулам для операторных коэффициентов экранирования.

Так, при проникновении сквозь металл трубы в полость между её стенками и поверхностью проводящей матрицей было получено, что $|G_1(p)| \cong 0,41$. В случае диэлектрической матрицы для тех же условий было вычислено, что $|G_2(p)| \cong 0,027$.

Строгие оценки, выполненные с помощью формулы (23), показывают, что в рассмотренных ситуациях для разных декрементов затухания модули коэффициентов экранирования будут равны: $|G_1(p)| \cong 0,437 \div 0,487$ и $|G_2(p)| \cong 0,025 \div 0,028$. Эти данные свидетельствуют в пользу достоверности ранее выполненных приближённых оценок.

Вернёмся к результатам расчёта зависимости количественных показателей диффузии поля сквозь стенки трубчатой металлической заготовки от обобщённого параметра $\omega \cdot T_{1,2}$, приведенными на рис. 2.

Данные графики, безусловно, иллюстрируют электромагнитные процессы при «обжиге», но не являются наглядными с точки зрения непосредственных представлений о влиянии геометрических параметров индукторной системы и обрабатываемого объекта в их взаимосвязи с временными характеристиками действующего поля.

Для определённого восполнения отмеченного недостатка приведём дополнительно результаты вычислений относительной напряжённости магнитного поля, проникшего сквозь стенки трубчатой стальной заготовки конкретными поперечными размерами.

Отметим, что для рабочих частот принятых в расчётах толщина стенок обрабатываемой трубчатой заготовки (0,0005 м) существенно меньше эффективной глубины проникновения поля в соответствующую проводящую среду (при 5 кГц и 10 кГц величина скин-слоя будет составлять 0,0029 м и 0,002 м, соответственно).

На количественные показатели диффузионных процессов в рассматриваемой операции величина относительного декремента затухания ($\delta \approx 0,1$ – рис. 3 а) и с) в зависимости от величины рабочего зазора и $\delta \approx 0,2$ – рис. 3 б) и d) в зависимости от внутреннего радиуса) рис. 3.

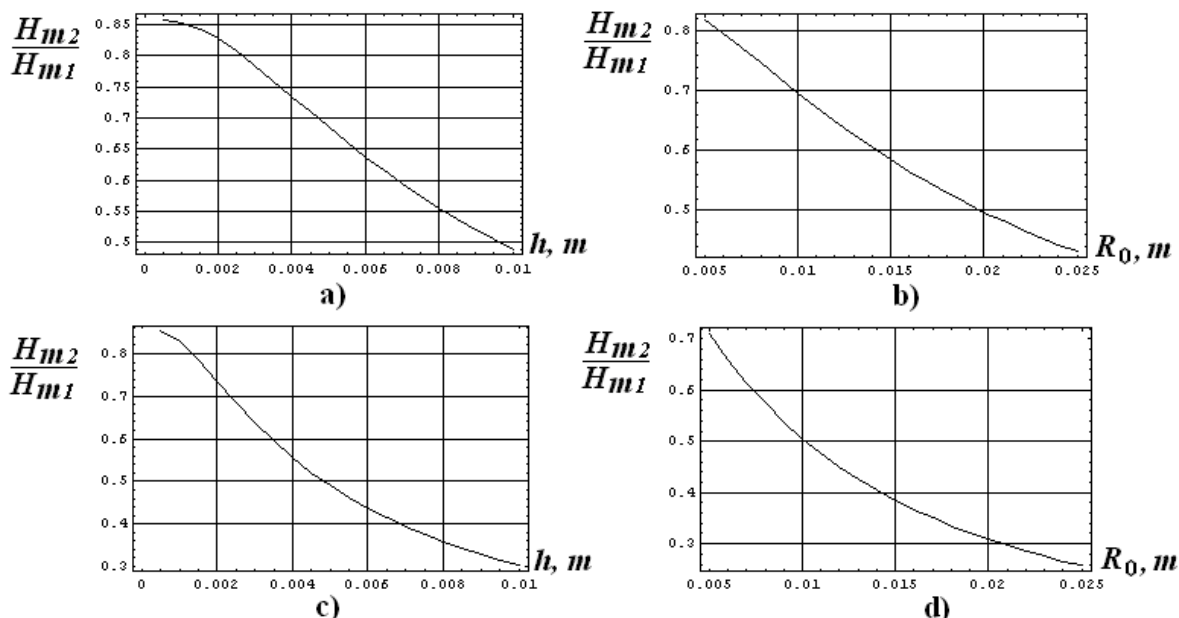


Рисунок 3 – Относительная напряжённость магнитного поля с рабочей частотой $f = 5 \text{ кГц}$, действующего на трубчатую стальную заготовку с толщиной $d = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$

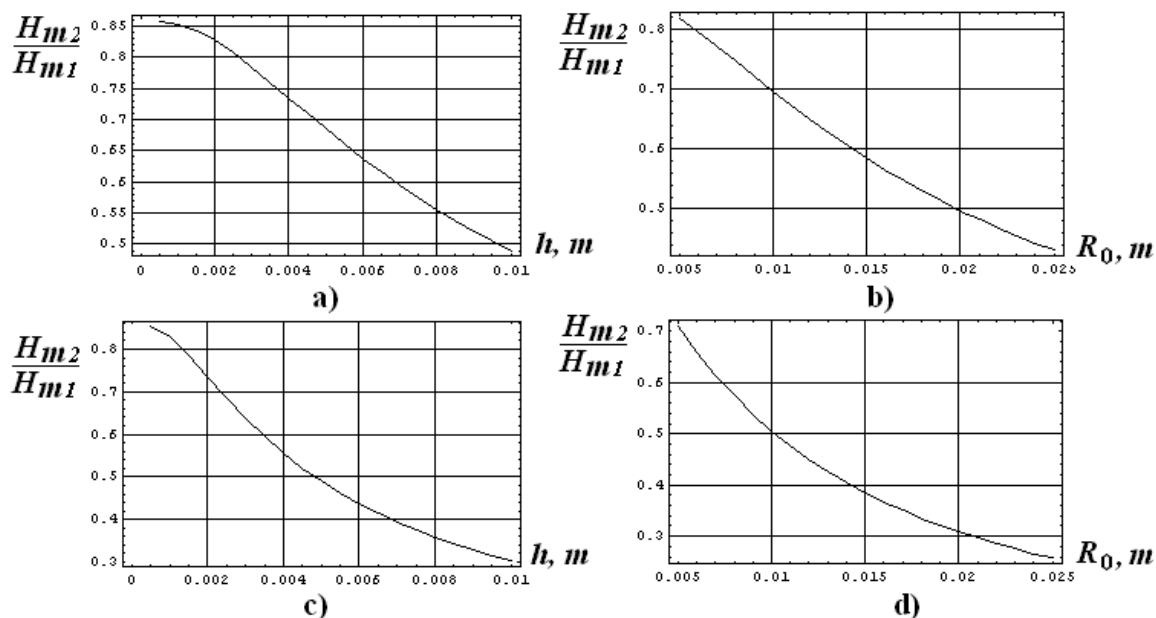


Рисунок 4 – Относительная напряжённость магнитного поля, действующего на трубчатую стальную заготовку (рабочие частоты $f = 5 \text{ кГц}$ и $f = 10 \text{ кГц}$, соответственно, относительный декремент затухания $\delta \approx 0,1$):

а) и с) при наличии проводящей матрицы в зависимости от величины рабочего зазора; б) и d) при наличии диэлектрической матрицы в зависимости от внутреннего радиуса

Наконец, кривые на рис. 5, в отличие от всех ранее представленных зависимостей, иллюстрируют процессы проникновения поля в терминах силового воздействия на

обрабатываемую заготовку. Здесь приведены величины относительного снижения давления при различных значениях геометрических параметров исследованной системы.

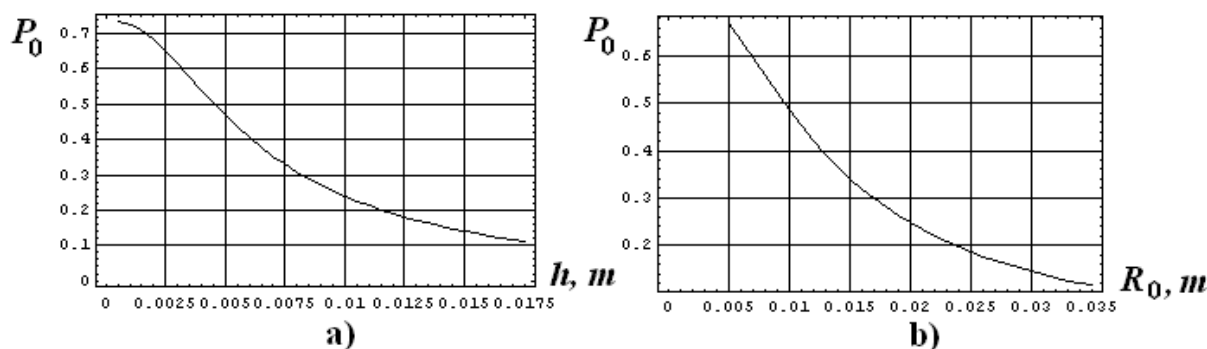


Рисунок 5 – Относительное давление магнитного поля (рабочая частота $f = 5 \text{ кГц}$, относительный декремент затухания $\delta \approx 0,1$), действующее на стенки трубчатой стальной заготовки толщиной $d = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$:

а) при наличии проводящей матрицы в зависимости от величины рабочего зазора; б) при наличии диэлектрической матрицы в зависимости от внутреннего радиуса заготовки

Выводы. Уменьшение рабочего зазора между обрабатываемой заготовкой и проводящей матрицей от 17,5 мм до 0,5 мм приводит к снижению силы действующего магнитного давления почти на 65 %. Однако, здесь следует указать, что для давлений – это завышенные цифры, поскольку матрица полагалась идеально проводящей. Реально же, снижение амплитуд действующих сил будет несколько меньше. В первом приближении эта поправка может быть оценена прибавлением к величине рабочего зазора значения эффективной глубины проникновения поля в проводящую среду, из материала которой изготавливается матрица. В случае деформирования трубчатой заготовки на диэлектрическую матрицу (либо это будет свободный «обжим») вариация внутреннего поперечного размера трубчатой заготовки в интервале диаметров от 70 до 10 мм приводит снижению давления на $\sim 57 \%$.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Импульсные магнитные поля для прогрессивных технологий. Том 3. Теория и эксперимент притяжения тонкостенных металлов импульсными магнитными полями : монография / А. Н. Туренко, Ю. В. Батыгин, А. В. Гнатов. – Харьков : ХНАДУ, 2009. – 240 с.
2. Pulsed electromagnetic attraction of sheet metals – Fundamentals and perspective applications / Sergey F. Golovashchenko, Andrey V. Gnatov // Journal of Materials Processing Technology. – Elsevier, 2013. – № 213 (3). – Р. 444–452.
3. Справочник по магнитно-импульсной обработке металлов / Белый И. В., Фертик С. М., Хименко Л. Т. – Харьков : Высшая школа, 1977. – 190 с.
4. Пат. 31309 України, В 21 Д 26/14. Индуктор для магнітно-імпульсного формування кутів у вигнутих листових металевих заготовках / Батыгин Ю. В., Чаплигин Е. А., Сериков Г. С.; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. ун-т. – № u200701443; заявл. 12.02.2007; опубл. 10.04.08, Бюл. №7.
5. Магнитно-импульсная обработка тонкостенных металлов / Батыгин Ю. В., Лавинский В. И. – Харьков : Изд. «МОСТ-Торнадо», 2002. – 284 с.
6. Батыгин Ю. В., Лавинский В. И. Электромагнитные процессы в индукторной системе для штамповки печатных плат // Электричество. – 2001. – № 1. – С.44–48.
7. Батыгин Ю. В., Лавинский В. И. Особенности магнитно-импульсной «раздачи» тонкостенных трубчатых заготовок // Электричество. – 2005. – № 11. – С.62–68.
8. Шнеерсон Г.А. Поля и переходные процессы в аппаратуре сверхсильных токов. – Л. : Энергоиздат, 1981. – 196 с.
9. Янке Е., Эмде Ф., Лёш Ф. Специальные функции. – М. : Изд. «Наука», 1977. – 342 с.

10. Г. Корн, Т. Корн. Справочник по математике. – М. : Изд. «Наука», 1973. – 832 с.

REFERENCES

1. Ympulsnye mahnytnye polia dlia prohressyvnykh tekhnolohiyi. Tom 3. Teoryia y eksperyment prytyazheniya tonkostennykh metallov ympulsnyu mahnytnu poliamy: monohrafiya [Tekst] / A. N. Turenko, Yu. V. Batiyhyn, A. V. Hnatov // Kharkiv: KhNADU, 2009 – 240 s.
2. Pulsed electromagnetic attraction of sheet metals – Fundamentals and perspective applications Journal of Materials Processing Technology [Text] / Sergey F. Golovashchenko, Andrey V. Gnatov // Elsevier. – 2013. – # 213 (3). – P. 444–452.
3. Spravochnyk po mahnytno-ypulsnoi obrabotke metallov [Tekst] / Belii Y.V., Fertyk S.M., Khymenko L.T. // Kharkov: Visshaia shkola. 1977. – 190 s.
4. Pat. 31309 Ukrainy, V 21 D 26/14. Induktor dlia mahnitno-impulsnoho formuvannia kutiv u vyhnutykh lystovykh metalevykh zahotivkakh / Batiyhyn Yu.V., Chaplyhin E.A., Serykov H.S.; zaiavnyk ta patentovlasnyk Kharkivskiy nats. avtom.-dorozhn. un-t. – # u200701443; zaiavl. 12.02.2007; opubl. 10.04.08, Biul. #7.
5. Mahnytno-ypulsnaia obrabotka tonkostennykh metallov [Tekst] / Batiyhyn Yu.V., Lavynskiy V.Y. // Kharkov: Yzd. «MOST-Tornado». 2002. – 284 s.
6. Elektromahnytnye protsessy v ynduktornoi systeme dlia shtampovky pechatnykh plat [Tekst] / Batiyhyn Yu.V., Lavynskiy V.Y. // Elektrychestvo. – 2001. – #1. – S.44-48.
7. Osobennosti mahnytno-ypulsnoi «razdachy» tonkostennykh trubchatykh zahotovok [Tekst] / Batiyhyn Yu.V., Lavynskiy V.Y. // Elektrychestvo. – 2005. – # 11. – S.62-68.
8. Polia y perekhodnye protsessy v apparature sverkhshynnikh tokov [Tekst] / Shneerson H.A. // L: Enerhoizdat. – 1981. – 196s.
9. Spetsyalnye funktsyy [Tekst] / Yanke E., Emde F., Lesh F. // M: Yzd. «Nauka». 1977. – 342s.
10. Spravochnyk po matematyke [Tekst] / H.Korn, T.Korn. // M: Yzd. «Nauka». 1973. – 832 s.

Волонцевич Д. О., Барбашова М. В., Єрьоміна Є. Ф. ДИФУЗІЙНІ ПРОЦЕСИ ПРИ «ОБТИСКУ» ТРУБЧАСТИХ ЗАГОТОВОК ПРИ МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНІЙ ОБРОБЦІ МЕТАЛІВ

У статті проведений аналіз електродинамічних процесів при обтиску трубчастих заготовок, в умовах значних дифузійних ефектів, індукторною системою для традиційної магнітно-імпульсної обробки металів. Досліджені електромагнітні процеси за допомогою математичного апарату теорії електромагнітного поля, рішення встановлених крайових задач проведених аналітичними методами математичної фізики з наступною комп'ютерною обробкою отриманих результатів. Результати розрахунків дозволяють проводити кількісні оцінки параметрів дифузійних процесів при обтиску тонких металевих труб та прогнозувати найбільш вірогідну ефективність відповідної виробничої операції. Показано, що дифузійні процеси при обтиску трубчастих заготовок по формі матриці з матеріалів різної фізичної природи протікають абсолютно ідентично. Наявність діелектричної матриці, практично, відповідає збільшенню зазору, в разі якщо матриця з металу та має високу електропровідність. Дані рекомендації щодо практичного здійснення технологічної операції обтиск при формуванні тонкостінних трубчастих заготовок величинами відносного зниження тиску при різних значеннях геометричних параметрів системи, що досліджувалась.

Ключові слова: роздача труб, обтиск, скін-ефект, магнітно-імпульсна обробка.

Volontsevich D.O., Barbashova M.V., Eremin E.F. DIFFUSION PROCESSES DURING «CRIMPING» OF TUBULAR BILLETS IN MAGNETIC-PULSE PROCESSING OF METALS

The article analyzes the electrodynamic processes during the clamping of tubular blanks, under conditions of significant diffusion effects, by an inductor system for the traditional magnetic-pulse treatment of metals. Electromagnetic processes are investigated with the help of the mathematical apparatus of the theory of the electromagnetic field the solution of the assigned boundary value problems is carried out by analytical methods of mathematical physics with subsequent computer processing of the results obtained. The results of the calculations make it possible to make quantitative estimates of the parameters of diffusion processes during the crimping of thin metal pipes and to predict the most possible efficiency of the corresponding production operation. It is shown that the diffusion processes in the compression of tubular blanks in the form of matrices from materials of different physical nature result quite identically. The presence of a dielectric matrix, in practice, corresponds to an increase in the gap in the case of a matrix of a metal with a high electrical conductivity. Recommendations are given on the practical implementation of the technological operation of crimping when forming thin-walled tubular billets with the values of relative pressure reduction for different values of the geometric parameters of the system studied.

Keywords: expansion of pipe, crimping, skin-effect, magnetic-pulse treatment.

© Волонцевич Д. О., Барбашова М. В., Єрьоміна Є. Ф.

Статтю прийнято
до редакції 24.10.17

ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ФРИКЦІЙНИХ ВІДЦЕНТРОВИХ МУФТ З КАНАТНИМИ ЛАНКАМИ

Малашенко В. О., д.т.н., професор, в.о. завідувача кафедри деталей машин Інституту інженерної механіки та транспорту Національного університету «Львівська політехніка»;

Проценко В. О., к.т.н., доцент кафедри транспортних технологій Херсонської державної морської академії, e-mail: eseu@ukr.net

Досліджено точність спрацювання фрикційних відцентрових муфт з циліндричними та конусними поверхнями тертя та канатними ланками. Отримано вирази для обчислення коефіцієнтів точності спрацювання цих муфт. За рахунок виконання чисельного моделювання виконано оцінку впливу конструктивних параметрів муфт та точність їх спрацювання. При цьому зокрема встановлено, що точність спрацювання фрикційних муфт з канатними ланками більша ніж у базовій муфти з радіально рухомими колодками.

Ключові слова: муфта, канат, момент, точність спрацювання.

Вступ. Раніше [1, 2] показано, що пускові фрикційні муфти відцентрового типу з радіально рухомими колодками, що встановлюються в тому числі в судових сепараторах палива і мастила, характеризуються нерівномірним зносом поверхонь тертя [3, 4], що викликано порушеннями центрування при монтажі з'єднаних муфтою складальних одиниць. Показано також, що причиною цього є наявність в механізмах муфт надлишкових зв'язків, кількість яких в режимі пуску і усталеного руху налічується $q = 2$. Також показано, що застосування гнучких канатних ланок для з'єднання колодок муфти з ведучою напівмуфтою дозволяє виключити ці зв'язки, оскільки їх можна вважати кінематичними парами першого класу [5].

Аналіз стану проблеми та постановка задачі. На подальшому етапі досліджень складено розрахункові схеми муфт з циліндричними та конічними (рис. 1) поверхнями тертя. В таких муфтах внутрішня напівмуфта 1 і відповідна їй (кожна із z встановлених) колодок 2 є ведучими і обертаються з кутовою швидкістю ω . За рахунок наявності відцентрової сили $F_{\text{в}}$ колодки притискаються до внутрішньої (гальмівної) поверхні зовнішньої напівмуфти 3 силою N , яка викликає на гальмівній поверхні силу тертя $F_{\text{тр}}$, яка створює момент тертя $T_{\text{тр}}$, що є рушійним моментом для зовнішньої напівмуфти 3 та сполучених з нею деталей приводу, канати при цьому натягуються силою $F_{\text{н}}$.

Отримані вирази [6, 7], що дозволяють визначити момент тертя розроблених муфт (із нехтуванням силами ваги колодок та пружин) з циліндричними (1) та конусними (2) поверхнями тертя.

$$T_{\text{тр}}^{\text{цил}} = \frac{0,25zf m_{\kappa} \omega^2 D_{\text{тр}} D_{\text{зв}}}{1 + \frac{2fD_{\text{тр}} \sqrt{0,25(D_{\text{зв}}^2 + D_{\text{вн}}^2) - 0,5D_{\text{зв}} D_{\text{вн}} \cos \xi}}{D_{\text{зв}} D_{\text{вн}} \sin \xi \sqrt{1 + \left(\frac{D_{\text{вн}} \sin \xi}{D_{\text{зв}} - D_{\text{вн}} \cos \xi} \right)^2}}} } , \quad (1)$$

$$= \frac{0,25zf m_{\kappa} \omega^2 D_{\text{тр}} D_{\text{вн}} \psi_D}{1 + \frac{2fD_{\text{тр}} \sqrt{0,25(\psi_D^2 + 1) - 0,5\psi_D \cos \xi}}{D_{\text{вн}} \psi_D \sin \xi \sqrt{1 + \left(\frac{\sin \xi}{\psi_D - \cos \xi} \right)^2}}}$$

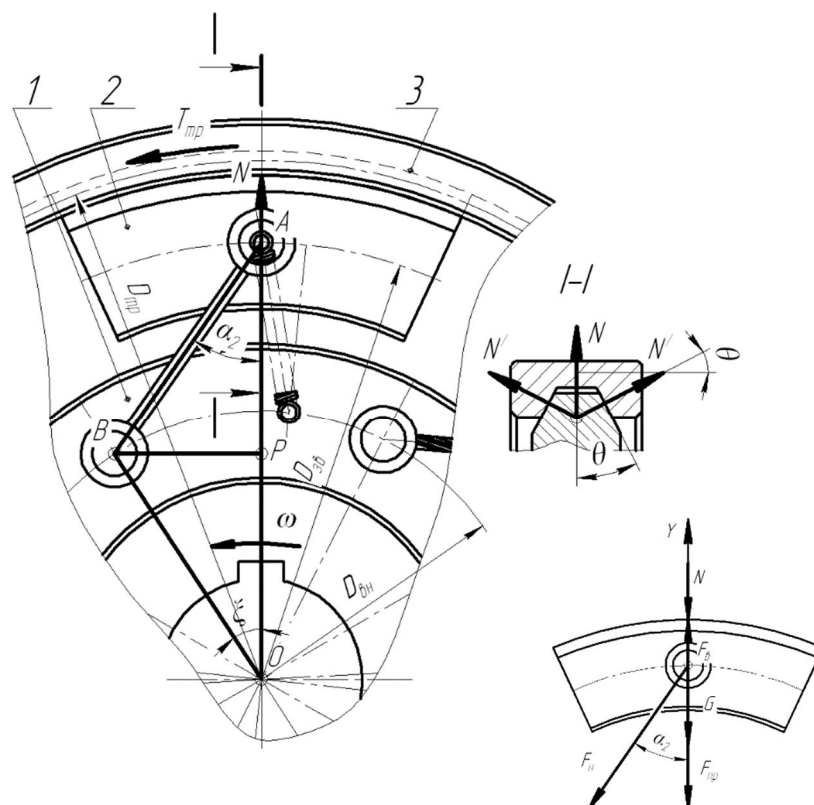


Рисунок 1 – Розрахункова схема фрикційної колодкової муфти з конусними поверхнями тертя та канатними ланками

$$T_{mp}^{кон} = \frac{0,25zfm_{\kappa}\omega^2 D_{mp} D_{36}}{\sin \theta \times \left[1 + \frac{2fD_{mp}\sqrt{0,25(D_{36}^2 + D_{6H}^2) - 0,5D_{36}D_{6H}\cos \xi}}{D_{36}D_{6H}\sin \xi \sin \theta \sqrt{1 + \left(\frac{D_{6H}\sin \xi}{D_{36} - D_{6H}\cos \xi} \right)^2}} \right]} = \frac{0,25zfm_{\kappa}\omega^2 D_{mp} D_{6H} \psi_D}{\sin \theta \times \left[1 + \frac{2fD_{mp}\sqrt{0,25(\psi_D^2 + 1) - 0,5\psi_D \cos \xi}}{D_{6H}\psi_D \sin \xi \sin \theta \sqrt{1 + \left(\frac{\sin \xi}{\psi_D - \cos \xi} \right)^2}} \right]} \quad (2)$$

де $\psi_D = D_{36} / D_{6H}$ – коефіцієнт діаметрів напівмуфт; 2θ – кут профілю конусної колодки.

При цьому якісні показники роботи, зокрема коефіцієнт точності спрацювання [8-10], розроблених муфт та вплив на них конструктивних параметрів вивчені недостатньо, що формує умови для подальших досліджень.

Виклад основного матеріалу. Коефіцієнт точності спрацювання муфт, як відношення максимально та мінімально можливого моменту тертя муфти є характеристикою якості виконання муфтою своїх захисних функцій в залежності від співвідношення максимального та мінімального моментів тертя муфти, які в свою чергу залежать від відповідних максимального f_m та мінімального f_n коефіцієнтів тертя ковзання.

З огляду на це, для муфт з циліндричними (3) та конусними (4) поверхнями тертя та канатними ланками можемо отримати вирази для коефіцієнтів точності:

$$\gamma_{\text{цил}} = \frac{T_{\text{тр max}}^{\text{цил}}}{T_{\text{тр min}}^{\text{цил}}} = \frac{f_m \left[1 + \frac{2f_n D_{\text{мп}} \sqrt{0,25(D_{\text{зб}}^2 + D_{\text{вн}}^2) - 0,5D_{\text{зб}}D_{\text{вн}} \cos \xi}}{D_{\text{зб}}D_{\text{вн}} \sin \xi \sqrt{1 + \left(\frac{D_{\text{вн}} \sin \xi}{D_{\text{зб}} - D_{\text{вн}} \cos \xi} \right)^2}} \right]}{f_n \left[1 + \frac{2f_m D_{\text{мп}} \sqrt{0,25(D_{\text{зб}}^2 + D_{\text{вн}}^2) - 0,5D_{\text{зб}}D_{\text{вн}} \cos \xi}}{D_{\text{зб}}D_{\text{вн}} \sin \xi \sqrt{1 + \left(\frac{D_{\text{вн}} \sin \xi}{D_{\text{зб}} - D_{\text{вн}} \cos \xi} \right)^2}} \right]} =$$

$$= \frac{f_m \left[1 + \frac{2f_n D_{\text{мп}} \sqrt{0,25(\psi_D^2 + 1) - 0,5\psi_D \cos \xi}}{D_{\text{вн}}\psi_D \sin \xi \sqrt{1 + \left(\frac{\sin \xi}{\psi_D - \cos \xi} \right)^2}} \right]}{f_n \left[1 + \frac{2f_m D_{\text{мп}} \sqrt{0,25(\psi_D^2 + 1) - 0,5\psi_D \cos \xi}}{D_{\text{вн}}\psi_D \sin \xi \sqrt{1 + \left(\frac{\sin \xi}{\psi_D - \cos \xi} \right)^2}} \right]}.$$

$$\gamma_{\text{кон}} = \frac{T_{\text{тр max}}^{\text{кон}}}{T_{\text{тр min}}^{\text{кон}}} = \frac{f_m \left[1 + \frac{2f_n D_{\text{мп}} \sqrt{0,25(D_{\text{зб}}^2 + D_{\text{вн}}^2) - 0,5D_{\text{зб}}D_{\text{вн}} \cos \xi}}{D_{\text{зб}}D_{\text{вн}} \sin \theta \sin \xi \sqrt{1 + \left(\frac{D_{\text{вн}} \sin \xi}{D_{\text{зб}} - D_{\text{вн}} \cos \xi} \right)^2}} \right]}{f_n \left[1 + \frac{2f_m D_{\text{мп}} \sqrt{0,25(D_{\text{зб}}^2 + D_{\text{вн}}^2) - 0,5D_{\text{зб}}D_{\text{вн}} \cos \xi}}{D_{\text{зб}}D_{\text{вн}} \sin \theta \sin \xi \sqrt{1 + \left(\frac{D_{\text{вн}} \sin \xi}{D_{\text{зб}} - D_{\text{вн}} \cos \xi} \right)^2}} \right]} =$$

$$= \frac{f_m \left[1 + \frac{2f_n D_{\text{мп}} \sqrt{0,25(\psi_D^2 + 1) - 0,5\psi_D \cos \xi}}{D_{\text{вн}}\psi_D \sin \theta \sin \xi \sqrt{1 + \left(\frac{\sin \xi}{\psi_D - \cos \xi} \right)^2}} \right]}{f_n \left[1 + \frac{2f_m D_{\text{мп}} \sqrt{0,25(\psi_D^2 + 1) - 0,5\psi_D \cos \xi}}{D_{\text{вн}}\psi_D \sin \theta \sin \xi \sqrt{1 + \left(\frac{\sin \xi}{\psi_D - \cos \xi} \right)^2}} \right]}.$$

Проаналізуємо вплив конструктивних параметрів муфти, зокрема кута ξ монтажного зміщення колодок та коефіцієнта діаметрів напівмуфт ψ_D на точність спрацьовування

муфти з циліндричними поверхнями тертя та канатними ланками на прикладі базової муфти суднового відцентрового сепаратора СЦ-1,5. У цієї муфти $m_k = 0,1$ кг, $D_{mp} = 150$ мм, $\omega = 157,08$ рад/с (1500 об/хв), $f = 0,4$ (пара тертя феродо по сталі). У муфти з канатними ланками передбачаємо конструктивно $D_{зв} = 135$ мм, $D_{вн} = 100$ мм. Зміну кута ξ під час моделювання передбачаємо в інтервалі $5 \dots 80^\circ$, а модельні коефіцієнти тертя $f_m = 0,4$, $f_n = 0,1$. Графік впливу кута монтажного зміщення ξ на коефіцієнт точності $\gamma_{\text{мцл}}$ (3) модельної муфти з циліндричними поверхнями тертя та канатними ланками ілюструє рис. 2.

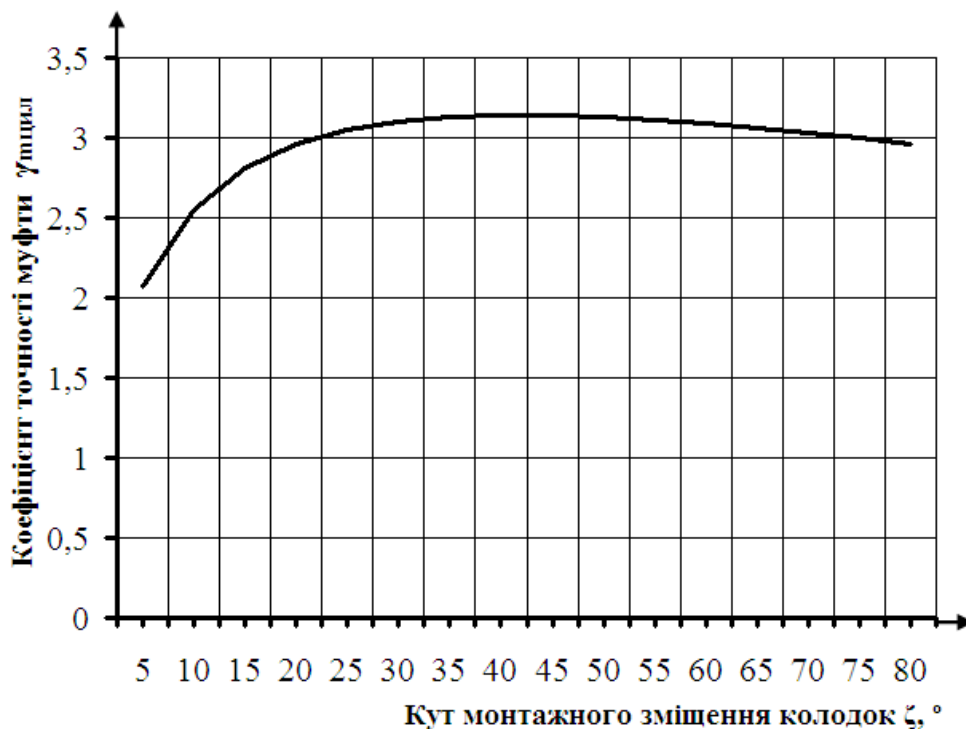


Рисунок 2 – Графік впливу величини кута монтажного зміщення ξ на коефіцієнт $\gamma_{\text{мцл}}$ точності спрацьовування муфти з циліндричними поверхнями тертя

За рахунок аналізу цього графіка можна зробити кілька важливих висновків, по-перше точність спрацьовування муфти з канатними ланками та циліндричними поверхнями тертя ($\gamma_{\text{мцл}} = 2,05 \dots 3,15$) в $1,3 \dots 1,5$ рази вище ніж у базової муфти з радіально-рухомими колодками для якої він рівний відношенню максимального та мінімального коефіцієнтів тертя $\gamma_m = f_m / f_n = 4,00$, по-друге вплив кута монтажного зміщення ξ на точність спрацьовування є нелінійним, максимальною точністю спрацьовування модельна муфта характеризується при мінімальних кутах монтажного зміщення, по-третє співставлення графіка на рис. 2 та розрахунку за отриманою раніше для постійних муфт [10] формулою (5) дає можливість стверджувати, що зі збільшенням натягу канатів точність муфти збільшується, а значення кута монтажного зміщення $\xi_F = 42,205^\circ$ при якому має місце найменший натяг канатів є одночасно значенням, яке забезпечує найнижчу точність спрацьовування муфти.

$$\xi_F = \arccos \frac{1}{\psi_D} = \arccos \frac{1}{1,35} = 42,205^\circ = 42^\circ 12' 20'' . \quad (5)$$

Під час вивчення впливу коефіцієнта діаметрів ψ_D (рис. 3) всі розміри муфти приймали незмінними, крім діаметра закріплення канатів у внутрішній напівмуфті, який змінювали в межах $D_{вн} = 40 \dots 115$ мм (кут монтажного зміщення мав значення $\xi = 42,205^\circ$).

Аналіз графіка на рис. 3 дає можливість встановити, що зі збільшенням різниці між діаметрами $D_{зв}$ та $D_{вн}$ точність спрацьовування муфти підвищується – при збільшенні

різниці між діаметрами в два рази від $\psi_D = 1,5$ до $\psi_D = 3,0$ коефіцієнт точності муфти зменшується від $\gamma_{\text{цил}} = 3,00$ до $\gamma_{\text{цил}} = 2,25$ (на 25%) – тобто для збільшення точності спрацьовування муфти різницю між діаметрами $D_{\text{зв}}$ та $D_{\text{вн}}$ треба приймати як можна більшою з умов компонування приводу з муфтою.

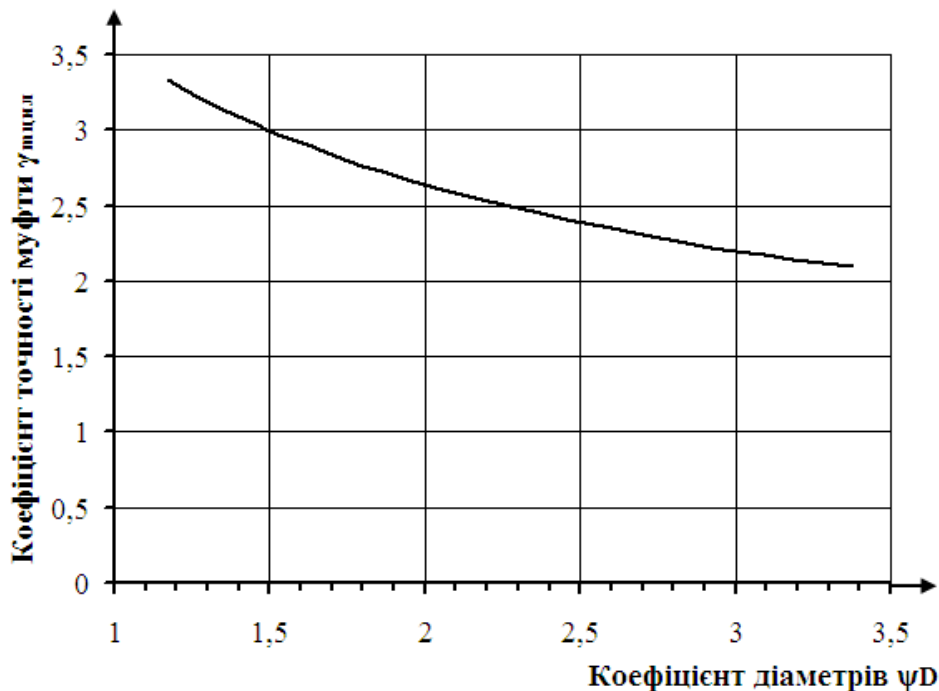


Рисунок 3 – Графік впливу величини коефіцієнта діаметрів ψ_D

на коефіцієнт $\gamma_{\text{цил}}$ точності спрацьовування муфти з циліндричними поверхнями тертя

Аналогічно муфті з циліндричними поверхнями тертя проаналізуємо вплив конструктивних параметрів муфти, зокрема кута ζ монтажного зміщення колодок на точність спрацьовування муфти з наведеними раніше параметрами, що мають конусні поверхні колодок. Під час моделювання передбачали зміну кута профілю $2\theta = 25^\circ, 40^\circ, 55^\circ$. Для кута $2\theta = 25^\circ$ графіки (рис. 4) показані суцільними лініями, для кута $2\theta = 40^\circ$ - штриховою лінією, для кута $2\theta = 55^\circ$ - осявою лінією. За рахунок аналізу графіків на рис. 4 можна встановити, що зі зменшенням кута 2θ точність її спрацьовування підвищується, так при $2\theta = 55^\circ$ та $\zeta = 42,205^\circ$ коефіцієнт точності складає $\gamma_{\text{ткон}} = 3,00$, при $2\theta = 25^\circ$ зменшується до $\gamma_{\text{ткон}} = 2,53$ (на 16%). Точність спрацьовування муфти з канатними ланками та конусними поверхнями тертя (при всіх досліджених 2θ) у всьому діапазоні кутів ζ вище ($\gamma_{\text{ткон}} = 1,78 \dots 2,84$ при $2\theta = 40^\circ$) ніж точність муфти циліндричними поверхнями тертя ($\gamma_{\text{ткон}} = 2,05 \dots 3,15$) (на 10...30%) та відповідно в 1,3...2,3 рази вище ніж у базової муфти з радіально-рухомими колодками ($\gamma_m = 4,00$) та вище ніж у подібних муфт досліджених раніше [8] ($\gamma_m = 2,5 \dots 3,9$). Максимальною точністю спрацьовування муфта з конусними поверхнями тертя характеризується при мінімальних кутах монтажного зміщення, зі збільшенням натягу канатів точність муфти збільшується, а значення кута монтажного зміщення при якому має місце найменший натяг канатів, як і для муфти з циліндричними поверхнями тертя, є одночасно значенням, яке забезпечує найнижчу точність спрацьовування муфти.

Під час вивчення впливу коефіцієнта діаметрів (рис. 5) параметри муфти змінювали аналогічно муфті з циліндричними поверхнями тертя приймаючи $2\theta = 40^\circ$. Аналіз графіка на рис. 5 дає можливість констатувати, що як і у випадку з циліндричними поверхнями тертя зі збільшенням різниці між діаметрами $D_{\text{зв}}$ та $D_{\text{вн}}$ точність спрацьовування муфти

підвищується – при підвищенні різниці між діаметрами в два рази від $\psi_D = 1,5$ до $\psi_D = 3,0$ коефіцієнт точності муфти зменшується від $\gamma_{ткон} = 2,65$ до $\gamma_{ткон} = 1,85$ (на 30%) – тобто висновок про доцільність збільшення різниці між діаметрами $D_{зв}$ та $D_{вн}$ для збільшення точності спрацьовування муфти справедливий і для муфти з конусними поверхнями тертя.

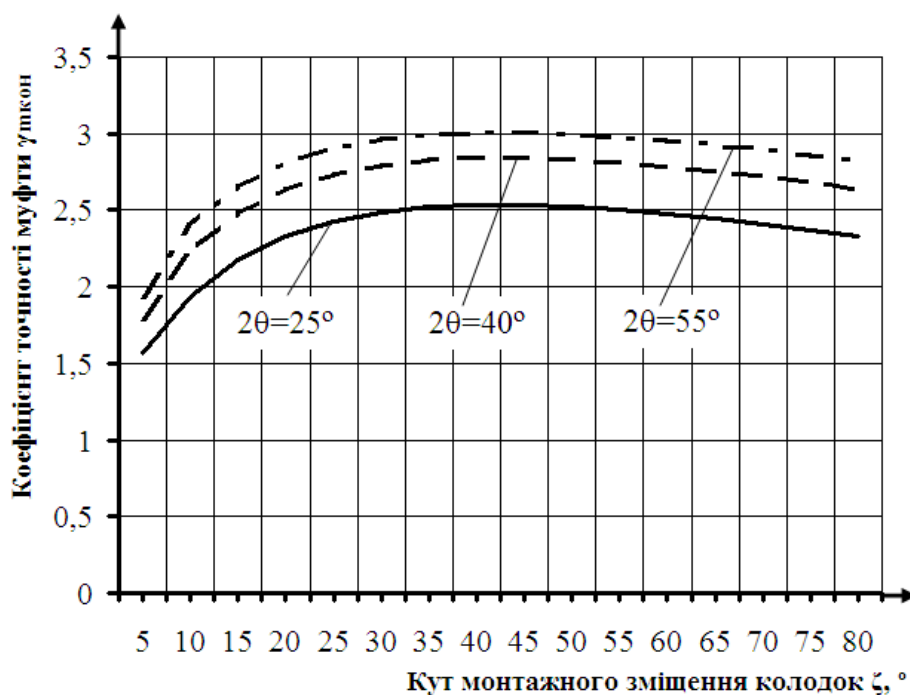


Рисунок 4 – Графіки впливу величини кута монтажного зміщення ζ на коефіцієнт $\gamma_{ткон}$ точності спрацьовування муфти з конусними поверхнями тертя

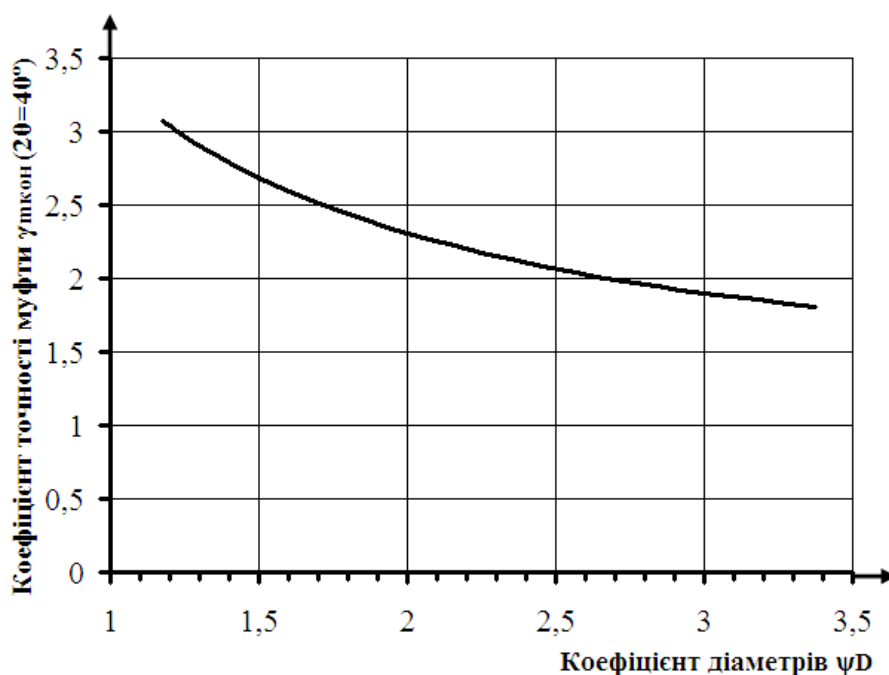


Рисунок 5 – Графік впливу величини коефіцієнта діаметрів ψ_D на коефіцієнт $\gamma_{ткон}$ точності спрацьовування муфти з конусними поверхнями тертя

Висновки. За рахунок виконання теоретичних досліджень отримано вирази для обчислення коефіцієнтів точності спрацьовування фрикційних відцентрових муфт з циліндричними та конусними поверхнями тертя та канатними ланками, що дозволило виконати чисельне моделювання та оцінити вплив конструктивних параметрів муфт та точність їх спрацьовування, при цьому встановлено, що:

- точність спрацьовування фрикційних муфт з канатними ланками більша ніж у базової муфти з радіально рухомими колодками для якої коефіцієнт точності спрацьовування рівний $\gamma_m = 4,00$. Муфта з циліндричними поверхнями тертя та канатними ланками в залежності від комбінації конструктивних параметрів має $\gamma_{\text{цил}} = 2,05 \dots 3,15$, що в 1,3...1,5 рази вище ніж у базової муфти. Точність спрацьовування муфти з канатними ланками та конусними поверхнями тертя (при досліджених кутах профілю $2\theta = 25^\circ, 40^\circ, 55^\circ$) у всьому діапазоні кутів ξ вище ($\gamma_{\text{ткон}} = 1,78 \dots 2,84$ при $2\theta = 40^\circ$) ніж точність муфти циліндричними поверхнями тертя на 10...30% та відповідно в 1,4...2,3 рази вище ніж у базової муфти з радіально-рухомими колодками.

- вплив кута монтажного зміщення ξ на точність спрацьовування фрикційних муфт з канатними ланками є нелінійним, максимальною точністю спрацьовування модельна муфта характеризується при мінімальних кутах монтажного зміщення, зі збільшенням натягу канатів точність спрацьовування муфти збільшується, а значення кута монтажного зміщення ξ_F при якому має місце найменший натяг канатів є одночасно значенням, яке забезпечує найнижчу точність спрацьовування муфти.

- зі зменшенням у муфт з конусними поверхнями тертя кута профілю 2θ точність їх спрацьовування підвищується, так при куті монтажного зміщення $\xi = 42,205^\circ$ та $2\theta = 55^\circ$ коефіцієнт точності складає $\gamma_{\text{ткон}} = 3,00$, а при $2\theta = 25^\circ$ зменшується до $\gamma_{\text{ткон}} = 2,53$ (на 16%).

- показано, що для муфт з циліндричними та конусними поверхнями тертя зі збільшенням різниці між діаметрами $D_{\text{зв}}$ та $D_{\text{вн}}$ точність спрацьовування муфти підвищується, так при підвищенні (при рівних інших параметрах) різниці між діаметрами в два рази від $\psi_D = 1,5$ до $\psi_D = 3,0$ коефіцієнт точності муфти з циліндричними поверхнями тертя зменшується від $\gamma_{\text{цил}} = 3,00$ до $\gamma_{\text{цил}} = 2,25$ (на 25%), а для муфти з конусними поверхнями тертя за таких же умов коефіцієнт точності зменшується від $\gamma_{\text{ткон}} = 2,65$ до $\gamma_{\text{ткон}} = 1,85$ (на 30%), тобто для збільшення точності спрацьовування досліджених муфт різницю між діаметрами $D_{\text{зв}}$ та $D_{\text{вн}}$ треба приймати якнайбільшою з умов компонування приводу з муфтою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Проценко В. О. Аналіз відмов та напрямки удосконалення відцентрових муфт сепараторів судових енергетичних установок / В. О. Проценко, Л. К. Самойленко, М. В. Бабій // Підйомно-транспортна техніка. Науково-технічний та виробничий журнал. – Одеса: Інтерпрінт. – 2016. – № 3 – С. 59–71.
2. Проценко В.О. Структурні та силові параметри відцентрових муфт і гальм із конічними фрикційними поверхнями та канатними елементами / В. О. Проценко // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – Херсон: ХДМА. – 2016. – № 1 (14) – С. 228–237.
3. Овсянников М. К., Петухов В. А. Эксплуатационные качества судовых дизелей. – Л. : Судостроение, 1982. – 208 с.
4. Башуров Б. П., Скиба А. Н., Чебанов В. С. Функциональная надежность и контроль технического состояния судовых вспомогательных механизмов. – Новороссийск : МГА им. адм. Ф. Ф. Ушакова, 2009. – 192 с.
5. Решетов Л. Н. Самоустанавливающиеся механизмы. – М. : Машиностроение, 1991. – 288 с.

6. Проценко В. О. Конструктивно-силові параметри фрикційної відцентрової муфти з канатними елементами / В. О. Проценко // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький : ХНУ, 2016. – № 5 (241) – С. 24–27.

7. Тепинкичиев В. К. Предохранительные устройства от перегрузки станков / В. К. Тепинкичиев. – М. : Машиностроение, 1968. – 112 с.

8. Есипенко Я. И. и др. Муфты повышенной точности ограничения нагрузки / Я. И. Есипенко, А. З. Паламаренко, М. К. Афанасьев. – К. : Техніка, 1972. – 168 с.

9. Кіндрацький Б. І. Структурно-параметричний синтез кулачкової запобіжної муфти / Б. І. Кіндрацький // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2004. – № 396: Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. – С. 77–86.

10. Проценко В. О. Силова взаємодія елементів муфти з торцевою установкою канатів тангенціального розташування / В.О. Проценко, О. Ю. Клементьєва // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – Запоріжжя: ЗНТУ. – 2016. – № 1 – С. 110–114.

REFERENCES

1. Protsenko, V. O., Samoyjlen, L. K., Babij M. V. (2016). Analiz vidmov ta napryamki udoskonalennya vidcentrovikh muft separatoriv sudnovikh energetichnikh ustanovok. *Pidymno-transportna tekhnika. Naukovo-tekhnichnij ta virobnichij zhurnal*. Odesa : Interprint. 3, 59–71.

2. Protsenko, V. O. (2016). Strukturni ta silovi parametri vidcentrovikh muft i galjm iz konichnimi frikciynimi poverkhnyami ta kanatnimi elementami. *Naukoviy visnik Khersonskoi derzhavnoi morskoj akademii*. Kherson : KhDMA. 1 (14). 228–237.

3. Ovsyannikov, M. K., Petukhov, V. A. (1982). *Ehkspluatatsionniye kachestva sudovikh dizeleyj*. Leningrad. : Sudostroenie, 1982.

4. Bashurov, B. P., Skiba, A. N., Chebanov, V. S. (2009). *Funktsionalnaya nadezhnostj i kontrolj tekhnicheskogo sostoyaniya sudovihk vspomogatel'nykh mekhanizmov*. Novorossiysk : MGA im. adm. F. F. Ushakova.

5. Reshetov L. N. Samoustanavlivayuthiesya mekhanizmih. – М. : Mashinostroenie, 1991. – 288 s.

6. Protsenko, V. O. (2016). Konstruktivno-silovi parametri frikciynoyi vidcentrovoyi mufti z kanatnimi elementami. *Visnik Khmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu*. Khmel'nic'kiy : KhNU. 5 (241). 24–27.

7. Tepinkichiev, V. K. (1968). *Predokhranitel'niye ustroystva ot peregruzki stankov*. Moskva : Mashinostroenie.

8. Esipenko, Ya. I., Palamarenko, A. Z., Afanasjev, M. K. and al. (1972). *Muftyh povyshennoy tochnosti ogranicheniya nagruzki*. Kiyv : Tekhnika.

9. Kindrac'kiy, B. I. (2004). Strukturno-parametrichnij sintez kulachkovoy zapobizhnoy mufti. *Visnik Nacional'nogo universitetu «Lviv's'ka politekhnika»*. 396: *Dinamika, micnistj ta proektuvannya mashin i priladiv*, 77–86.

10. Protsenko, V. O., Klementyeva, O. Yu. (2016). Silova vzaemodiya elementiv mufti z torcevoyu ustanovkoyu kanativ tangencial'nogo roztashuvannya. *Novi materialy i tekhnologii v metalurgii ta mashinobuduvanni*. Zaporizhzhya : ZNTU. 1, 110–114.

Малашенко В. А., Проценко В. А. ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ФРИКЦИОННЫХ ЦЕНТРОБЕЖНЫХ МУФТ С КАНАТНЫМИ ЗВЕНЬЯМИ

Исследована точность срабатывания фрикционных центробежных муфт с цилиндрическими и конусными поверхностями трения и канатными звеньями. Получены выражения для вычисления коэффициентов точности срабатывания этих муфт. За счет выполнения численного моделирования выполнена оценка влияния конструктивных параметров муфт на точность их срабатывания. При этом установлено, что точность срабатывания фрикционных муфт с канатными звеньями больше чем у муфты с радиально подвижными колодками для которой коэффициент точности срабатывания равен 4,00. Так муфта с цилиндрическими поверхностями трения и канатными звеньями имеет коэффициент точности 2,05...3,15, что в 1,3...1,5 раза выше чем у базовой муфты. Точность срабатывания муфты с канатными звеньями и конусными поверхностями трения (при

исследованных уграх профиля колодки 25° , 40° , 55°) выше (коэффициент точности 1,78...2,84) чем точность муфты с цилиндрическими поверхностями трения на 10...30% и соответственно в 1,4...2,3 раза выше чем у базовой муфты с радиально подвижными колодками.

Malaschtchenko V. A., Protsenko V.O. RESEARCHING OPERATION ACCURACY OF FRICTION CENTRIFUGAL COUPLINGS WITH ROPE LINKS

The operation accuracy of friction centrifugal couplings with cylindrical and tapered friction surfaces and rope links is investigated. In this case, the expressions for calculating the coefficients of operation accuracy of these couplings are obtained. Through the implementation of the numeric simulation, an assessment of the coupling structural parameters influence on their accuracy operation have been made. In particular, it was established that the accuracy operation of the friction couplings with rope links is greater than that of a couplings with radially moving blocks for which the accuracy operation coefficient is 4.00. So the coupling with cylindrical friction surfaces and rope links has a coefficient operation accuracy of 2.05 ... 3.15, which is 1.3 ... 1.5 times higher than the basic coupling with radial-moving blocks. The operation accuracy of the coupling with conical friction surfaces and rope links (at the examined profile corners 25° , 40° , 55°) above (coefficient of accuracy 1.78 ... 2.84) than the accuracy of the coupling with cylindrical friction surfaces by 10 ... 30% and respectively in 1.4 ... 2.3 times higher than the basic coupling with radial-moving blocks.

Keywords: coupling, rope, torque, operation accuracy.

© Малащенко В. О., Проценко В. О.

Статтю прийнято
до редакції 3.12.17

СТРОГОЕ ОБОСНОВАНИЕ СИЛЫ ДЕЙСТВИЯ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ

Настасенко В. А., к.т.н., доцент, профессор кафедры транспортных технологий Херсонской государственной морской академии, e-mail: Nastasenko2004@ukr.net

В настоящее время действие силы гравитационного поля принято определять величиной F_G гравитационного взаимодействия двух точечных тел массой m_1, m_2 , размещенных на расстоянии r между ними, в рамках открытого Ньютоном закона Всемирного тяготения. Однако сила взаимодействия точечных объектов не может строго характеризовать гравитационное поле, имеющее пространственную структуру, охватывающую весь сферический объем наблюдаемой Вселенной. Поэтому применение закона Ньютона для определения данной силы является некорректным.

В выполненной работе указанный недостаток устранен на основе найденных параметров волн гравитационного поля: частоты ν_G , длины волны λ_G , энергии этой волны $E_G = h\nu_G$ (где h – постоянная Планка), и эквивалента массы m_G этой волны, которые связаны со скоростью c света в вакууме зависимостью $m_G = h\nu_G/c^2$. При этом суммарную массу m_2 волн гравитационного поля в законе Ньютона заменяет ее эквивалент Nm_G , где N – количество длин волн в расстоянии r до объекта массой m_1 , составляющее величину $N = r/\lambda_G$, что позволяет найти новую строгую физическую зависимость для силы поля: $F_G = m_1 c^2 / r$. Из нее вытекает, что сила F_G действия гравитационного поля на выбранный объект массой m_1 является энергетической, она прямопропорциональна полной энергии массы этого тела и обратнопропорциональна расстоянию r между ним и выбранной точкой гравитационного поля.

Ключевые слова: сила гравитационного действия, волновые параметры гравитационного поля.

Введение. Связь проблемы с основными научными направлениями Работа относится к области физики гравитационного поля, связанного с основами мироздания и Вселенной в целом, в частности – с волновыми параметрами и силовым действием гравитационного поля. Поиску путей решения данных задач посвящены работы многих ведущих научных школ и ученых мира, занимающихся проблемами гравитационного поля и глобальными проблемами естествознания, поскольку их решение имеет большой теоретический и практический интерес для познания основ материального мира и всей Вселенной. В условиях постоянной потребности расширения знаний о Вселенной, о материальном мире и составляющих их физических полях, эти знания являются актуальными для развития физики и других естественных наук.

Анализ состояния проблемы и постановка задачи. Физические параметры гравитационного поля в настоящее время относятся к малоизученным, поскольку его единственной строго определяемой характеристикой является сила F_G гравитационного взаимодействия двух физических тел (1), вытекающая из закона всемирного тяготения, открытого Ньютоном [1, 2]:

$$F_G = G \frac{m_1 m_2}{r^2} (H), \quad (1)$$

где m_1, m_2 – массы (кг) двух точечных объектов, размещенных на расстоянии r (м) между ними; G – гравитационная постоянная [3]:

$$G = 6,67408 \cdot 10^{-11} \left(\frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2} \right). \quad (2)$$

Однако сила (1), найденная Ньютоном, относится к взаимодействию точечных объектов, поэтому для гравитационного поля, представляющего пространственную структуру, охватывающую весь объем наблюдаемой Вселенной, применение данного закона является некорректным.

Следует также учесть, что остальные характеристики гравитационного поля определяют нестрогое, а подобно аналогичным параметрам электромагнитного поля, на

основе эмпирической аналогии закона всемирного тяготения (1) и закона Кулона (3) для электростатического взаимодействия двух точечных тел [1, 2]:

$$|F_Q| = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2} (H), \quad (3)$$

где ϵ_0 – электрическая постоянная:

$$\epsilon_0 = 8,854187817 \dots \cdot 10^{-12} \frac{A^2 c^4}{\text{кг} \cdot \text{м}^3}, \quad (3)$$

Q_1, Q_2 – электрические заряды двух взаимодействующих точек (А·с), r – расстояние между взаимодействующими точками (м).

При этом эмпирическая аналогия с данным и другими электромагнитными законами подразумевает также волновое строение гравитационного поля, что вытекает из структуры электромагнитного поля. Однако аналогия не дает строгих оснований для определения его волновых и вещественно-полевых характеристик, дуализм которых характерен для элементарных частиц и обусловлен квантово-механическим уровнем гравитационного поля в общей системе материального мира.

Кроме того, возникают противоречия эффектов притяжения и отталкивания, поскольку объекты с одинаковыми электрическими зарядами отталкиваются, а с разными – притягиваются, что нехарактерно для гравитационного взаимодействия. Имеются также проблемы с пониманием процессов передачи этого взаимодействия, поскольку полевая структура для реализации явлений гравитации пока еще строго не определена. Принято считать, что эти процессы вытекают из условий искривления пространства, обоснованных в Общей теории относительности Эйнштейна [4]. Однако одного лишь искривления пространства – для этого недостаточно, необходимо знать, что лежит в основе этих искривленных структур и их взаимных связей. Поэтому поиск новых путей решения данных проблем и связанных с ними вопросов продолжается. Цель выполняемой работы – устранить указанные недостатки.

Научной новизной выполняемой работы является обоснование физической закономерности, позволяющей на строгой основе определять параметры силового воздействия гравитационного поля.

Для этого необходимо решение следующих задач:

- 1) обоснование новой теоретической базы, достоверной и достаточной для строгого определения силовых параметров гравитационного поля;
- 2) определение на этой базе новых физических зависимостей для расчета силовых параметров гравитационного поля и нахождение их численных значений;
- 3) доказательство достоверности всех выдвинутых научных положений и полученных на их базе результатов.

Обоснование возможностей решения поставленных задач. В рамках поставленных задач необходимо определение волновых параметров гравитационного поля.

Возможности их решения вытекают из теории суперструны. Однако она имеет обобщенный характер решения, которое не дает конкретных волновых параметров. В основу этой теории положен принцип перехода по общим уровням материального мира в направлении их углубления от атомного к субатомному и т.д., к которому относятся элементарные частицы, имеющие свойства вещества и поля. При этом традиционный путь решения задачи определения волновых параметров связан с их преобразованием в направлении движения от электромагнитного поля к гравитационному (прямой путь) на базе общих уравнений Максвелла и Лоренца, что существенно усложняет процесс, поскольку он не имеет точных сведений о конечных волновых параметрах.

Прямой путь решения данной задачи на базе перехода к более глубокому уровню материального мира показан на рис. 1 [5]:

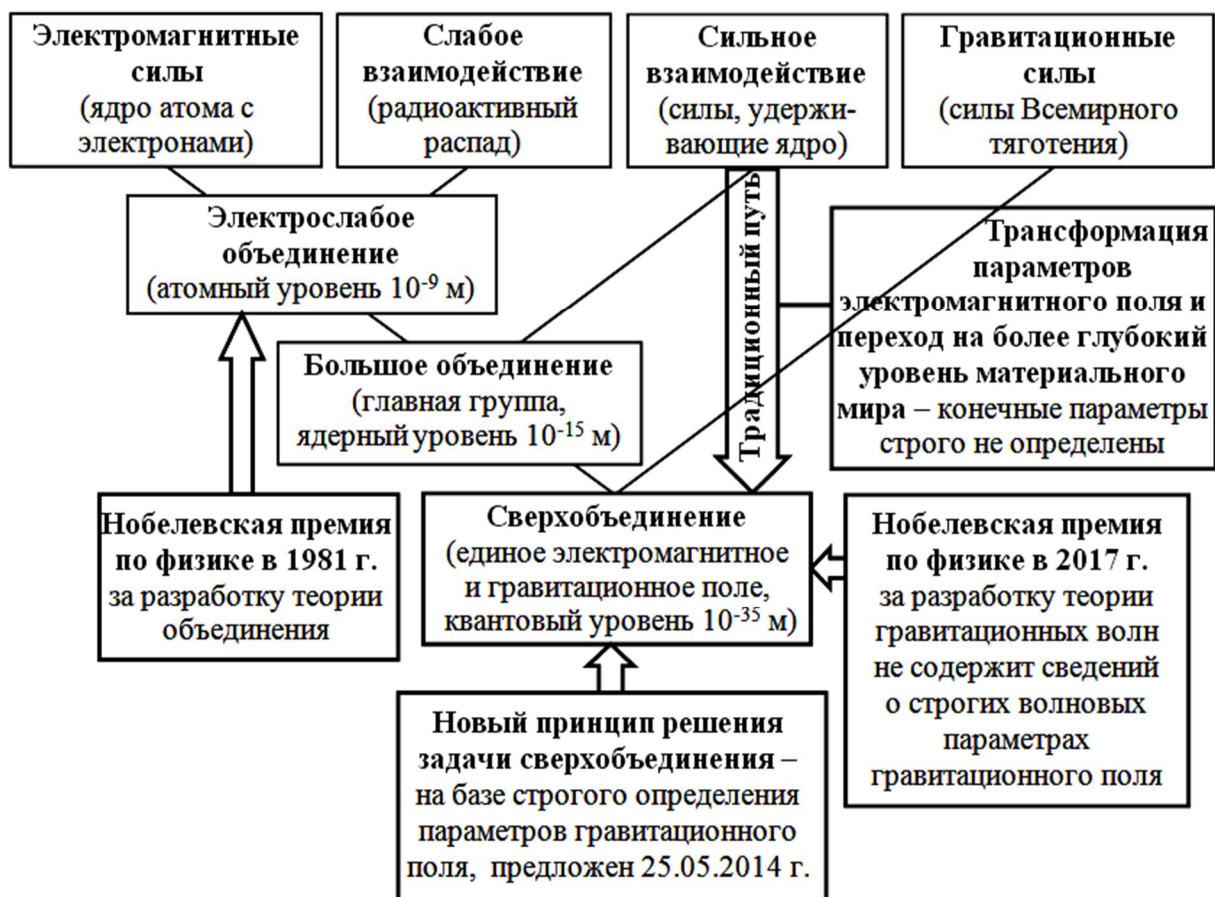


Рисунок 1 – Общая структурная схема изменения размерно-волновых параметров материального мира

1-й уровень – электрослабое объединение, связан с атомами, имеющими размеры и волновые параметры $\approx 10^{-9}$ м (Нобелевская премия по физике 1981 г.).

Уровень Большого объединения связан с атомными ядрами, имеющими размеры и волновые параметры $\approx 10^{-15}$ м.

Следующий уровень – сверхобъединение, связан с переходом к элементарным частицам, а среди их широкого разнообразия – выбраны кварки, имеющие наименьшие размеры и волновые параметры. Поскольку параметры кварков до настоящего времени строго не определены, поэтому их размеры и волновые параметры были отнесены к общему квантовому уровню с ориентировочной величиной $\approx 10^{-35}$ м. При этом их не сводили строго к открытым М. Планком в 1900 году особым физическим величинам: Планковской длине l_p^o , времени t_p^o и массе m_p^o [1, 2], которые были получены на базе строгих физических закономерностей, состоящих из 3-х исходных фундаментальных физических констант: скорости с света в вакууме, гравитационной постоянной G и круговой постоянной Планка $\hbar$, что конкретизировало бы волновые параметры. Объясняется это тем, что до 2000 г. Планковские величины считались абстрактными [6, 7]. разработанной теории гравитационных волн (Нобелевская премия по физике в 2017 г. [8]), также нет конкретных волновых параметров гравитационного поля, что объясняется научно-технической сложностью их определения. Однако они были найдены в 2014 г. в работах [9, 10], при этом использовался нетрадиционный подход, связанный с противоположным движением преобразований параметров материального мира – от гравитационного поля к электромагнитному. Исходными были приняты Планковские величины: длины l_p^o , времени t_p^o и массы m_p^o :

$$l_p^o = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = \sqrt{\frac{1,0545718 \cdot 10^{-34} \left(\frac{\kappa \mathcal{Z} \cdot \mathcal{M}^2}{c} \right) \cdot 6,67408 \cdot 10^{-11} \left(\frac{\mathcal{M}^3}{\kappa \mathcal{Z} \cdot c^2} \right)}{\left[0,299792458 \cdot 10^9 \left(\frac{\mathcal{M}}{c} \right) \right]^3}} = 1,61623 \cdot 10^{-35} (\mathcal{M}), \quad (4)$$

$$t_p^o = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}} = \sqrt{\frac{1,0545718 \cdot 10^{-34} \left(\frac{\kappa \mathcal{Z} \cdot \mathcal{M}^2}{c} \right) \cdot 6,67408 \cdot 10^{-11} \left(\frac{\mathcal{M}^3}{\kappa \mathcal{Z} \cdot c^2} \right)}{\left[0,299792458 \cdot 10^9 \left(\frac{\mathcal{M}}{c} \right) \right]^5}} = 5,39116 \cdot 10^{-44} (c), \quad (5)$$

$$m_p^o = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} = \sqrt{\frac{1,0545718 \cdot 10^{-34} \left(\frac{\kappa \mathcal{Z} \cdot \mathcal{M}^2}{c} \right) \cdot 0,299792458 \cdot 10^9 \left(\frac{\mathcal{M}}{c} \right)}{6,67408 \cdot 10^{-11} \left(\frac{\mathcal{M}^3}{\kappa \mathcal{Z} \cdot c^2} \right)}} = 2,17647 \cdot 10^{-8} (\kappa \mathcal{Z}), \quad (6)$$

$$c = 0,299792458 \cdot 10^9 \frac{\mathcal{M}}{c}, \quad (7)$$

$$h = 6,626070040 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot c = 6,626070040 \cdot 10^{-34} \frac{\text{кг} \cdot \mathcal{M}^2}{c}, \quad (8)$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = \frac{6,626070040 \cdot 10^{-34} \frac{\kappa \mathcal{Z} \cdot \mathcal{M}^2}{c}}{2 \cdot 3,14159256} = 1,0545718001 \cdot 10^{-34} \frac{\kappa \mathcal{Z} \cdot \mathcal{M}^2}{c}. \quad (9)$$

Планковские параметры не использовались в научных исследованиях, поскольку принято считать абстрактными величинами. Объясняется это непропорциональными размерами длины l_p^o и массы m_p^o . Например, по сравнению с размерно-массовыми характеристиками электрона, они дают взаимно противоположные расхождения: по размерам Планковская длина $l_p^o = 1,61623 \cdot 10^{-35}$ м, что меньше классического радиуса электрона $r_e = 2,8179409 \cdot 10^{-15}$ м в 10^{20} раз, а Планковская масса $m_p^o = 2,17647 \cdot 10^{-8}$ кг, что больше массы покоя электрона $m_e = 9,1093897 \cdot 10^{-31}$ кг в 10^{23} раз. Такая диспропорция не характерна для гармонии размеров и масс, сложившейся во Вселенной. Поэтому в рамках традиционных знаний о материальном мире применение величин l_p^o , t_p^o , m_p^o в научных исследованиях ограничено лишь сверхплотным (сингулярным) периодом рождения и Большим взрывом Вселенной [11], результатом которого является ее материализация и формирование в ней всех исходных физических полей и веществ.

Однако в работах [6, 7] была обоснована их реальность за счет связи Планковских величин длины l_p^o , времени t_p^o и массы m_p^o со сферическими слоями Планковской толщины, охватывающими параметры наблюдаемой Вселенной (рис. 2), что позволяет распределить массу m_p^o по всему сферическому слою:

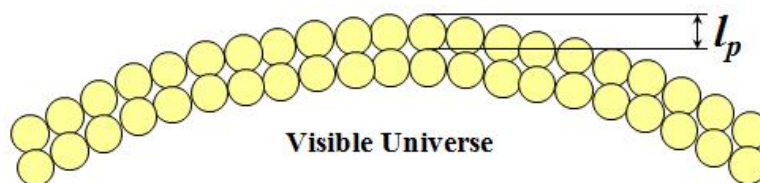


Рисунок 2 – Связь Планковских параметров с параметрами сферы наблюдаемой Вселенной

Поэтому было признано возможным использование Планковских величин l_p^o, t_p^o, m_p^o в научных исследованиях. Однако в работе [12] было показано, что найденные М. Планком величины l_p^o, t_p^o, m_p^o могут быть отнесены к внутренним параметрам минимального кванта пространства Вселенной – его гравитационному радиусу, что не обеспечивает возможности их квантования с другими параметрами материального мира. Поэтому в работе [12] были найдены новые Планковские параметры (10)...(12), особенностью которых является их определение на базе постоянной Планка (8) и обоснована их связь с минимальным квантом пространства Вселенной.

Планковская длина l_p :

$$l_p = \sqrt{\frac{hG}{c^3}} = \sqrt{\frac{6,626070040 \cdot 10^{-34} \left(\frac{\kappa^2 \cdot \mathcal{M}^2}{c} \right) \cdot 6,67408 \cdot 10^{-11} \left(\frac{\mathcal{M}^3}{\kappa^2 \cdot c^2} \right)}{\left[0,299792458 \cdot 10^9 \left(\frac{\mathcal{M}}{c} \right) \right]^3}} = 4,05128 \cdot 10^{-35} (\mathcal{M}). \quad (10)$$

Планковское время t_p :

$$t_p = \sqrt{\frac{hG}{c^5}} = \sqrt{\frac{6,626070040 \cdot 10^{-34} \left(\frac{\kappa^2 \cdot \mathcal{M}^2}{c} \right) \cdot 6,67408 \cdot 10^{-11} \left(\frac{\mathcal{M}^3}{\kappa^2 \cdot c^2} \right)}{\left[0,299792458 \cdot 10^9 \left(\frac{\mathcal{M}}{c} \right) \right]^5}} = 13,5136 \cdot 10^{-44} (c). \quad (11)$$

Планковская масса m_p :

$$m_p = \sqrt{\frac{hc}{G}} = \sqrt{\frac{6,626070040 \cdot 10^{-34} \left(\frac{\kappa^2 \cdot \mathcal{M}^2}{c} \right) \cdot 0,299792458 \cdot 10^9 \left(\frac{\mathcal{M}}{c} \right)}{6,67408 \cdot 10^{-11} \left(\frac{\mathcal{M}^3}{\kappa^2 \cdot c^2} \right)}} = 5,45560 \cdot 10^{-8} (\kappa). \quad (12)$$

Следующим шагом научных исследований было строгое определение волновых параметров гравитационного поля [9, 10], которое основано на найденной в них строгой зависимости (13) для определения величины гравитационной постоянной G :

$$G = \frac{t_p^2 c^5}{h} = \frac{\left[13,5136 \cdot 10^{-44} (c) \right]^2 \left[0,299792458 \cdot 10^9 \left(\frac{\mathcal{M}}{c} \right) \right]^5}{6,626070040 \cdot 10^{-34} \left(\frac{\kappa^2 \cdot \mathcal{M}^2}{c} \right)} = 6,67408 \cdot 10^{-11} \left(\frac{\mathcal{M}^3}{\kappa^2 \cdot c^2} \right). \quad (13)$$

Особенностью зависимости (13) является использование 2-х констант: постоянной Планка h (8), скорости света в вакууме c (7), а также Планковского времени t_p , которое может быть заменено строгой волновой характеристикой – Планковской частотой ν_p , как обратной величиной времени t_p . Это сводит зависимость (13) к строгой зависимости (14), в которой частота ν_p , входящая в гравитационную постоянную G , является ее волновой

характеристикой. Таким образом, на строгой физической основе подтверждается ее связь с частотой колебаний волн гравитационного поля $\nu_G = \nu_p$, поскольку постоянная G – составляющая компонента гравитационных сил F_G , входящих в закон Всемирного тяготения (1):

$$G = \frac{t_p^2 c^5}{h} = \frac{c^5}{\nu_p^2 h} = \frac{c^5}{\nu_G^2 h}. \quad (14)$$

Из найденной зависимости (14) частота колебаний волн гравитационного поля ν_G может быть получена на строгой основе, в рамках зависимости (15):

$$\nu_G = \nu_p = \sqrt{\frac{c^5}{Gh}} = \sqrt{\frac{\left[0,299792458 \cdot 10^9 \left(\frac{M}{c}\right)\right]^5}{6,67408 \cdot 10^{-11} \left(\frac{M^3}{\kappa^2 \cdot c^2}\right) \cdot 6,62607004 \cdot 10^{-34} (Дж \cdot c)}} = 7,39995 \cdot 10^{42} (c^{-1}). \quad (15)$$

Строгое определение частоты колебаний волн гравитационного поля по зависимости (15) найдено впервые в работе [13], что вносит коренные изменения в представления о его параметрах и, в конечном итоге, в общий уровень научного познания, поэтому отвечает всем признакам научного открытия [14].

Учитывая, что величина $\nu_G = \nu_p$ (15) асимптотически приближается к величине (16), в работе [15] была обоснована возможность ее точного квантового значения:

$$\nu_G = \nu_p = 7,4 \cdot 10^{42} c^{-1}. \quad (16)$$

На базе найденного значения частоты ν_G (15) в работе [5] были определены остальные основные волновые параметры гравитационного поля, которые в данной работе уточнены за счет использования значения частоты ν_G (16) и произведено их сравнение со значениями, полученными на базе Планковских параметров (10)...(12):

1. Период T_G колебаний волн гравитационного поля, который совпадает с Планковским временем t_p в рамках точности его определения (11):

$$T_G = \frac{1}{\nu_G} = \frac{1}{7,4 \cdot 10^{42} (c^{-1})} = 1,35 | 135 | \cdot 10^{-43} (c) = t_p = \sqrt{\frac{hG}{c^5}} = 1,35136 \cdot 10^{-43} (c). \quad (17)$$

2. Длина колебаний волн λ_G гравитационного поля, которая совпадает с Планковской длиной l_p в рамках точности ее определения (10):

$$\lambda_G = \frac{c}{\nu_G} = \frac{0,299792458 \cdot 10^9 \left(\frac{M}{c}\right)}{7,4 \cdot 10^{42} (c^{-1})} = 4,051249 | 432 | \cdot 10^{-35} (M) = l_p = \sqrt{\frac{hG}{c^3}} = 4,05126 \cdot 10^{-35} (M). \quad (18)$$

3. Амплитуда колебаний волн гравитационного поля A_G , которая в условиях квантования параметров вселенной [12] при ограничении взаимодействий скоростью света c и периодом T_G , фактически совпадает с длиной волны λ_G :

$$A_G = \lambda_G = 4,051249 | 432 | \cdot 10^{-35} (M) = l_p = \sqrt{\frac{hG}{c^3}} = 4,05126 \cdot 10^{-35} (M). \quad (19)$$

4. Волновая энергия гравитационного поля E_G , которая совпадает с Планковской энергией E_p [1, 2] в рамках точности ее определения:

$$E_G = h\nu_G = 6,626070040 \cdot 10^{-34} (\text{Дж} \cdot \text{с}) \cdot 7,4 \cdot 10^{42} (\text{с}^{-1}) = 4,9032918296 \cdot 10^9 (\text{Дж}) =$$

$$= E_p = \sqrt{\frac{hc^5}{G}} = \sqrt{\frac{6,626070040 \cdot 10^{-34} \left(\frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}} \right) \cdot \left[0,299792458 \cdot 10^9 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right) \right]^5}{6,67408 \cdot 10^{-11} \left(\frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2} \right)}} = 4,90325 \cdot 10^9 (\text{Дж}). \quad (20)$$

5. Массовый эквивалент m_G волновой энергии колебаний гравитационного поля E_G , в рамках закона Эйнштейна $E = mc^2$ [1, 2] о связи полной энергии и массы, который совпадает с Планковской массой l_p в рамках точности ее определения (12):

$$m_G = \frac{E_G}{c^2} = \frac{h\nu_G}{c^2} = \frac{6,626070040 \cdot 10^{-34} (\text{Дж} \cdot \text{с}) \cdot 7,4 \cdot 10^{42} (\text{с}^{-1})}{\left[0,299792458 \cdot 10^9 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right) \right]^2} = 5,4556478961 \cdot 10^{-8} (\text{кг}) =$$

$$= m_p = \sqrt{\frac{hc}{G}} = 5,45560 \cdot 10^{-8} (\text{кг}). \quad (21)$$

Полученные вещественно-полевые параметры гравитационного поля (17)...(21) позволяют приступить к определению его силового действия.

Строгое определение силового действия гравитационного поля. Исходным является закон Ньютона (1). При этом суммарную массу m_2 волн гравитационного поля заменяет ее эквивалент:

$$m_2 = Nm_G, \quad (22)$$

где N – количество длин волн λ_G на расстоянии r до любого объекта массой m_1 :

$$N = r/\lambda_G. \quad (23)$$

Полученные значения (22), (23) позволяют найти новую строгую физическую зависимость для силы F_G :

$$F_G = G \frac{m_1 N h \nu_G}{r^2 c^2} = G \frac{m_1 r h \nu_G}{\lambda_G r^2 c^2} = G \frac{m_1 h \nu_G}{\lambda_G r c^2} = \frac{G h \nu_G}{\lambda_G c^2} \times \frac{m_1}{r} (N). \quad (24)$$

Поскольку константы G , h , c , ν_G , λ_G в рамках их размерности [16] могут быть выражены через Планковские величины длины l_p , времени t_p и массы m_p , получим:

$$\frac{G h \nu_G}{\lambda_G c^2} = \frac{\left(\frac{l_p^3}{m_p t_p^2} \right) \times \left(\frac{m_p l_p^2}{t_p} \right) \times \left(\frac{1}{t_p} \right)}{(l_p) \times \left(\frac{l_p}{t_p} \right)^2} = \left(\frac{l_p}{t_p} \right)^2 = c^2 \left(\frac{m}{s} \right)^2. \quad (25)$$

С учетом уточненного в работе [14] значения гравитационной постоянной (26), данная величина (25) численно подтверждается параметрами входящих в эту зависимость исходных параметров:

$$G = 6,673966969 \cdot 10^{-11} \left(\frac{\text{м}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2} \right). \quad (25)$$

$$\frac{Gh\nu_G}{\lambda_G c^2} = \frac{6,673966969 \cdot 10^{-11} \left(\frac{M^3}{\kappa^2 \cdot c^2} \right) \times 6,626070040(1) \cdot 10^{-34} \left(\frac{\kappa^2 \cdot M^2}{c} \right) \times 7,4 \cdot 10^{42} \left(\frac{1}{c} \right)}{4,051249 | 432 | \cdot 10^{-35} (M) \times \left[0,299292458 \cdot 10^9 \left(\frac{M}{c} \right) \right]^2} =$$

$$= 0,089875517872 \cdot 10^{18} \left(\frac{M}{c} \right)^2 = \left[0,299292458 \cdot 10^9 \left(\frac{M}{c} \right) \right]^2. \quad (26)$$

С учетом значения (26) окончательно получим строгую физическую зависимость для расчета силы F_G :

$$F_G = c^2 \frac{m_1}{r} = \frac{m_1 c^2}{r} (N). \quad (27)$$

Из зависимости (28) вытекает, что сила F_G действия гравитационного поля на объект массой m_1 является энергетической, она прямопропорциональна полной энергии выбранного тела и обратнопропорциональна расстоянию r между ним и любой выбранной точкой гравитационного поля.

Найденные зависимости (22)...(27) не противоречат известным многократно апробированным законам физики, что является свидетельством их достоверности. Они получены впервые и вносят коренные изменения в представление силовых параметров гравитационного поля, что отвечает всем признакам научного открытия [14].

Окончательное доказательство достоверности всех выдвинутых научных положений и полученных на их базе результатов возможно после экспериментальной проверки в сфере астрофизики, строения атома, атомного ядра и взаимодействия элементарных частиц, что требует дальнейших исследований. Ряд результатов данной научной заботы был представлен и рекомендован к печати на 3-th International Conference on Theoretical and Condensed Matter Physics in New York, USA [15].

Общие выводы по работе

1. Показано, что до настоящего времени силовые и волновые характеристики гравитационного поля не определены в полном объеме, при этом известные методы и методики не обеспечивают возможности их определения.

2. Предложенный в данной работе метод определения волновых параметров гравитационного поля основан на найденных достоверных физических зависимостях, составляющих гравитационную постоянную G , которая является связующим элементом при определении силы взаимодействия физических тел в законе Всемирного тяготения, поэтому она строго относится к сфере гравитационного взаимодействия.

3. На базе разработанного метода строго обоснованы достоверными физическими законами и определены волновые параметры гравитационного поля, что позволило разработать новую методику определения силовых параметров гравитационного поля.

4. На базе волновых параметров гравитационного поля получен новый физический закон для определения силы его действия, из которого строго вытекает, что эта сила является энергетической величиной, которая прямопропорциональна полной энергии выбранного тела и обратнопропорциональна расстоянию r между ним и любой выбранной точкой гравитационного поля.

5. Предлагаемые новые физические законы и закономерности получены на базе достоверных физических законов и не противоречат известным научным положениям и основам формирования материального мира, поэтому они могут быть использованы в научных исследованиях. При этом они найдены впервые и вносят коренные изменения в представление силовых параметров гравитационного поля, что отвечает всем признакам научного открытия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физический энциклопедический словарь / Д. М. Алексеев, А. М. Бонч-Бруевич, А. С. Воронов-Романов и др. ; под общ. ред. А. М. Прохорова. – М. : Сов. Энциклопедия, 1983. – С. 136.
2. Политехнический словарь / ред. кол. : А. Ю. Ишлинский (гл. ред.) и др. – М. : Сов. энциклопедия, 1989. – С. 134, 382, 486, 638–640.
3. CODATA Internationally recommended values of the Fundamental Physical Constants
4. Паркер Б. Мечта Эйнштейна: В поисках единой теории строения Вселенной. – СПб. : Амфора, 2000. – 333 с.
5. Nastasenko V. A. Union of gravitational and electromagnetic fields on the basis of nontraditional principles // *Electrical & Computer Engineering : An International Journal (ECIJ)*. – Wireilla Scientific Publication. – Volume 6, Number 3/4, December 2017. – P. 19–30.
6. Настасенко В. А. Эталон массы в элементах квантовой физики // *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.
7. Настасенко В. О. Аналіз гранично можливих шаруватих структур // *Фізика і хімія твердого тіла*. – Івано-Франківськ : Прикарп. нац. ун-т, 2006. – Т.7, № 4. – С. 793–797.
8. Электронный ресурс. – Режим доступа: https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2017/press.html
9. Настасенко В. А. Строгое определение волновых параметров гравитационного поля и объединение гравитационного и электромагнитного полей. // *Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції*. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2014. – С. 198–204.
10. Настасенко В. А. Новые основы для строгого определения волновых параметров гравитационного поля и объединение гравитационного и электромагнитного полей // *Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал*. – Херсон : ХДМА, 2014. – № 1 (10). – С. 213–222.
11. Силк Дж. Большой взрыв : пер. с англ. / под ред. И. Д. Новикова. – М. : Мир, 1982. – 391 с.
12. Настасенко В. А. Обґрунтування параметрів мінімального кванта простору Всесвіту // *Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал*. – Херсон : ХДМА, 2012. – № 1 (6). – С. 285–297.
13. Настасенко В. А. О возможности уточнения значения гравитационной постоянной расчетным путем // *Материалы Международной научно-технической конф. Высокопроизводительные вычислительные системы 2013*. – К. : НУТУ «КПИ», 2013. – С. 266–272.
14. Гражданский кодекс Украины. Законы Украины. – К. : Школа, 2003. – 142 с.
15. Valentyn A. Nastasenko On the Possibility of Refining the Gravitational Constant and Solving the Task of Integrating the Gravitational and Electromagnetic Fields // *3-th International Conference on Theoretical and Condensed Matter Physics. October 19-21 2017 in New York, USA*. – P. 61.
16. Настасенко В. А. Открытие предельно возможных величин волновых параметров // *Теория и техника передачи, приема и обработки информации : сб. тезисов докладов 10-я Юбилейной Международной конференции*. – Харьков : ХНУРЭ, 2004. – Ч. 1. – С. 30–31.

REFERENCES

1. Fizicheskijj ehnciklopedicheskijj slovarj / D. M. Alekseev, A. M. Bonch-Bruevich, A. S. Voronov-Romanov i dr. ; pod obth. red. A. M. Prokhorova. – M. : Sov. Ehnciklopediya, 1983. – S. 136.
2. Politekhnikheskijj slovarj / red. kol. : A. Yu. Ishlinskiyj (gl. red.) i dr. – M. : Sov. ehnciklopediya, 1989. – S. 134, 382, 486, 638–640.

3. CODATA Internationally recommended values of the Fundamental Physical Constants
4. Parker B. Mechta Ehyjnshteyjna: V poiskakh edinoyj teorii stroeniya Vselennoy. – SPb. : Amfora, 2000. – 333 s.
5. Nastasenko V. A. Union of gravitational and electromagnetic fields on the basis of nontraditional principles // Electrical & Computer Engineering : An International Journal (ECIJ). – Wireilla Scientific Publication. – Volume 6, Number 3/4, December 2017. – P. 19–30.
6. Nastasenko V. A. Ehtalon massih v ehlementakh kvantovoyj fiziki // Mashinostroenie i tekhnosfera na rubezhe XXI veka. : sb. trudov VII Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. v g. Sevastopole. – Doneck : DonGTU, 2000. – T.1. – S. 95–100.
7. Nastasenko V. O. Analiz granichno mozhlivikh sharuvatikh struktur // Fizika i khimiya tverdogo tila. – Ivano-Frankivsk : Prikarp. nac. un-t, 2006. – T.7, № 4. – S. 793–797.
8. Elektronnihyj resurs. – Rezhim dostupa: https://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2017/press.html
9. Nastasenko V. A. Strogoe opredelenie volnovihkh parametrov gravitacionnogo polya i objhedinenie gravitacionnogo i ehlektromagnitnogo poley. // Suchasni informacijni ta innovacijni tekhnologii na transporti : materiali Mizhnarodnoї naukovo-praktichnoї konferencii. –Kherson : Vidavnistvo KhDMA, 2014. – S. 198–204.
10. Nastasenko V. A. Novihe osnovih dlya strogogo opredeleniya volnovihkh parametrov gravitacionnogo polya i objhedinenie gravitacionnogo i ehlektromagnitnogo poley // Naukoviy visnik Khersonskoj derzhavnoj morskoj akademii : naukoviy zhurnal. – Kherson : KhDMA, 2014. – № 1 (10). – S. 213–222.
11. Silk Dzh. Bolshoy vzrihv : per. s angl. / pod red. I. D. Novikova. – M. : Mir, 1982. – 391 s.
12. Nastasenko V. A. Obruntuvannya parametriv minimalnogo kvanta prostoru Vseshvitu // Naukoviy visnik Khersonskoj derzhavnoj morskoj akademii : naukoviy zhurnal. – Kherson : KhDMA, 2012. – № 1 (6). – S. 285–297.
13. Nastasenko V. A. O vozmozhnosti utochneniya znacheniya gravitacionnoy postoyannoy raschetnim putem // Materiali Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konf. Vysokoproizvoditelnihe vihchislitelnihe sistemih 2013. – K. : NUTU «KPI», 2013. – S. 266–272.
14. Grazhdanskiy kodeks Ukrainih. Zakonih Ukrainih. – K. : Shkola, 2003. – 142 s.
15. Valentyn A. Nastasenko On the Possibility of Refining the Gravitational Constant and Solving the Task of Integrating the Gravitational and Electromagnetic Fields // 3-th International Conference on Theoretical and Condensed Matter Physics. October 19-21 2017 in New York, USA. – P. 61.
16. Nastasenko V. A. Otkrihtie predeljno vozmozhnihkh velichin volnovihkh parametrov // Teoriya i tekhnika peredachi, priema i obrabotki informacii : sb. tezisov dokladov 10-ya Yubileynoy Mezhdunarodnoy konferencii. – Khar'kov : KhNUREh, 2004. – Ch. 1. – S. 30–31.

Настасенко В. О. СТРОГО ОБґРУНТУВАННЯ СИЛИ ДІЇ ГРАВІТАЦІЙНОГО ПОЛЯ

В сьогоденні час дію сили гравітаційного поля прийнято оцінювати величиною F_G гравітаційної взаємодії двох крапкових тіл масою m_1 , m_2 , розміщених на відстані r між ними, в рамках відкритого Ньютоном закону Всесвітнього тяжіння. Однак сила взаємодії крапкових об'єктів не може строго характеризувати гравітаційне поле, яке має просторову структуру, що охоплює весь сферичний об'єм спостерігаємого Всесвіту. Тому використання закону Ньютона для знаходження даної сили є некоректним.

У виконаній роботі вказаний недолік вилучений на основі знайдених параметрів хвиль гравітаційного поля: частоти ν_G , довжини хвилі λ_G , енергії цієї хвилі $E_G = h\nu_G$ (де h – стала Планка), і еквіваленту маси m_G цієї хвилі, які пов'язані зі швидкістю c світла у вакуумі залежністю $m_G = h\nu_G/c^2$. При цьому сумарну масу m_2 хвиль гравітаційного поля в законі Ньютона замінює її еквівалент Nm_G , де N – кількість довжин хвиль у відстані r до об'єкта масою m_1 , яка складає величину $N = r/\lambda_G$, що дозволяє знайти нову строгу фізичну залежність для сили поля: $F_G = m_1c^2/r$. З неї витікає, що сила F_G дії гравітаційного поля на вибраний об'єкт масою m_1 є енергетичною, вона прямопропорційна повній

енергії маси цього тіла зворотнопропорційна відстані r між ним і вибраною крапкою гравітаційного поля.

Ключові слова: сила гравітаційної дії, хвильові параметри гравітаційного поля.

Nastasenko V. A. STRICT JUSTIFICATION OF THE FORCE OF GRAVITATIONAL FIELD

Currently, the force of the gravitational field is assumed to be estimated by the value F_G of the gravitational interaction of two point bodies of mass m_1, m_2 (kg) located at a distance r (m) between them, which follows from the Law of Universal gravitation discovered by Newton. However, the force F_G , found for the interaction of point objects, cannot strictly characterize the gravitational field having a spatial structure that encompasses the entire sphere of the observable Universe. Therefore, the application of Newton's law to determine this force is incorrect.

In the work performed, this drawback is eliminated on the basis of the found parameters of the waves of the gravitational field: the frequency ν_G , the wavelength λ_G , the energy of this wave $E_G = h\nu_G$ (where h is Planck's constant), and the mass equivalent m_G of this wave, which are related to the speed of light in vacuum c by the following dependence $m_G = h\nu_G/c^2$. Herewith, the total mass m_2 of waves of the gravitational field in the law by Newton is replaced by its equivalent Nm_G , where N is the number of wavelengths in the distance r to any object of mass m_1 , which makes up the value $N = r/\lambda_G$, which allows us to find a new strict physical dependence for the force: $F_G = m_1c^2/r$. It follows from this dependence that the force F_G of the action of the gravitational field on the object of mass m_1 is energetic, it is directly proportional to the total energy of the mass of selected body and is inversely proportional to the distance r between it and any chosen point of the gravitational field.

Keywords: force of the gravitational interaction, wave parameters of the gravitational field.

© Настасенко В. О.

Статтю прийнято
до редакції 12.12.17

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ ТЕПЛОВОЇ ПІДГОТОВКИ ДЛЯ ПОЛЕГШЕННЯ ПУСКУ ТРАНСПОРТНИХ ДВИГУНІВ, ПРАЦЮЮЧИХ НА ЗРІДЖЕНОМУ ГАЗОВОМУ ПАЛИВІ

Погорлецький Д. С., старший викладач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок Херсонської державної морської академії, e-mail: dimon150582@gmail.com

В роботі розглянуті результати дослідження прогріву транспортного засобу при використанні газобалонного обладнання в умовах експлуатації. Виконаний аналіз способів покращення теплової підготовки двигуна для полегшення пуску в умовах низьких температур. Підтверджено, що особливо складним і небезпечним, з погляду на надійність, є «холодний» пуск, тобто пуск непрогрітого двигуна в умовах низьких температур навколишнього середовища. Показано, що специфічні особливості зрідженого газового палива та конструкції газової паливної апаратури для його подачі у двигун суттєво впливають на забезпечення «холодного» пуску, які є причиною ускладнень при запуску транспортного двигуна, що працює на зрідженому газовому паливі в умовах низьких температур навколишнього середовища. Також виконаний аналіз систем теплової підготовки, які можливо використати на транспортних двигунах, що працюють на зрідженому газовому паливі, для забезпечення їх працездатності в умовах низьких температур навколишнього середовища. Розроблена структурно-логічна блок-схема вирішення задачі розробки системи теплової підготовки для полегшення пуску транспортних двигунів, працюючих на зрідженому газовому паливі, з вказаними особливостями етапів її вирішення в умовах експлуатації.

Ключові слова: транспортний засіб фазоперехідний тепловий акумулятор, система теплової підготовки, транспортний двигун, температура, зріджене газове паливо, пуск двигуна.

Вступ. Серед основних проблем ефективної експлуатації двигунів внутрішнього згорання вагоме місце займає їх передпускова тепла підготовка. Це особливо важливо для забезпечення працездатності транспортних двигунів, працюючих на зрідженому газовому паливі при низьких температурах. Відомо, що особливо складним і небезпечним, з погляду на надійність, є «холодний» пуск, тобто пуск непрогрітого двигуна в умовах низьких температур навколишнього середовища [1–18]. Особливо складним, пуск є для тих випадків, коли саме після пуску, в умовах експлуатації, здійснюється повне навантаження двигуна транспортного засобу (ТЗ). Також суттєво впливають на забезпечення «холодного» пуску специфічні особливості зрідженого газового палива та конструкції газової паливної апаратури для його подачі у двигун, що є причиною ускладнень при запуску транспортного двигуна, який працює на зрідженому газовому паливі в умовах низьких температур навколишнього середовища. Примусова передпускова тепла підготовка транспортного двигуна до відповідної температури не тільки полегшує його пуск, але і прискорює післяпускове прогрівання, знижуючи знос деталей, а також сприяє зниженню витрати палива на прогрів у післяпусковий період. Найбільш простим, розповсюдженим і ефективним способом передпускової теплової підготовки транспортного двигуна є підігрівання охолоджуючої рідини за допомогою спеціальних пристроїв [19]. Широко відомі три групи передпускових підігрівачів [20]: автономні рідинні, неавтономні електричні та теплові акумулятори. Тому можливо вважати, що розробка систем теплової підготовки і адаптація їх до умов експлуатації ТЗ для полегшення пуску транспортних двигунів, працюючих на зрідженому газовому паливі, можливо вважати актуальною задачею.

Постановка задачі. Метою дослідження є урахування особливостей і використання систем теплової підготовки транспортних двигунів у складі фазоперехідних теплових акумуляторів для поліпшення паливної економічності та екологічних показників транспортних засобів шляхом заміни системи живлення з розподіленим впорскуванням бензину на газове паливо для забезпечення передпускового і післяпускового прогрівання в умовах експлуатації.

Основні результати. Застосування зрідженого нафтового газу в якості моторного палива, у зв'язку з його невисокою вартістю і екологічністю, є економічно вигідним у порівнянні з використанням бензину. Недоліком застосування зрідженого газового палива на транспорті є утруднений запуск двигуна ТЗ в умовах експлуатації при низьких температурах навколишнього середовища. Після встановлення газобалонного обладнання (ГБО) на ТЗ відмовитися від використання традиційного палива (бензина) неможливо, адже прогрів відбувається безпосередньо на бензині. Здійснення запуску двигуна ТЗ відразу на газу і його робота в режимі холостого ходу (х.х.) некоректна, або навіть не можлива, адже газ повинен випаровуватись, а редуктор-випарник ГБО ще не підігрівся охолоджуючою рідиною з системи охолодження двигуна ТЗ. Процес пуску транспортного двигуна, працюючого на зрідженому газовому паливі в умовах низьких температур навколишнього середовища ускладнений тим, що редуктор-випарник газової системи живлення потрібно попередньо підігріти для достатнього випаровування газового палива до температури 40–55 °С. При невиконанні цієї умови не забезпечується в момент пуску оптимальний склад паливної суміші при низьких температурах, зменшується швидкість поширення фронту полум'я.

Для обґрунтування поставленої задачі і способу її вирішення в Херсонській державній морській академії (ХДМА) на кафедрі експлуатації суднових енергетичних установок було проведено експериментальне дослідження. За мету ставилась фіксація процесів прогрівання транспортного двигуна у змінних умовах експлуатації за варіантами: прогрів зупиненого ТЗ в режимі х.х., прогрів зупиненого ТЗ в режимі х.х. з підключенням навантаження (електричні споживачі), прогрів зупиненого ТЗ в режимі х.х. з підключенням теплообмінника прогріву салону ТЗ (печки), прогрів зупиненого ТЗ в режимі х.х. і в русі, прогрів ТЗ в русі. В процесі дослідження фіксувались параметри технічного стану двигуна ТЗ і його положення, а саме температура охолоджуючої рідини системи охолодження, частота обертання, температура повітря на впуску, температура каталізатора тощо. Всього 32 параметри технічного стану. Вимірювання параметрів технічного стану проводилось на ТЗ для забезпечення передпускового і післяпускового прогрівання в умовах експлуатації після заміни системи живлення з розподіленням впорскуванням бензину на газове паливо. В якості дослідного ТЗ було обрано KIA *Magentis* 2.0 5МКПП з двигуном G4GC, обладнаного газобалонним обладнанням 4-покоління (інжекційний газовий редуктор Tomasetto AT-09 Alaska, форсунки Napa, блок керування STAG, температура (за температурою охолоджуючої рідини) запуску газової апаратури 40 °С). Моніторинг параметрів технічного стану проводилась за допомогою розробленого вимірювального комплексу [21]. Фрагмент звіту (робоче вікно) про результати проведеного дослідження – прогрів зупиненого ТЗ в режимі х.х. показаний на рис. 1, результати зміни параметрів технічного стану ТЗ в процесі прогріву зупиненого ТЗ в режимі х.х. показані на рис. 2.

В результаті проведеного дослідження було встановлено, що фактичний час прогріву транспортного двигуна до температури 85 °С при температурі навколишнього середовища 8 °С (прогрів зупиненого ТЗ в режимі х.х.) склав 22,50 хв (рис. 2 а). Експериментально була отримана температура включення газової апаратури на ТЗ в умовах експлуатації 55 °С. Аналогічні результати були отримані і при всіх інших варіантах прогрівання ТЗ в умовах експлуатації, за умовами експериментального дослідження [22]. Це дозволяє зробити попередній висновок, що бензинові двигуни транспортних засобів, які обладнані газобалонним обладнанням 4-го покоління не можуть забезпечити достатнього прогріву усієї системи охолодження двигуна ТЗ для своєчасного переходу на газове паливо (включення ГБО). Це залежить від багатьох факторів, що потребує подальших досліджень. Для забезпечення одночасного з пуском забезпечення переходу транспортного двигуна на зріджене газове паливо (ГБО 4-го покоління) при низьких температурах навколишнього середовища, вважаємо доцільним встановити в систему охолодження транспортного двигуна технічний засіб для забезпечення одночасної передпускової і післяпускової теплової підготовки системи охолодження двигуна і газового редуктора-випарника.

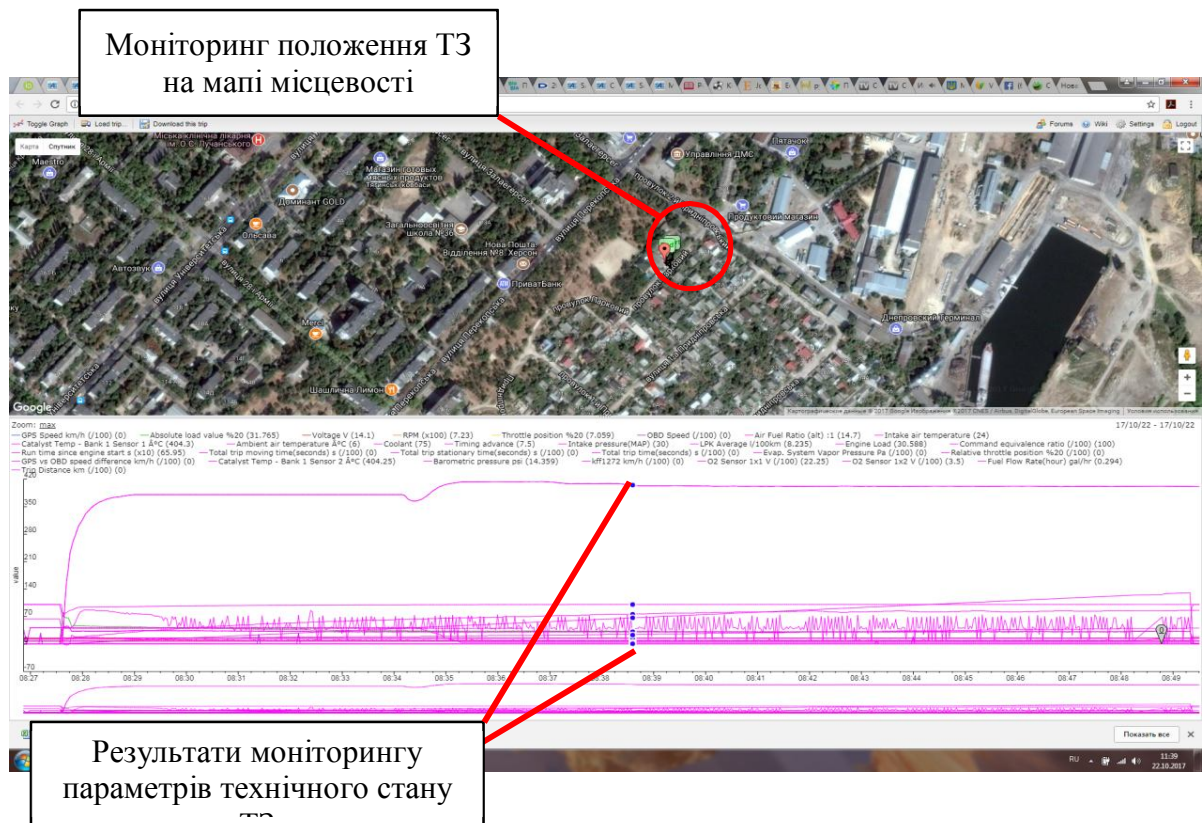


Рисунок 1 – Фрагмент звіту про результати дослідження прогріву ТЗ засобами моніторингу параметрів технічного стану

Враховуючи отримані експериментальні результати вважаємо доцільним виконати аналіз засобів для виконання передпускової і післяпускової теплової підготовки ТЗ.

Рідинні опалювачі (рідинні автономні опалювачі) фірм «Webasto» і «Eberspächer», працюючи незалежно від двигуна і в поєднанні зі штатною системою опалення ТЗ (з рідинним охолодженням) або в складі окремої системи опалення, призначені для передпускового прогріву транспортного двигуна [23].

Системи передпускового прогріву фірми «Webasto» і «Eberspächer» поряд з позитивними показниками має і ряд негативних: додаткове пожежонебезпечне обладнання в підкапотному просторі ТЗ (відкритий котел); додаткова витрата палива у ТЗ; потребує кваліфікованого та дорогого технічного обслуговування; рівень шуму; дорогі та не ремонтпридатні механізми системи.

АТ «АС» є провідним в Польщі і авторитетним у світі виробником автомобільних інноваційних газобалонних систем (ГБО) LPG/CNG марки STAG [24]. Компанією AC S.A. запропоновано підігрівач газового редуктора STAG R01 CS. Даний підігрівач може використовуватися в системах з одним або двома редукторами, які встановлюються на двигуни від 4 до 8 циліндрів [24].

Недоліком вказаної системи підігріву є те, що вона підігріває редуктор випарник за рахунок використання вмонтованих електронагрівних елементів з використанням акумуляторної батареї ТЗ. Основна частина рідини системи охолодження в цілому остається холодною, це призводить до зниження температури редуктора випарника під час роботи транспортного двигуна і до неможливості переведення двигуна на газове паливо без досягнення температури системи охолодження 45–55 °С.

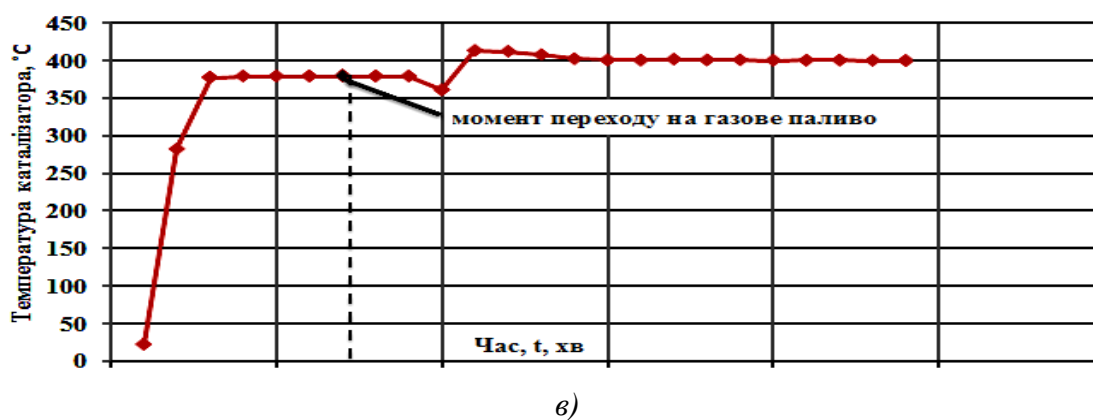
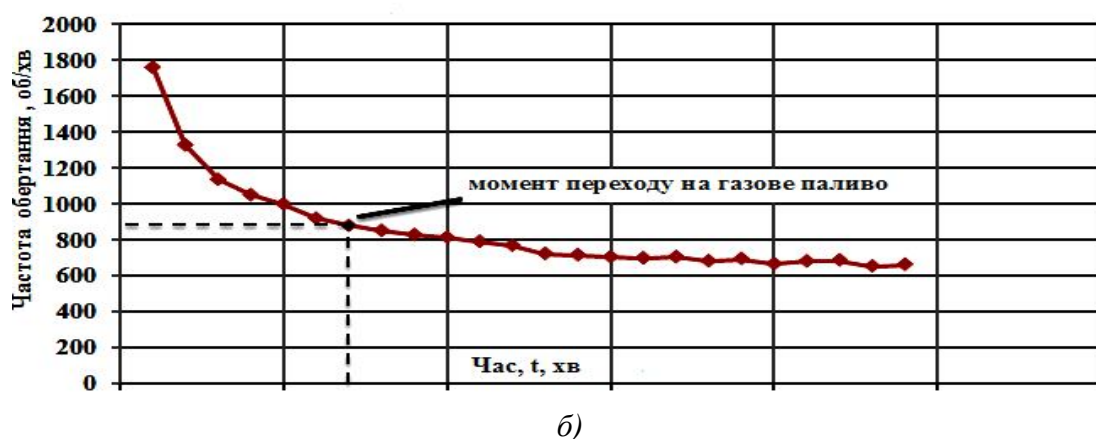
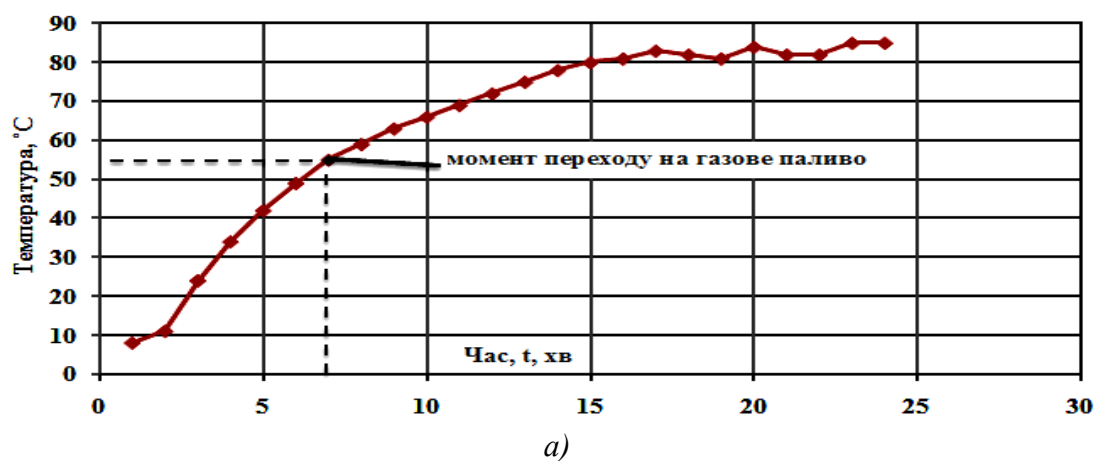


Рисунок 2 – Результати зміни параметрів технічного стану ТЗ в процесі прогріву зупиненого ТЗ в режимі х.х:

температура (а); частота обертання (б); температура каталізатора (в); витрата палива (г)

Крім цього, широкого використання знайшли теплові акумулятори (ТА) це пристрої, які дозволяють при роботі транспортного двигуна запасати тепло охолоджуючої рідини або відпрацьованих газів, а потім віддавати це тепло двигуну перед наступним запуском при низьких температурах навколишнього середовища [25]. Серед вказаних пристроїв окремо можливо виділити, так звані теплові акумулятори фазового переходу (ТАФП), які з'явилися в кінці 80-х, початку 90-х років ХХ-го століття. В роботах Шульгіна В. В. [26], Волкова В. П., Гутаревича Ю. Ф. і Грицука І. В. [1], Вашуркіна І. О. [27] розглянуті питання застосування ТАФП в системах передпускового підігріву транспортних двигунів, показані результати попередніх дослідників, представлений огляд існуючих конструкцій, методики конструкторських розрахунків ТАФП, питання вибору теплоакумуючого матеріалу, а також запропоновані нові конструкції ТАФП і систем для їхнього використання. Недоліком ТАФП на ТЗ є відсутність розвинутої мережі їх обслуговування і ремонту.

Відомо, що в Росії ТАФП невеликими партіями виробляла компанія «АвтоПлюсМАДІ» (м. Москва) під назвою «Пристрій полегшення пуску двигуна» (УОПД) [28]. У цих системах для зберігання тепла використовується тепловий акумулятор (ТА), який має подвійний металевий циліндр з вакуумною ізоляцією. Носій тепла – стандартна охолоджуюча рідина транспортного двигуна (тосол або антифриз). При роботі транспортного двигуна спеціальним насосом системи гаряча рідина періодично закачується в тепловий акумулятор, тобто заряджає його. В результаті, після зупинки двигуна в ТА знаходиться гаряча охолоджуюча рідина, яка з плином часу все ж охолоджується.

Вперше серійний ТАФП для використання на транспортних двигунах запропонував німецький інженер О. Schatz в кінці 90-х років минулого століття. Сьогодні за ліцензією канадська фірма «CENTAUR Thermal System Inc» випускає ТАФП чотирьох типів конструктивного виконання [19].

Також відома система передпускового прогріву транспортного двигуна з акумулятором тепла, розроблена компанією ТОВ «Гольфстрім» (м. Новосибірськ) [29]. Ця система основана не на ТАФП, а на акумуляторі тепла, який працює за принципом термоса з подвійною металевою колбою [29]. Відмінною особливістю деяких модифікацій АТ є можливість підігріву охолоджуючої рідини за рахунок вбудованих тенів в пристрій-накопичувач. Завдяки модифікаціям з швидко роз'ємними з'єднаннями, в домашніх умовах можливо підігріти холодну охолоджуючу рідину перед наступним пуском ДВЗ.

В конструкції ТА, які у якості робочої речовини використовують рідину системи охолодження, що є основним їхнім недоліком. Це пояснюється наступним. Температура охолоджуючої рідини ТЗ не може бути більше ніж 85 °С. Тому при забезпеченні передпускового прогріву ТЗ в умовах експлуатації ніколи не може бути забезпечена постійна температура «гарячого» пуску транспортного двигуна 50 °С. Це пов'язано з тим, що має місце природне охолодження конструктивних елементів транспортного двигуна і при виконанні передпускового прогрівання нагріта охолоджуюча рідина у ТА буде змішуватись з основною рідиною системи охолодження (яка має температуру навколишнього середовища).

Тепловий акумулятор із теплоакумуючим матеріалом фазового переходу було розроблено і виготовлено на кафедрі рухомого складу залізниць ДонІЗТ і проведені його дослідження у складі моторної установки з дизелем К461М1 в лабораторії рухомого складу ДонІЗТ [30]. Також були розроблені системи передпускового прогріву, до складу яких входять теплові акумулятори фазового переходу, які заряджаються від відпрацьованих газів двигуна ТЗ. Використання енергії відпрацьованих газів є одним із пріоритетних напрямків розвитку двигунобудування. Воно стає можливим при використанні утилізаційних теплообмінників у випускному трубопроводі. Для здійснення поставленої мети було розглянуто задачу утилізації теплової енергії відпрацьованих газів енергетичної установки з двигуном внутрішнього згорання з метою отримати гарячий теплоносій в системі утилізації відпрацьованих газів з тепловим акумулятором фазового переходу [30]. Розроблений акумулятор дозволяє здійснювати відбір теплової енергії від відпрацьованих

газів ДВЗ в більш широкому температурному діапазоні і тим самим накопичувати і утримувати більшу кількість теплоти, а також забезпечує вибірковість діапазону робочих температур.

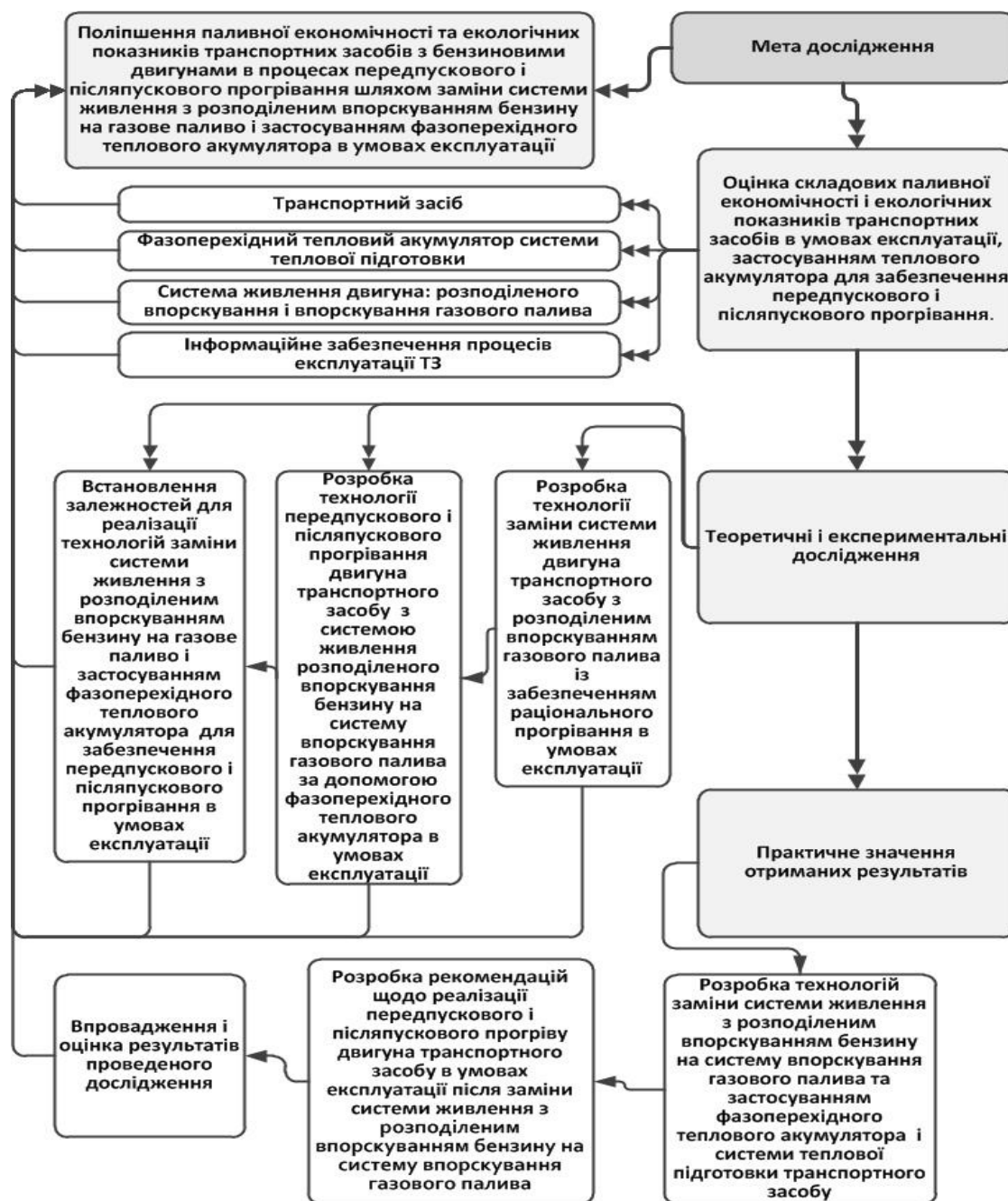


Рисунок 3 – Структурно-логічна блок-схема вирішення задачі розробки системи теплової підготовки для полегшення пуску транспортних двигунів, працюючих на зрідженому газовому паливі

В результаті реалізації завдання, поставленого в статті, пропонується провести дослідження і сформулювати систему теплової підготовки для ТЗ, в якій за рахунок використання фазоперехідного теплового акумулятора в системі охолодження транспортного двигуна працюючого на зрідженому газовому паливі підтримувати температуру системи охолодження при зупиненому транспортному двигуні, в межах обумовлених заводською інструкцією температур газового редуктора, для запуску на зрідженому газовому паливі, тобто не нижче +40–55 °С при низьких температурах навколишнього середовища в реальних умовах експлуатації, а при зменшенні температури теплоносія в теплому акумуляторі – підтримання її у встановлених межах за рахунок

теплоти відпрацьованих газів транспортного двигуна шляхом здійснення його роботи при періодичному чередуванні зупинки та роботи (циклічний режим). З урахуванням попередніх досліджень і проведеного аналізу засобів теплової підготовки була розроблена структурно-логічна блок-схема вирішення задачі розробки системи теплової підготовки для полегшення пуску транспортних двигунів, працюючих на зрідженому газовому паливі (рис. 3).

Висновки. На основі проведеного аналізу способів передпускового прогріву транспортних двигунів працюючих на зрідженому газовому паливі з використанням фазоперехідного теплового акумулятора можливо зробити висновок, що розробка та використання подібних систем прогріву транспортних двигунів є перспективним для використання на транспорті. Розроблена структурно-логічна блок-схема вирішення задачі розробки системи теплової підготовки для полегшення пуску транспортних двигунів, працюючих на зрідженому газовому паливі. Результати роботи можуть бути покладені в основу рекомендацій для сервісних центрів по установці та обслуговуванню систем газобалонного обладнання і додаткового оснащення системи охолодження транспортних двигунів працюючих на газовому паливі засобами теплової підготовки на основі теплового акумулятора фазового переходу, для одночасного з пуском забезпечення переходу транспортного двигуна на зріджене газове паливо (ГБО 4-го покоління) при низьких температурах навколишнього середовища.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Системи прогріву двигунів внутрішнього згорання: основи функціонування : монографія / В. П. Волков, І. В. Грицук, Ю. Ф. Гутаревич, В. Д. Александров і ін. – Донецьк : Вид-во «Ноулідж», 2015. – 314 с.
2. Карташевич А. Н. Улучшение пусковых качеств автотракторных дизелей в зимний период эксплуатации : монография / А. Н. Карташевич, Г. М. Кухаренко, А. В. Гордеенко, Д. С. Разинкевич ; Белорусская государственная сельскохозяйственная академия. – Минск : Изд. ООО «Красико-Принт», 2005. – 180 с.
3. Семёнов Н. В. Эксплуатация автомобилей в условиях низких температур / Н. В. Семёнов. – М. : Транспорт, 1993. – 190 с.
4. Левенберг В. Д. Аккумуляирование тепла / В. Д. Левенберг, М. Р. Ткач, В. А. Гольстрем. – К. : Техника, 1991. – 112 с.
5. Белоусов И. С. Пуск тракторных дизелей : учеб. пособие / И. С. Белоусов, П. И. Федюнин. – Новосибирск : Новосиб. гос. аграр. ун-т, 2007. – 120 с.
6. Харитонов В. В. Повышение эффективности пуска автотракторного дизеля в условиях низких температур окружающего воздуха : дис. канд. тех. наук : 05.04.02. – Москва, 2005. – 138 с.
7. Гордеенко А. В. Улучшение пусковых свойств и условий работы автотракторных дизелей в зимний период эксплуатации : дис. кан. тех. наук : 05.20.03, 05.04.02. – Минск, 1997. – 183 с.
8. Квайт С. М., Менделевич Я. А., Чижков Ю. П. Пусковые качества и системы пуска АТД. – М. : Машиностроение, 1990. – 256 с.
9. Крамаренко Г. В. Безгаражное хранение автомобилей при низких температурах / Г. В. Крамаренко [и др.]. – М. : Транспорт, 1984. – 135 с.
10. Лосавио Г. С. Пуск автомобильных двигателей без разогрева. – М. : Транспорт, 1965.
11. Крамаренко П. А., Улитин А. С. Разогрев автотракторных двигателей // Техника в сельском хозяйстве. – 1986. – № 1. – С. 38–40.
12. Симоненко Р. В. Покращення паливної економічності і екологічних показників автомобілів шляхом раціонального прогріву їх двигунів : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.20 / Симоненко Роман Вікторович. – Київ, 2003. – 192 с.

13. Чертыковцева Н. В. Повышение эффективности прогрева маневрового тепловоза в зимнее время за счет использования вторичных энергоносителей : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.07 / Чертыковцева Наталья Валерьевна. – Самара, 2009. – 162 с.
14. Несиоловский О. Г. Улучшение показателей экономичности автомобильного дизеля за счет регулирования его теплового состояния : дис. ... канд. техн. наук : 05.24.02 / О. Г. Несиоловский. – Ярославль, 1995. – 155 с.
15. Романов В. А. Повышение эффективности поршневых двигателей внутреннего сгорания путем использования тепловых аккумуляторов энергии : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.04.02 / В. А. Романов – Новосибирск, 2011. – 401 с.
16. Карнаухов Н. Н. Приспособление строительных машин к условиям Российского Севера и Сибири. – М. : Недра, 1994. – 351 с.
17. Гулин С. Д. Математическая модель процессов накопления отходящей теплоты двигателя внутреннего сгорания в тепловом аккумуляторе / С. Д. Гулин, В. В. Шульгин, С. Л. Яковлев // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 1997. – № 5. – С. 102–103.
18. Романов В. А. Повышение мощностных, экономических и экологических показателей поршневых ДВС путем использования систем аккумулирования энергии / В. С. Кулис, В. А. Романов // Двигатели внутреннего сгорания. – Харьков, 2007. – № 1. – С. 53–56.
19. Найман В. С. Все о предпусковых обогревателях и отопителях / В. С. Найман. – АСТ. : Астрель, 2007. – 213 с.
20. Типы предпусковых подогревателей двигателя [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://www.autoshcool.ru/1688-tipy-predpuskovyx-podogrevatelej-dvigatelya.html>.
21. Гутаревич Ю. Ф. Обґрунтування структури вимірювального комплексу для дослідження роботи двигуна внутрішнього згорання транспортного засобу з системою прогріву й тепловим акумулятором в процесі пуску і прогріву / Ю. Ф. Гутаревич, І. В. Грицук, Д. С. Адров, А. П. Комов, Д. М. Трифонов // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування : збірник наукових праць. – Харків : НТУ «ХПІ», 2014. – № 10 (1053). – С. 55–62.
22. Матюхин Л. М. Теплотехнические устройства автомобилей : учеб. пособие / Л. М. Матюхин. – М. : МАДИ, 2009. – 89 с.
23. Предпусковой подогреватель «Вебасто» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.webasto.com/ru/>. – 10.11.2017.
24. Подогреватель газового редуктора STAG R01 CS» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ac.com.pl/ru-firma-o-firmie>. – 10.11.2017.
25. Теплові акумулятори фазового переходу для транспортних засобів : параметри робочих процесів : монографія / В. Д. Александров, Ю. Ф. Гутаревич, І. В. Грицук, Ю. В. Прилепський, В. А. Постніков, А. М. Гуцин, Д. С. Адров, В. С. Вербовський, З. І. Краснокутська. – Донецьк : Вид-во «Ноулідж» (Донецьке відділення), 2014. – 230 с.
26. Шульгин В. В. Тепловые аккумуляторы автотранспортных средств / В. В. Шульгин. – СПб. : Издательство Политехн. ун-та, 2005. – 268 с.
27. Вашуркин И. О. Тепловая подготовка и пуск ДВС мобильных транспортных и строительных машин зимой / И. О. Вашуркин. – СПб. : Наука, 2002. – 145 с.
28. Устройство облегчения пуска двигателей (УОПД). // Техника и технологии. – Режим доступа: <http://technics.rin.ru/index/?a=3&id=441>. – 10.11.2017.
29. Система предпускового подогрева двигателя. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://golfstream-nsk.ru/products/scheme_of_installation. – 10.11.2017.
30. Тепловий акумулятор як засіб підвищення ефективності пуску стаціонарного двигуна в умовах низьких температур / Д. С. Адров, І. В. Грицук, Ю. В. Прилепський, В. І. Дорошко // Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту. – 2011. – № 27 (172). – С. 117–126.

REFERENCES

1. *Sistemi progrivu dviguniv vnutrishnjogo zgorannya: osnovi funkcionuvannya : monografiya.* (2015). / Volkov, V. P., Gricuk, I. V., Gutarevich, Yu. F., Aleksandrov, V. D. et al. Donesk : Vid-vo «Noulidzh», 2015.
2. Kartashevich, A. N., Kukharensk, G. M., Gordeenko, A. V., Razinkevich, D. S., Kartashevich, A. N. (2005). *Uluchshenie puskovihkh kachestv avtotraktornihkh dizeleyj v zimniy period ehkspluatsii.* Minsk : Izd. OOO «Krasiko-Print».
3. Semyonov, N. V. (1993). *Ehkspluatsiya avtomobileyj v usloviyakh nizkikh temperatur.* M. : Transport.
4. Levenberg, V. D., Tkach, M. R., Goljstrem, V. A. (1991). *Akkumulirovanie tepla.* Kyiv : Tekhnika.
5. Belousov, I. S., Fedyunin, P. I. (2007). *Pusk traktornihkh dizeleyj : ucheb. posobie.* Novosibirsk : Novosib. gos. agrar. un-t.
6. Kharitonov, V. V. Povichshenie ehffektivnosti puska avtotraktornogo dizelya v usloviyakh nizkikh temperatur okruzhayuthego vozdukha : dis. kand. tekhn. nauk : 05.04.02. Moskva, 2005.
7. Gordeenko, A. V. Uluchshenie puskovihkh svoystv i usloviy rabotih avtotraktornihkh dizeleyj v zimniy period ehkspluatsii : dis. kan. tekhn. nauk : 05.20.03, 05.04.02. Minsk, 1997.
8. Kvayt, S. M., Mendelevich, Ya. A., Chizhkov, Yu. P. (1990). *Puskovihe kachestva i sistemih puska ATD.* Moskva : Mashinostroenie.
9. *Bezgarazhnoe khranenie avtomobileyj pri nizkikh temperaturakh.* (1984). / G. V. Kramarenko et al. Moskva : Transport.
10. Losavio, G. S. (1965). *Pusk avtomobilnihkh dvigateleyj bez razogreva.* Moskva : Transport.
11. Kramarenko, P. A., Ulitin, A. S. (1986). Razogrev avtotraktornihkh dvigateleyj. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve, I.* 38–40.
12. Simonenko, R. V. Pokrathennya palivnoï ekonomichnosti i ekologichnikh pokaznikov avtomobiliv shlyakhom racional'nogo progrivu ikh dviguniv : dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.22.20. Kyiv, 2003.
13. Chertihkovceva, N. V. Povichshenie ehffektivnosti progreva manevrovogo teplovoza v zimnee vremya za schet ispol'zovaniya vtorichnihkh ehnergonositeleyj : dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.22.07. Samara, 2009.
14. Nesiolovskiy, O. G. Uluchshenie pokazateleyj ehkonomichnosti avtomobil'nogo dizelya za schet regulirovaniya ego teplovogo sostoyaniya : dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.24.02. Yaroslavl', 1995.
15. Romanov, V. A. Povichshenie ehffektivnosti porshnevihih dvigateleyj vnutrennego sgoraniya putem ispol'zovaniya teplovihkh akkumulyatorov ehnergii : dis. ... d-ra. tekhn. nauk : 05.04.02. Novosibirsk, 2011.
16. Karnaukhov, H. H. (1994). *Prisposoblenie stroitel'nykh mashin k usloviyam Rossiyskogo Severa i Sibiri.* Mskva : Nedra.
17. Gulin, S. D., Shulgin, V. V., Yakovlev, S. L. (1997). Matematicheskaya model' processov nakopleniya otkhodyatheyj teplotih dvigatelya vnutrennego sgoraniya v teplovom akkumulyatore. *Izvestiya viysshih uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo*, 5. 102–103.
18. Kukis, V. S., Romanov, V. A. (2007). Povichshenie mozhnostnykh, ehkonomicheskikh i ehkologicheskikh pokazateleyj porshnevihih DVS putem ispol'zovaniya sistem akkumulirovaniya ehnergii. *Dvigateli vnutrennego sgoraniya.* Kharkov. 1. 53–56.
19. Nayjman, V. S. (2007). *Vse o predpuskovihkh obogrevatelyakh i otopitelyakh.* AST. : Astrelj.
20. Tipih predpuskovihkh podogrevateleyj dvigatelya. Retrived from : <https://www.autoshcool.ru/1688-tipy-predpuskovyx-podogrevatelej-dvigatelya.html>.

21. Gutarevich, Yu. F., Gricuk, I. V., Adrov, D. S., Komov, A. P., Trifonov, D. M. (2014). Obruntuvannya strukturi vimiryuval'nogo kompleksu dlya doslidzhennya roboti dviguna vnutrishnjogo zgorannya transportnogo zasobu z sistemoyu progrivu yj teplovim akumul'yatorom v procesi pusk i progrivu. *Visnik Nacional'nogo tekhnichnogo universitetu «KhPI». Seriya: Avtomobile- ta traktorobuduvannya : zbirnik naukovikh pracj.* Kharkiv : NTU «KhPI», 10 (1053). 55–62.
22. Matyukhin, L. M. (2009). *Teplotekhnicheskie ustrojstva avtomobileyj : ucheb. posobie.* Moskva : MADI.
23. Predpuskovoyj podogrevatelj «Vebasto». Retrived from : <https://www.webasto.com/ru/>.
24. Podogrevatelj gazovogo reduktora STAG R01 CS». Retrived from : <http://www.ac.com.pl/ru-firma-o-firmie>.
25. Aleksandrov, V. D., Gutarevich, Yu. F., Gricuk, I. V., Prilepsjkiyj, Yu. V., Postnikov, V. A., Guthin, A. M., Adrov, D. S., Verbovsjkiyj, V. S., Krasnokutsjka, Z. I. (2014). *Teplovi akumul'yatori fazovogo perekhodu dlya transportnikh zasobiv : parametri robochikh procesiv : monografiya.* Donecjk : Vid-vo «Noulidzh» (Donecjke viddilennya).
26. Shulgin, V. V. (2005). *Teplovihe akumul'yatorih avtotransportnikh sredstv.* SPb. : Izdatel'stvo Politekhn. un-ta.
27. Vashurkin, I. O. (2002). *Teplovaya podgotovka i pusk DVS mobil'nikh transportnikh i stroitel'nikh mashin zimoyj.* SPb. : Nauka.
28. Ustrojstvo oblegcheniya pusk dvigatelej (UOPD). *Tekhnika i tekhnologii.* Retrived from : <http://technics.rin.ru/index/?a=3&id=441>.
29. Sistema predpuskovogo podogreva dvigatelya. Retrived from : http://golfstream-nsk.ru/products/scheme_of_installation.
30. Adrov, D. S., Gricuk, I. V., Prilepsjkiyj, Yu. V., Doroshko, V. I. (2011). Teploviyj akumul'yator yak zasib pidvithennya efektyvnosti pusk stacionarnogo dviguna v umovakh nizjkiyh temperatur. *Zbirnik naukovikh pracj Donecjkogo institutu zaliznichnogo transportu Ukrains'koi derzhavnoi akademii zaliznichnogo transportu,* 27 (172). 117–126.

Погорлецкий Д. С. ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ ТЕПЛОВОЙ ПОДГОТОВКИ ДЛЯ ОБЛЕГЧЕНИЯ ПУСКА ТРАНСПОРТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ НА СЖИЖЕННОМ ГАЗОВОМ ТОПЛИВЕ

В работе рассмотрены результаты исследования прогрева транспортного средства при использовании газобаллонного оборудования в условиях эксплуатации. Выполненный анализ способов улучшения тепловой подготовки двигателя для облегчения пуска в условиях низких температур. Подтверждено, что особенно сложным и опасным, с точки зрения надежности, является «холодный» пуск, то есть пуск непрогретого двигателя в условиях низких температур окружающей среды. Показано, что специфические особенности сжиженного газового топлива и конструкции газовой топливной аппаратуры для его подачи в двигатель существенно влияют на обеспечение «холодного» запуска, которые являются причиной осложнений при запуске транспортного двигателя, работающего на сжиженном газовом топливе в условиях низких температур окружающей среды. Также выполнен анализ систем тепловой подготовки, которые можно использовать на транспортных двигателях, работающих на сжиженном газовом топливе, для обеспечения их работоспособности в условиях низких температур окружающей среды. Разработана структурно-логическая блок-схема решения задачи разработки системы тепловой подготовки для облегчения пуска транспортных двигателей, работающих на сжиженном газовом топливе, с указанными особенностями этапов ее решения в условиях эксплуатации.

Ключевые слова: транспортное средство, фазопереходный тепловой аккумулятор, система тепловой подготовки, транспортный двигатель, температура, сжиженное газовое топливо, пуск двигателя.

Pogorletsky D. S. PECULIARITIES OF APPLICATION OF SYSTEMS OF HEAT TRAINING FOR FACILITATING THE START UP OF TRANSPORT ENGINES WORKING ON LIQUEFIED GAS FUELS

In this paper, the results of a vehicle warm-up study using gas-cylinder equipment under operating conditions are considered. The performed analysis of the ways of improving the thermal preparation of the engine to facilitate start-up in low temperature conditions. It has been confirmed that the most difficult and dangerous from the point of view of reliability is the «cold» start, that is, the starting of the unheated engine in the conditions of low ambient temperatures. It is shown that the specific features of liquefied gas fuel and the design of gas fuel equipment for its supply to the engine significantly affect the provision of a «cold» launch, which are the cause of complications when starting a transport engine operating on liquefied gas fuel in low ambient temperatures. The analysis of thermal preparation systems, which can be used on transport engines operating on liquefied gas fuel, is also carried out to ensure their efficiency in conditions of low ambient temperatures. A structural and logical block diagram of the solution of the problem of developing a thermal preparation system for facilitating the start-up of transport engines operating on liquefied gas fuel with the specified features of the stages of its solution under operating conditions is developed.

Keywords: vehicle, phase-transfer thermal battery, heat preparation system, transport engine, temperature, liquefied gas fuel, engine starting.

© Погорлецкий Д. С.

Статтю прийнято
до редакції 14.11.17

ГИБРИДНАЯ МОДЕЛЬ ЛЕВИТАЦИОННОЙ СИЛЫ МАГНИТОЛЕВИТИРУЮЩЕГО ПОЕЗДА

Поляков В. А., к.т.н., старший научный сотрудник Института транспортных систем и технологий НАН Украины (г. Днепр), ORCID: 0000-0002-4957-8028;

Хачапуридзе Н. М., к.т.н., заместитель директора по научной работе Института транспортных систем и технологий НАН Украины (г. Днепр), ORCID: 0000-0003-0682-6068.

*Реализация левитационной сил (ЛС) магнитолевитирующего поезда (МЛП) происходит в процессе взаимодействия магнитных полей токов сверхпроводящих поездных (СПК) и короткозамкнутых путевых контуров (КПК), являющихся элементами левитационного узла (ЛУ). Исходя из этого, целью настоящего исследования является получение корректного описания такого взаимодействия. На современном этапе, основным и наиболее универсальным инструментом анализа и синтеза процессов и систем является их математическое и, в частности, компьютерное моделирование. **Методика.** В то же время, радикальные преимущества этого инструмента делают ещё более важной прецизионность выбора конкретной методики проведения исследования. Особую актуальность это имеет по отношению к столь большим и сложным системам, какими являются МЛП. По этой причине, в работе особое внимание уделено аргументированному обоснованию выбора селективных особенностей исследовательской парадигмы. **Результаты.** Результаты анализа существующих версий модели процесса реализации ЛС свидетельствуют о том, что каждая из них, наряду с преимуществами, обладает и существенными недостатками. В связи с этим, одним из основных результатов исследования должно явиться построение математической модели указанного процесса, сохраняющей преимущества упомянутых версий, но свободной от их недостатков. В работе аргументировано обоснована рациональность применения, для целей исследования ЛС поезда, интегративной холистической парадигмы, ассимилирующей преимущества теорий электрических цепей и магнитного поля. **Научная новизна.** Приоритетность создания такой парадигмы, а также соответствующей версии модели реализации ЛС составляют научную новизну исследования. **Практическая значимость.** Основным проявлением практической значимости работы является возможность, в случае использования её результатов, существенного повышения эффективности динамических исследований МЛП при одновременном снижении их ресурсоёмкости.*

Ключевые слова: магнитолевитирующий поезд; математическая модель левитации; интегративная исследовательская парадигма.

Введение. Токи и поля контуров ЛУ МЛП – компоненты единого электромагнитного субпроцесса гиперпроцесса электромеханического преобразования энергии. Моделирование этих компонентов вполне возможно [1] в рамках парадигм теорий электрических цепей и электромагнитного поля. Поэтому существующие версии математической модели ЛС МЛП построены [1–3] исходя из упомянутых парадигм. Анализ свойств упомянутых версий модели свидетельствует о том, что каждая из них обладает как преимуществами, так и недостатками. Их общая положительная черта – достаточная функциональность. Основной же имманентный недостаток таких версий – нестационарность дифференциальных уравнений, вызванная циклической переменностью их коэффициентов, соответствующих собственным и взаимным индуктивностям КПК ЛУ как между собой, так и с СПК, в зависимости от положения поезда. Это существенно затрудняет решение задач описываемой динамики [4], радикально снижая практическую ценность версий модели.

Задача работы. Изложенное выявляет [5–7] актуальность создания модели ЛС МЛП, ассимилирующей достоинства имеющихся версий такой модели, но свободной от их недостатков. Синтез такой модели является основной задачей настоящей работы.

Методика работы. Электромеханическое энергопреобразование ЛУ МЛП осуществляется в процессе взаимодействия полей токов СПК и КПК. Поэтому паттерном ЛС поезда является взаимодействие тока элемента СПК с полем токов КПК. Такое взаимодействие может быть описано выражением закона Ампера [8]:

$$f_{\beta\gamma} = l_{\beta\gamma} \cdot i^{\beta\gamma} \cdot B_{\beta\gamma} \cdot \sin \alpha_{\beta\lambda}, \quad (1)$$

где $f_{\beta\gamma}$ – сила, действующая на γ -тый элемент β -го СПК; $l_{\beta\gamma}, i^{\beta\gamma}, B_{\beta\gamma}, \alpha_{\beta\gamma}$ – длина элемента, ток в нём, индукция поля, в котором элемент находится, а также угол между $i^{\beta\gamma}$ и $B_{\beta\gamma}$.

Расчётные схемы СПК и секций КПК приняты, соответственно, в виде наборов гальванически не связанных проводящих прямоугольных рамок, а также пар идентичных прямоугольных катушек, соединённых согласно нуль-поточной схеме [1]. Тогда ЛС поезда определима как векторная сумма величин $\overline{f_{\lambda\chi}} \forall \lambda \in [1, N], \chi \in [1, 4]$, каждая из которых, – это результат взаимодействия тока одного из элементов СПК с полем токов взаимодействующих с ним КПК. В последнем выражении, N – число упомянутых СПК. Динамика электромагнитного компонента такого взаимодействия определяется уравнениями второго закона Кирхгофа [8]. Подсистема “СПК – КПК”, как правило, вырождена [6] – ёмкостные показатели её элементов пренебрежимо низки. Потому, в инерциальной системе отсчёта $Q\varepsilon^\rho \forall \rho \in [(\chi_\beta - E), (\chi_\beta + E)]$, модель электромагнитного компонента взаимодействия β -го СПК с учитываемыми (в этом взаимодействии) КПК имеет вид [8, 9]:

$$\sigma_{\rho\beta} = L_{\rho\rho} \cdot \frac{d}{dt} i^\rho + L_{\rho\mu} \cdot \frac{d}{dt} i^\mu + r_\rho \cdot i^\rho \quad \forall \rho, \mu \in [(\chi_\beta - E), (\chi_\beta + E)]; \quad (2)$$

$$\sigma_{\rho\beta} = \sigma_{\rho\beta}^u - \sigma_{\rho\beta}^l; \quad \sigma_{\rho\beta}^\kappa = -\frac{d}{dt} (M_{\rho\beta}^\kappa \cdot i_s^\beta) \quad (3)$$

$$\forall \rho \in [(\chi_\beta - E), (\chi_\beta + E)], \kappa = u \vee \kappa = l,$$

где $\sigma_{\rho\beta}^\kappa \forall \rho \in [(\chi_\beta - E), (\chi_\beta + E)], \kappa = u \vee \kappa = l$ – электродвижущие силы (э.д.с.) в катушках ρ -го КПК при изменениях сцеплений с их подконттурами потока тока i_s^β цепи β -го СПК; $L_{\rho\rho}, L_{\rho\mu}, r_\rho \forall \rho, \mu \in [(\chi_\beta - E), (\chi_\beta + E)]$ – собственные и взаимные индуктивности, а также активные сопротивления КПК; χ_β – номер (от начала участка трассы, вдоль которого происходит движение МЛП) последнего КПК, поперечную осевую линию которого миновала поперечная осевая линия β -го СПК; E – половина числа КПК, с которыми учитывается электромагнитное взаимодействие каждого СПК; $i^\rho, i^\mu \forall \rho, \mu \in [(\chi_\beta - E), (\chi_\beta + E)]$ – токи КПК; $M_{\rho\beta}^\kappa \forall \rho \in [(\chi_\beta - E), (\chi_\beta + E)], \kappa = u \vee \kappa = l$ – взаимные индуктивности между β -ым СПК и катушками взаимодействующих с ним КПК; t – текущее время.

Благодаря принятым конструкционным мерам [1], значения токов $i_s^\lambda \forall \lambda \in [1, K]$, изменяются достаточно медленно и, на интервалах, соизмеримых со временем наблюдения движения поезда, могут считаться равными между собой и постоянными:

$$i_s^\lambda = i_s = \text{const} \quad \forall \lambda \in [1, K], \quad (4)$$

где K – число СПК, установленных на МЛП. Значение же E нужно выбирать так, чтобы по обеим сторонам от каждого β -го СПК в КПК, предшествующих, а также следующих за учитываемыми, величины $\sigma_{\rho\beta}^\kappa \forall \rho < \chi_\beta - E \vee \rho > \chi_\beta + E, \kappa = u \vee \kappa = l$ даже в неравновесном состоянии ЛУ, были бы пренебрежимо малы.

СПК и КПК взаимоподвижны. Поэтому $L_{\rho\rho}, L_{\rho\mu}, M_{\rho\lambda}^{\kappa} \forall \rho, \mu \in [(\chi_{\lambda} - E), (\chi_{\lambda} + E)], \lambda \in [1, K], \kappa = u \vee \kappa = l$ имеют циклически изменяющиеся во времени значения. Это, в свою очередь, приводит к нестационарности коэффициентов уравнений (2), (3) и, как отмечено, существенно снижает практическую ценность версии модели. С целью устранения указанного недостатка, реализацию слагающих ЛС МЛП следует рассматривать относительно координатных систем, в каждой из которых рассматриваемый СПК и учитываемые во взаимодействии с ним КПК условно взаимно неподвижны. В таком качестве, удобнее всего принять [5] отсчётные системы $C_{\lambda} \eta^{\mu} \forall \lambda \in [1, K], \mu \in [1, 3]$, каждая из которых жёстко связана с λ -ым СПК. Инерциальными $C_{\lambda} \eta^{\mu} \forall \lambda \in [1, K], \mu \in [1, 3]$, в общем случае, не являются. В то же время, весьма желательно [10], чтобы уравнения, описывающие динамику электромагнитного компонента взаимодействия СПК с КПК, имели тензорный характер. Такие уравнения могут быть получены [11], из равенств типа (2) путём замены в них локальных производных $\frac{d}{dt}$ абсолютными $\frac{D}{dt}$, а также перехода в модели (2), (3) к координатам $\eta_{\alpha}^{\mu} \forall \lambda \in [1, K], \mu \in [1, 3]$. Соотношение между упомянутыми производными, как известно, имеет вид [11]:

$$\frac{D}{dt} \eta_{\alpha}^{\mu} = \frac{d}{dt} \eta_{\alpha}^{\mu} + e_{\mu\alpha\nu} \cdot \omega_{\alpha} \cdot \eta_{\alpha}^{\nu} \forall \mu, \nu \in [1, 3], \quad (5)$$

где $e_{\mu\alpha\nu} \forall \mu, \nu \in [1, 3], \omega_{\alpha}$ - символ Леви-Чивита, а также вектор угловой скорости вращения $C_{\alpha} \eta^{\mu} \forall \mu \in [1, 3]$.

После указанной замены, соотношения, полученные из (2), приобретают тензорный характер. Поэтому, в частности, их форма становится инвариантной по отношению к координатам, в которых они записаны. Переход же к координатам $\eta_{\alpha}^{\mu} \forall \mu \in [1, 3]$ осуществим согласно выражениям:

$$\eta_{\alpha}^{\mu} = \mathcal{G}_{\rho}^{\mu} \cdot \varepsilon^{\rho} \forall \rho \in [(\chi_{\alpha} - E), (\chi_{\alpha} + E)]; \mu \in [1, 3], \quad (6)$$

где $\mathcal{G}_{\rho}^{\mu}$ – матрица преобразования координат:

$$\mathcal{G}_{\rho}^{\mu} = \frac{\partial \eta_{\alpha}^{\mu}}{\partial \varepsilon^{\rho}} \forall \rho \in [(\chi_{\alpha} - E), (\chi_{\alpha} + E)]; \mu \in [1, 3]. \quad (7)$$

На оси $\eta_{\alpha}^{\mu} \forall \mu \in [1, 3]$ и $\varepsilon^{\rho} \forall \rho \in [(\chi_{\alpha} - E), (\chi_{\alpha} + E)]$ могут проецироваться любые векторные величины, характеризующие электродинамику взаимодействия СПК и КПК в системах отсчёта соответственно $C_{\alpha} \eta^{\mu} \forall \mu \in [1, 3]$ и $Q \varepsilon^{\rho} \forall \rho \in [(\chi_{\alpha} - E), (\chi_{\alpha} + E)]$. В частности, ими могут быть векторы токов, э. д. с. и индукции полей.

Выражения для связей вида:

$$\eta_{\alpha}^{\mu} = \eta_{\alpha}^{\mu}(\varepsilon^{\rho}) \forall \rho \in [(\chi_{\alpha} - E), (\chi_{\alpha} + E)]; \mu \in [1, 3]. \quad (8)$$

могут быть получены исходя из того, что [5], в процессе описываемого координатного преобразования, его инвариантами являются амплитуды токов в рассматриваемых контурах, а также их э. д. с.

С помощью же матрицы:

$$\mathcal{G}_{\mu}^{\rho} = \frac{\partial \varepsilon^{\rho}}{\partial \eta_{\alpha}^{\mu}} = (\mathcal{G}_{\rho}^{\mu})^T \forall \rho \in [(\chi_{\alpha} - E), (\chi_{\alpha} + E)]; \mu \in [1, 3], \quad (9)$$

осуществимо обратное преобразование

$$\varepsilon^{\rho} = g_{\mu}^{\rho} \cdot \eta_{\alpha}^{\mu} \quad \forall \rho \in [(\chi_{\alpha} - E), (\chi_{\alpha} + E)]; \mu \in [1, 3]. \quad (10)$$

В выражениях (3) для $\sigma_{\rho\beta}^{\kappa} \quad \forall \rho \in [(\chi_{\beta} - E), (\chi_{\beta} + E)], \kappa = u \vee \kappa = l, \quad M_{\rho\beta}^{\kappa} \quad \forall \rho \in [(\chi_{\beta} - E), (\chi_{\beta} + E)], \kappa = u \vee \kappa = l$ существенно зависят, в частности, от взаимного расположения рассматриваемого β -го СПК и КПК, взаимодействие с которыми для него рассматривается. Поэтому:

$$M_{\rho\beta}^{\kappa} = M_{\rho\beta}^{\kappa}(w_{\beta}) \quad \forall \rho \in [(\chi_{\beta} - E), (\chi_{\beta} + E)], \kappa = u \vee \kappa = l, \quad (11)$$

где w_{β} – координата, определяющая текущее положение рассматриваемого β -го СПК относительно начала отсчёта движения МЛП вдоль оси пути. При этом, поскольку КПК вдоль трассы движения поезда располагаются регулярно, последние зависимости имеют гармонический характер. В то же время, современные способы измерения позволяют [12] экспериментально-расчётными методами со вполне приемлемой точностью определять значения взаимных индуктивностей контуров магнитосвязанных электрических цепей при различном текущем их пространственном взаиморасположении. Это, в свою очередь, позволяет, используя упомянутые методы, поточно строить искомые зависимости (11) на требуемой сетке w_{β} . Далее, с использованием методов, например, полиномиальной регрессии [13], реализация которых доступна в ряде современных систем компьютерной математики (например, Mathematica), зависимостям вида (11) может, с сохранением достаточно высокой точности содержания, быть придана форма аналитических выражений. Помимо того, с учётом равенств (4), выражения (3) могут быть преобразованы к виду:

$$\sigma_{\rho\beta} = \sigma_{\rho\beta}^u - \sigma_{\rho\beta}^l; \quad \sigma_{\rho\beta}^{\kappa} = -i_s \cdot \dot{w}_{\beta} \cdot \frac{d}{dw_{\beta}} M_{\rho\beta}^{\kappa} \quad \forall \rho \in [(\chi_{\beta} - E), (\chi_{\beta} + E)], \kappa = u \vee \kappa = l, \quad (12)$$

где $\dot{w}_{\beta}$ – скорость продольного (вдоль касательной к оси) движения рассматриваемого β -го СПК относительно пути. Значения $\frac{d}{dw_{\beta}} M_{\rho\beta}^{\kappa} \quad \forall \rho \in [(\chi_{\beta} - E), (\chi_{\beta} + E)], \kappa = u \vee \kappa = l$ для подстановки в выражения (12) могут быть получены с использованием, созданных описанным путём в форме аналитических выражений, зависимостей вида (11). Таким образом, каждый из β векторов $\sigma_{\rho\beta} \quad \forall \rho \in [(\chi_{\beta} - E), (\chi_{\beta} + E)]$ оказывается определёнными в системе отсчёта $Q\varepsilon^{\rho} \quad \forall \rho \in [(\chi_{\beta} - E), (\chi_{\beta} + E)]$. Далее, с использованием соотношений вида (6)–(8), каждый такой вектор может быть определён в системе $C_{\beta}\eta^{\mu} \quad \forall \mu \in [1, 3]$ проекциями $\sigma_{\mu\beta} \quad \forall \mu \in [1, 3]$.

После преобразований, уравнения, полученные из (2) и (3) путём их трансформации в триэдр $C_{\beta}\eta^{\mu} \quad \forall \mu \in [1, 3]$ с использованием соотношений (5) и (6), приобретают вид:

$$\sigma_{\mu\beta} = L_{\mu\mu} \cdot \left(\frac{d}{dt} i^{\mu} + e_{\mu\beta\nu} \cdot \omega_{\beta} \cdot i^{\nu} \right) + L_{\mu\tau} \cdot \left(\frac{d}{dt} i^{\tau} + e_{\tau\beta\theta} \cdot \omega_{\beta} \cdot i^{\theta} \right) + r_{\mu} \cdot i^{\mu} \quad \forall \mu, \nu, \tau, \theta \in [1, 3]; \quad (13)$$

$$\sigma_{\mu\beta} = g_{\rho}^{\mu} \cdot \sigma_{\rho\beta} \quad \forall \rho \in [(\chi_{\beta} - E), (\chi_{\beta} + E)]; \mu \in [1, 3];$$

$$\sigma_{\rho\beta} = \sigma_{\rho\beta}^u - \sigma_{\rho\beta}^l; \sigma_{\rho\beta}^\kappa = -i_s \cdot w_\beta \cdot \frac{d}{dw_\beta} M_{\rho\beta}^\kappa$$

$$\forall \rho \in [(\chi_\beta - E), (\chi_\beta + E)], \kappa = u \vee \kappa = l. \quad (14)$$

Уравнения (13) имеют постоянные коэффициенты, являются тензорными и описывают токовую динамику ЛУ МЛП в координатах $i^\mu \forall \mu \in [1, 3]$. После их (как правило – численного) разрешения относительно этих переменных, последние, с использованием соотношений (10), могут быть преобразованы в координаты $i^\rho \forall \rho \in [(\chi_\beta - E), (\chi_\beta + E)]$, значения которых определяют реальные токи в цепях КПК.

Магнитная цепь ЛУ предполагается ненасыщенной [1]. Поэтому она может считаться условно-линейной подсистемой и, следовательно, к ней применим принцип аддитивности. Исходя из этого, результирующее поле токов КПК в любой точке геометрического пространства $O\Xi_\gamma \forall \gamma \in [1, 3]$, в котором реально движется СПК относительно КПК, может описываться как сумма полей, создаваемых в этой точке токами отдельных модулей КПК:

$$B_{\gamma\beta} = B_{\gamma\rho\beta} \cdot e^\rho; e^\rho = 1; \forall \rho \in [(\chi_\beta - E), (\chi_\beta + E)], \gamma \in [1, 3], \quad (15)$$

где $B_{\gamma\beta}, B_{\gamma\rho\beta} \forall \rho \in [(\chi_\beta - E), (\chi_\beta + E)], \gamma \in [1, 3]$ – пространственные компоненты индукции поля, создаваемого всеми (учитываемыми во взаимодействии с β -ым СПК) модулями КПК, а также отдельными такими модулями в рассматриваемой точке этого пространства. В свою очередь, значения компонентов $B_{\gamma\alpha\beta} \forall \gamma \in [1, 3]$ для каждого α -ого модуля КПК, определимы соотношениями:

$$B_{\gamma\alpha\beta}(i^\alpha) = B_{\gamma\alpha\beta}^u(i^\alpha) - B_{\gamma\alpha\beta}^l(i^\alpha) \forall \gamma \in [1, 3], \quad (16)$$

где $B_{\gamma\alpha\beta}^\kappa \forall \gamma \in [1, 3], \kappa = u \vee \kappa = l$ – пространственные компоненты индукции поля токов катушек α -го КПК (взаимодействующего с β -ым СПК).

Выражения же для определения значений $B_{\gamma\rho\beta}^\kappa(i^\rho) \forall \rho \in [(\chi_\beta - E), (\chi_\beta + E)], \gamma \in [1, 3], \kappa = u \vee \kappa = l$ имеют вид [14]:

$$\begin{aligned} B_{1\rho\beta}^\kappa &= -\frac{t^\rho}{4 \cdot \pi} \cdot \left\{ \left[F_{12}(k_1', \varphi', \eta) + F_{12}(k_3', \varphi', \eta) \right]_{\varphi_1 = x_0 - l}^{\varphi_2 = x_0 - l + d} - \left[F_{12}(k_2', \psi', \eta) + F_{12}(k_4', \psi', \eta) \right]_{\psi_1 = x_0 + l}^{\psi_2 = x_0 + l + d} \right\}_{\eta_1 = z_0 + h}^{\eta_2 = z_0 - h}; \\ B_{2\rho\beta}^\kappa &= -\frac{t^\rho}{4 \cdot \pi} \cdot \left\{ \left[F_{12}(k_1, \varphi, \eta) + F_{12}(k_4, \varphi, \eta) \right]_{\varphi_1 = x_0 + l}^{\varphi_2 = x_0 + l + d} - \left[F_{12}(k_2, \psi, \eta) + F_{12}(k_3, \psi, \eta) \right]_{\psi_1 = y_0 + a}^{\psi_2 = y_0 + a + d} \right\}_{\eta_1 = z_0 + h}^{\eta_2 = z_0 - h}; \\ \left\{ F_{12}(k, \varphi, \eta) \right\}_{\eta_1 = z_0 + h}^{\eta_2 = z_0 - h} &= \left\{ \eta \cdot \arctg \frac{k \cdot \varphi - \eta^2}{\eta \cdot \sqrt{(k + \varphi)^2 + \varphi^2 + \eta^2}} - \varphi \cdot \operatorname{arsh} \frac{k + \varphi}{\sqrt{\varphi^2 + \eta^2}} - \frac{k}{\sqrt{2}} \cdot \operatorname{arsh} \frac{k + 2 \cdot \varphi}{\sqrt{k^2 + 2 \cdot \eta^2}} \right\}_{\eta_1 = z_0 + h}^{\eta_2 = z_0 - h}; \\ B_{3\rho\beta}^\kappa &= -\frac{t^\rho}{4 \cdot \pi} \cdot \left\{ \left[f_3^0(k_1, \varphi, \eta) + f_3^0(k_4, \varphi, \eta) \right]_{\varphi_1 = y_0 - a}^{\varphi_2 = y_0 - a + d} - \left[f_3^0(k_2, \psi, \eta) + f_3^0(k_3, \psi, \eta) \right]_{\psi_1 = y_0 + a}^{\psi_2 = y_0 + a + d} + \right. \\ &\quad \left. + \left[f_{31}(k_1', \varphi', \eta) + f_{31}(k_3', \varphi', \eta) \right]_{\varphi_1 = x_0 - l}^{\varphi_2 = x_0 - l + d} - \left[f_{31}(k_2', \psi', \eta) + f_{31}(k_4', \psi', \eta) \right]_{\psi_1 = x_0 + l}^{\psi_2 = x_0 + l + d} \right\}_{\eta_1 = z_0 + h}^{\eta_2 = z_0 - h} \\ &\forall \rho \in [(\chi_\beta - E), (\chi_\beta + E)], \kappa = u \vee \kappa = l; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{31}(k, \varphi, \eta) &= -\eta \cdot \operatorname{ar sh} \frac{k + \varphi}{\sqrt{\varphi^2 + \eta^2}} + \varphi \cdot \operatorname{arc tg} \frac{(k + \varphi) \cdot \eta}{\varphi \cdot \sqrt{(k + \varphi)^2 + \varphi^2 + \eta^2}}; \\
 f_{32}(k, \varphi, \eta) &= \sqrt{2} \cdot \eta \cdot \operatorname{ar sh} \frac{k + 2 \cdot \varphi}{\sqrt{k^2 + 2 \cdot \eta^2}} - k \cdot \operatorname{arc tg} \frac{(k + 2 \cdot \varphi) \cdot \eta}{k \cdot \sqrt{(k + \varphi)^2 + \varphi^2 + \eta^2}}; \\
 f_3^0(k, \varphi, \eta) &= f_{31}(k, \varphi, \eta) + f_{32}(k, \varphi, \eta); \\
 k_1' &= -k_1 = [(y_0 - a) - (x_0 - l)]; \quad k_2' = -k_2 = [(y_0 + a) - (x_0 + l)]; \\
 k_3' &= k_3 = -[(y_0 + a) + (x_0 - l)]; \quad k_4' = k_4 = -[(y_0 - a) + (x_0 + l)], \quad (17)
 \end{aligned}$$

где $i^\rho \forall \rho \in [(\chi_\beta - E), (\chi_\beta + E)]$ – плотности токов в обмотках КПК; $2 \cdot h, d$ – высота и толщина каждой такой обмотки; $2 \cdot l, 2 \cdot a$ – размеры её же внутреннего пространства; x_0, y_0, z_0 – координаты точки пространства, в которой описывается поле.

В выражениях (17), кроме того:

$$i^\rho = 0,5 \cdot i^\rho \cdot q \cdot (h \cdot d)^{(-1)} \forall \rho \in [(\chi_\beta - E), (\chi_\beta + E)], \quad (18)$$

где q – число витков обмотки КПК.

Далее, в (18) последовательно подставляются значения токов $i^\rho \forall \rho \in [(\chi_\beta - E), (\chi_\beta + E)]$ и, согласно (15) – (17), находятся компоненты $B_{\gamma\beta} \forall \gamma \in [1, 3]$ индукции поля, создаваемого токами КПК, учитываемых во взаимодействии с β -ым СПК.

Пространство системы $O\Xi_\gamma \forall \gamma \in [1, 3]$ – евклидово. Поэтому мгновенное значение модуля вектора полной индукции поля, компоненты которого были определены, может быть получено согласно выражению

$$B_\beta = \sqrt{B_{\gamma\beta}^{(2)} \cdot e^\gamma}; \quad e^\gamma = 1 \forall \gamma \in [1, 3]. \quad (19)$$

Соотношение же значений упомянутых компонентов $B_{\gamma\beta} \forall \gamma \in [1, 3]$ определяет собой направление вектора $\overline{B_\beta}$.

Поскольку геометрические размеры элементов обмоток СПК определяются их конструкцией, а направления векторов токов таких элементов может считаться совпадающим с их продольными осями, то, таким образом, оказываются известными все величины, входящие в выражения для определения значений ЛС МЛП, чем завершается построение искомой модели этой силы.

Результаты работы. Создана интегративная парадигма моделирования ЛС МЛП, ассимилирующая достоинства теорий цепей и поля, но свободная от их недостатков. Построена модель таких сил, не имеющая дефектов предыдущих версий модели. Этим решена задача настоящей части исследования.

Научная новизна работы и её практическая значимость. Научную новизну исследования составляют приоритетность создания интегративной холистической парадигмы моделирования ЛС МЛП, а также соответствующей версии модели их реализации. Основным проявлением практической значимости работы является возможность, в случае использования её результатов, существенного повышения эффективности динамических исследований МЛП при одновременном снижении их ресурсоёмкости.

Выводы. Холистичность и интегративность созданной парадигмы исследования позволили существенно повысить качество модели ЛС МЛП, созданной с использованием такой парадигмы. Её использование в процессе динамических исследований МЛП позволит повысить их эффективность и снизить ресурсоёмкость.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Высокоскоростной магнитный транспорт с электродинамической левитацией / [Дзензерский В. А., Омеляненко В. И., Васильев С. В. и др.]. – К. : Наук. думка, 2001. – 479 с.
2. Magnetic suspension applications on the railway traction for high speed maglev trains / [M. Dumitrescu, V Ștefan, C. Pleșcan and othe.] // Bulletin of the Transylvania University of Brașov. – 2015. CIBv – Vol. 8 (57) Special Issue № 1. – P. 233–244.
3. Wairagade A. K. R. Magnetic Levitation Train / A. K. R. Wairagade, M. B. H. Balapure, P. Ganer // Journal for Research – 2015. – Vol. 01. – Iss. 08. – P. 1–5.
4. Review on Development and Analysis of Maglev Train / [G. K. Tandan, P. K. Sen, G. Sahu and othe.] // International Journal of Research in Advent Technology – 2015. – Vol. 3, № 12 – P. 14 – 17.
5. Сипайлов Г. А. Электрические машины (специальный курс) / Сипайлов Г. А., Кононенко Е. В., Хорьков К. А. – М.: Высш. шк., 1987. – 287 с.
6. Львович А. Ю. Электромеханические системы / Львович А. Ю. – Л. : Изд-во ЛГУ, 1989. – 296 с.
7. Копылов И. П. Математическое моделирование электрических машин / Копылов И. П. – М. : Высш. шк., 2001. – 327 с.
8. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники: Электрические цепи / Бессонов Л. А. – М. : Высш. шк., 1996. – 578 с.
9. Арменийский Е. В. Единая теория электрических машин / Е. В. Арменийский, И. В. Кузина – М. : Изд-во Моск. ин-та электрон. машиностроен., 1975. – 256 с.
10. Крон Г. Применение тензорного анализа в электротехнике / Крон Г. – М., Л. : Госэнергоиздат, 1955. – 275 с.
11. Рашевский П. К. Риманова геометрия и тензорный анализ / Рашевский П. К. – М. : Наука, 1967. – 644 с.
12. Панфилов В. А. Электрические измерения / Панфилов В. А. – М. : Издат. дом «Академия», 2006. – 288 с.
13. Корн Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров / Г. Корн, Е. Корн – М. : Наука, 1973. – 831 с.
14. Бирюков В. А. Магнитное поле прямоугольной катушки с током / В. А. Бирюков, В. И. Данилов // Журнал технической физики. – 1961. – Т. XXXI, № 4. – С. 428–435.

REFERENCES

1. Dzenzerskij V. A., Omel'janenko V. I., Vasil'ev S. V., V. I. Matin V. I., Sergeev S. A. (2001) Vysokoskorostnoj magnitnyj transport s jelektrodinamicheskoy levitaciej. Kiev: Nauk. dumka.
2. Dumitrescu M., Ștefan V., Pleșcan C., Bobe C. I., Dragne G. M., Badea C. N., Dumitru G. *Bulletin of the Transylvania University of Brașov* (2015), 233–244.
3. Wairagade A. K. R., Balapure M. B. H., Ganer P. *Journal for Research* (2015), 1–5.
4. Tandan G. K., Sen P. K., Sahu G., Sharma R., Bohidar S. *International Journal of Research in Advent Technology* (2015), 14 – 17.
5. Sipajlov G. A, Kononenko E. V. & Hor'kov K. A. (1987) Jelektricheskie mashiny (special'nyj kurs). Moscow: Vish. shk.
6. L'vovich A. Ju (1989) Jeletromehanicheskie sistemy Leningrad: Izd. LGU.
7. Kopylov I. P. (2001) Matematicheskoe modelirovanie jelektricheskikh mashin Moscow: Vish. shk.
8. Bessonov L. A. (1996) Teoreticheskie osnovy jelektrotehniki: Jelektricheskie cepi. Moscow: Vish. shk.
9. Armenskiy Ye. V. & Kuzina I. V. (1975) Yedinaya teoriya elektricheskikh mashin. Moskva: Izd. Mosk. inst. electron. mashinostr.
10. Kron G. (1955) Primenenie tenzornogo analiza v jelektrotehnike Moscow, Leningrad: Gosenergoizdat.

11. Rashevskij P. K. (1967) Rimanova geometrija i tenzornyj analiz Moscow: Nauka.
12. Panfilov V. A. (2006) Elektricheskie izmereniya. Moscow: Izd. dom «Akademiya».
13. Korn G. & Korn Ye. (1973) Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov Moscow: Nauka.
14. Birjukov V. A. & Danilov V. Y. (1961) Magnitnoe pole pryamougol'noy katushki s tokom. Zhurnal tehnicheckoj fiziki., 428-435.

Поляков В. О., Хачапуридзе Н. М. ГІБРИДНА МОДЕЛЬ ЛЕВІТАЦІОННОЇ СИЛИ МАГНІТОЛЕВІТУЮЧОГО ПОЇЗДА

Реалізація левітаційної сили (ЛС) магнітолевітуючого поїзда (МЛП) відбувається у процесі взаємодії магнітних полів токів надпровідних поїздних (НПК) та короткозамкнутих п'єдмалів контурів (КПК), які є елементами левітаційного вузла (ЛВ). Виходячи з цього, ціллю дослідження є одержання коректного опису такої взаємодії. На сучасному етапі, основним та найбільш універсальним інструментом аналізу та синтезу процесів і систем є їхнє математичне і, зокрема, комп'ютерне моделювання. **Методика.** У той же час, радикальні переваги цього інструмента роблять ще більш важливою прецизійність вибору конкретної методики проведення дослідження. Особливу актуальність це має по відношенню до настільки великих та складних систем, якими є МЛП. З цієї причини, у роботі особливу увагу приділено аргументованому обґрунтуванню вибору селективних особливостей дослідницької парадигми. **Результати.** Результати аналізу існуючих версій моделі процесу реалізації ЛС свідчать про те, що кожна з них, поряд з перевагами, має й суттєві недоліки. У зв'язку з цим, одним з основних результатів дослідження повинне явитися побудування математичної моделі вказаного процесу, яка б зберегла переваги згаданих версій, але була б свободною від їхніх недоліків. У роботі аргументовано обґрунтована раціональність використання, для цілей дослідження ЛС поїзда, інтегративної холистичної парадигми, яка б асимілювала переваги теорій електричних ланцюгів та магнітного поля. **Наукова новизна.** Пріоритетність створення такої парадигми, а також відповідної версії моделі реалізації ЛС складають наукову новизну дослідження. **Практична значимість.** Основним проявом практичної значимості роботи є можливість, у випадку використання її результатів, суттєвого підвищення ефективності динамічних досліджень МЛП при одночасному зниженні їхньої ресурсоемності.

Ключові слова: магнітолевітуючий поїзд; математична модель левітації; інтегративна дослідницька парадигма.

Poliakov V. A., Khachapuridze N. M. MODEL OF A MAGNETICALLY LEVITATED TRAIN'S LEVITATION FORCE

The implementation of the magnetically levitated train's (MLT) levitation force (LF) occurs during the interaction between fields of superconducting train's (STC) and short-circuited track's contours (STC), which are included in to levitation module (LU). Based on this, **the purpose of this study is to obtain a correct description of such interaction.** At the present stage, the main and most universal tool for the analysis and synthesis of processes and systems is their mathematical and, in particular, computer modeling. At the same time, the radical advantages of this tool make even more important the precision of choosing a specific **methodology for research conducting.** This is particularly relevant in relation to such large and complex systems as MLT. For this reason, the work pays special attention to the reasoned choice of the selective features of the research paradigm. The analysis results of existing versions of LF implementation's models show that each of them, along with the advantages, also has significant drawbacks. In this regard, one of the **main results of the study** should be the construction of this force implementation's mathematical model, which preserves the advantages of the mentioned versions, but free from their shortcomings. The rationality of application, for the train's LF researching, of an integrative holistic paradigm, which assimilates the advantages of the electric circuit's and magnetic field's theory's, is reasonably justified in work. The **scientific novelty of the research** – in priority of such a paradigm's and the corresponding version's of the LF's implementation's model's creating. The main manifestation of the **practical significance of the work** is the possibility, in the case of using its results, to significantly increase the effectiveness of dynamic MLT research while reducing their resource costing.

Keywords: magnetically levitated train, mathematical model of levitation, integrative paradigm of research.

© Поляков В. О. Хачапуридзе Н. М.

Статтю прийнято
до редакції 12.09.17

АНАЛІЗ РОБОТИ ТА НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ СПОЛУЧНОЇ МУФТИ ГВИНТОВОГО НАСОСА ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ СУДНОВОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Проценко В. О., к.т.н., доцент кафедри транспортних технологій Херсонської державної морської академії, e-mail: eseu@ukr.net;

Авраменко О. М., магістрант Херсонської державної морської академії, e-mail: eseu@ukr.net

В статті виконаний аналіз умов роботи муфти гвинтового насоса IMO ACG 045N7NVBP бустерного модуля паливної системи енергетичної установки контейнеровоза. Він показав, що конструкція встановленої в насосі муфти з пружною поліуретановою зірочкою не відповідає умовам її роботи через вади матеріалу пружного елемента та конструкції самої муфти. За результатами аналізу розроблено просту та технологічну за конструкцією муфту з канатним елементом. Це дає можливість їй працювати в умовах високих температур та агресивних середовищ, забезпечує можливість виконувати її виготовлення та ремонт в судових умовах. При обриві каната муфта розмикає кінематичний ланцюг і тим самим сигналізує про порушення працездатності і необхідність її відновлення. Конструкція муфти забезпечує простоту заміни каната та його обдуб з зустрічним повітрям при обертанні муфти. Обґрунтовано основні силові параметри муфти, отримано вирази для обчислення натягу каната та навантаження деталей муфти.

Ключові слова: муфта, канат, упруга зірочка, момент, суднова енергетична установка.

Вступ. В теперішній час транспортні судна складають основу морського і річкового флоту – близько 90 % загального тоннажу. Паливна система енергетичної установки є однією з основних систем, від якої залежить здатність судна рухатися, та відповідно безпека вантажу, екіпажу та навколишнього середовища. З огляду на це, забезпечення безвідмовності паливних систем СЕУ та їх агрегатів є актуальною задачею в сучасних умовах.

Постановка задачі. Підвищення експлуатаційної ефективності обладнання судових енергетичних установок може відбуватися шляхом вивчення безвідмовності його елементів, що в свою чергу потребує вивчення реальних умов роботи цих елементів, а також відповідності їх конструкції та застосованих матеріалів цим умовам. Такий функціонально-орієнтований підхід став джерелом успішного розроблення ряду технологій машинобудування та може бути також ключем до розроблення прогресивних конструкцій [1], в тому числі муфт. Вивчення умов експлуатації пружної муфти гвинтового насоса паливної системи, виявлення недоліків її конструкції та встановлення напрямків її удосконалення становить мету даної роботи.

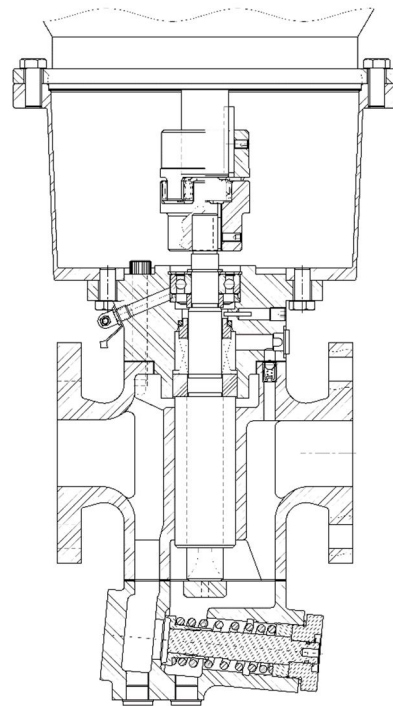
Виклад основного матеріалу. На контейнерному судні «AS ROSALIA» у складі паливної системи міститься бустерний модуль, що призначений для підтримання належної в'язкості та температури палива та його циркуляції через паливну систему дизелів на ходу та стоянці. Основним елементом цього модуля є циркуляційний гвинтовий насос IMO ACG 045N7NVBP, що збільшує тиск палива з 0,4 до 1,1 МПа при подачі 267 л/хв. Загальний вид та розріз насоса показаний на рис. 1. З рисунка видно, що ведучий гвинт насоса приводиться від електродвигуна через муфту з пружною поліуретановою зірочкою [2, 3]. Потужність привідного електродвигуна складає 6 кВт при частоті обертання 3550 об/хв. Встановлена муфта ROTEX SIZE 28 працює у важких умовах високої температури та агресивної дії важкого палива при наявності протікань. Такі умови разом із часто неправильним складанням муфти стають причиною того, що вона виходить з ладу через руйнування зірочки та напівмуфт, наробіток на відмову при цьому складає близько 480 год або 1 місяць роботи.

В результаті дії пульсуючого навантаження (через пульсацію подачі гвинтового насоса) на промені зірочки вони зазнають циклічного стискання та втомного руйнування і перетворюються фактично на поліуретановий пил (рис. 2). Руйнування пришвидшує агресивне середовище важкого палива у випадку його потрапляння на пружну зірочку при

пошкодженні механічного ущільнення насоса (рис. 3). В експлуатації про знос зірочки і руйнування її пелюсток нічого не сигналізує, оскільки муфта знаходиться всередині конусного проміжного корпуса закритого з усіх боків, тому після їх руйнування відбувається металевий контакт виступів напівмуфт із їх подальшим спрацюванням та зломом (рис. 4). В таких умовах виконувати ремонт муфти не виявляється можливим і її заміняють разом з пружним елементом. Базова муфта коштує близько 85 USD. Тобто на десять подібних насосів, встановлених у складі паливної системи місячні витрати становлять близько 850 USD. Причинами такого руйнування зірочки є вади поліуретану як матеріалу для пружних елементів, основними з яких є недостатня здатність відводити тепло через низький коефіцієнт теплопровідності, що призводить до перегріву, та чутливість поліуретану до дії агресивних хімічних реагентів, що пришвидшують його деградацію та руйнування. Зокрема для поліуретану T-PUR твердістю 85...90 одиниць за Шором, коефіцієнт теплопровідності становить $\lambda \approx 0,03 \text{ Вт/(м}\times\text{K)}$ (для порівняння алюміній Д18 – $\lambda \approx 120 \text{ Вт/(м}\times\text{K)}$, Сталь 40X – $\lambda \approx 40 \text{ Вт/(м}\times\text{K)}$).



а)

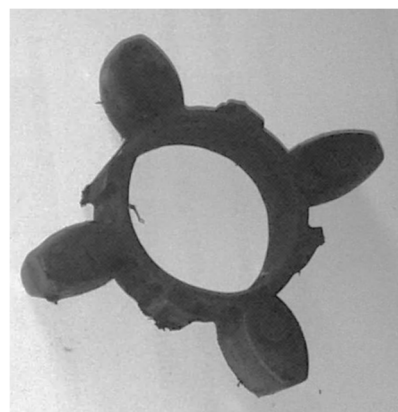


б)

Рисунок 1 – Загальний вид (а) та розріз (б) гвинтового насоса IMO ACG 045N7NVBP



а)



б)

Рисунок 2 – Загальний вид нової (а) та зруйнованої (б) зірочки



а)



б)

Рисунок 3 – Загальний вид зруйнованої веденої напівмуфти при справному (а) та пошкодженому (б) механічному ущільненні вихідного вала насоса

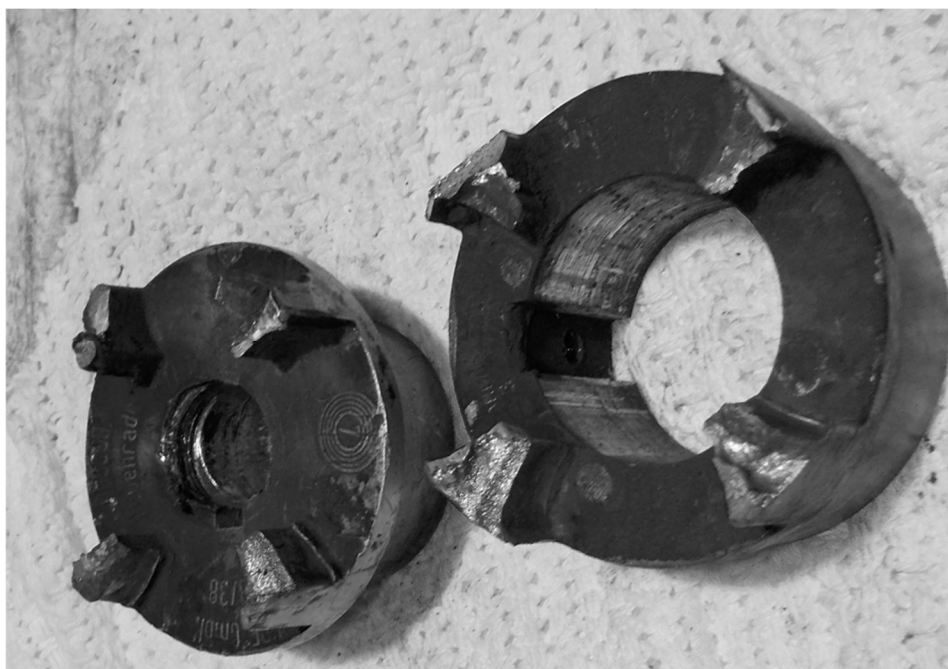


Рисунок 4 – Загальний вид демонтованих ведучої та веденої напівмуфт зі зруйнованими виступами через їх безпосередній контакт після руйнування зірочки

З огляду на викладене можна зробити висновок, що конструкція встановленої в насосі ІМО АСГ 045N7NVBP пружної муфти не відповідає умовам її роботи. Вимоги, яким повинні задовольняти конструкція муфти та її пружного елемента, щоб ефективно працювати в описаних умовах наступні:

- пружний елемент повинен ефективно відводити тепло, яке утворюється при його роботі в тіло напівмуфти та повітря. Для цього його матеріал повинен мати якнайбільший коефіцієнт теплопровідності та обдуватися повітрям при роботі муфти;
- пружний елемент повинен бути простим за конструкцією та технологічним у заміні;
- пружний елемент повинен бути якнайменш чутливим до контакту з важким паливом;

- муфта повинна мати високу компенсуючу здатність та створювати якнайменші навантаження на вали;
- муфта повинна бути простою за конструкцією та технологічною, допускати заміну пружних елементів та ремонт в судових умовах;
- конструкція муфти повинна при руйнуванні пружного елементу розмикати кінематичний ланцюг, виключати співударіння напівмуфт та унеможлиблювати роботу насоса, сигналізуючи тим самим про руйнування пружного елементу.

Сформульованим вимогами до пружних елементів задовольняють сталеві канати – вони виготовляються зі сталей типу 70, що мають коефіцієнт теплопровідності на рівні $\lambda \approx 60 \text{ Вт/(м}\times\text{К)}$, характеризуються високою гнучкістю та міцністю, масово виготовляються промисловістю.

Нова муфта, що повинна задовольняти означеним вимогам показана на рис. 5. Вона містить дві напівмуфти – зовнішню 1 і внутрішню 2, що сполучені відрізком каната 3, яких може бути кілька, обидва кінці 4 і 5 каната 3 закріплені у пальцях 6, що встановлені у зовнішній напівмуфті 1, а внутрішня напівмуфта 2 містить встановлені з можливістю повороту на осях 7 ролики 8, між якими розташовано канат 3, яким охоплені ролики 8.

Муфта працює наступним чином. При обертанні приводом зовнішньої напівмуфти 1 разом із нею обертаються пальці 6 і спричиняють натяг каната 3. Натягнутий канат 3, що ними охоплені ролики 8 тисне власне на них та на осі 7, створюючи момент на веденій внутрішній напівмуфті 2 та обертаючи її. У випадку виникнення неспіввідповідності між напівмуфтами 1 та 2, ролики 8 веденої напівмуфти 2 обкочуватимуться по канату 3 за рахунок чого відбуватиметься компенсація неспіввідповідності. У випадку співвідповідного розташування напівмуфт обкочування роликів 8 по канату 3 не відбуватиметься.

Канат 3 муфти обдуватиметься повітрям при обертанні муфти а при руйнуванні каната напівмуфти мають можливість безударного відносного обертання за рахунок різниці їх зовнішніх діаметрів. Деталі муфти мають просту конфігурацію і не потребують точної обробки, можуть бути виготовлені на токарному верстаті навіть в судових умовах. Заміна каната 3 не викликає труднощів – для цього потрібно лише викрутити два гвинти, що кріплять його кінці 4 та 5 у пальцях 6.

З метою визначення навантажень деталей муфти розглянемо її силову схему (рис. 6). Вона містить ведучу напівмуфту 1 більшого діаметра в якій на діаметрі $D_{3\phi}$ закріплені кінці каната 2. Канатом 2 охоплені два ролики (блоки) 3 діаметром d_p (діаметр по центру каната), які встановлені з можливістю обертання на осях 4 діаметром d_o , що запресовані у ведену напівмуфту на діаметрі $D_{6н}$.

Для силових співвідношень можна записати вираз:

$$T_{вч} = 2L_{OP}F_n = T_{6н} = 2L_{OP_1}F_r, \quad (1)$$

де F_n – сила натягу каната; F_r – сила, що діє з боку віток каната на ролик.

Відповідно натяг каната становить:

$$F_n = \frac{T}{2L_{OP}}. \quad (2)$$

Сила F_r , як діагональ силового ромба [3] з вершиною в точці B, становить :

$$F_r = F_n \sqrt{2 + 2 \cos \beta_1}. \quad (3)$$

Тобто задача силового розрахунку такої муфти та оцінки міцності її елементів потребує визначення кута β_1 та відстані L_{OP} , що становить задачу наступних робіт.

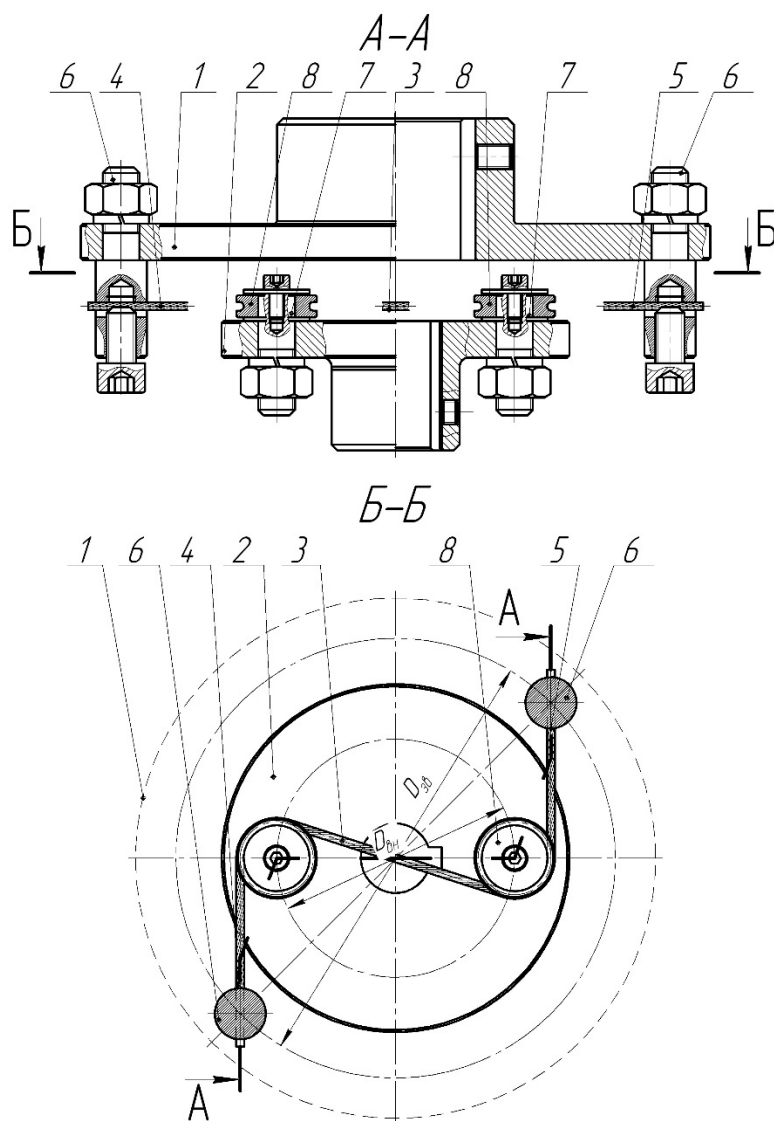


Рисунок 5 – Загальний вид канатно-роликової муфти

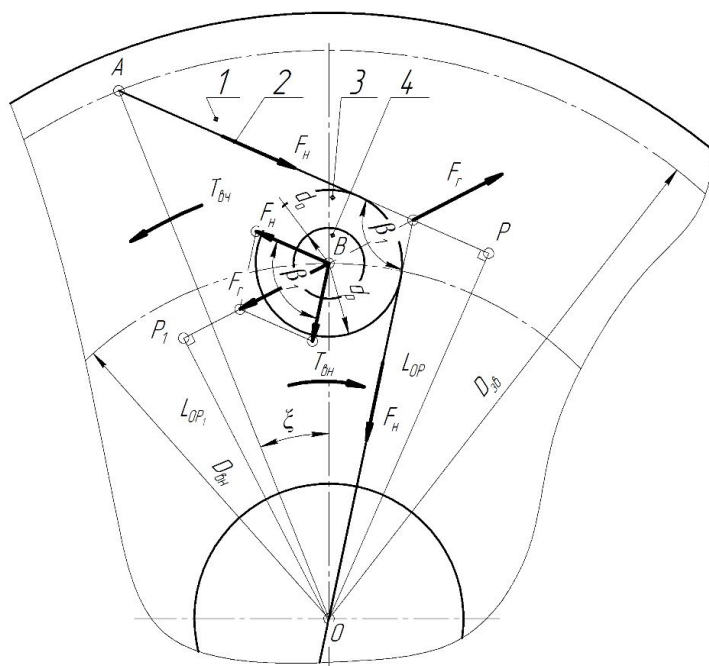


Рисунок 6 – Силова схема муфти

Висновки. В результаті виконання представлених досліджень отримано наступні результати:

1. Виконаний аналіз умов роботи муфти насоса IMO ACG 045N7NVBP, що показав конструкція встановленої в насосі муфти з пружною поліуретановою зірочкою не відповідає умовам її роботи через вади матеріалу пружного елемента та конструкції самої муфти.

2. За результатами аналізу розроблено просту та технологічну за конструкцією муфту, що оснащена простим, дешевим і поширеним пружним елементом із відрізка сталевих канатів. Це дає можливість їй працювати в умовах високих температур та агресивних середовищ, забезпечує можливість виконувати її виготовлення та ремонт в суднових умовах. При обриві каната муфта розмикає кінематичний ланцюг і тим самим сигналізує про порушення працездатності і необхідність її відновлення. Конструкція муфти забезпечує простоту заміни каната та його обдуб зустрічним повітрям при обертанні муфти.

3. Обґрунтовано основні силові параметри муфти, отримано вирази для обчислення натягу каната та навантаження деталей муфти.

Напрямки подальших досліджень. Представлений в роботі матеріал формує умови для поглиблення теоретичних досліджень та розроблення основ геометричного розрахунку муфти, а також дослідження взаємного впливу її конструктивних, геометричних та силових параметрів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Михайлов А. Н. Развитие принципов информационных и функционально-ориентированных технологий при проектировании и производстве объектов техники / А. Н. Михайлов, В. А. Настасенко, В. А. Проценко // Науковий вісник ХДМІ. – Херсон : ХДМІ. – 2010. – № 2 (3) – С. 164–174.

2. Михайлов Ю. К. Муфты с неметаллическими упругими элементами. Теория и расчет / Ю. К. Михайлов, Б. С. Иванов. – Л. : Машиностроение, 1987. – 144 с.

3. Технічна механіка / Булгаков В. М., Черниш О. М., Войтюк Д. Г. – Ніжин : «MILANIK», 2011. – 600 с.

REFERENCES

1. Mikhajlov, A. N., Nastasenko, V. A., Protsenko, V. A. (2010). Razvitie principov informacionnykh i funkcionalno-orientirovannykh tekhnologiy pri proektirovanii i proizvodstve ob'ektov tekhniki. *Naukoviy visnik KhDMI*. Kherson : KhDMI. 2 (3). 164–174.

2. Mikhajlov, Yu. K., Ivanov, B. S. (1987). *Mufti s nemetallichesкими uprugimi ehlementami. Teoriya i raschet*. Leningrad : Mashinostroenie.

3. *Tekhnichna mekhanika*. (2011). Bulgakov V. M., Chernish, O. M., Voytyuk, D. G. Nizhin : «MILANIK».

Проценко В. А., Авраменко А. М. АНАЛИЗ РАБОТЫ И НАПРАВЛЕНИЯ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ МУФТЫ ВИНТОВОГО НАСОСА ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

В статье выполнен анализ условий работы муфты винтового насоса IMO ACG 045N7NVBP бустерного модуля топливной системы энергетической установки контейнеровоза. Он показал, что конструкция установленной в насосе муфты с упругой полиуретановой звездочкой не соответствует условиям ее работы из-за недостатков материала упругого элемента и конструкции самой муфты. По результатам анализа разработана простая и технологичная по конструкции муфта с канатным элементом. Это дает возможность ей работать в условиях высоких температур и агрессивных сред, обеспечивает возможность выполнять ее изготовление и ремонт в судовых условиях. При обрыве каната муфта размыкает кинематическую цепь и тем самым сигнализирует о нарушении работоспособности и необходимости ее восстановления. Конструкция муфты обеспечивает простоту замены каната и его обдуб встречным воздухом при вращении муфты. Обоснованы основные силовые параметры муфты, получены выражения для вычисления натяжения каната и нагрузки деталей муфты.

Ключевые слова: муфта, канат, несоосность, упругая звездочка, момент, судовая энергетическая установка.

Protsenko V. O., Avramenko O. M. OPERATION ANALYSIS AND DIRECTIONS OF IMPROVEMENT SHIP POWER PLANT FUEL SYSTEM SCREW PUMP CONNECTION COUPLING

The article analyzes the operating conditions of the IMO ACG 045N7NVBP screw pump coupling of the booster module of the fuel system of the container vessel power plant. He showed that the design of the clutch installed in the pump with an elastic polyurethane star does not correspond to the conditions of its operation due to the shortcomings of the material of the elastic element and the design of the coupling itself. Based on the results of the analysis, a simple and technology-designed coupling with a cable element was developed. This enables it to work in conditions of high temperatures and corrosive environments, provides the opportunity to perform its manufacturing and repair in ship's conditions. When the rope breaks, the clutch opens the kinematic chain and thereby signals a malfunction and the need to restore it. The design of the coupling ensures the ease of replacement of the rope and its airflow by counter-air when the clutch rotates. The basic power parameters of the coupling are substantiated, expressions are obtained for calculating the cable tension and load of the clutch parts.

Keywords: coupling, rope, misalignment, elastic star, moment, ship power plant.

© Проценко В. О., Авраменко О. М.

Статтю прийнято
до редакції 9.10.17

ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВА ГРУПА ТРОНКОВОГО ДВИГУНА

Самарін О. Є., к.т.н., доцент кафедри експлуатації суднових енергетичних установок Херсонської державної морської академії, e-mail: samarin06@yandex.ru

Запропоновано конструкцію циліндро-поршневої групи тронкового двигуна, що складається з циліндрової втулки, встановленої у блоці циліндрів, у якій знаходиться поршень з двома співвісними отворами для кріплення поршневого пальця. У поршні перпендикулярно до осі перших двох співвісних отворів у горизонтальній площині виконано ще два співвісні отвори для кріплення поршневого пальця, що дозволяє повертати поршень навколо вертикальної осі на 90° . На поршні виконано мітку, яка лежить у вертикальній площині, що проходить через вісь будь-яких двох співвісних отворів для встановлення поршневого пальця, що дозволяє повертати поршень на 90° у тому ж напрямку, що і циліндрову втулку. На циліндровій втулці виконано мітку, яка лежить у вертикальній площині, що проходить через вісь втулки, що дозволяє повертати циліндрову втулку на 90° відповідно до міток на блоці циліндрів. На блоці циліндрів у горизонтальній площині виконано дві мітки під кутом 90° , одна з яких співпадає з віссю колінчастого вала, що дозволяє чітко орієнтувати циліндрову втулку по цих мітках при початковому монтажі та після повороту на 90° . Застосування вказаного рішення дозволить у два рази збільшити строк експлуатації циліндро-поршневої групи чотиритактного тронкового двигуна за рахунок повороту циліндрової втулки і поршня навколо вертикальної осі на 90° і більш рівномірного зношування тертьових поверхонь у двох взаємно перпендикулярних площинах.

Ключові слова: циліндрова втулка, поршень, поршневий палець, нормальна сила, сила тертя.

Вступ. Сучасний тронковий двигун внутрішнього згоряння представляє собою теплову машину, в якій хімічна енергія палива перетворюється в механічну роботу [1]. Це відбувається через передачу енергії розширення продуктів згорання на поршень, зворотно-поступальний рух якого у циліндровій втулці передається на кривошипно-шатунний механізм.

Під дією тиску газів у тронковому двигуні виникає бічна сила, що притискає поршень до втулки циліндра та обумовлює появу підвищеної сили тертя. З урахування умов роботи циліндро-поршневої групи (висока температура, недостатнє мащення поверхонь, що труться), відбувається інтенсивне зношування як поршня, так і втулки циліндра, що зменшує строк служби двигуна.

Враховуючи масове використання тронкових двигунів внутрішнього згоряння, а також високі витрати на запасні частини та вимоги по строку служби, проблема зменшення експлуатаційних витрат і підвищення строку служби двигунів набуває практичної значущості.

Аналіз сил, що діють у циліндро-поршневій групі. Сила тиску газів P_r діє в робочих циліндрах та навантажує втулки циліндрів, кришки і поршні [1]. Механічні навантаження, що виникають при роботі двигуна, обумовлюються дією сили тиску газів P_r , сили інерції рухомих частин P_j , що рухаються поступально, та відцентрових сил інерції мас $P_{\text{ц}}$, що обертаються (рис. 1).

Сила інерції поступально рухомих мас, являє собою добуток мас поршневої групи і верхньої частини шатуна m_n на прискорення руху поршня a : $P_{jn} = m_n \times a$, діє як і сила тиску газів в напрямку осі циліндра.

Додавання сил, приведених до площі поршня, дає сумарну силу:

$$P = P_r + P_j.$$

Сумарна сила P може бути розкладена на дві складові – на силу $P_{\text{ш}}$, спрямовану уздовж шатуна, і силу нормальну N , спрямовану перпендикулярно до осі циліндра (рис. 1):

$$P_{\text{ш}} = \frac{P}{\cos\beta};$$

$$N = P \operatorname{tg}\beta.$$

Нормальна сила притискає поршень до втулки циліндра та викликає перекидку поршня в циліндрі. Вона викликає зношування поршня і циліндра.

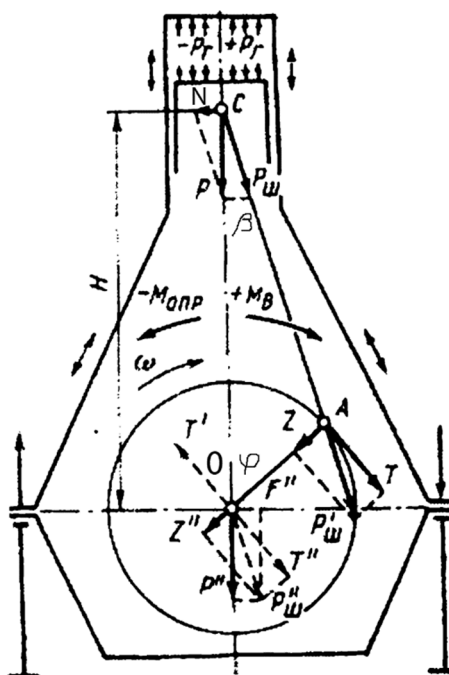


Рисунок 1 – Сили, що діють у циліндро-поршневій групі [1]

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Нормальна сила N притискає поршень до циліндра та викликає його перекидку в процесі роботи двигуна. При цьому між поршнем та циліндром виникає сила тертя, яка призводить до підвищеного та нерівномірного зношування поршня та циліндра у напрямку дії нормальної сили. Особливо цей процес прискорюється в умовах підвищеної температури та недостатнього мащення у циліндрі, які виникають при роботі двигуна.

У процесі експлуатації форма циліндра і поршня у поперечному січенні змінюється і набуває овального вигляду. Це приводить до появи зазорів між стінками циліндрової втулки і поршнем. Відпрацьовані гази прориваються через них у картер двигуна. При цьому зменшується потужність двигуна. Крім того, у тронкових двигунах з мокрим картером масло вступає у реакцію з гарячими відпрацьованими газами та змінює свої властивості. Умови мащення двигуна погіршуються і він скоріше виходить з ладу.

Строк служби поршня і циліндрової втулки менше строку служби двигуна. Тому у процесі експлуатації їх необхідно замінювати, що збільшує експлуатаційні витрати.

Мета та задачі проведення досліджень. Створити таку циліндро-поршкову групу чотиритактного тронкового двигуна, яка може повертатись навколо вертикальної осі на 90° , що забезпечує рівномірне зношування поршня і циліндрової втулки у двох взаємно перпендикулярних площинах.

Для досягнення поставленої мети необхідно провести аналіз конструкції циліндро-поршневої групи серійного тронкового двигуна та встановити причину виникнення інтенсивного зношування тертьових поверхонь.

Рішення поставленої задачі. На рис. 2 показано загальний вигляд запропонованої циліндро-поршневої групи тронкового двигуна.

Поставлена задача вирішується тим, що у поршні 3 перпендикулярно до осі перших двох співвісних отворів 4 у горизонтальній площині виконано ще два співвісні отвори 6 для кріплення поршневого пальця 5.

На поршні 3 виконано мітку 7, яка лежить у вертикальній площині, що проходить через вісь любых двох співвісних отворів 4 або 6 для встановлення поршневого пальця 5.

На циліндровій втулці 1 виконано мітку 8, яка лежить у вертикальній площині, що проходить через вісь втулки 1.

На блоці циліндрів 2 у горизонтальній площині виконано дві мітки 9 і 10 під кутом 90° , одна з яких співпадає з віссю колінчастого вала.

Виконання у поршні 3 перпендикулярно до осі перших двох співвісних отворів 4 у горизонтальній площині ще двох співвісних отворів 6 для кріплення поршневого пальця 5 дозволяє повертати поршень 3 навколо вертикальної осі на 90° .

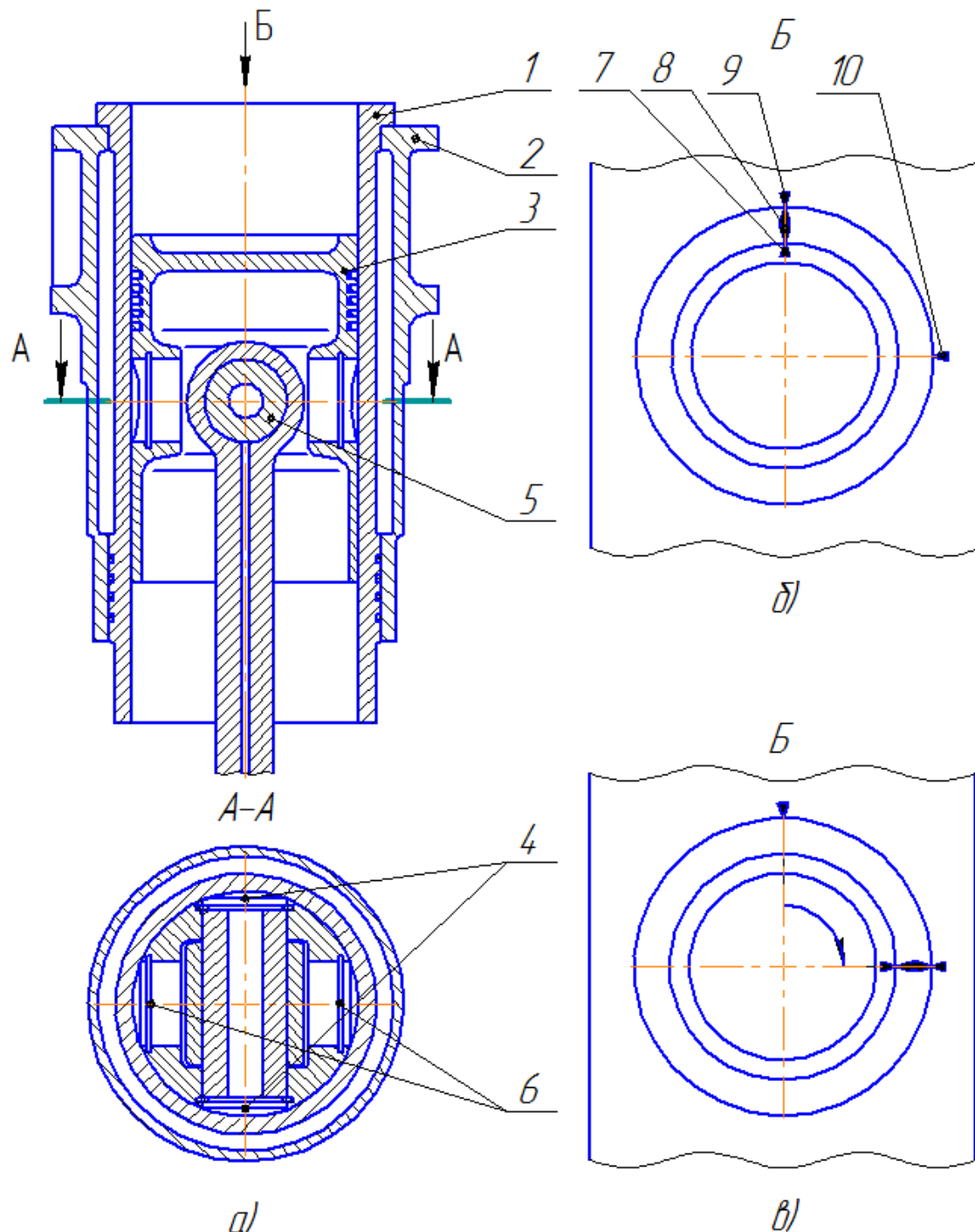


Рисунок 2 – Циліндро-поршнева група тронкового двигуна:

а – загальний вигляд циліндро-поршневої групи; б – положення циліндрової втулки та поршня при початковому монтажі циліндро-поршневої групи; в – положення циліндрової втулки та поршня після повороту на 90° ; 1 – циліндрова втулка; 2 – блок циліндрів; 3 – поршень; 4, 6 – співвісні отвори; 5 – поршковий палець; 7, 8, 9, 10 – мітка

Виконання на поршні 3 мітки 7, яка лежить у вертикальній площині, що проходить через вісь любых двох співвісних отворів 4 або 6 для встановлення поршневого пальця 5, дозволяє повертати поршень 3 на 90° у тому ж напрямку, що і циліндрову втулку 1.

Виконання на циліндровій втулці 1 мітки 8, яка лежить у вертикальній площині, що проходить через вісь втулки 1, дозволяє повертати циліндрову втулку 1 на 90° відповідно до міток 9 і 10 на блоці циліндрів 2.

Виконання на блоці циліндрів 2 у горизонтальній площині двох міток 9 і 10 під кутом 90° , одна з яких співпадає з віссю колінчастого вала дозволяє чітко орієнтувати циліндрову втулку 1 по цих мітках при початковому монтажі та після повороту на 90° .

Циліндро-поршнева група чотиритактного тронкового двигуна працює наступним чином.

При початковому монтажі циліндро-поршневої групи циліндрова втулка 1 встановлюється так, щоб мітка 8 співпадала з міткою 9 на блоці циліндрів 2, а мітка 7 на поршні 3 співпадала з міткою 8. При цьому поршневий палець 5 встановлюється у співвісній отвори 4.

У такому положенні двигун працює першу половину встановленого строку експлуатації. Після цього циліндрова втулка повертається на 90° так, щоб мітка 8 співпала з міткою 10 на блоці циліндрів.

При цьому поршень також повертається на 90° так, щоб поршневий палець 5 став у співвісній отвори 6, а мітка 7 на поршні знову співпала з міткою 8 на циліндровій втулці. У такому положенні двигун працює другу частину строку експлуатації.

Висновки та рекомендації. Застосування корисної моделі дозволить у два рази збільшити строк експлуатації циліндро-поршневої групи чотиритактного тронкового двигуна за рахунок повороту циліндрової втулки і поршня навколо вертикальної осі на 90° і більш рівномірного зношування тертьових поверхонь у двох взаємно перпендикулярних площинах.

Рекомендується період експлуатації двигуна розділити на дві частини. Після закінчення першого періоду необхідно зняти кришку циліндра і поршень. Повернути циліндрову втулку на 90° , як описано вище і зібрати двигун. Одночасне повертання циліндрової втулки і поршня в одному напрямку забезпечує щільне їх прилягання та виключає необхідність тривалого періоду обкатування.

При виконанні повороту циліндро-поршневої групи також рекомендується замінити поршневі кільця на нові. Інші регламентні роботи по технічному обслуговуванню двигуна виконувати у відповідності до вимог виробника двигуна.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Возницький И. В. Судовые двигатели внутреннего сгорания. Том.1. – М. : Моркнига, 2008. – 282 с.
2. Гоц А. Н. Кинематика и динамика кривошипно-шатунного механизма поршневых двигателей : учеб. пособие / Владим. гос. ун-т. – Владимир : Редакционно-издательский комплекс ВлГУ, 2005. – 124 с.
3. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики. – М. : «Государственное издательство физико-математической литературы», 1961. – 401 с.

REFERENCES

1. Voznickiy I. V. Sudovihe dvigateli vnutrennego sgoraniya. Tom.1. – M. : Morkniga, 2008. – 282 s.
2. Goc A. N. Kinematika i dinamika krivoshipno-shatunnogo mekhanizma porshnevikhkh dvigateley : ucheb. posobie / Vladim. gos. un-t. – Vladimir : Redakcionno-izdatelskiy kompleks VIGU, 2005. – 124 s.
3. Targ S. M. Kratkiy kurs teoreticheskoy mekhaniki. – M. : «Gosudarstvennoe izdatelstvo fiziko-matematichskoy literaturih», 1961. – 401 s.

Самарин А. Е. ЦИЛИНДРО-ПОРШНЕВАЯ ГРУППА ТРОНКОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Предложена конструкция цилиндро-поршневой группы тронкового двигателя, состоящей из цилиндрической втулки, установленной в блоке цилиндров, в которой находится поршень с двумя соосными отверстиями для крепления поршневого пальца. В поршне перпендикулярно к оси первых двух соосных отверстий в горизонтальной плоскости выполнены ещё два соосных отверстия для крепления поршневого пальца, что позволяет поворачивать поршень вокруг вертикальной оси на 90°. На поршне выполнена метка, которая лежит в вертикальной плоскости, проходящей через ось любых двух соосных отверстий для установки поршневого пальца, что позволяет поворачивать поршень на 90° в том же направлении, что и цилиндрическую втулку. На цилиндрической втулке выполнена метка, которая лежит в вертикальной плоскости, проходящей через ось втулки, что позволяет поворачивать цилиндрическую втулку на 90° в соответствии с метками на блоке цилиндров. На блоке цилиндров в горизонтальной плоскости выполнены две метки под углом 90°, одна из которых совпадает с осью коленчатого вала, что позволяет четко ориентировать цилиндрическую втулку по этим меткам при начальном монтаже и после поворота на 90°. Применение указанного решения позволит в два раза увеличить срок эксплуатации цилиндро-поршневой группы четырехтактного тронкового двигателя за счет поворота цилиндрической втулки и поршня вокруг вертикальной оси на 90° и более равномерного износа трущихся поверхностей в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

Ключевые слова: цилиндрическая втулка, поршень, поршневой палец, нормальная сила, сила трения.

Samarin O. E. CYLINDER-PISTON GROUP TRUNK-PISTON ENGINE

The construction cylinder-piston trunk-piston engine, consisting of a cylindrical plugs installed in the engine block, in which the plunger with two coaxial holes for mounting the piston pin. In pistons perpendicular to the axis of the first two coaxial holes in the horizontal plane made two coaxial holes for mounting the piston pin that allows you to rotate around a vertical axis piston 90°. On the Pistons made the tag, which lies in a vertical plane passing through the axis beloved two coaxial holes for installing the piston pin, allowing the piston to return to 90° in the same direction as the cylinder sleeve. On the cylindrical sleeve made label, which lies in a vertical plane passing through the axle hub that allows you to rotate cylindrical sleeve 90° according to the marks on the engine block. In the engine block in a horizontal plane carried two tags at 90°, one of which coincides with the axis of the crankshaft, allowing you to focus clearly on these cylindrical sleeve labels on initial installation and after turning 90°. The use of utility model will double the life of the cylinder-piston four-stroke trunk-piston engine by turning cylindrical piston sleeve and around the vertical axis at 90° and more even wear of rubbing surfaces in two perpendicular planes.

Keywords: cylinder sleeve, piston, piston pin, the normal force, the frictional force.

© Самарин О. Е.

Статтю прийнято
до редакції 22.07.17

СТРУКТУРА ЗЛАМУ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ ДЛЯ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ РІЗНОГО ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Сапронов О. О., к.т.н., доцент кафедри транспортних технологій Херсонської державної морської академії, e-mail: o.o.sapronov@gmail.com

У роботі розглянуто вплив вмісту вуглецевих наночастинок на особливості структуроутворення епоксидних композитів для забезпечення необхідного комплексу їх властивостей. Як основний компонент для зв'язувача при формуванні епоксидних композитів вибрано епоксидний діановий олігомер марки ЕД-20, який характеризується поліпшеною адгезійною міцністю, незначною усадкою і технологічністю при нанесенні на довговимірні поверхні складного профілю. Для зшивання епоксидних композицій використано твердник поліетиленполіамін ПЕПА, що дозволяє затверджувати матеріали при кімнатних температурах. Методом оптичної мікроскопії встановлено, що рівномірність розподілення часток вуглецевих нанотрубок впливає на морфологію нанокомпозитів, а отже і властивості сформованих матеріалів. Встановлено однорідність структури полімеру, яку спостерігали при введенні вуглецевих нанотрубок за вмісту $q = 0,010 \dots 0,025$ мас.ч., що пов'язано із зростанням густини фізичних вузлів сітки зачеплення за присутності хімічних зв'язків. Це в комплексі забезпечує зростання механічної міцності полімерів.

Ключові слова: вуглецеві нанотрубки, поверхня руйнування, поширення тріщин, морфологія.

Постановка проблеми. Попит на полімерні матеріали щороку стрімко зростає як на території України, так і за її межами. На сьогодні, опубліковано низка наукових праць [1–8], у яких зазначено, що полімерні матеріали конкурують із високоефективними металами і сплавами за експлуатаційними характеристиками. Зважаючи на особливості експлуатації полімеру використовують як термопласти так і реактопласти. Безумовно, фізико-механічні і теплофізичні властивості наповнених термопластів на декілька порядків перевищують реактопласти [6–8]. Водночас, зважаючи на нагальну потребу захисту технологічного устаткування і металоконструкцій від корозійного впливу у різних галузях промисловості, випереджають у даному аспекті реактопласти. Так, як покриття на їх основі характеризуються високою адгезійною міцністю (що досягає 76 МПа) і корозійною тривкістю, достатньою пружністю і зносостійкістю [3–6]. Водночас спрощена, технологія нанесення покриття (пультверизаційний метод) на основі реактопласту, дозволяє покривати багатовимірні поверхні складного профілю. У той час коли використання термопластів для захисного покриття обмежуються умовами формування (лиття, таблетування).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сітчаста структура епоксидного олігомеру ЕД-20 і використання низькомолекулярного твердника ПЕПА у поєднанні зумовлює утворення широкого спектру властивостей композитних матеріалів за рахунок фізико-хімічної взаємодії компонентів з різними наповнювачами. Суттєвого поліпшення властивостей композитних матеріалів і покриттів на їх основі досягають шляхом зміцнення полімерної матриці нанорозмірними частками різної фізико-хімічної природи. Введення наноаповнювачів в олігомерну композицію надає системі принципово нових властивостей, що сприяє появі низки факторів, які суттєво впливають на закономірності формування та структуру епоксидних композитів. Для забезпечення механічної міцності передбачено використання вуглецевих нанотрубок (ВНТ). Так як ВНТ незважаючи на високу механічну міцність, стійкі до критичних деформацій згинання, розтягування, стискання, наповнені реактопласти здатні змінювати структуру полімеру. Присутність активних груп на поверхні наночастинок їх поверхневої енергії, обумовленої питомою площею поверхні підвищує ступінь зшивання реакційно-здатних олігомерів. Враховуючи вищенаведене, а також умови експлуатації полімерів актуальним є дослідження впливу вуглецевих нанодобавок на особливості їх структуроутворення.

Мета роботи – дослідження особливостей структуроутворення наповнених епоксидних систем для раціонального вибору інгредієнтів при формуванні захисних покриттів.

Методика дослідження. Основним компонентом для зв'язувача при формуванні КМ вибрано епоксидний діановий олігомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84), який характеризується комплексом покращених властивостей порівняно з іншими відомими реактопластами, а саме: високою міцністю адгезійних з'єднань до металевої основи, можливістю затверджування при низьких температурах, малою усадкою, відсутністю виділення летких речовин при формуванні у виробі, технологічністю при нанесенні на деталі зі складним профілем поверхні, розвиненою сировинною базою.

Для зшивання епоксидних композицій використовували твердник поліетиленполіамін (ПЕПА) (ТУ 6-05-241-202-78), який дозволяє зшивати матеріали при кімнатних температурах. Відомо, що ПЕПА є низькомолекулярною речовиною, яка складається з таких структурних мономерних ланок: $[-CH_2-CH_2-NH-]_n$. Різні стадії зшивання моделювали і досліджували при введенні твердника у композицію за стехіометричного співвідношення компонентів (10 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20).

Як наповнювач використовували вуглецеві нанотрубки (ВНТ). Методом електронної мікроскопії визначили розмір наночастинок ВНТ, який склав $d = 5$ нм.

Наповнений ВНТ епоксидний композит, формували за такою технологією: попереднє дозування епоксидної діанової смоли ЕД-20, підігрівання смоли до температури $T = (353 \pm 2)$ К і її витримка при цій температурі впродовж часу $\tau = (20 \pm 0,1)$ хв; дозування наповнювача і подальше його введення в епоксидний зв'язувач; гідродинамічне поєднання олігомеру ЕД-20 і нанонаповнювача впродовж часу $\tau = (1 \pm 0,1)$ хв; ультразвукова обробка композиції впродовж часу $\tau = (1,5 \pm 0,1)$ хв; охолодження композиції до кімнатної температури впродовж часу $\tau = (60 \pm 5)$ хв; введення твердника ПЕПА і перемішування композиції впродовж часу $\tau = (5 \pm 0,1)$ хв. Потім проводили полімеризацію КМ за експериментально встановленим режимом: формування зразків і їх витримка впродовж часу $\tau = (12,0 \pm 0,1)$ год за температури $T = (293 \pm 2)$ К, нагрівання зі швидкістю $v = 3$ К/хв до температури $T = (393 \pm 2)$ К, витримка КМ впродовж часу $\tau = (2,0 \pm 0,05)$ год, повільне охолодження до температури $T = (293 \pm 2)$ К. З метою стабілізації структурних процесів перед проведенням випробувань зразки з КМ витримували впродовж $\tau = 24$ год на повітрі за температури $T = (293 \pm 2)$ К.

Дослідження структури КМ проводили на металографічному мікроскопі. Для обробки цифрових зображень використовували програмне забезпечення «Levenhuk TourView».

Експериментальні результати дослідження. На основі попередніх результатів дослідження встановлено [9, 10], що для формування композитних матеріалів із підвищеними показниками адгезійних, фізико-механічних і теплофізичних властивостей доцільно вводити вуглецеві нанотрубки за вмісту – $q = 0,010 \dots 0,075$ мас.ч. За такого наповнення адгезійна міцність композитів при відриві становить – $\sigma_a = 56,9$ МПа, при зсуві – $\tau = 11,3$ МПа, залишкові напруження – $\sigma_z = 0,9$ МПа., модуль пружності при згинанні – $E = 3,3$ ГПа, руйнівні напруження при згинанні – $\sigma_{зг} = 89,6$ МПа, теплостійкість за Мартенсом – $T = 344$ К, відносна втрата маси – $\varepsilon_m = 58,6$ %, максимальне значення температури піка екзоефекту – $T_{max} = 534$ К.

При цьому для раціонального вибору інгредієнтів при формуванні покриттів функціонального призначення доцільно провести дослідження структури сформованих нанокомпозитів. Це дозволить розширити уявлення про особливості впливу нанодисперсної складової при формуванні нових матеріалів для захисних покриттів. Для досягнення поставленої мети використовували металографічний мікроскоп, при цьому зображення аналізували за допомогою програмного забезпечення «Levenhuk TourView».

Аналіз фрактограм зламу епоксидної матриці (рис. 1, а) дозволяє стверджувати про формування поверхні руйнування з розгалуженими лініями сколювання, які мають виражені заглиблення, що характеризують напружений стан матеріалу та опосередковано свідчать про можливу крихкість полімеру у процесі експлуатації.

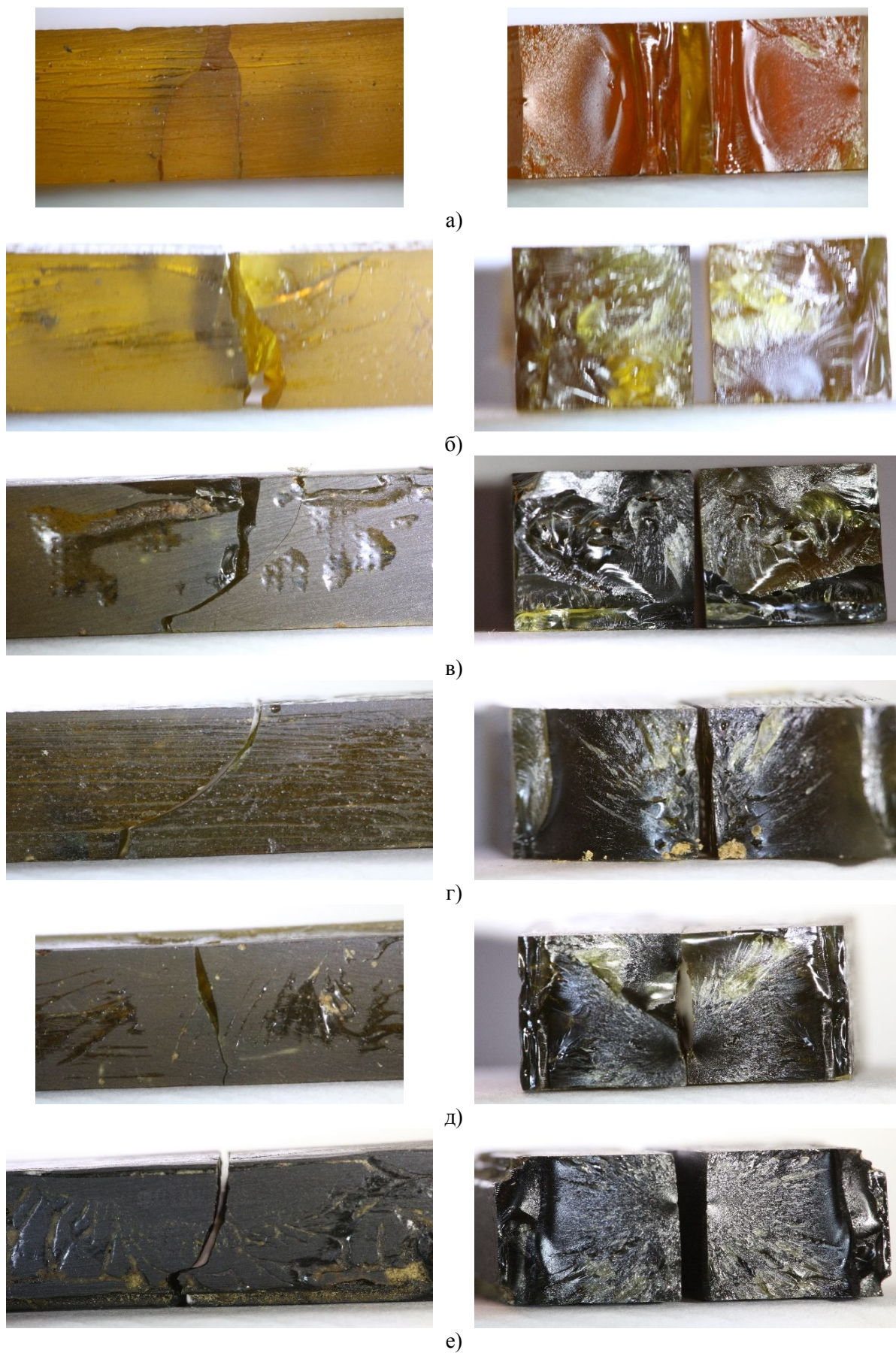


Рисунок 1 – Вид макроруйнування епоксидних композитів, наповнених частками нанотрубок, q , мас.ч.: а) епоксидна матриця; б) 0,010; в) 0,025; г) 0,050; д) 0,075; е) 0,100

Додатково, поверхня зламу матеріалу із частками ВНТ ($q = 0,010$ мас.ч.) характеризується наявністю перехідного (в'язкого і крихкого) хаотичного руйнування задіяного по всьому периметру композиту (рис. 1, б), що опосередковано свідчить про формування композитного матеріалу із значною пружністю.

При введенні ВНТ за вмісту $q = 0,025$ мас.ч. (рис. 1, в) спостерігали чітко виражений рельєф руйнування без крихких осередків, що свідчить про помірну в'язкість епоксидної системи «полімер-наночастка». Водночас, при введенні ВНТ за вмісту $q = 0,050$ мас.ч. спостерігали присутність незначних включень (рис. 3, г), які можуть утворюватись через присутність незначної кількості агломератів у процесі формування композитів.

Подальше збільшення вмісту ВНТ до $q = 0,075 \dots 0,100$ мас.ч. призводить до утворення широких ліній сколу, за рахунок формування дефектної структури (рис. 1, д, е) у об'ємі полімеру. Тобто такі матеріали характеризуються кінетичною невірноваженим станом гетерогенної полімерної системи.

Висновки. У роботі досліджено вплив вмісту нанодисперсної складової на процес структуроутворення композитних матеріалів, що полягає у перехідному характеру руйнування. Забезпечення в'язкого характеру руйнування, шляхом регульованого введення вуглецевих нанотрубок дозволяє підвищувати механічну міцність розроблених матеріалів у процесі експлуатації. Це пов'язано із збільшенням густини фізичних вузлів сітки зачеплення, а також утворенні хімічних зв'язків, що в комплексі сприяє утворенню однорідної структури полімеру.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лисенков Е.А., Гомза Ю.П., Клепко В.В., Куницький Ю.А. Структура багатошарових карбонанотрубок та нанокомпозитів на їх основі. Фізика і хімія твердого тіла. – 2010. – Т. 11, №2. – С. 361–366.
2. Бородулин А. С. Наномодификаторы для полимерных композиционных материалов. // Все материалы. Энциклопедический справ очник. – 2012. – Т. 6. – С. 51-57.
3. Стухляк П. Д. Структурные уровни разрушения эпоксидных композитных материалов при ударном нагружении / П.Д. Стухляк, А.В. Букетов, С.В. Панин, П.О. Марущак и др. // Физическая мезомеханика. – 2014. – Т.17. – №2. – С.65–83.
4. Букетов А.В. Епоксидні нанокомпозити : монографія / А.В. Букетов, О.О. Сапронов, В.Л. Алексенко. – Херсон : ХДМА, 2015. – 184 с.
5. Atovmyan E.G., Badamshina E.R., Estrin Ya.I. et al. Polyfunctional Cross-Linking Agents on the Fullerene C60 Base for Polyurethane Nanocomposites // European Polymer Congress 2005. Moscow. 2005. Abstracts. P.56.
6. Coleman J.N., Khan U., Blau W.J., Gun'ko Y.K. Small but strong. A review of the mechanical properties of carbon nanotube-polymer composites // Carbon. – 2006. – V. 44, N 9. – P. 1624–1652.
7. Sahoo N. G, Rana S, Cho J. W, Li L, Chan S. H. Polymer nanocomposites based on functionalized carbon nanotubes. // Prog Polym Sci – 2010. – V. 35, N.7. – P. 837-867.
8. Гулько Г.С., Большух Ю.Н., Приходько Г.П. и др. Структурообразование в дисперсных системах на основе полистирола и многослойных углеродных нанотрубок // Укр. хим. журнал.–2012. –Т. 78, № 3. – С.34–39.
9. Сапронов О.О. Дослідження адгезійних і фізико-механічних властивостей епоксикомпозитів, наповнених нанотрубками / О.О. Сапронов, О.С. Рожков, О.В. Лещенко, О.С. Голотенко // Науковий вісник ХДМА, 2014. – №2(11). – С. 197–202.
10. Buketov A. Investigation of thermophysical properties of epoxy Nanocomposites // A.Buketov, P.Maruschak, O.Sapronov, M.Brailo, O.Leshchenko, L.Bencheikh, A.Menou. Molecular Crystals and Liquid Crystals. – 2016. – Vol. – 628. – P. 167–179.

REFERENCES

1. Lysenkov E.A., Homza Yu.P., Klepko V.V., Kunytskyi Yu.A. Struktura bahatosharovykh karbonanotrubok ta nanokompozytiv na yikh osnovi. Fizyka i khimiia tverdogo tila. – 2010. – T. 11, #2. – S. 361-366.
2. Borodulya A. S. Nanomodyfikatory dlia polimernykh kompozytsionnykh materialov. // Vse materialy. Entsiklopedycheskyi sprav ochnyk. – 2012. – T. 6. – S. 51-57.
3. Stukhliak P.D. Strukturnye urovny razrusheniya epoksydnykh kompozytnykh materialov pry udarnom nahruzhenyy / P.D. Stukhliak, A.V. Buketov, S.V. Pany, P.O. Marushchak y dr. // Fyzycheskaia mezomekhanika. – 2014. – T.17. – #2. – S.65 – 83.
4. Buketov A.V. Epoksydni nanokompozyty: monohrafiia / A.V. Buketov, O.O. Sapronov, V.L. Aleksenko. – Kherson : KhDMA, 2015. – 184 s.
5. Atovmian E.G., Badamshina E.R., Estrin Ya.I. et al. Polyfunctional Cross-Linking Agents on the Fullerene C60 Base for Polyurethane Nanocomposites // European Polymer Congress 2005. Moscow. 2005. Abstracts. P.56.
6. Coleman J.N., Khan U., Blau W.J., Gun'ko Y.K. Small but strong. A review of the mechanical properties of carbon nanotube-polymer composites// Carbon. - 2006. – V. 44, N 9. – P. 1624-1652.
7. Sahoo N. G, Rana S, Cho J. W, Li L, Chan S. H. Polymer nanocomposites based on functionalized carbon nanotubes. // Prog Polym Sci – 2010. – V. 35, N.7. – P. 837-867.
8. Hunko H.S., Bolbukh Yu.N., Prykhodko H.P. y dr. Strukturoobrazovanye v dyspersnykh systemakh na osnove polystyrola y mnogosloinnykh uhlerodnykh nanotrubok // Ukr. khym. zhurnal. – 2012. – T.78, #3. – S.34-39.
9. Sapronov O.O. Doslidzhennia adheziinykh i fizyko-mekhanichnykh vlastyvostei epoksykompozytiv, napovnenykh nanotrubkamy / O.O. Sapronov, O.S. Rozhkov, O.V. Leshchenko, O.S. Holotenko // Naukovyi visnyk KhDMA, 2014. – #2(11). – S. 197-202.
10. Buketov A. Investigation of thermophysical properties of epoxy Nanocomposites // A.Buketov, P.Maruschak, O.Sapronov, M.Brailo, O.Leshchenko, L.Bencheikh, A.Menou. Molecular Crystals and Liquid Crystals. – 2016. – Vol. – 628. – P. 167-179.

Сапронов А. А. СТРУКТУРА ИЗЛОМА ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ ДЛЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ РАЗНОГО ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В работе рассмотрено влияние содержания углеродных наночастиц на особенности структурообразования эпоксидных композитов для обеспечения необходимого комплекса их свойств. В качестве основного компонента для связующего при формировании эпоксидных композитов выбрано эпоксидный диановый олигомер марки ЭД-20, который характеризуется улучшенной адгезионной прочностью, незначительной усадкой и технологичностью при нанесении на длинномерные поверхности сложного профиля. Для сшивания эпоксидных композиций использовано отвердитель полиэтиленполиамин ПЕПА, что позволяет отверждать материалы при комнатных температурах. Методом оптической микроскопии установлено, что равномерность распределения частиц углеродных нанотрубок влияет на морфологию нанокмпозитов, а следовательно и свойства сформированных материалов. Установлено однородность структуры полимера, которую наблюдали при введении углеродных нанотрубок при содержании $q = 0,010...0,025$ масс.ч., что связано с ростом плотности физических узлов сетки зацепления в присутствии химических связей. Это в комплексе обеспечивает повышение механической прочности полимеров.

Ключевые слова: углеродные нанотрубки, поверхность разрушения, распространение трещин, морфология.

Sapronov A. A. POLYMER COMPOSITE WIND STRUCTURE FOR PROTECTING COATINGS OF DIFFERENT FUNCTIONAL APPLICATIONS

The influence of carbon nanoparticles on the peculiarities of the structure formation of epoxy composites is considered in order to provide the necessary complex of their properties. As the main component for the binder in the formation of epoxy composites, an epoxy dyanoic oligomer ED-20 has been selected, which is characterized by improved adhesion strength, slight shrinkage and machinability when applied on the longitudinal surfaces of the complex profile. For crosslinking of epoxy compositions, polyethylenepolyamine PEPA has been used, which allows to assert materials at room temperatures. The method of optical microscopy using found that the uniform distribution of particles of carbon nanotubes affects the morphology of nanocomposites, and hence the properties of the formed materials. The homogeneity of the structure of the polymer was observed, which was observed when carbon nanotubes were introduced at a content of $q = 0,010...0,025$ mass.ch, which is due to the increase of the density of the physical nodes of the lattice mesh in the presence of chemical bonds. This in a complex ensures the growth of mechanical strength of polymers.

Keywords: carbon nanotubes, surface of fracture, distribution of cracks, morphology.

© Сапронов О.О.

Статтю прийнято
до редакції 12.12.17

ЗАХИСНІ ПОКРИТТЯ З ДВОКОМПОНЕНТНОЮ ДОБАВКОЮ ДЛЯ ТРАНСПОРТНОЇ ТЕХНІКИ

Ходаковський О. В., к.т.н., доцент кафедри судноводіння та безпеки життєдіяльності на морі Херсонської державної морської академії, e-mail: dzgeron@rambler.ru;

Амелін М. Ю., аспірант кафедри судноводіння та безпеки життєдіяльності на морі Херсонської державної морської академії, e-mail: buketov@tntu.edu.ua;

Гусєв В. М., к.т.н., начальник Морського коледжу Херсонської державної морської академії;

Якущенко С. В., асистент кафедри транспортних технологій Херсонської державної морської академії, e-mail: buketov@tntu.edu.ua;

Брайло М. В., к.т.н., доцент кафедри транспортних технологій Херсонської державної морської академії, e-mail: m.v.brailo@ukr.net

Обґрунтовано, що для підвищення експлуатаційних характеристик деталей транспортних засобів, у тому числі і їх антикорозійних властивостей та зносостійкості, доцільно використовувати захисні полімерні композитні покриття. Показано, що для підвищення показників фізико-механічних і теплофізичних властивостей у епоксидний зв'язувач необхідно вводити добавки: модифікатори, пластифікатори, дисперсні та волокнисті наповнювачі. Актуальним є введення у епоксидний зв'язувач дисперсних добавок, причому ефективно використовувати наповнювачі різної дисперсності у комплексі.

Проаналізовано вплив двокомпонентного полідисперсного наповнювача на модуль пружності при згинанні та ударну в'язкість розробленого епоксидного композиту. Методом математичного планування експерименту встановлено критичний вміст двокомпонентного полідисперсного наповнювача: залізна окалина ($d = 60 \dots 63$ мкм) – 60...70 мас.ч., Waltrop ($d = 8 \dots 10$ мкм) – 10...20 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20. Введення до епоксидного зв'язувача двокомпонентного полідисперсного наповнювача дозволяє значно підвищити покази модуля пружності при згинанні захисних покриттів до $E = 5,5 \dots 5,8$ ГПа і ударної в'язкості до $W = 8,5 \dots 8,7$ кДж/м². Отримані результати дозволяють створити матеріали з поліпшеними у комплексі показниками фізико-механічних властивостей.

Ключові слова: композит, епоксидна матриця, двокомпонентний полідисперсний наповнювач, метод математичного планування експерименту, рівняння регресії.

Постановка проблеми. Відомо [1, 2], що для підвищення експлуатаційних характеристик деталей транспортних засобів, у тому числі і їх антикорозійних властивостей та зносостійкості, широко використовують захисні полімерні композитні покриття. Зокрема, ефективно використовують епоксидні композити, які відзначаються не лише поліпшеними адгезійними, але й фізико-механічними та теплофізичними властивостями. При цьому для підвищення показників зазначених вище характеристик у епоксидний зв'язувач необхідно вводити добавки: модифікатори, пластифікатори, дисперсні та волокнисті наповнювачі. Це забезпечує зміну перебігу процесів структуроутворення матеріалів, що зумовлює підвищення їх когезійної міцності. Останнє приводить до збільшення ресурсу експлуатації захисних покриттів деталей транспортної техніки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Авторами праць [3–6] показано, що для поліпшення властивостей покриттів у комплексі, які експлуатують в умовах впливу агресивних середовищ і знакозмінних температур, доцільно вводити дисперсні частки наповнювача за критичного вмісту. При цьому необхідно вводити у полімер активні до міжфазової взаємодії дисперсні частки різної зернистості. Це дозволяє максимально перевести полімер у стан зовнішніх поверхневих шарів, забезпечує синергетичний ефект у підвищенні показників властивостей композитних матеріалів (КМ) і захисних покриттів на їх основі.

У даному контексті з метою зменшення кількості експериментальних досліджень пропонують проводити математичне планування експерименту. На попередньому етапі авторами роботи досліджено вплив кількості дисперсних наповнювачів на основні

властивості епоксидних КМ. Встановлено критичний вміст у полімерній матриці як основного наповнювача – залізної окалини ($d = 60 \dots 63$ мкм) та додаткового наповнювача – часток Waltrop ($d = 8 \dots 10$ мкм). Однак цікавим з практичної точки зору є формування композитів з двокомпонентним наповнювачем, що, на наш погляд, дозволить у комплексі поліпшити властивості досліджуваних КМ. У цьому контексті доцільним і необхідним є використання методу математичного планування експерименту, що дозволить скоротити кількість проведених досліджень і оптимізувати вміст інгредієнтів для отримання КМ з максимальними показниками вибраних характеристик.

Мета роботи – методом математичного планування експерименту оптимізувати вміст двокомпонентного полідисперсного наповнювача для захисних покриттів транспортної техніки.

Результати дослідження та їх обговорення. Досліджено модуль пружності при згинанні та ударну в'язкість композитів з різним вмістом основного та додаткового наповнювачів (частки залізної окалини і Waltrop відповідно). Дисперсність часток згідно з гранулометричним аналізом: залізна окалина – $60 \dots 63$ мкм, Waltrop – $8 \dots 10$ мкм. Для стандартизації, а також для спрощення розрахунків кожен компонент (наповнювач) кодували умовними одиницями із врахуванням кроку варіювання (табл. 1).

Таблиця 1 – Рівні змінних в умовному і натуральному масштабах

Компоненти	Фактор	Середній рівень, q , мас.ч.	Крок варіювання, Δq , мас.ч.	Значення рівнів змінних (мас.ч.), що відповідають умовним одиницям		
				-1	0	+1
Основний наповнювач – залізна окалина	x_1	70	10	60	70	80
Додатковий наповнювач – Waltrop	x_2	20	10	10	20	30

Відповідно до схеми планування експерименту було проведено 9 дослідів ($N = 9$), кожний з яких повторювали тричі ($p = 3$) з метою виключення системних помилок (табл. 2). Для того, щоб матриця планування була ортогональною [7], вводили коректовані значення рівня x' , які обчислювали за формулою:

$$x'_i = (x_i)^2 - \frac{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2}{N}. \quad (1)$$

Розширена матриця планування повного факторного експерименту (ПФЕ) та його результати наведено у табл. 3.

Таблиця 2 – Схема планування експерименту

№ Досліду (u)	x_0	x_1	x_2	$x_3 = x_1^2 - d$	$x_4 = x_2^2 - d$	$x_1 x_2$
1	1	-1	-1	0,33	0,33	+1
2	1	+1	-1	0,33	0,33	-1
3	1	-1	+1	0,33	0,33	-1
4	1	+1	+1	0,33	0,33	+1
5	1	0	0	-0,67	-0,67	0
6	1	+1	0	0,33	-0,67	0
7	1	-1	0	0,33	-0,67	0
8	1	0	+1	-0,67	0,33	0
9	1	0	-1	-0,67	0,33	0
$\sum_{u=1}^N x_{iu}^2$	9	6	6	2	2	4

Таблиця 3 – Результати дослідження модуля пружності при згинанні та ударної в'язкості ПКМ

№ досліджу	Вміст компонентів, q, мас.ч.		Модуль пружності при згинанні, E, ГПа	Ударна в'язкість, W, кДж/м²
	x_1	x_2	y_1	y_2
1	60	10	5,8	8,5
2	80	10	4,0	7,3
3	60	30	5,5	8,1
4	80	30	4,4	7,4
5	70	20	5,0	8,3
6	80	20	4,6	7,6
7	60	20	5,5	8,7
8	70	30	4,6	8,2
9	70	10	5,4	8,0

Математичну модель $y = f(x_1, x_2)$ формували у вигляді рівняння регресії:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{12}x_1x_2. \quad (2)$$

Коефіцієнти регресії визначали за формулою:

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^N x_i y_i}{\sum_{i=1}^N x_i^2}. \quad (3)$$

Отримані коефіцієнти рівняння регресії наведено в табл. 4.

Таблиця 4 – Коефіцієнти рівняння регресії

b_0	b_1	b_2	b_{11}	b_{22}	b_{12}
5,06	-0,63	-0,12	-0,03	-0,08	0,18

У результаті при аналізі модуля пружності при згинанні отримали наступне рівняння регресії:

$$y = 5,06 - 0,63x_1 - 0,12x_2 - 0,03x_1^2 - 0,08x_2^2 + 0,18x_1x_2.$$

Для статистичної обробки отриманих результатів експерименту проведено перевірку відтворюваності дослідів за критерієм Кохрена:

$$G = \frac{S_{u \max}^2}{\sum_{u=1}^N S_u^2} \leq G_{(0,05; f_1; f_2)}, \quad (4)$$

де S_{ui}^2 – дисперсія, що характеризує розсіювання результатів дослідів на i -му поєднанні рівнів факторів для $m=3$; m – кількість паралельних дослідів; $S_{u \max}^2$ – найбільша з дисперсій у рядках плану.

Дисперсії адекватності визначали за формулою:

$$S_{ui}^2 = \frac{\sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y}_i)^2}{m-1}, \quad (5)$$

де y_{im} – значення, отримане з кожного паралельного дослідів; $\bar{y}_i$ – середнє значення

величини y , отримане при паралельних дослідах.

Дисперсії відтворення визначали за формулами:

$$\sigma^2\{y\} = \frac{\sum_{i=1}^{N=9} \sigma^2\{y\}_i}{N(m-1)}, \quad (6)$$

де $\sigma^2\{y\}_i = \sum_{j=1}^{m=3} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2$.

$$\sigma^2\{y_{\text{сеп}}\} = \frac{a^2\{y\}}{N}, \text{ або } S_{b_0}^2 = \frac{S_0^2}{N}. \quad (7)$$

Значення дисперсій наведено у табл. 5.

Таблиця 5 – Значення дисперсій адекватності (S_{ui}^2) і дисперсій відтворення ($\sigma^2\{y\}_i$)

№ п/п	Дисперсії адекватності		Дисперсії відтворення	
	Умовне позначення	Значення	Умовне позначення	Значення
1	S_{u1}^2	0,01	$\sigma^2\{y\}_1$	0,02
2	S_{u2}^2	0,01	$\sigma^2\{y\}_2$	0,02
3	S_{u3}^2	0,01	$\sigma^2\{y\}_3$	0,02
4	S_{u4}^2	0,03	$\sigma^2\{y\}_4$	0,06
5	S_{u5}^2	0,01	$\sigma^2\{y\}_5$	0,02
6	S_{u6}^2	0,03	$\sigma^2\{y\}_6$	0,06
7	S_{u7}^2	0,04	$\sigma^2\{y\}_7$	0,06
8	S_{u8}^2	0,01	$\sigma^2\{y\}_8$	0,02
9	S_{u9}^2	0,01	$\sigma^2\{y\}_9$	0,02

При цьому:

$$\sum_{i=1}^N S_{ui}^2 = 0,15; \quad \sigma^2\{y\} = S_0^2 = 0,017.$$

Тоді розрахункове значення критерію Кохрена при 5 %-му рівні значущості:

$$G_{\text{розр}} = \frac{S_{u_{\text{max}}}^2}{\sum_{i=1}^N S_{ui}^2}; \quad (8)$$

$$G_{\text{розр}} = \frac{0,03}{0,15} = 0,067.$$

Перевірка результатів експерименту за критерієм Кохрена [9] для фіксованої ймовірності $\alpha = 0,05$ підтвердила відтворюваність дослідів. Дисперсія, що характеризує розсіювання результатів дослідів на i -му поєднанні рівнів факторів: $S_{u_{\text{max}}}^2 = 0,03$.

Розрахункове значення критерію Кохрена: $G_{\text{розр}} = 0,067$.

Табличне значення критерію Кохрена: $G_{\text{табл}} = 0,478$.

Тобто, виконується умова (7):

$$G_{розр} = 0,067 \leq G_{табл} = 0,478.$$

Надалі визначали значущість коефіцієнтів рівняння регресії, аналізуючи результати за планом експерименту (табл. 6).

Таблиця 6 – Експериментальні результати дослідження модуля пружності при згинанні матеріалів

№ досліду	Модуль пружності при згинанні, Е, ГПа			Середнє значення, Е, ГПа
	1	2	3	
1	5,7	5,8	5,9	5,8
2	3,9	4,1	4,0	4,0
3	5,5	5,6	5,4	5,5
4	4,3	4,3	4,6	4,4
5	5,1	4,9	5,0	5,0
6	4,5	4,8	4,5	4,6
7	5,3	5,6	5,6	5,5
8	4,5	4,7	4,6	4,6
9	5,3	5,5	5,4	5,4

Надалі визначали дисперсії коефіцієнтів регресії (табл. 7) за формулою:

$$S_{b_i}^2 = \frac{S_0^2}{\sum_{u=1}^N x_{iu}^2}. \quad (9)$$

Значущість коефіцієнтів регресії визначали за критерієм Стюдента [10, 11]. При цьому визначали табличний (t_m) і розрахунковий критерій (t_p) критерії Стюдента (табл. 7).

Залежно від ступенів вільності: $f = N(n - 1) = 9(3 - 1) = 18$ визначали табличне значення критерію Стюдента, яке становить $t_T = 2,1$.

Визначали розрахункові значення критерію Стюдента (t_p) і значущість коефіцієнтів: $t_{0p}, t_{1p}, t_{2p}, t_{11p}, t_{22p}, t_{12p} > t_T$.

Причому:

$$t_{ip} = \frac{|b_i|}{S_{b_i}}. \quad (10)$$

Таблиця 7 – Дисперсії коефіцієнтів регресії (S_b^2) і розрахункові значення критерію Стюдента (t_p)

№ п/п	Дисперсії коефіцієнтів регресії		Розрахункові значення критерію Стюдента	
	Умовне позначення	Значення	Умовне позначення	Значення
1	$S_{b_0}^2$	0,002	t_{0p}	116,63
2	$S_{b_1}^2$	0,003	t_{1p}	12,02
3	$S_{b_2}^2$	0,003	t_{2p}	2,21
4	$S_{b_{11}}^2$	0,008	t_{11p}	0,37
5	$S_{b_{22}}^2$	0,008	t_{22p}	0,91
6	$S_{b_{12}}^2$	0,004	t_{12p}	2,7

Розрахункові значення критерію Стюдента $t_{0p}, t_{1p}, t_{2p}, t_{12p}$ є більшими від t_T , тому вважали, що коефіцієнти рівняння регресії b_0, b_1, b_2, b_{12} є значущими. Розрахункові значення t_{11p}, t_{22p} є меншими від t_T , тому коефіцієнти b_{11}, b_{22} не є значущими. В результаті відкидання незначущих коефіцієнтів отримали наступне рівняння регресії:

$$y = 5,06 - 0,63x_1 - 0,12x_2 + 0,18x_1x_2.$$

Адекватність отриманої моделі перевіряли за критерієм Фішера [11]:

$$F_p = \frac{S_{u \max}^2}{S_y^2} \leq F_{(0,05; f_{ao}; f_y)} \quad (11)$$

де $S_{u \max}^2 = 0,03$ – розрахункове значення дисперсії адекватності (табл. 5).

$$S_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^N S_{ui}^2}{N}, \quad (12)$$

де $S_y^2 = 0,017$ – дисперсія відтворення.

Тоді $F_p = 0,6$.

$F_{(0,05; f_{ao}; f_u)}$ – табличне значення критерію Фішера при 5 %-му рівні значущості ($f_1 = N - (k + 1) = 9 - (4 + 1) = 4, f_2 = N(n - 1) = 9(3 - 1) = 18$). Тоді: $F_{(1)} = 2,93$ [10, 11].

Розрахункове значення критерію Фішера є меншим від табличного, тобто виконується умова (10). Можна вважати, що рівняння адекватно описує склад композиції.

Процес інтерпретації отриманої математичної моделі, як правило, не зводиться тільки до визначення впливу факторів. Просте порівняння за абсолютною величиною лінійних коефіцієнтів не визначає відносну ступінь впливу факторів, оскільки при цьому присутні ще й квадратичні члени та парні взаємодії. При детальному аналізі отриманої адекватної моделі потрібно враховувати і те, що для квадратичної моделі ступінь впливу фактора на зміну вихідної величини не є постійним.

Залежності, що пов'язують нормалізовані і натуральні значень змінних факторів, мають наступний вигляд:

$$x_i = \frac{q_i - q_{i0}}{\Delta q_i} \quad (13)$$

де q_i – значення i -го фактора експерименту, q_{i0} – значення нульового рівня, Δq_i – інтервал варіювання [11].

Підставивши дані значення згідно формули (13) у рівняння регресії і провівши його перетворення, отримали наступне рівняння регресії з натуральним значенням змінних параметрів:

$$E = 12,23 - 0,099q_1 - 0,138q_2 + 0,0018q_1q_2.$$

Наведене рівняння в натуральних значеннях дозволяє лише передбачити значення вихідної величини для будь-якої точки в середині області варіювання факторів. Однак, з його допомогою можна побудувати графіки залежності вихідної величини (модуля пружності при згинанні композитів) від будь-якого фактору (чи двох факторів). Геометричну інтерпретацію поверхні відгуку наведено на рис. 1–3.

На основі експериментальних досліджень встановлено, що обидва фактори є значущими. Слід зазначити, що вплив вмісту основного наповнювача на показники модуля пружності при згинанні є вищим порівняно з додатковим (згідно з картою Парето). Аналізуючи розраховану поверхню відгуку визначено, що оптимальні показники модуля пружності при згинанні має розроблений епоксидний композит з двокомпонентним полідисперсним наповнювачем за наступного вмісту часток: залізна окалина – 60...70 мас.ч., Waltrop – 10...20 мас.ч. ($E = 5,5...5,8$ ГПа).

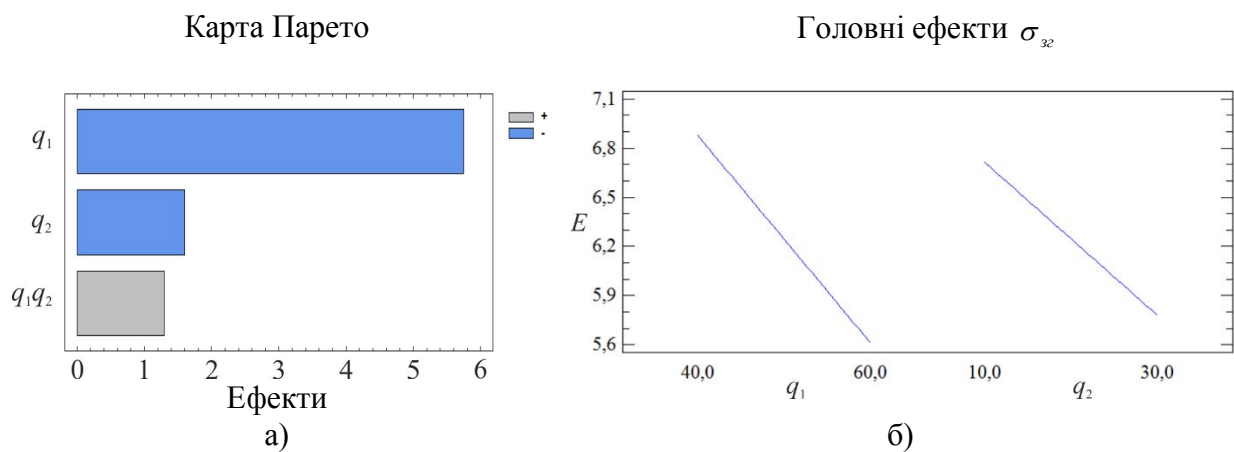


Рисунок 1 – Карта Паретто (а) і головні ефекти у (б)

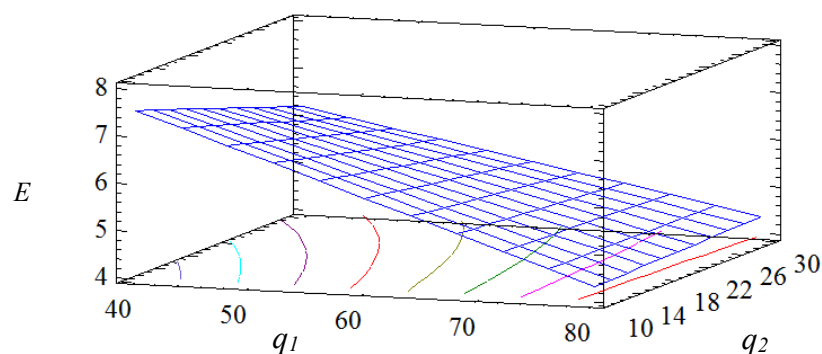


Рисунок 2 – Розрахункова поверхня відгуку $E = f(q_1, q_2)$

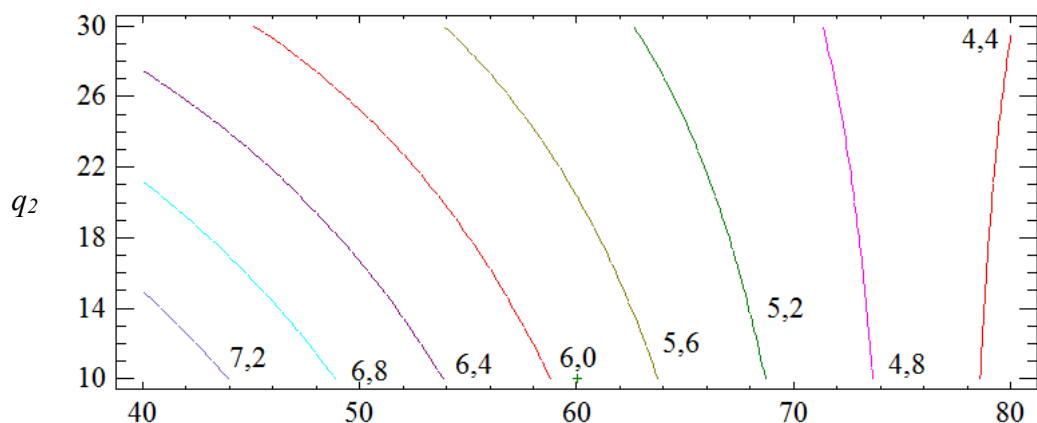


Рисунок 3 – Контури розрахункової поверхні відгуку

Аналогічно до вищенаведеної схеми розрахунків оптимізували склад КМ за показниками ударної в'язкості. Кодування натуральних значень компонентів та схема планування експерименту вибрані згідно з табл. 1 і табл. 2.

У процесі аналізу результатів дослідження ударної в'язкості композитів отримали наступні значення коефіцієнтів регресії (табл. 8).

Таблиця 8 – Коефіцієнти рівняння регресії для ударної в'язкості

b_0	b_1	b_2	b_{11}	b_{22}	b_{12}
8,36	-0,50	-0,02	-0,23	-0,28	0,13

У результаті отримали наступне рівняння регресії:

$$y = 8,36 - 0,50x_1 - 0,02x_2 - 0,23x_1^2 - 0,28x_2^2 + 0,13x_1x_2.$$

Для статистичної обробки отриманих результатів експерименту проведено перевірку відтворюваності дослідів за критерієм Кохрена [9].

Значення дисперсій, які визначали за формулами (5–7), наведено у табл. 9.

Таблиця 9 – Значення дисперсії адекватності (S_u^2) і дисперсії відтворення ($\sigma^2(y)$)

№ п/п	Дисперсії адекватності		Дисперсії відтворення	
	Умовне позначення	Значення	Умовне позначення	Значення
1	S_{u1}^2	0,01	$\sigma^2\{y\}_1$	0,02
2	S_{u2}^2	0,07	$\sigma^2\{y\}_2$	0,14
3	S_{u3}^2	0,04	$\sigma^2\{y\}_3$	0,08
4	S_{u4}^2	0,07	$\sigma^2\{y\}_4$	0,14
5	S_{u5}^2	0,03	$\sigma^2\{y\}_5$	0,06
6	S_{u6}^2	0,01	$\sigma^2\{y\}_6$	0,02
7	S_{u7}^2	0,04	$\sigma^2\{y\}_7$	0,08
8	S_{u8}^2	0,03	$\sigma^2\{y\}_8$	0,06
9	S_{u9}^2	0,01	$\sigma^2\{y\}_9$	0,02

При цьому:

$$\sum_{i=1}^N S_{ui}^2 = 0,31; \sigma^2\{y\} = S_0^2 = 0,034.$$

Тоді розрахункове значення критерію Кохрена при 5%-му рівні значущості визначали за формулою (8):

$$G_p = \frac{0,07}{0,31} = 0,226.$$

Перевірка результатів експерименту за критерієм Кохрена [10, 11] для фіксованої ймовірності $\alpha = 0,05$ підтвердила відтворюваність дослідів. Дисперсія, що характеризує розсіювання результатів дослідів на i -му поєднанні рівнів факторів: $S_{u\max}^2 = 0,07$.

Розрахункове значення критерію Кохрена: $G_{розр} = 0,226$.

Табличне значення критерію Кохрена: $G_{табл} = 0,478$.

Тобто виконується умова:

$$G_{розр} = 0,226 \leq G_{табл} = 0,478.$$

На наступному етапі визначали значущість коефіцієнтів рівняння регресії, аналізуючи результати за планом експерименту (табл. 10).

Таблиця 10 – Експериментальні результати дослідження ударної в'язкості КМ

№ досліду	Ударна в'язкість, W , кДж/м ²			Середнє значення, W , кДж/м ²
	1	2	3	
1	8,4	8,5	8,6	8,5
2	7	7,5	7,4	7,3
3	7,9	8,3	8,1	8,1
4	7,2	7,7	7,3	7,4
5	8,1	8,4	8,4	8,3
6	7,6	7,7	7,5	7,6
7	8,9	8,5	8,7	8,7
8	8	8,3	8,3	8,2
9	8	8,1	7,9	8

Надалі визначали дисперсії коефіцієнтів регресії за формулами (9, 10). Значущість коефіцієнтів регресії визначали за критерієм Стюдента, табличне значення якого становить $t_T = 2,1$ [10, 11]. Розрахункові значення критерію Стюдента наведено у табл. 11.

Таблиця 11 – Дисперсії коефіцієнтів регресії (S_b^2) і розрахункові значення критерію Стюдента (t_p)

№ n/n	Дисперсії коефіцієнтів регресії		Розрахункові значення критерію Стюдента	
	Умовне позначення	Значення	Умовне позначення	Значення
1	$S_{b_0}^2$	0,004	t_{0p}	132,44
2	$S_{b_1}^2$	0,006	t_{1p}	6,60
3	$S_{b_2}^2$	0,006	t_{2p}	0,22
4	$S_{b_{11}}^2$	0,017	t_{11p}	1,78
5	$S_{b_{22}}^2$	0,017	t_{22p}	2,16
6	$S_{b_{12}}^2$	0,009	t_{12p}	1,30

Розрахункові значення критерію Стюдента t_{0p} , t_{1p} , t_{2p} є більшими від t_T , тому вважали, що коефіцієнти b_0 , b_1 , b_2 рівняння регресії є значущими. Розрахункові значення t_{11p} , t_{22p} , t_{12p} є меншими від t_T , тому коефіцієнти b_{11} , b_{22} , b_{12} не є значущими. В результаті отримали наступне рівняння регресії:

$$y = 8,36 - 0,50x_1 - 0,28x_2^2.$$

Адекватність отриманої моделі перевіряли за критерієм Фішера [10, 11].

Розрахункове значення дисперсії адекватності: $S_{u\max}^2 = 0,07$ (табл. 9). Дисперсія відтворення: $S_y^2 = 0,034$.

Тоді: $F = 2,032$.

$F_{(0,05; f_W; f_u)}$ – табличне значення критерію Фішера при 5%-му рівні значущості ($F_{(0)} = 2,77$) [10,11].

Розрахункове значення критерію Фішера є меншим від табличного, тобто виконується умова (11). Отже, рівняння адекватно описує склад композиції.

Провівши перетворення згідно формули (13), отримали наступне рівняння регресії з натуральним значенням змінних параметрів:

$$W' = 10,74 - 0,05q_1 + 0,112q_2 - 0,0028q_2^2$$

Геометричну інтерпретацію поверхні відгуку наведено на рис. 4–6.

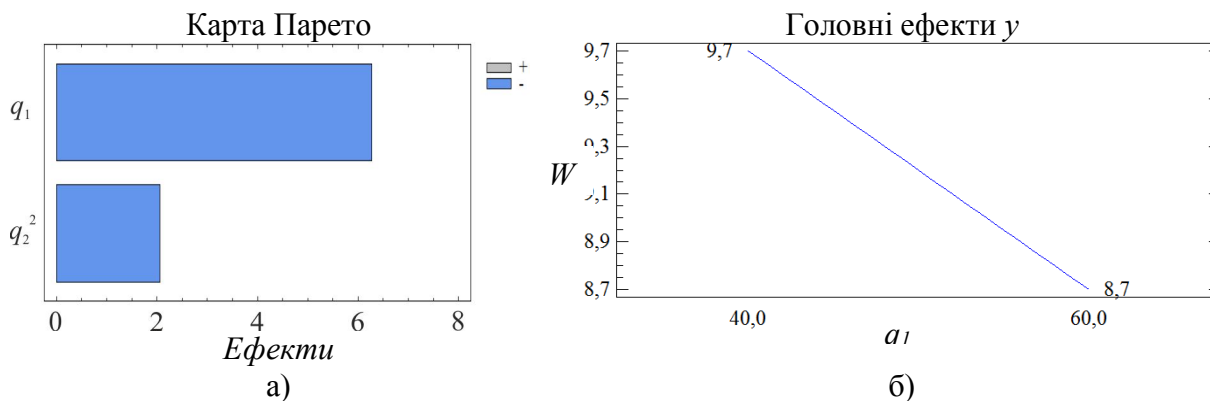


Рисунок 4 – Карта Парето (а) і головні ефекти у (б)

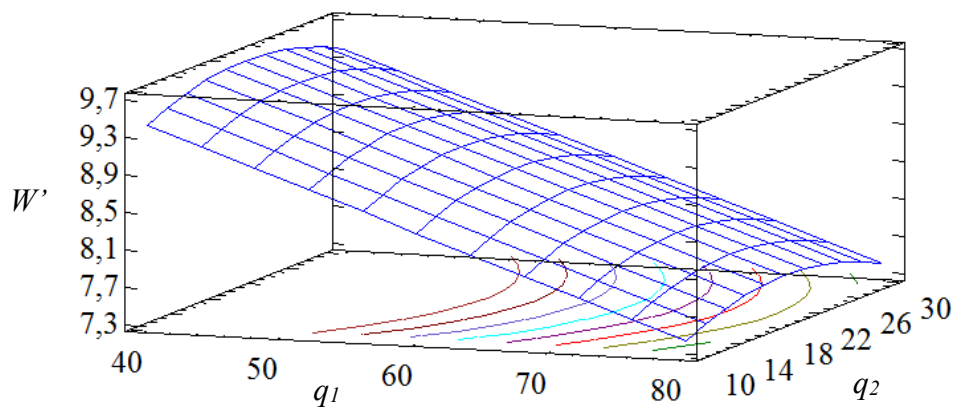
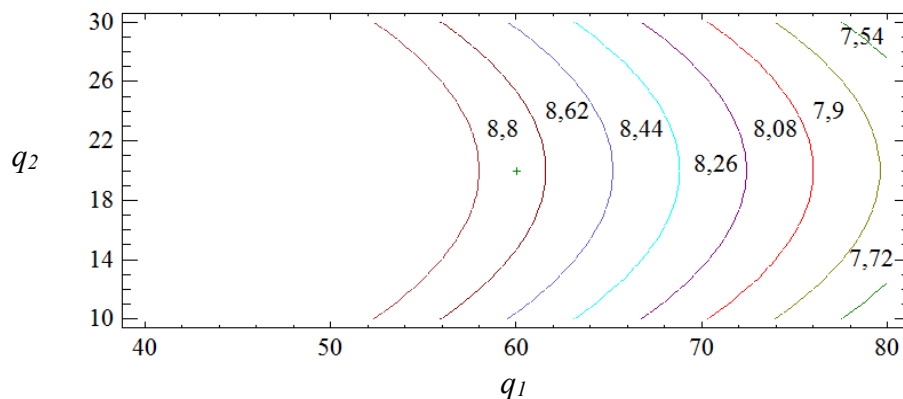

 Рисунок 5 – Розрахункова поверхня відгуку $W = f(q_1, q_2)$


Рисунок 6 – Контури розрахункової поверхні відліку

Отримані результати свідчать, що обидва фактори рівняння регресії є значущими. Слід зазначити, на вихідні параметри композиту впливають лінійна залежність першого фактору та квадратична залежність другого. У процесі аналізу встановлено, що показники ударної в'язкості приймають максимальних значень при вмісті наповнювачів: залізна окалина – 60...70 мас.ч., Waltrop – 10...20 мас.ч. ($W' = 8,5...8,7$ кДж/м²). При подальшому збільшенні вмісту часток спостерігали погіршення показників ударної в'язкості. На нашу думку, це є наслідком агрегації наповнювачів у полімерній матриці, що негативно впливає на фізико-механічні властивості матеріалу. Тому доцільно вводити двокомпонентний полідисперсний наповнювач за вищезазначеного вмісту у модифіковану епоксидну матрицю для підвищення експлуатаційних характеристик при ремонті елементів засобів транспорту.

Висновки. Методом математичного планування експерименту встановлено критичний вміст двокомпонентного полідисперсного наповнювача: залізна окалина ($d = 60...63$ мкм) – 60...70 мас.ч., Waltrop ($d = 8...10$ мкм) – 10...20 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20. Введення до епоксидного зв'язувача двокомпонентного полідисперсного наповнювача дозволяє значно підвищити покази модуля пружності при згинанні захисних покриттів до $E = 5,5...5,8$ ГПа і ударної в'язкості до $W = 8,5...8,7$ кДж/м². Отримані результати дозволяють створити матеріали з поліпшеними у комплексі показниками фізико-механічних властивостей. Отримані матеріали доцільно використовувати у вигляді захисних покриттів для підвищення експлуатаційних характеристик і ремонту деталей транспортної техніки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Xinyu Li. Mathematical modeling and evolutionary algorithm-based approach for integrated process planning and scheduling / Li Xinyu, Gao Liang, Shao Xinyu, Zhang Chaoyong, Wang Cuiyu // Computers & Operations Research. - V 37, Issue 4. – 2010. – P. 656-667.

2. Букетов А.В. Применение методов математической статистики для оптимизации состава защитных покрытий / А.В. Букетов, А.В. Акимов, В.Д. Нигалатий, Н.В. Браило, Аль-Джавакхери Али Андан Мансур // Вестник Карагандинского государственного университета. – 2017. – №1 (85). – С. 17-27.
3. Sandler J. Development of a dispersion process for carbon nanotubes in an epoxy matrix and the resulting electrical properties / J. Sandler, M.S.P Shaffer, T. Prasse, W. Bauhofer, K. Schulte, A.H. Windle // Polymer. – V. 40, Issue 21. – 1999. – P. 5967-5971.
4. Manwar Hussain. Mechanical property improvement of carbon fiber reinforced epoxy composites by Al₂O₃ filler dispersion / Hussain Manwar, Nakahira Atsushi, Niihara Koichi // Materials Letters. - V 26, Issue 3. – 1996. – P. 185-191.
5. Buketov A. Enhancing performance characteristics of equipment of sea and river transport by using epoxy composites / A. Buketov, P. Maruschak, O. Sapronov, D. Zinchenko, V. Yatsyuk, S. Panin // Transport. – 2016. – Vol. 31(3). – P. 333-342.
6. Сапронов О.О. Оптимізація складу захисного покриття методом математичного планування експерименту / О.О. Сапронов // Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. – Кіровоград: КНТУ. – 2013. – № 43. – Ч. II. – С. 260-267.
7. Duleba B. Possibility of Increasing the Mechanical Strength of CarbonEpoxy Composites by Addition of Carbon Nanotubes / B. Duleba, F. Greškovič, Ľ. Dulebová, T. Jachowicz // Materials Science Forum : Surface Engineering and Materials in Mechanical Engineering. – 2015. – Vol. 818. – P. 299-302.
8. Buketov A. Investigation of thermophysical properties of epoxy nanocomposites / A. Buketov, P. Maruschak, O. Sapronov, M. Brailo, O. Leshchenko, L. Bencheikh & A. Menou // Molecular Crystals and Liquid Crystals. – 2016. – Vol. – 628:1. – P. 167-179. (IF 0,493)
9. Бондарь А.Г. Планирование эксперимента в химической технологии (основное положение, примеры и задачи): учебн.[для студ. высш.учеб.завед.] / А.Г.Бондарь, Г.А. Статюха. – К.: Вища школа, 1976. – 184 с.
10. Грушко И.М. Основы научных исследований: Учебник для технических вузов / И.М.Грушко, В.В. Попов и др.; под ред. В.И.Крутова, В.В. Попова. – М.: Высшая школа, 1989. – 400 с.
11. Математические методы планирования эксперимента / под ред. Пененко В.В. – Новосибирск: Наука, 1981. – 250 с.

REFERENCES

1. Xinyu Li. Mathematical modeling and evolutionary algorithm-based approach for integrated process planning and scheduling / Li Xinyu, Gao Liang, Shao Xinyu, Zhang Chaoyong, Wang Cuiyu // Computers & Operations Research. - V 37, Issue 4. – 2010. – P. 656-667.
2. Buketov A.V. Primenenie metodov matematicheskoyj statistiki dlya optimizacii sostava zathitnihkh pokrihtijj / A.V. Buketov, A.V. Akimov, V.D. Nigalatiyj, N.V. Brailo, Alj-Dzhavakheri Ali Andan Mansur // Vestnik Karagandinskogo gosudarstvennogo universiteta. – 2017. – №1 (85). – S. 17-27.
3. Sandler J. Development of a dispersion process for carbon nanotubes in an epoxy matrix and the resulting electrical properties / J. Sandler, M.S.P Shaffer, T. Prasse, W. Bauhofer, K. Schulte, A.H. Windle // Polymer. – V. 40, Issue 21. – 1999. – P. 5967-5971.
4. Manwar Hussain. Mechanical property improvement of carbon fiber reinforced epoxy composites by Al₂O₃ filler dispersion / Hussain Manwar, Nakahira Atsushi, Niihara Koichi // Materials Letters. - V 26, Issue 3. – 1996. – P. 185-191.
5. Buketov A. Enhancing performance characteristics of equipment of sea and river transport by using epoxy composites / A. Buketov, P. Maruschak, O. Sapronov, D. Zinchenko, V. Yatsyuk, S. Panin // Transport. – 2016. – Vol. 31(3). – P. 333-342.
6. Sapronov O.O. Optimizaciya skladu zakhisnogo pokrittya metodom matematichnogo planuvannya eksperimentu / O.O. Sapronov // Zagaljnoderzhavniyj mizhvidomchiyj naukovotekhnichniyj zbirnik. Konstruyuvannya, virobnictvo ta ekspluataciya siljsjkogospodarsjkikh mashin. – Kirovograd: KNTU. – 2013. – № 43. – Ch. II. – S. 260-267.

7. Duleba B. Possibility of Increasing the Mechanical Strength of CarbonEpoxy Composites by Addition of Carbon Nanotubes / B. Duleba, F. Greskovic, L. Dulebova, T. Jachowicz // Materials Science Forum : Surface Engineering and Materials in Mechanical Engineering. – 2015. – Vol. 818. – P. 299-302.

8. Buketov A. Investigation of thermophysical properties of epoxy nanocomposites / A. Buketov, P. Maruschak, O. Sapronov, M. Brailo, O. Leshchenko, L. Bencheikh & A. Menou // Molecular Crystals and Liquid Crystals. – 2016. – Vol. – 628:1. – P. 167-179. (IF 0,493)

9. Bondarj A.G. Planirovanie ehksperimenta v khimicheskoyj tekhnologii (osnovne polozhenie, primerih i zadachi): uchebn.[dlya stud. vihhsh.ucheb.zaved.] / A.G.Bondarj, G.A. Statyukha. – K.: Vitha shkola, 1976. – 184 s.

10. Grushko I.M. Osnovih nauchnikhkh issledovaniyj: Uchebnik dlya tekhnicheskikh vuzov / I.M.Grushko, V.V. Popov i dr.; pod red. V.I.Krutova, V.V. Popova. – M.: Vihsshaya shkola, 1989. – 400 s.

11. Matematicheskie metodih planirovaniya ehksperimenta / pod red. Penenko V.V. – Novosibirsk: Nauka, 1981. – 250 s.

Ходаковский А. В., Амелин М. Ю., Гусев В. Н., Якущенко С. В., Браило Н. В. ПОКРЫТИЯ С ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ ДОБАВКОЙ ДЛЯ ТРАНСПОРТНОЙ ТЕХНИКИ

Обосновано, что для повышения эксплуатационных характеристик деталей транспортных средств, в том числе и их антикоррозионных свойств и износостойкости, целесообразно использовать защитные полимерные композитные покрытия. Показано, что для повышения показателей физико-механических и теплофизических свойств в эпоксидное связующее необходимо вводить добавки: модификаторы, пластификаторы, дисперсные и волокнистые наполнители. Актуальным является введение в эпоксидное связующее дисперсных добавок, причем эффективно использовать наполнители различной дисперсности в комплексе.

Проанализировано влияние двухкомпонентного полидисперсного наполнителя на модуль упругости при изгибе и ударную вязкость разработанного эпоксидного композита. Методом математического планирования эксперимента установлено критическое содержание двухкомпонентного полидисперсного наполнителя: железная окалина ($d = 60...63$ мкм) – 60...70 масс.ч., Waltrap ($d = 8...10$ мкм) – 10...20 масс.ч. на 100 масс.ч. эпоксидного олигомера ЭД-20. Введение в эпоксидное связующее двухкомпонентного полидисперсного наполнителя позволяет значительно повысить показатели модуля упругости при изгибе защитных покрытий до $E = 5,5 \dots 5,8$ ГПа и ударной вязкости до $W = 8,5...8,7$ кДж/м². Полученные результаты позволяют создать материалы с улучшенными в комплексе показателям физико-механических свойств.

Ключевые слова: композит, эпоксидная матрица, двухкомпонентный полидисперсный наполнитель, метод математического планирования эксперимента, уравнение регрессии.

Khodakovskii A. V., Amelin M. Yu., Gusev V. N., Yakushchenko S. V., Brailo N. V. COATINGS WITH A TWO-COMPONENT ADDITIVE FOR TRANSPORT EQUIPMENT

Annotation. It is reasonable to use protective polymeric composite coatings to improve the operational characteristics of vehicle parts, including their anti-corrosion properties and wear resistance. It is shown that in order to increase the parameters of physicomechanical and thermophysical properties in epoxy binder it is necessary to introduce additives: modifiers, plasticizers, disperse and fibrous fillers. Actual is the introduction of dispersed additives into the epoxy binder, and it is effective to use fillers of different dispersity in the complex.

The effect of a two-component polydisperse filler on the flexural modulus and toughness of a developed epoxy composite is analyzed. The critical content of a two-component polydisperse filler was established by the method of mathematical experiment planning: iron scale ($d = 60...63 \mu\text{m}$) - 60 ... 70 parts by weight, Waltrap ($d = 8...10 \mu\text{m}$) – 10...20 parts by weight by 100 parts by mass. epoxy oligomer ED-20. The introduction of a two-component polydisperse filler into the epoxy binder makes it possible to significantly increase the modulus of elasticity in the bending of protective coatings to $E = 5.5...5.8$ GPa and the toughness to $W = 8.5...8.7$ kJ/m². The results obtained make it possible to create materials with improved parameters of physicomechanical properties.

Keywords: composite, epoxy matrix, two-component polydisperse filler, method of mathematical experiment planning, regression equation.

© Ходаковский О. В., Амелин М. Ю., Гусев В. М., Якущенко С. В., Браїло М. В.

Статтю прийнято до редакції 28.11.17

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ СУДНА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ

Зинченко С. Н., к.т.н., старший преподаватель кафедры управления судном Херсонской государственной морской академии, e-mail: srz56@gmail.com;

Ляшенко В. Г., заведующий лабораторией «Электронные тренажеры» Херсонской государственной морской академии, e-mail: srz56@gmail.com

Рассмотрены вопросы синтеза нейросетевой модели судна в процессе его штатной эксплуатации и последующего ее использования для решения различных задач управления. На примере задачи оценки маневренных возможностей судна показано, что синтезированная в процессе штатной эксплуатации нейронная сеть позволяет с высокой точностью прогнозировать движение судна на всех участках движения (разгон, торможение, изменение курса), а также на участках циркуляции, вне данных обучающих выборок. Это связано с тем, что динамика судна определяется только взаимным положением вектора скорости судна относительно его диаметральной плоскости и не зависит от курсового угла. Данное обстоятельство позволяет оценить не только разгонные, тормозные но и циркуляционные характеристики судна по измеренным параметрам движения в процессе штатной эксплуатации, без проведения специального маневрирования.

Ключевые слова: нейросетевая модель, маневрирование судна.

Вступление. В системах управления подвижными объектами могут использоваться математические модели объектов управления для расширения возможностей и повышения качества управления. Однако, трудности использования таких методов состоят в получении самой математической модели, особенно для сугубо нелинейных объектов. К таким объектам, в частности, относятся и суда, которые одновременно работают в двух средах со сложной динамикой взаимодействия с каждой из них. Кроме того, характеристики судна со временем существенно изменяются из-за агрессивной внешней среды, обрастания корпуса планктоном, моллюсками и все больше отличаются от паспортных на момент сдаточных испытаний. Это увеличивает риск ошибки при управлении с моделью. Оценка изменяющихся параметров математической модели может быть произведена с помощью различных методов параметрической идентификации. Теоретические основы методов параметрической идентификации изложены во многих источниках, например, [1–3] и др. В работе [4] используется унифицированная математическая модель судна в виде системы дифференциальных уравнений 9-го порядка. Входящие в математическую модель коэффициенты рассчитываются путем разложения в ряд Тейлора и удержания составляющих до второго порядка включительно. Особенности судна учитываются соответствующим подбором коэффициентов разложения. Для учета изменений маневренных характеристик судна коэффициенты разложения необходимо периодически уточнять. Эти методы ориентированы на получение оценок отдельных параметров математической модели объекта управления, а не математической модели в целом.

В последнее время в системах управления все чаще используются математические модели объектов управления в виде нейронных сетей [5–9]. В отличие от классических методов идентификации, нейронные сети в состоянии идентифицировать не только отдельные параметры математической модели, но и всю математическую модель в целом. Это особенно важно для сугубо нелинейных объектов управления, для которых знания о характере взаимодействия со средой погружения приближенны [10, 11].

Целью настоящей статьи является разработка алгоритмов синтеза математической модели судна, как нейронной сети (НС) с последующим ее использованием для решения различных задач управления : оценки маневренных возможностей, прогнозирования движения, синтеза оптимального управления, проведения швартовых операций в автоматическом режиме и т.п. Показано, что синтезированная НС по собранной в процессе штатной эксплуатации информации (движение по заданному маршруту с постоянной скоростью, периодические изменения курса, разгон, доразгон и торможение) позволяет не только аппроксимировать поведение судна в пределах обучающих выборок, но и на

участках циркуляции, где углы разворота судна значительно больше углов в обучающих выборках. Такая возможность связана с тем, что динамика взаимодействия судна с водой определяется положением вектора скорости в связанной системе координат и не зависит от курсового угла. На участках циркуляции этот угол не превышает 20–30 град, поэтому НС, синтезированная на обучающих выборках, собранных в процессе штатной эксплуатации судна, способна хорошо аппроксимировать движение судна и на циркуляции.

Разработанные алгоритмы:

- предоставляют актуальную информацию о маневренных возможностях судна;
- позволяют определять маневренные возможности без проведения специальных натурных испытаний;
- существенно облегчают судоводителю задачу по определению маневренных возможностей для реальных условий погружения в среду взаимодействия;
- существенно увеличивают точность оценки маневренных возможностей и уменьшают риск столкновения судов при решении задач расхождения.

С учетом выше сказанного, решение задачи является актуальным.

Решение задачи. Блок-схема задачи представлена на рис. 1.

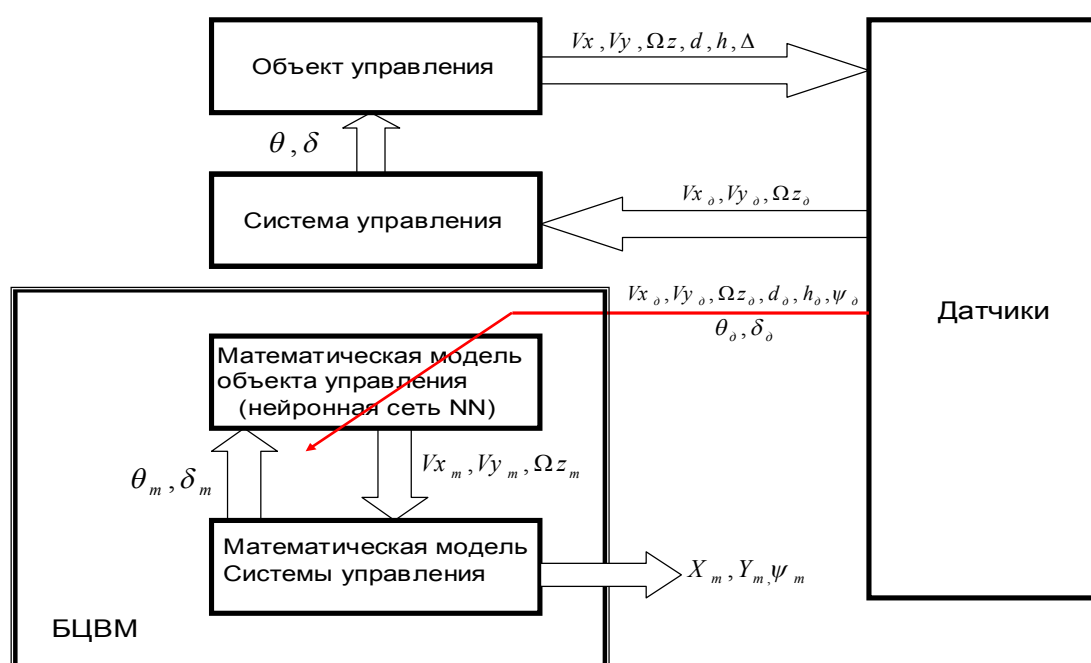


Рисунок 1- Блок схема задачи

Векторное уравнение движения судна, как нелинейного объекта управления, можно записать в виде конечных разностей:

$$X(n+1) = F(X(n-j), U(n-j), P(n-j)), j=0..m, \quad (1)$$

где $F(*)$ – нелинейный оператор преобразования последовательности векторов состояния судна $X(n-j)$, $j=0..m$, последовательности векторов управлений $U(n-j)$ и последовательности векторов параметров погружения $P(n-j)$, $j=0..m$ на текущем и предыдущих шагах вычисления в вектор состояния судна $X(n+1)$ на следующем шаге вычисления (математическая модель судна):

$$X(n-j) = (Vx(n-j), Vy(n-j), \Omega z(n-j)),$$

– вектор состояния судна на $(n-j)$ шаге вычисления, $j=0..m$:

$$Vx(n-j), Vy(n-j), \Omega z(n-j),$$

где $j=0..m$ – линейные и угловая скорость судна вдоль осей связанной системы координат (ССК);

$$U(n-j) = (\theta(n-j), \delta(n-j));$$

– вектор управления на $(n-j)$ шаге вычислений, $j=0..m$:

$$\theta(n-j), \delta(n-j);$$

– углы отклонения телеграфа и руля направления на $(n-j)$ шаге вычисления, $j=0..m$:

$$P(n-j) = (d(n-j), h(n-j), \Delta(n-j));$$

– вектор параметров погружения на $(n-j)$ шаге вычисления, $j=0..m$:

$$d(n-j), h(n-j), \Delta(n-j);$$

– осадка судна, глубина под килем и дифферент на $(n-j)$ шаге вычисления, $j=0..m$.

Для идентификации математической модели F^* , представленной уравнением (1), выбрана нейронная сеть (2):

$$[X(n+1)] = NN_{8,10,3}^2[X(n), X(n-1), U(n), U(n-1), P(n)], \quad (2)$$

состоящая из входного, выходного и одного скрытого слоя. Входной слой состоит из 8 нейронов, на вход которых поступают:

– 3 параметра вектора состояния:

$$X(n) = (Vx(n), Vy(n), \Omega z(n)),$$

– 2 управляющих параметра:

$$U(n) = (\theta(n), \delta(n)),$$

– 3 параметра погружения:

$$P(n) = (d(n), h(n), \Delta(n)).$$

Скрытый слой состоит из 10 нейронов. Количество скрытых слоев и количество нейронов в скрытых слоях подбиралось опытным путем при обучении нейронной сети.

Выходной слой состоит из 3-х нейронов для вывода параметров вектора состояния:

$$X(n+1) = (Vx(n+1), Vy(n+1), \Omega z(n+1))$$

на $(n+1)$ шаге вычисления.

Все параметры, входящие в уравнение (2), доступны прямому измерению с помощью имеющихся на судне датчиков, а именно:

– параметры вектора состояния:

$$X(n-j) = (Vx(n-j), Vy(n-j), \Omega z(n-j))$$

на каждом шаге вычисления могут быть измерены датчиками линейной и угловой скорости;

– параметры вектора управления:

$$U(n-j) = (\theta(n-j), \delta(n-j));$$

– датчиками углов отклонения телеграфа и руля направления;

– параметры вектора погружения

$$P(n-j) = (d(n-j), h(n-j), \Delta(n-j));$$

– датчиками осадки, эхолотом и креномером.

Таким образом, есть возможность получать все необходимые обучающие и эталонные выборки для обучения нейронной сети в процессе штатной эксплуатации судна. Параметры обучения нейронной сети: размер массива нормированных обучающих выборок $pn[8 \times 3500]$, размер массива нормированных эталонных выборок $tn[3 \times 3500]$, функция инициализации скрытого слоя $tansig$, функция инициализации выходного слоя $purelin$, алгоритм обучения $trainlm$, критерий обучения mse , точность обучения 0.00001 , количество эпох 50 .

Результаты исследований. На рис. 2 показаны графики изменения продольной V_x , боковой V_y , угловой w_z скоростей по осям связанной системы координат и угла рыскания ψ во время сбора обучающей и эталонной выборок для обучения нейронной сети.

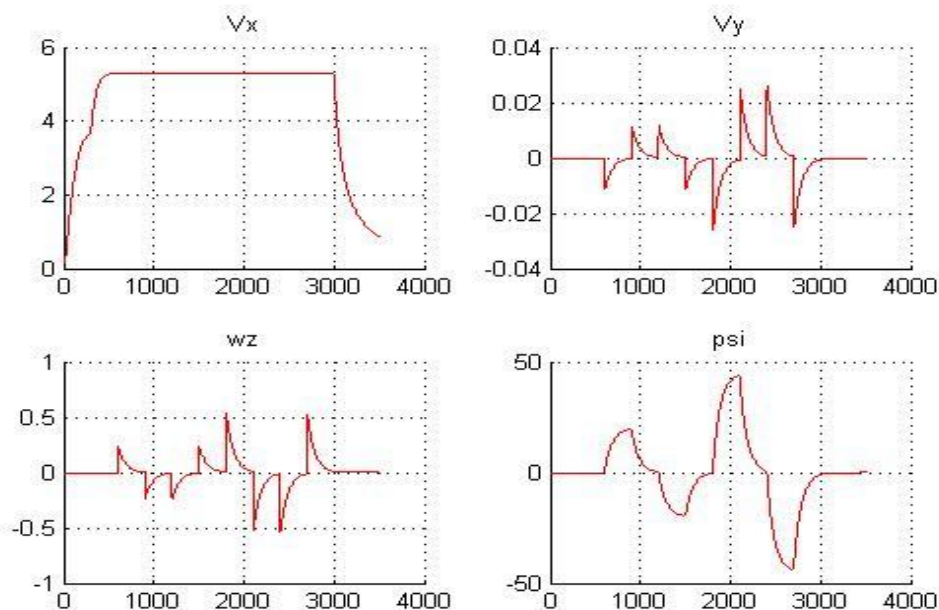


Рисунок 2 – Графики продольной V_x , боковой V_y , угловой W_z скоростей и угла рыскания ψ во время сбора обучающей и эталонной выборок

На рис. 3 показаны результаты тренировки нейронной сети по собранным обучающим и эталонным выборкам. Результаты тренировки показали хорошее качество обучения для выбранной структуры.

Обученная нейронная сеть будет использоваться в дальнейшем как математическая модель объекта управления для получения маневренных возможностей судна (рис. 1).

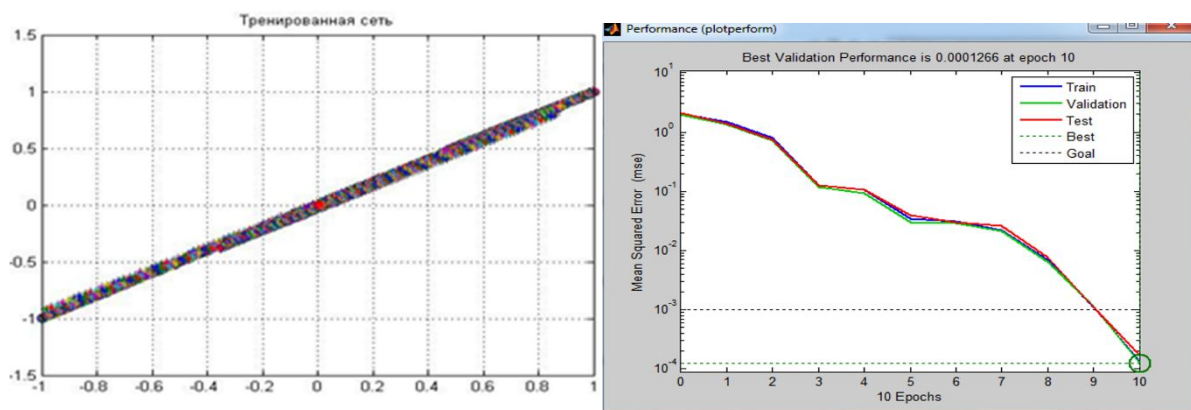


Рисунок 3 – Результаты тренировки нейронной сети по собранным обучающим и эталонным выборкам

Результаты математического моделирования приведены на рис. 4–5.

На рис. 4 показаны маневренные возможности судна при отличающемся от обучающего маневрировании на участках разгона, торможения и изменения курса, полученные с помощью математической модели и нейронной сети.

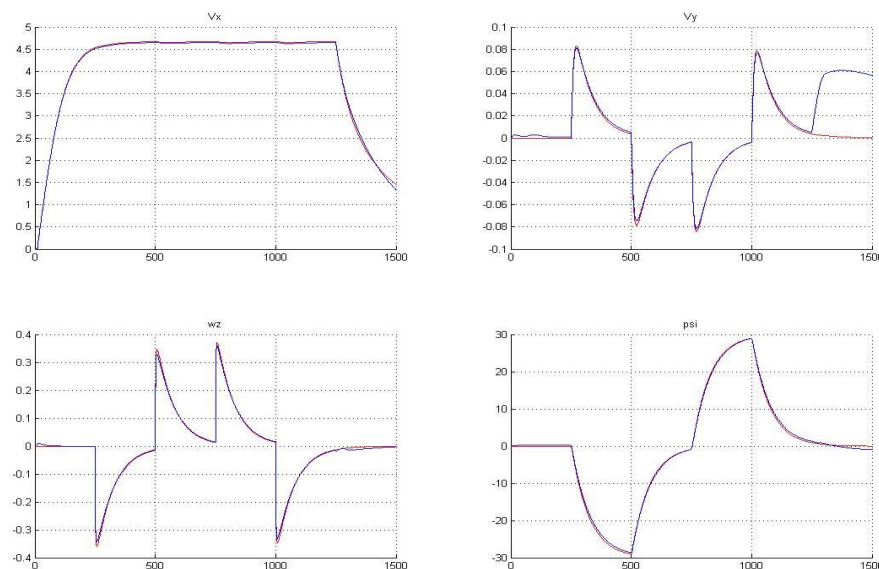


Рисунок 4 – Маневренные возможности судна при отличающемся от обучающего маневрировании на участках разгона, торможения и изменения курса, полученные с помощью математической модели и нейронной сети

На рис. 5 показаны циркуляции судна при отличающемся от обучающего отклонения пера руля +30 град, полученные с помощью математической модели (красный график) и нейронной сети (синий график).

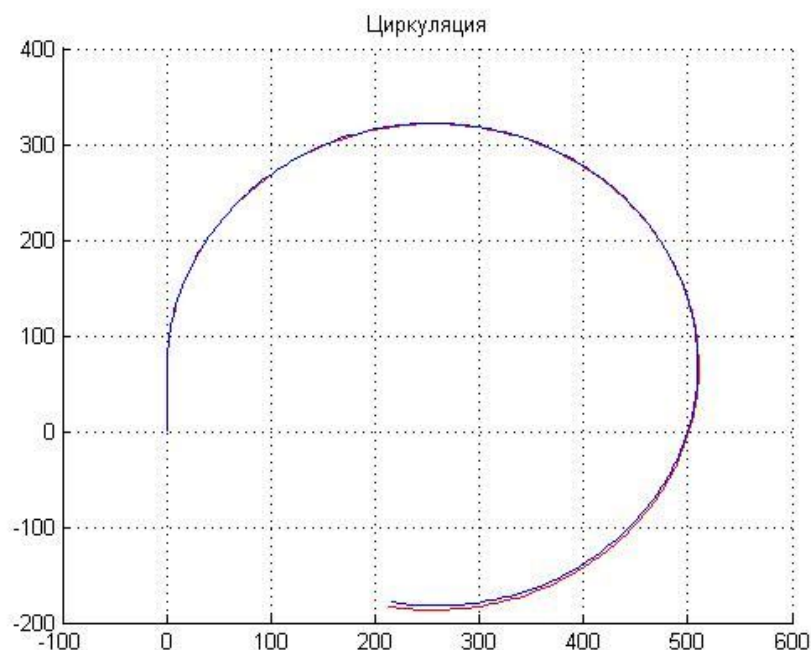


Рисунок 5 – Циркуляции судна при отличающемся от обучающего маневрировании, полученные с помощью математической модели и нейронной сети

Выводы. Как показывают результаты математического моделирования, синтезированная в процессе штатной эксплуатации нейросетевая модель позволяет с

высокой точностью прогнозировать движение судна на всех участках (разгона, торможения, изменения курса), а также на циркуляции, вне данных обучающих выборок. Это связано с тем, что динамика судна определяется только взаимным положением вектора скорости судна относительно его диаметральной плоскости и не зависит от курсового угла. Данное обстоятельство позволяет оценить не только разгонные, тормозные но и циркуляционные характеристики судна по измеренным параметрам движения в процессе штатной эксплуатации, без проведения специального маневрирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гроп Д. Методы идентификации систем. – М. : Мир, 1979.
2. Цыпкин Я. З. Основы информационной теории идентификации. – М. :Наука, 1984. – 320 с.
3. Александровский Н. М., Дейч А. М. Методы определения динамических характеристик нелинейных объектов // Автоматика и телемеханика. – 1968. – № 1. – С. 167–188.
4. Navi Trainer 4000. Mathematical models // Technical description. – Transas Marine Ltd, 2003. – 104 p.
5. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / Хайкин С. – М. : Вильямс, 2006. – 1102 с.
6. Омату С. Нейроуправление и его приложения / С. Омату, М. Халид, Р. Юсуф. – М. : Изд. предприятия редакции журнала Радиотехника, 2000. – 230 с.
7. Архангельский В. И., Богаенко И. Н., Грабовский Г. Г., Рюмшин Н. А. Нейронные сети в системах автоматизации. – К. : Техника, 1999. – 234 с.
8. Терехов В. А., Ефимов Д. В., Тюкин И. Ю. Нейросетевые системы управления : учеб. пособие для вузов. – М. : Высш. школа, 2002. – 183 с.
9. Чернодуб А. Н., Дзюба Д. А. Обзор методов нейроуправления // Проблемы программирования. – 2011. – № 2. – С. 79–94.
10. Антонов В. А., Письменный М. Н. Теоретические основы управления судном. – Владивосток : МГУ им.адмирала Г. И.Невельского, 2007. – 78 с.
11. Вагущенко Л. Л., Цымбал Н. Н. Системы автоматического управления движением судна. – Одесса : Фенікс, 2007. – 328 с.

REFERENCES

1. Grop, D. (1979). *Metody identifikacyi sistem. Perevod s angliyskogo*. Moskva : Mir.
2. Cypkin, Ya.Z. (1984). *Osnovy informacionnoy teorii identifikacii*. Moskva : Nauka, 320 s.
3. Aleksandrovskiy, N.M. & Dejch, A.M. (1968). *Metody opredeleniya dinamicheskikh harakteristik nelinejnykh objektov*. Moskva: Avtomatika i telemekhanika, №1, s.167-188.
4. Transas Marine Ltd,(2003). *Navi Trainer 4000. Mathematical models. Technical description*, 104p.
5. Haikin, S. (2006). *Nejronnye seti: polnyj kurs. Perevod s angliyskogo*. Moskva: Viljams, 1102 s.
6. Omatu, S., Halid M. & Yusuf R. (2000). *Nejroupravlenie i ego prilogeniya*. Moskva: Radiotekhnika.
7. Arhangelskij, V. I., Bogaenko, I. N., Grabovskij, G. G. & Rumshin, N. A. (1999). *Nejronnye seti v sistemah avtomatizacii*. Kiev: Tehnika. 1999. 234 p.
8. Terehov, V. A., Efimov, D. V. & Tjukin, I. Yu. (2002). *Nejrosetevye sistemy uptavleniya*. Moskva: Visshaya shkola.
9. Chernodub, A. N. & Dzuba D. A. (2011). *Obzor metodov nejroupravleniya : Problemih programmirovaniya*, 2. Kiev, S.79-94.
10. Antonov, V. A. & Pismennyj M. N. (2007). *Teoreticheskie osnovy upravleniya sudnom*. Vladivostok: MGU im. admirala Nevelskogo G. I., 78 s.

11. Vagushenko, L. L. & Tsimbal, N. N. (2007). *Sistemy avtomaticheskogo upravleniya dviganiem sudna*. Odessa: Feniks, 328 s.

Зінченко С. М., Ляшенко В. Г. ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖЕВОЇ МОДЕЛІ СУДНА ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАВДАНЬ УПРАВЛІННЯ

Розглянуті питання синтезу нейромережевої моделі судна у процесі його штатної експлуатації та подальшого її використання для вирішення різноманітних задач управління. На прикладі задачі оцінки маневрових можливостей судна показано, що синтезована у процесі штатної експлуатації нейромережева модель дозволяє з високою точністю прогнозувати рух судна на усіх ділянках (розгону, гальмування, зміни курсу), а також на циркуляції, поза даними навчальних вибірок. Це пов'язано з тим, що динаміка судна визначається лише взаємним положенням вектора швидкості судна відносно його діаметральної площини і не залежить від курсового кута. Дана обставина дозволяє оцінювати не лише розгонні, гальмівні, але й циркуляційні характеристики судна по вимірним параметрам руху в процесі штатної експлуатації, без проведення спеціального маневрування.

Ключові слова: нейромережева модель, маневрування судна.

Zinchenko S. N., Lyashenko V. G. USING THE NETWORK VESSEL MODEL FOR SOLVING THE CONTROL PROBLEMS

The issues of synthesis of the ship's neural network model in the process of its regular operation and its subsequent use for solving various control tasks are considered. The example of the problem of assessing the maneuverability of the vessel shows that the neural network synthesized in the process of regular operation allows to predict the movement of the vessel with high accuracy on all sections of the traffic (acceleration, braking, course change), and also on circulation sections, outside the given training samples. This is due to the fact that the dynamics of the ship is determined only by the relative position of the ship's velocity vector with respect to its diametric plane and does not depend on the heading angle. This circumstance makes it possible to estimate not only the acceleration, braking, but also the circulation characteristics of the vessel according to the measured parameters of motion during the normal operation, without special maneuvering.

Key words: neural network model, ship maneuvering.

© Зінченко С. М., Ляшенко В. Г.

Статтю прийнято
до редакції 16.11.17

МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ОСОБИ ЩО ПРИЙМАЄ РІШЕННЯ В УМОВАХ ПОЗАШТАТНИХ СИТУАЦІЙ ПРИ УПРАВЛІННІ СУДНОМ

Носов П. С., к.т.н., доцент, інженер Херсонської державної морської академії, e-mail: rason@ukr.net, ORCID: 0000-0002-5067-9766;

Волошинов С. А., к.пед.н., доцент, завідувач кафедри інноваційних технологій та технічних засобів судноводіння Херсонської державної морської академії, e-mail: ksma@ksma.ks.ua;

Бень А. П., к.т.н., доцент, проректор з науково-педагогічної роботи Херсонської державної морської академії, e-mail: ksma@ksma.ks.ua;

Новиков А. В., магістрант Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова (м. Миколаїв), e-mail: vertigogo@i.ua

У статті розглядаються проблемні питання негативного прояву людського чинника на морському транспорті. Наукової гіпотезою в статті виступає зв'язок підвищеної суб'єктивної ентропії особи що приймає рішення і неадекватних рішень що тягнуть катастрофічні наслідки при управлінні судном. У статті пропонується ряд формальних залежностей заснованих на ентропійному підході, а також математична модель проявів суб'єктивної ентропії. У даній моделі передбачається застосування інтелектуальних інтерфейсів з метою попередження негативних наслідків шляхом ідентифікації суб'єктивної ентропії і впливу на її рівень. Основними елементами моделі виступають альтернативи прийняття рішень і чинники що впливають на підвищення і зниження рівня суб'єктивної ентропії. Передбачається, що рівень підвищення суб'єктивної ентропії залежить від значень інформативності альтернатив. Наведено висновки про підходи впливу на суб'єктивну ентропію при виконанні суб'єктом посадових обов'язків.

Ключові слова: моделювання, позаштатні ситуації, суб'єктивна ентропія, людський фактор.

Вступ. Дослідження в області знаходження причин негативного прояву людського чинника при управлінні судном приводять до висновку, що некеровані одночасні потоки вхідної інформації впливають на підвищення суб'єктивної ентропії особи що приймає рішення (ОПР). Підвищення суб'єктивної ентропії перешкоджає адекватному сприйняттю ОПР ситуації, що в багатьох випадках призводить до катастрофічних наслідків [1]. Важливість відстеження рівня суб'єктивної ентропії в період її стрімкого зростання становить проблему через відсутність механізмів ідентифікації та інструментів впливу на неї, що вимагає розробки систем моделювання інтелектуальної діяльності ОПР [2–4].

При цьому збільшення одночасних потоків вхідних даних більш ніж 7–9 являє складність для навіть досвідченої ОПР в момент необхідності прийняття вірного і швидкого рішення [5]. Це пов'язано з тим, що у зв'язку із психологічними особливостями сприйняття інформації ОПР, виникає процес «гальмування» центральної нервової системи, що призводить до вкрай негативних наслідків у критичних ситуаціях [6].

Як правило, кожен інформаційний потік вносить альтернативу до прийняття рішення ОПР щодо поточного стану $\sigma_0 \in S_a|_{\sigma_0}$. Таким чином, формується суб'єктивно-імовірнісна модель, що характеризується функцією переваги $\pi(\sigma_i)$ і імовірнісним розподілом альтернатив прийняття рішень $S_a|_{\sigma_0}$ розмірності N [7]. При цьому найбільш близькою є ентропія Больцмана, що має вигляд [8] (1):

$$H_{\pi} = - \sum_{i=1}^N \pi(\sigma_i) \ln \pi(\sigma_i); \quad \sigma_i \in S_a|_{\sigma_0} \quad (1)$$

Формальний опис ентропії Шенона [9, 10] не може бути використано в контексті даної статті через відсутність обробки інформації об'ємом в більш ніж одне повідомлення (потік).

Розгляд ентропійного підходу в практичному аспекті, де передбачається прийняття рішень ОНР як рішення задачі (проблемної ситуації) певного класу k , набуває вигляду [11] (2):

$$H_{\pi}^N = - \sum_{s=1}^k L_s \pi_{L_s} \ln \pi_{L_s} \left(k \in \overline{1, N} \right) \quad (2)$$

Піднімаючись на рівень вгору ієрархії проблемної ситуації, приймемо, що $\pi_s = L_s \pi_{L_s}$ – ідентифікація ОНР і перевага класу розв’язуваної задачі, тоді (3):

$$H_{\pi}^k = - \sum_{s=1}^k \pi_s \ln \pi_s - \sum_{s=1}^k \pi_s \ln L_s; \sigma_i \in S_a |_{\sigma_0} \quad (3)$$

де L_s – кількість альтернатив класу s .

З формули видно, що суб’єктивна ентропія ОНР, при заданому $k < N$ досягає максимуму якщо всі π_s рівнозначні між собою і дорівнюють $\frac{1}{k}$.

$$\text{Як наслідок, } H_{\pi}^k = \frac{1}{k} (k \ln k - \ln(L_1, L_2, \dots, L_k)) = \ln k - \ln \sqrt[k]{L_1, L_2, \dots, L_k}.$$

Таким чином, наявність еквівалентних класів проблемних ситуацій, в яких хоча б одне $L_s > 1$ призводить до зменшення суб’єктивної ентропії ОНР.

Отже **метою** дослідження є: побудова формальної моделі взаємодії засобів інтелектуального інтерфейсу та проявів людського чинника ОНР в умовах позаштатних ситуацій на базі ентропійного підходу.

Рішення задачі. Із зазначеного формального опису ситуації відомо, що визначення ОНР пріоритету з класів розв’язуваних проблемних ситуацій або завдань в класі істотно знижує ймовірність прийняття необґрунтованих і неадекватних рішень.

Все зазначене дозволяє зробити висновок, що необхідність в ідентифікації моментів підвищення суб’єктивної ентропії і механізмів її зменшення є актуальним завданням.

При цьому виникає необхідність у створенні технічних засобів у вигляді інтелектуальних інтерфейсів що дозволять як ідентифікувати проблему так і вплинути на визначення ОНР пріоритету класу задач або безпосередньо завдання в класі. Однак складність процедури полягає в тому, що на даний момент відсутні засоби вирішення подібних завдань із достатньою достовірністю і результативністю практичного застосування.

Внаслідок вищевикладеного необхідно побудувати математичну модель взаємодії інтелектуального інтерфейсу і реакції ОНР в момент підвищеної суб’єктивної ентропії з метою попередження негативних проявів людського чинника на морському транспорті.

Побудова моделі. Нехай існує позаштатна ситуація з альтернативами прийняття рішень d . Кожна альтернатива характеризується відношенням до найбільш вірних дій O_d ЛНР, часткою переваг у виборі альтернативи PC_d і значенням інформативності v_d .

Нехай ε – частка факторів, що впливають на підвищення і зниження суб’єктивної ентропії, ε_{d+} та ε_{d-} , які адитивно впливають на прийняття рішення ОНР. При цьому підсумкове значення інформативності переваг ОНР становить $v_d = v_d + \varepsilon_{d+} - \varepsilon_{d-}$.

Передбачається, що рівень підвищення суб’єктивної ентропії ОНР ε^l , залежить від підсумкових значень інформативності альтернатив наступним чином (4):

$$\varepsilon^l = \frac{f(v_d)}{\sum_{k=0}^N f(v_{dk})}. \quad (4)$$

Функція перетворення $f(\cdot)$ невід'ємна і монотонно зростає на множині допустимих показників інформативності переваг ОНР.

При контролі за потоками інформації і методами їх представлення ОНР з боку інтелектуального інтерфейсу, частка альтернатив вірних дій залежить від інформативності наступних чином (5):

$$O(v) = \sum_{d=0}^N \left(O_d \left(\frac{\varepsilon f(v_d)}{\sum_{k=0}^N f(v_k) + (1-\varepsilon)pc_d} \right) \right) / \sum_{d=1}^N \left(\frac{\varepsilon f(v_d)}{\sum_{k=0}^N f(v_k) + (1-\varepsilon)pc_d} \right). \quad (5)$$

Нехай частка факторів, що впливають на зменшення і підвищення суб'єктивної ентропії ОНР рівнопропорційні, тоді $\varepsilon_{d+}^a \geq 0, \varepsilon_{d-}^a \geq 0$, при цьому ресурси інтелектуального інтерфейсу на активацію уваги ОНР щодо альтернатив прийняття рішень d , позначені W_+^a, W_-^a . Формально стратегія інтелектуального інтерфейсу визначається вектором $\varepsilon^a = (\varepsilon_{d+}^a, \varepsilon_{d-}^a, d=1, \dots, N, W_+^a, W_-^a)$, що задовольняє наступним обмеженням (6):

$$\sum_{d=1}^N \varepsilon_{d+}^a = W_+^a, \sum_{d=1}^N \varepsilon_{d-}^a = W_-^a, W_+^a + \lambda W_-^a \leq W^a. \quad (6)$$

де λ показує відносний вплив суб'єктивної ентропії, W^a – загальний ресурс інтелектуального інтерфейсу, що витрачаються на вирішення проблемної ситуації.

Аналогічно, вплив суб'єктивної ентропії ОНР на ситуацію Ψ визначається вектором $\varepsilon^\Psi = (\varepsilon_{d+}^\Psi, \varepsilon_{d-}^\Psi, d=1, \dots, W_+^\Psi, W_-^\Psi)$, який задовольняє обмеженням:

$$\sum_{d=1}^N \varepsilon_{d+}^\Psi = W_+^\Psi, \sum_{d=1}^N \varepsilon_{d-}^\Psi = W_-^\Psi, W_+^\Psi + \lambda W_-^\Psi \leq W^\Psi. \quad (7)$$

Стратегії ε^a та ε^Ψ визначають вектор ступені інформативності переваг $v(\varepsilon^a, \varepsilon^\Psi) = v + \varepsilon_+^a - \varepsilon_-^a + \varepsilon_+^\Psi - \varepsilon_-^\Psi$ і значення $O(\varepsilon^a, \varepsilon^\Psi)$.

Сформулюємо досліджувану оптимізаційну задачу:

1. При очікуваних проявах суб'єктивної ентропії для ОНР і фіксованих початкових W_+^a, W_-^a знайдемо оптимальну стратегію інтелектуального інтерфейсу, максимізує частку її результативних альтернатив прийняття рішень:

$$\varepsilon^{a*}(\varepsilon^\Psi) \rightarrow \max_{\varepsilon^a} O(\varepsilon^a, \varepsilon^\Psi). \quad (8)$$

Аналогічне завдання для суб'єктивної ентропії полягає в тому, щоб знайти:

$$\varepsilon^{\Psi*}(\varepsilon^a) \rightarrow \min_{\varepsilon^\Psi} O(\varepsilon^a, \varepsilon^\Psi). \quad (9)$$

2. При фіксованих ресурсах $W_+^a, W_-^a, W_+^\Psi, W_-^\Psi$ знайти оптимальну максимінну і мінімаксну стратегії для інтелектуального інтерфейсу і проявів суб'єктивної ентропії ОНР:

$$\bar{\varepsilon}^a \rightarrow \max_{\varepsilon^a} \min_{\varepsilon^o} O(\varepsilon^a, \varepsilon^o) = \varphi^o(B^a, B^o); \quad (10)$$

$$\bar{\varepsilon}^o \rightarrow \max_{\varepsilon^o} \min_{\varepsilon^a} O(\varepsilon^a, \varepsilon^o) = \varphi^a(B^a, B^o). \quad (11)$$

Якщо сідлових точок φ^u не існує, то слід дослідити ситуацію в змішаних стратегіях. В умовах ранньої діагностики, на етапах навчання з використанням комп'ютеризованих тренажерів, можлива побудова стратегії інтелектуального інтерфейсу що здатна мінімізувати ресурси на усунення негативних проявів людського чинника O^* на морському транспорті:

$$W^{au} = \min \{W^a \varphi^u(W^a, W^o) \geq O^*\}. \quad (12)$$

Під час дослідження цієї моделі, позначимо частку вільних альтернатив прийняття рішень у проблемній ситуації, альтернатив до проявів інтелектуального інтерфейсу, середню стійкість альтернатив до проявів інтелектуального інтерфейсу, $O^c = \frac{\sum_{d=1}^N O_d p c_d}{\sum_{d=1}^N p c_d}$ – середню стійкість альтернатив до проявів інтелектуального інтерфейсу, $m_0 = \frac{O l^c}{\varepsilon + p}$, $p_0 = \frac{p}{p + \varepsilon}$, $m_d = \frac{(\varepsilon O_d + p O^c)}{\varepsilon + p}$ – модифіковану стратегію зниження негативних проявів людського чинника ОПР, $\vartheta = \sum_{d=1}^N f(v_d) + f(v_0) \cdot s_0$. Тоді функцію позитивного впливу інтелектуального інтерфейсу можна описати таким чином:

$$O(v) = \frac{\left(\sum_{d=1}^N f(v_d) m_d + f(v_0) \cdot m_0 \right)}{\vartheta} \quad (13)$$

Дана модель дозволяє впливати на прийняття рішень ОПР в умовах спонтанного підвищення рівня функціональної ентропії шляхом актуалізації уваги ОПР на альтернативних перевагах засобами інтелектуального інтерфейсу.

Основні результати та висновки з перспективами. Розглянуті у даній статті формальні підходи в моделюванні інтелектуальної діяльності ОПР в умовах критичного підвищення рівня суб'єктивної ентропії дозволять визначити вектор стабілізації в управлінні судном. Даний підхід передбачає наявність програмно апаратних засобів ідентифікації рівня підвищення суб'єктивної ентропії ОПР і механізмів підтримки та повернення на траєкторію результативних дій в умовах позаштатних ситуацій. Подальші дослідження будуть спрямовані на створення математичної моделі індивідуальних переваг ОПР, ґрунтуючись на статистичних даних в момент його підготовки на комп'ютеризованих тренажерах управління судном.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аверічев І. М. Аналіз основних причин аварій на морському та річковому транспорті України / І. М. Аверічев // Водний транспорт. – 2013. – Вип. 3. – С. 100–103.
2. Косенко Ю. І., Носов П. С. Механізми ідентифікації та трансформації «знань» суб'єкта критичної інфраструктури // Інформаційні технології в освіті, науці та

виробництві : збірник наукових праць. – Вип. 3(4) – Одеса : Наука і техніка 2013. – С. 99–104.

3. Nosov P., Nosova I. Automated determination of student professional orientation // Proceeding of the Third International Conference «New Informational Technologies in Education for All. ITEA-2008». – Київ : Вид. дім «Академперіодика» НАН України, 2008. – С. 95–104.

4. Косенко Ю. І., Рослякова С. В., Носов П. С. Система ідентифікації функціональної ентропії суб'єкта критичної інфраструктури. // Сб. научных трудов по матер. МНПК «Современные направления теоретических и прикладных исследований» Том 8. Технические науки. – Одесса : Купrienko, 2013. – С. 50–54.

5. Крисиллов В. А. Оценка сложных объектов – основной механизм при решении задач количественного обоснования решений [Текст] / В. А. Крисиллов // Тр. Одес. политех. ун-та. – Одесса, 2003. – Вып. 1(19) – С. 102–106.

6. Бондар Г. О. Характеристика умов діяльності представників ризикованих професій [Електронний ресурс] / Г. О. Бондар // Сучасний соціокультурний простір 2010: Всеукр. наук-практ. інтернет-конф. – С. 142–151. (Режим доступу: <http://intkon.org>)

7. Касьянов В. А. Элементы субъективного анализа. – К. : НАУ, 2003. – 224 с.

8. Chakrabarti C.G., Chakrabarty I. Boltzmann entropy: Probability and informatijn. Rom. Journ. Phys., Vol. 52, Nos. 5–7, P. 559–564, Bucharest, 2007

9. Boltzmann L., Lectures on Gas Theory (English Translation), University of California, Berkeley, 1964.

10. Shannon C.F., Weaver W., Mathematical Theory of Communication, University of Illinois, Urbana, 1949.

11. Касьянов В.А. Субъективный анализ. – К. : НАУ, 2007. – 512 с.

REFERENCES

1. Averichev, I. M. (2013). Analiz osnovnykh prychyn avarii na morskому ta richkovому transporti Ukrainy. *Vodnyi transport*, 3. 100-103.

2. Kosenko, Yu.I. & Nosov, P.S. (2013) Mekhanizmy identyfikatsii ta transformatsii «znan» subiekta krytychnoi infrastruktury. *Informatsiini tekhnolohii v osviti, nautsi ta vyrobnytstvi*. 3(4) 99-104.

3. Nosov, P. & Nosova, I. (2008) Automated determination of student professional orientation // Proceeding of the Third International Conference. *New Informational Technologies in Education for All*. Kyiv: Akademperiodyka NAN Ukrainy. 95-104.

4. Kosenko, Yu.I. & Rosliakova, S.V. & Nosov, P.S. (2013). Systema identyfikatsii funktsionalnoi entropii subiekta krytychnoi infrastruktury. *Sovremennye napravleniya teoretycheskykh y prykladnykh yssledovanyi*. 8. 50-54.

5. Krysylov, V.A. (2003) Otsenka slozhnykh ob'ektov – osnovnoi mekhanyzm pry reshenyy zadach kolychestvennoho obosnovanyia resheniy. *Tr. Odes. polytekh. un-ta*. 1(19), 102-106.

6. Bondar, H.O. (2010) Kharakterystyka umov diialnosti predstavnykiv ryzykovanykh profesii. *Suchasnyi sotsiokulturnyi prostir*: Kyiv. 142-151.

7. Kasianov, V.A. (2003) *Elementi sub'ektyvnoho analyza*. Kyiv: NAU.

8. Chakrabarti C.G., Chakrabarty I. Boltzmann entropy: Probability and informatijn. Rom. Journ. Phys., Vol. 52, Nos. 5–7, P. 559–564, Bucharest, 2007

9. Boltzmann L., Lectures on Gas Theory (English Translation), University of California, Berkeley, 1964.

10. Shannon C.F., Weaver W., Mathematical Theory of Communication, University of Illinois, Urbana, 1949.

11. Kasianov, V.A. (2007) *Sub'ektyvnyi analiz*. Kyiv: NAU.

Носов П. С., Волошинов С. А., Бень А. П., Новиков А. В. МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЛИЦА ПРИНИМАЮЩЕГО РЕШЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ВНЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СУДНОМ

В статье рассматриваются проблемные вопросы негативного проявления человеческого фактора на морском транспорте. Научной гипотезой в статье выступает связь повышенной субъективной энтропии лица принимающего решения и неадекватных решений влекущих катастрофические последствия при управлении судном. В статье предлагается ряд формальных зависимостей основанных на энтропийном подходе, а также математическая модель проявлений субъективной энтропии. В данной модели предполагается применение интеллектуальных интерфейсов с целью предупреждения негативных последствий путем идентификации субъективной энтропии и влияния на ее уровень. Основными элементами модели выступают альтернативами принятия решений и факторы влияющие на повышение и понижение уровня субъективной энтропии. Предполагается, что уровень повышения субъективной энтропии зависит от значений информативности альтернатив. Приведены выводы о подходах влияния на субъективную энтропию при выполнении субъектом должностных обязанностей.

Ключевые слова: моделирование, внештатные ситуации, субъективная энтропия, человеческий фактор.

Nosov P. S., Voloshinov S. A., Ben A. P., Novikov A. V. MODELING OF INTELLECTUAL ACTIVITY OF THE PERSON MAKING THE DECISION IN THE CONDITIONS OF EXTRAORDINARY SITUATIONS AT SHIP MANAGEMENT

The article deals with the problematic issues of the negative manifestation of the human factor in maritime transport. The scientific hypothesis in the article is the connection of the higher subjective entropy of the person making the decision and inadequate decisions that lead to catastrophic consequences in the management of the ship. The article proposes a number of formal dependencies based on the entropy approach, as well as a mathematical model of manifestations of subjective entropy. In this model, the use of intelligent interfaces is supposed to prevent negative consequences by identifying subjective entropy and influencing its level. The main elements of the model are alternatives to decision-making and factors that affect the rise and fall of subjective entropy. It is assumed that the level of increase in subjective entropy depends on the final values of the informative nature of the alternatives. Conclusions are made about the approaches to influence on subjective entropy when the subject performs official duties.

Keywords: modeling, extraordinary situations, subjective entropy, human factor.

© Носов П. С., Волошинов С. А., Бень А. П., Новиков А. В.

Статтю прийнято
до редакції 14.12.17

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

А

Авраменко О. М., 200
Алейніков В. М., 27
Алексенко В. Л., 130
Алейніков М. В., 27
Амелін М. Ю., 218

Б

Барбашова М. В., 149
Бень А. П., 238
Богдан А. П., 130
Бодак В. І., 136
Бодак М. В., 136
Брайло М. В., 218
Бурмака І. А., 4

В

Васильченко Г. Ю., 111
Волков В. П., 142
Волков Є. Л., 79
Волков Ю. В., 142
Волонцевич Д. О., 149
Волошинов С. А., 238
Ворохобін І. І., 14

Г

Габрук Р. А., 21
Грицук І. В., 142
Грицук Ю. В., 142
Гусєв В. М., 218

Д

Доронін В. В., 27

Є

Єрємїна Є. Ф., 149

Ж

Жмур В. М., 122

З

Зінченко С. М., 36, 231
Знамеровська Н. П., 111

К

Калініченко Г. Є., 4
Кондратьєва Л. Ю., 44
Коскіна Ю. О., 67
Кузьменко Є. С., 51
Кулаков М. О., 4

Л

Леонов В. Є., 122
Ляшенко В. Г., 36, 231

М

Малащенко В. О., 161
Михайленко В. С., 60
Мойсєєнко В. С., 101

Н

Настасенко В. О., 170
Новиков А. В., 238
Носов П. С., 238

О

Омельченко Т. Ю., 79
Онищенко С. П., 67

П

Петров І. М., 51
Погорлецький Д. С., 181
Поляков В. О., 192
Проценко В. О., 161, 200
Пятаков Е. М., 79

С

Самарін О. Є., 207
Сапронов О. О., 212
Сікірін В. Є., 14
Сіманєнков А. Л., 88

Т

Товстокорій О. М., 101

Ф

Фусар І. Ю., 14

Х

Харченко Р. Ю., 60
Хачапулідзе М. М., 192
Ходаковський О. В., 218

Я

Якущенко С. В., 218

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 10 сторінок, включаючи всі матеріали, у т. ч. таблиці, рисунки, графіки та список літературних джерел. Сумарний обсяг рисунків і таблиць повинен бути не більше 30% обсягу основної частини.

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 – 10.

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, держава, ORCID автора – курсивом, по лівому краю, розміром шрифту 12.

Текст надається у форматі редактора MS Word шрифтом Times New Roman, розмір шрифту – 12, інтервал – 1.

Параметри сторінки (опція меню ФАЙЛ, Параметри сторінки):

розмір паперу – А4: 210*297 мм;

орієнтація аркуша – книжна (альбомна не допускається);

поля – 2 см;

палітурка – 0 см;

колонтитули – 1,3 см;

абзацний відступ – 1,25 см, вирівнювання за шириною, сторінки без нумерації.

Формули повинні бути набрані за допомогою вбудованого редактора формул Equation Editor. Всі формули вставляються в таблицю з неокресленим контуром, що складається з двох колонок: у першій знаходиться формула без абзацу і вирівняна по центру, у другій – номер формули (якщо такий є) теж без абзацу і з вирівнюванням по центру. Межа між колонками таблиці встановлюється на позначці 14 см.

Це стосується також формул і символів формул, які стоять по тексту. Параметри в редакторі формул повинні в точності відповідати наведеним

нижче. Розміри (опція меню редактора Equation Editor: РОЗМІР, Визначити ...):

- Звичайний 12 пт.
- Крупний індекс 7 пт.
- Дрібний індекс 5 пт.
- Крупний символ 18 пт.
- Дрібний символ 12 пт.

Таблиці набираються у Microsoft Word.

Рисунки повинні бути чорно-білими, бажано прозорими, і вставлені у файл і роздруковку статті. Формат рисунків (tif, psx, bmp тощо) повинен бути сумісний з редактором тексту Microsoft Word. Роздільна здатність рисунків – не менше 300 dpi.

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 7.1:2006. У списку повинно бути не менше 10 джерел, у списку посилань неприпустимо використання ГОСТів та загальнонаціональних стандартів, відсоткове співвідношення самоцититування – не більше 30% (тобто якщо Ви використали 10 посилань, з них може бути не більше 3 на роботи автора).

До статті також наводиться перелік літератури латиницею (*References*), для його оформлення використовувати АРА-стиль. Список літератури транслітерується або перекладається англійською мовою. Транслітерувати інформацію необхідно відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 27.01.2010 «Про впорядкування транслітерації українського алфавіту латиницею» (транслітерацію української мови можна здійснити за посиланням <http://translit.kh.ua> [обрати стандарт: Паспортний (КМУ 2010)]). Транслітерувати джерела, які пишуться латиницею не потрібно.

Структуровані анотації українською, російською та англійською мовами обсягом від 100 до 250 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 технічної інформації ХДМА:

- Комп'ютерний варіант статті – файл, набраний у редакторі Microsoft Word;
- файл кожного рисунка, включеного в статтю, окремо;
- рукопис статті (на паперовому носії), підписаний автором(ами) – 2 примірники.

Крім тексту статті автором(ами) надаються:

- структурована анотація та ключові слова 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);
- ліцензійний договір;
- відомості про авторів (прізвище, ім'я, по батькові, вчений ступінь, вчене звання, місце роботи, посада, домашня або службова адреса, контактний телефон, e-mail, наукові інтереси авторів, ORCID автора(ів)) – 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. Рукописи авторам не повертаються.

ЗМІСТ

МОРСЬКИЙ ТА РІЧКОВИЙ ТРАНСПОРТ

Бурмака И.А., Кулаков М.А., Калиниченко Г.Е. МЕТОДЫ ВНЕШНЕГО УПРАВЛЕНИЯ СУДАМИ В СИТУАЦИИ ОПАСНОГО СБЛИЖЕНИЯ	4
Ворохобин И.И., Сикирин В.Е., Фусар И.Ю. ОРТОГОНАЛЬНОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ПЛОТНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТЕЙ НАВИГАЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В РЯД ГРАМА- ШАРЛЬЕ ТИПА А	14
Габрук Р.А. БЕЗПЕКА ПРИ ВИКОНАННІ ДИНАМІЧНОГО ПОЗИЦІОНУВАННЯ	21
Доронін В.В., Алєйніков М.В., Алєйніков В.М. КОНТЕКСТНО-ОРІЄНТОВАНИЙ ПІДХІД В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІЙ ОБРОБЦІ ПОТОКІВ ДАНИХ ВІД ВОДОМІРНИХ ПОСТІВ ПРИ РУСІ СУДНА	27
Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г. РАСХОЖДЕНИЕ С МАНЕВРИРУЮЩИМИ ЦЕЛЯМИ	36
Кондратьєва Л.Ю. КОНЦЕПЦИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЦЕЛЕВОЙ ФУНКЦИИ ПАТРУЛЬНОГО СУДНА ТИПА SWATN	44
Кузьменко Є.С., Петров І.М. РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЩОДО СТВОРЕННЯ ТРАНСПОРТНО- ЕКСПЕДИТОРСЬКОЇ КОМПАНІЇ ЯК ЕЛЕМЕНТУ СЕРВІСНОЇ ЕРГАТИЧНОЇ СИСТЕМИ	51
Михайленко В.С., Харченко Р.Ю. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ИДЕНТИФИКАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫМ КОНТУРОМ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ	60
Онищенко С.П., Коскіна Ю.О. ФОРМУВАННЯ СТОЯНОЧНОГО ЧАСУ РЕЙСА СУДНА З УРАХУВАННЯМ ЧАРТЕРНИХ УМОВ	67
Пятаков Э.Н., Омельченко Т.Ю., Волков Е. Л. ЛОКАЛЬНО-НЕЗАВИСИМОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ РАСХОЖДЕНИЯ СУДОВ	79
Сіманенков А. Л. СТАТИСТИЧНИЙ АНАЛІЗ ТЕПЛОВИХ РЕЖИМІВ СУДНОВОГО ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ	88
Товстокорий О.М., Мойсеєнко В.С. КЕРУВАННЯ ПОЛОЖЕННЯМ ПОЛЮСУ ПОВОРОТУ НА ДВОГВИНТОВОМУ КОНВЕНЦІЙНОМУ СУДНІ	101

ПРОБЛЕМИ ВИЩОЇ ШКОЛИ

- Знамеровська Н.П., Васильченко Г.Ю.** 111
 ФОРМУВАННЯ ПРЕДМЕТНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ ПРИ ВИВЧЕННІ
 ЗАГАЛЬНОІНЖЕНЕРНИХ ДИСЦИПЛІН

**РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОХОРОНА
 НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА**

- Жмур В.Н., Леонов В.Е.** 122
 СНИЖЕНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВА И ИНТЕНСИВНОСТИ РАЗВИТИЯ
 «ПАРНИКОВОГО» ЭФФЕКТА – СТРАТЕГИЧЕСКАЯ ЗАДАЧА
 СОВРЕМЕННОГО СУДОХОДСТВА

ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

- Алексенко В.Л., Богдан А.П.** 130
 ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
 СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ «МЕТАЛИЧЕСКАЯ ОСНОВА – ЗАЩИТНОЕ
 ПОКРЫТИЕ»

- Бодак В.І., Бодак М.В.** 136
 ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ РІЗНИХ ФОРМ ЗАБІРНИХ ЧАСТИН
 ІШНЕКОВИХ НАСОСІВ

- Волков В.П., Грицук І.В., Грицук Ю.В., Волков Ю.В.** 142
 ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ
 ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ МОНІТОРИНГУ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНІЧНОГО
 СТАНУ ТРАНСПОРТНОГО ЗАСОБУ

- Волонцевич Д.О., Барбашова М.В., Еремина Е.Ф.** 149
 ДИФФУЗИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ «ОБЖИМЕ» ТРУБЧАТЫХ
 ЗАГОТОВОК В МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКЕ МЕТАЛЛОВ

- Малашенко В.О., Проценко В.О.** 161
 ДОСЛІДЖЕННЯ ТОЧНОСТІ ФРИКЦІЙНИХ ВІДЦЕНТРОВИХ МУФТ З
 КАНАТНИМИ ЛАНКАМИ

- Настасенко В.А.** 170
 СТРОГОЕ ОБОСНОВАНИЕ СИЛЫ ДЕЙСТВИЯ
 ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ

- Погорлецький Д.С.** 181
 ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМ ТЕПЛОВОЇ ПІДГОТОВКИ
 ДЛЯ ПОЛЕГШЕННЯ ПУСКУ ТРАНСПОРТНИХ ДВИГУНІВ,
 ПРАЦЮЮЧИХ НА ЗРІДЖЕНОМУ ГАЗОВОМУ ПАЛИВІ

- Поляков В. А., Хачануридзе Н. М.** 192
 ГИБРИДНАЯ МОДЕЛЬ ЛЕВИТАЦИОННОЙ СИЛЫ
 МАГНИТОЛЕВИТИРУЮЩЕГО ПОЕЗДА

<i>Проценко В.О., Авраменко О.М.</i> АНАЛІЗ РОБОТИ ТА НАПРЯМКИ УДОСКОНАЛЕННЯ СПОЛУЧНОЇ МУФТИ ГВИНТОВОГО НАСОСА ПАЛИВНОЇ СИСТЕМИ СУДНОВОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ	200
<i>Самарін О. Є.</i> ЦИЛІНДРО-ПОРШНЕВА ГРУПА ТРОНКОВОГО ДВИГУНА	207
<i>Сапронов О.О.</i> СТРУКТУРА ЗЛАМУ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ ДЛЯ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ РІЗНОГО ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ	212
<i>Ходаковський О.В., Амелін М.Ю., Гусєв В.М., Якущенко С.В., Брайло М.В.</i> ЗАХИСНІ ПОКРИТТЯ З ДВОКОМПОНЕНТНОЮ ДОБАВКОЮ ДЛЯ ТРАНСПОРТНОЇ ТЕХНІКИ	218
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ	
<i>Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ СУДНА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ	231
<i>Носов П.С., Волошинов С.А., Бень А.П., Новиков А.В.</i> МОДЕЛЮВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ОСОБИ ЩО ПРИЙМАЄ РІШЕННЯ В УМОВАХ ПОЗАШТАТНИХ СИТУАЦІЙ ПРИ УПРАВЛІННІ СУДНОМ	238
ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК	244
ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ	245

ДЛЯ ПОДАТОК:

Науковий журнал

НАУКОВИЙ ВІСНИК
ХЕРСОНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ МОРСЬКОЇ АКАДЕМІЇ

№ 2 (17), 2017

Відповідальний за випуск *Р. Є. Врублевський*
Технічний редактор, комп'ютерна верстка *О. Ю. Клементьєва*
Коректор *Н. Грем*
Друк, фальцювально-палітурні роботи *В. Г. Удов*

Підписано до друку 26.01.2018. Формат 84×108/32.
Папір офсетний.
Ум. др. арк. 15,75. Наклад 100 прим.

Видавець і виготовлювач ХДМА
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 4319 від 10.05.2012
73000, м. Херсон, просп. Ушакова, 20