ISSN 2313-4763

Міністерство освіти і науки України

Херсонська державна морська академія

НАУКОВИЙ ВІСНИК

ХЕРСОНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ МОРСЬКОЇ АКАДЕМІЇ

Науковий журнал

№ 1 (10)

Херсон
2014

Науковий вісник Херсонської державної морської академії : Науковий журнал. – Херсон : Видавництво ХДМА, 2014. – № 1 (10). – 340 с.

Засновник і видавець – Херсонська державна морська академія

Рекомендовано до друку на засіданні вченої ради Херсонської державної морської академії 26.06.2014 р., протокол № 15.

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, пр. Ушакова, 20, тел. (0552) 22-35-69

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

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

ISSN 2313-4763

© Науковий вісник Херсонської державної морської академії, 2014

МОРСЬКИЙ ТА РІЧКОВИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 347.799.2

ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ МОРСКОЙ ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ В ЗОНЕ ОТВЕТСТВЕННОСТИ УКРАИНЫ

Годованюк С.П., Селиванов С.Е.
Херсонская государственная морская академия

В статье рассмотрена созданная на Украине система морского поиска и спасания (SAR). Система SAR, как любая другая система, состоит из отдельных компонентов (структур), которые должны функционировать во взаимодействии в целях обеспечения системы в целом. Такими структурами являются координационный центр (подцентры) поиска и спасания (RCC) с соответствующим районом поиска и спасания (SRR). Для данной системы в работе вводится понятие графа мобильных связей, позволяющего дать наглядную информацию о составе и структуре системы, показать вероятностные структурно-топологические характеристики графов мобильных связей между элементами структуры в различных условиях его функционирования, что дает возможность решать широкий круг задач системы поиска и спасения с заданными показателями эффективности и качества.
Ключевые слова: система морского поиска и спасания, структура, мобильные связи, граф, характеристики графа.

Введение. Украина как и каждое прибрежное государство, признает большое значение спасению жизни людей и необходимость непосредственно участвовать в оказании услуг авиационного и морского поиска и спасания (SAR) лицам, терпящим бедствие на море [1, 2].

Система SAR, как любая другая система, состоит из отдельных структур, которые должны функционировать во взаимодействии в целях обеспечения службы в целом. Разработка системы SAR, как правило, предполагает создание одного или нескольких районов поиска и спасения SRR наряду с обеспечением возможностей приема аварийных оповещений, координации и работы служб SAR в каждом SRR. Каждый SRR связан с координационным центром поиска и спасения RCC. Все RCC должны удовлетворять определенным минимальным требованиям.

Необходимым условием является хорошая связь. Средства связи должны обеспечивать незамедлительную передачу в RCC аварийной информации, что позволяет RCC без задержек направлять свои ресурсы в районы поиска и поддерживать двустороннюю связь с лицами, терпящими бедствие.

Возможности определения местоположения позволяют средствам SAR, предпринимающим меры реагирования, свести время поиска к минимуму и прибыть к фактическому месту бедствия для проведения спасательных работ.

Координационные центры поиска и спасания RCC является оперативным средством, которое несет ответственность за содействие эффективной организации служб SAR и за координацию проведения операций SAR в пределах SRR. RCC координирует действия, но необязательно обеспечивает наличие средств SAR в рамках всего международно-признанного SRR.

На Украине создано государственне предприятие «Администрация морских портов Украины» (ГП «АМПУ»). Кабинета Министров Украины закрепил постановлением № 584 от 14 августа 2013 г. казенное предприятие «Морская поисково-спасательная служба» в состав госпредприятия «Администрация морских портов Украины».

За организацию эффективного поиска и спасания судна, терпящего бедствие, и координацию проведения поисково-спасательных операций в пределах определенного поисково-спасательного района несет ответственность спасательно-координационный центр (СКЦ), закрепленный за данным районом.

К каждому району и СКЦ прикреплена береговая станция (радиостанции), в функции которой(ых) входит прием и передача оповещения о бедствии и связь для

координации проведения поисково-спасательных операций. Каждая станция имеет надежную телефонную и телексную связь с СКЦ.

СКЦ координирует обмен в случае бедствия сам или может поручить это другой радиостанции, находящейся в лучшем положении для проведения поисково-спасательной операции.

Таким образом, в зоне ответственности Украины создана морская поисково-спасательная система на Черном и Азовском морях.

Созданная система на Украине состоит из следующих объектов:

- государственный морской спасательно-координационный центр в городе Одесса;
- морской спасательно-кординационный подцентр в городе Севастополь;
- морской спасательно-кординационный подцентр в городе Керчь;
- морской спасательно-кординационный подцентр в городе Мариуполь.

На рис. 1 показана морская зона ответственности, районы поиска и спасения Украины, расположение, как объекта спасательно-координационного центра и под-центров.

Морской поисково-спасательный район Украины составляет около 137 тыс. км^2, что есть, примерно, четверть сухопутной территории государства.

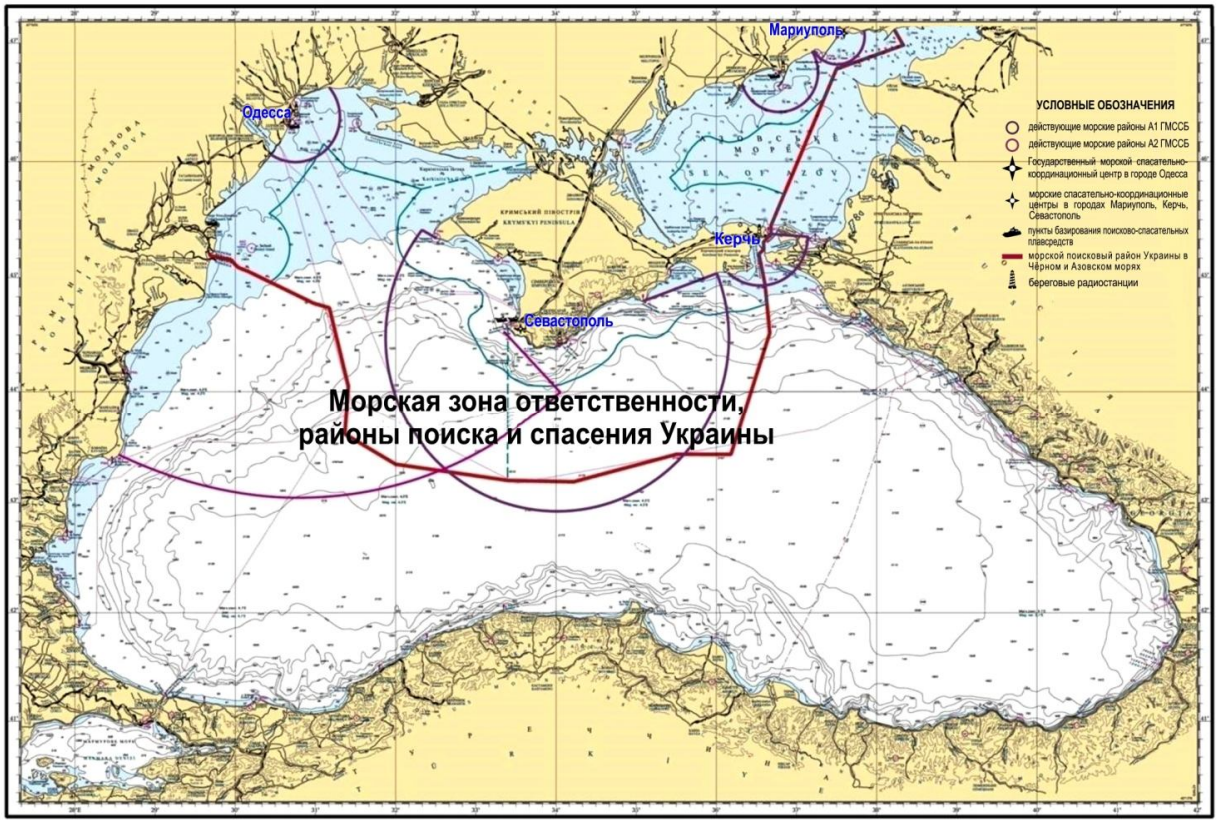


Рисунок 1 – Морская зона ответственности, районы поиска и спасения Украины

Для дальнейших исследований отметим, что структура это совокупность элементов системы и связей между ними. Модель структуры должна отображать отношения элементов, как между собой, так и с внешней средой. Общая задача структурного анализа – исходя из заданного описания элементов, получить некое представление о свойствах системы в целом и о свойствах подсистем.

Целью данной статьи является введение графа мобильных связей, позволяющего дать наглядную информацию о структуре морской поисково-спасательной системы в зоне ответственности Украины.

Анализ возможных вариантов структуры морской поисково-спасательной системы показывает, что в его облике должны просматриваться структурные построения,

позволяющие решать широкий круг задач с заданными показателями эффективности и качества.

Для достижения цели в статье была поставлена **задача** – использовать методы теории графов для исследования устойчивости мобильных связей между элементами структуры морской поисково-спасательной системы в различных условиях ее функционирования.

Функциональные свойства различных вариантов ее построения описываются с помощью введения числовых функций на графе. На сегодняшний день теория графов получила статус весьма актуальной отрасли науки.

Изложение основного материала. Морские спасательно-координационные сети относятся к классу топологических связанных объектов (топология оперирует своими объектами, которые несут информацию о их взаимной связи друг с другом, и устанавливает между ними соотношения), поэтому их работоспособность во многом определяется структурными особенностями.

Структурный анализ позволяет выявить определенные особенности, их слабые и сильные стороны.

Известно, что любую структуру в данном случае СКЦ можно представить графами (граф, от греческого $\gamma\rho\alpha\varphi\omega$ – пишу) и тем самым исследовать их структурные свойства.

Граф – это наглядная информация о составе и структуре системы, представленная в графической форме [3, 4].

Граф состоит из обозначений элементов системы, называемых вершинами $-n$, и обозначений связей между ними, называемых ребрами – m, которые изображены линиями. Если узлы графа не нумерованы, то ребра являются неориентированными. У графа с нумерованными узлами ребра ориентированы. Множество ориентированных ребер составляет ориентированный граф.

Наибольшей популярностью теоретико-графовые модели используются при исследовании систем сетевой структуры.

Для использования методов теории графов для данной структуры вводится понятие графа мобильных связей, характеризующего вероятностные характеристики устойчивости мобильных связей между элементами структуры поисково-спасательной системы в различных условиях его функционирования.

Существующие СКЦ рассматривается как вершины, а связи между ними при выполнении поисково-спасательных работ – как ребра. Применение различных вычислений, производимых на таком графе, позволяет спланировать оптимальный маршрут.

Существует ряд способов задания графов. Для решения конкретной задачи можно выбрать тот или иной способ, в зависимости от удобства его применения.

Одной из важнейших характеристик графа мобильных связей является его связность.

Связность структуры это количественная характеристика, которая позволяет выявить наличие обрывов в структуре.

Если для любых двух вершин графа существует хотя бы один соединяющий их путь – граф называется связным. Связность может быть не только качественной характеристикой графа (связный/несвязный), но и количественной.

Количественная связность характеризует количество связей между вершинами графа (связный граф – это граф, в котором между любыми двумя вершинами есть путь). Если полный граф (простой граф, в котором каждая пара различных вершин смежна) имеет всего вершин n штук, каждая соединена с $n-1$ вершиной – получаем произведение $n(n-1)$, но мы считаем каждое ребро два раза, значит, надо произведение разделить на два, и тогда получим искомую формулу для нахождения количества ребер: $\frac{n(n-1)}{2}$.



Следовательно, полный граф с n вершинами имеет $\frac{n(n-1)}{2}$ ребер и обозначается K_n (граф называется K – связным, если каждая его вершина связана с K других вершин. Это утверждение известно из курса школьной физики как правило Кирхгофа применяемого для решения систем линейных уравнений, описывающих работу электрических цепей).

Для неориентированного графа с n вершинами минимальное число связей в структуре не может превышать числа $\frac{n(n-1)}{2}$. Для ориентированного графа число связей не может быть меньше $n-1$, иначе какие-то вершины окажутся изолированными от остальных вершин графа.

Для определения числа связей в графе используется матрица связности [5]. Эта характеристика графа важна для оценки устойчивости функционирования системы.

Для неориентированных графов связность всех элементов в структуре соответствует выполнению условия:

$$\frac{1}{2}\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} a_{ij}\right] \geq n-1, \text{ при } i \neq j. \qquad (1)$$

В соотношении (1) a_{ij} – элементы матрицы смежности вершин графа. Правая часть (1) определяет необходимое минимальное число связей в структуре неориентированного графа, содержащего n вершин. Коэффициент $\frac{1}{2}$ берется в силу того, что одна и та же связь a_i и a_j учитывается дважды.

Соотношение (1) можно переписать в виде

$$\frac{1}{2}\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} a_{ij}\right] = m,$$

т.е. это не что иное, как число ребер в неориентированном графе.

Другой важной характеристикой графа мобильных связей является его структурная избыточность [6]. Структурный параметр, отражающий превышение общего числа связей над минимально необходимым, будем называть структурной избыточностью R Данная характеристика используется для косвенной оценки экономичности и надежности системы. Введение избыточности увеличивает надежность системы за счет повышения безотказности. Принято, что система с большей структурной избыточностью R потенциально более надежна, однако в ряде случаев она должна быть приближена к минимальной $R = 0$ (в целях повышения оперативности и экономичности).

Структурная избыточность определяется наличием работы при морском поиске и спасения дополнительной службы (при отказе одной из них ее функции выполняет другая служба), которая не востребована при нормальной работе.

Разделим в соотношении (1) все члены на $n-1$ и разность обозначим через R.

Тогда получим

$$R = \frac{1}{2}\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} a_{ij}\right]\frac{1}{n-1} - 1, \qquad (2)$$

$$R = \frac{m}{n-1} - 1, \qquad (3)$$

где R – структурная избыточность, m – число ребер в неориентированном графе, n – число вершин.

Недоиспользованные возможности заданной структуры, имеющей m ребер и n вершин, в достижении максимальной связности характеризует показатель ε^2, учитывающий неравномерность связей.

Равномерное распределение связей в структуре неориентированного графа имеющего, m ребер и n вершин, характеризуется средней степенью всех вершин графа $\rho_{ср} = 2\frac{m}{n}$ (в этой формуле множитель 2 появляется потому, что каждое ребро соединяет 2 вершины, и поэтому считается дважды). Обозначим действительную степень i-й вершины графа (число ребер, связанных с этой вершиной) через ρ_i. Тогда введя понятие отклонения $(\rho_i - \rho_{ср})$ можно определить квадратичное отклонение заданного распределения степеней вершины от равномерного. В результате чего, неравномерность связей ε^2 в графе мобильных связей может быть охарактеризована выражением

$$\varepsilon^2 = \sum_{i=1}^{i=n} (\rho_i - \rho_{ср})^2 . \qquad (4)$$

Для количественной оценки структурной компактности вводится параметр, отражающий близость элементов между собой, т.е. структурная компактность Q, отражает близость вершин α_i и α_j графа между собой. Близость 2-х элементов i и j определяется через минимальную длину пути для ориентированного графа (цепи – для неориентированного) – d_{ij}. Тогда сумма всех минимальных путей (цепей) между всеми элементами отражает общую структурную близость элементов в анализируемой структуре. В соответствии с определением, будем иметь:

$$Q = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} d_{ij} \text{, при } i \neq j \qquad (5)$$

Более наглядной характеристикой структурной компактности графа мобильных связей может служить его относительная компактность $Q_{\text{отн}}$, определяемая как

$$Q_{\text{отн}} = \frac{Q}{Q_{\text{пг}}} - 1, \qquad (6)$$

где $Q_{\text{пг}} = n(n-1)$ представляет собой число связей в структуре полного графа (пг).

Еще проще структурную компактность можно характеризовать и другим параметром – диаметром структуры:

$$d = \max_{i,j} d_{ij} . \qquad (7)$$

Учитывая преобладающий информационный характер связей в технологических сетях, можно сказать, что величина $Q_{\text{отн}}$ и d интегрально оценивают инерционность информационных процессов в системе, а при равных значениях ε^2 и R их возрастание отражает увеличение числа разделяющих связей в структуре, характеризуя тем самым снижение общей надежности.

Еще одной важной характеристикой для оценки степени централизации в структуре используется понятие индекса центральности δ:

$$\delta = (n-1)(2z_{\max} - n)\frac{1}{z_{\max}(n-2)}, \qquad (8)$$

где

$$z_{\max} = \max \frac{Q}{2d_i}, \qquad (9)$$

где d_i – сумма элементов строки с номером i.

Степень централизации характеризует концентрацию всех вершин графа относительно одной из них (центра).

Задача системного анализа – нахождение простого в сложном.

Для практического применения системного анализа следует применять все свойства систем, т.к. любая система, какой бы сложной она не казалась на первый взгляд, оказывается составленной из элементарных структур, образующих подсистемы. Пользуясь свойствами систем, можно систему любой структуры свести к этим элементарным структурам.

Наиболее характерными системами со структурами графов мобильных связей можно считать:

- систему с последовательно расположенными элементами (так называемые линейные (последовательные) структуры);
- систему с кольцевой структурой;
- систему с радиальной структурой;
- систему со структурой «полный граф»;

Вместе с тем представляется, что знание структуры является важным, но недостаточным аспектом проблемы построения систем. Как уже отмечалось, необходимо получить ответ о том, какая структура лучше или хуже, причем это нужно сделать при помощи количественных параметров и критериев.

Рассмотрим некоторые свойства данных структур на примере графа связей для четырех территориально рассредоточенных объектов – морских спасательно-координационный центров (подцентров) (СКЦ) на Черном и Азовском морях в зоне ответственности Украины с использованием рекомендаций, приведенных в [7].

Для четырех объектов рассмотрим разные структуры графов мобильных связей.

Линейную (последовательную) структуру представим на рис. 2.

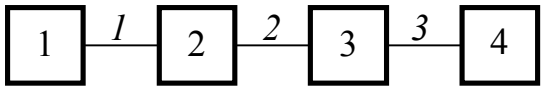


Рисунок 2 – Линейная структура

На рис. 2 представлена элементарная структура, т.е. графическое представление графа. Данный способ представления отношений между элементами наиболее нагляден, однако он не может быть использован при решении задач структурного анализа. Поэтому графическое представление чаще всего дополняется матричным способом, и матрицы, полученные на основе анализа ребер, называют матрицами смежности вершин, т.е. вершины, соединенные ребром, называются смежными, ребра, имеющие общую вершину, также называются смежными.

Всякий граф можно задать матрицей смежности.

Матрица смежности графа – это матрица, значения элементов которой характеризуются смежностью вершин графа. При этом значению элемента матрицы присваивается количество ребер, которые соединяют соответствующие вершины (т.е. которые инцидентны обоим вершинам). Две вершины смежные, если они соединены ребром и не смежные, если не соединены ребром.

Матрица смежности однозначно определяет структуру графа.

Пусть имеем граф G. Его матрицей смежности есть квадратная матрица $A[i, j]$.

$$A = A[i, j] = \begin{cases} 1, \text{вершина с номером } i \text{ смежна с вершиной с номером } j \\ 0, \text{вершина с номером } i \text{ не смежна с вершиной с номером } j \end{cases}$$

Для неориентированного графа матрица смежности является симметрической. Для ориентированного графа матрица смежности симметрической, вообще говоря, не является.

Исходя из вышесказанного линейной структуре графа соответствует следующая матрица смежности.

$$A = \left\| \begin{matrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{matrix} \right\| \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 2 \\ 1 \end{matrix}.$$

Структурную избыточность определим согласно (3), получим:

$$R = \frac{m}{n-1} - 1 = \frac{3}{4-1} - 1 = 0.$$

В данной линейной структуре m – число ребер в неориентированном графе – 3, а n – число вершин – 4.

Средняя степень всех вершин графа:

$$\rho_{\text{ср}} = 2\frac{m}{n} = 2\frac{3}{4} = 1{,}5.$$

По (4) определим показатель ε^2 с учетом рис. 2, т.е. из рис. 2 видно, что $\rho_1 = 1$, $\rho_2 = \rho_3 = 2$, $\rho_4 = 1$:

$$\varepsilon^2 = \sum_{i=1}^{n} (\rho_i - \rho_{\text{ср}})^2 = (\rho_1 - 1{,}5)^2 + (\rho_2 - 1{,}5)^2 + (\rho_3 - 1{,}5)^2 + (\rho_4 - 1{,}5)^2 = (1-1{,}5)^2 + (2-1{,}5)^2 +$$

$$+ (2-1{,}5)^2 + (1-1{,}5)^2 = 2(1-1{,}5)^2 + 2(2-1{,}5)^2 = 2(-0{,}5)^2 + 2(0{,}5)^2 = 2 \cdot 0{,}25 + 2 \cdot 0{,}25 =$$

$$= 0{,}5 + 0{,}5 = 1.$$

Матрица расстояний $\left\| d_{ij} \right\|$. d_{ij} – это число ребер (минимальное), через которые нужно пройти, чтобы попасть из вершины с номером i в вершину с номером j. Например: $d_{12} = 1$, $d_{13} = 2$, $d_{14} = 3$. Расстояние $d_{ii} = 0$.

Запишем матрицу расстояний для последовательной структуры (линейного графа):

$$\left\| d_{ij} \right\| = \left\| \begin{matrix} 0 & 1 & 2 & 3 \\ 1 & 0 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 0 & 1 \\ 3 & 2 & 1 & 0 \end{matrix} \right\| \begin{matrix} 6 \\ 4 \\ 4 \\ 6 \end{matrix},$$

где $d_i = \sum_{j=1}^{j=n} d_{ij}$.

Тогда структурная компактность (5) неориентированного графа линейной структуры:

$Q = 2\sum_{i=1}^{i=n}\sum_{j=1}^{j=m} d_{ij} = 20$ – сумма всех элементов матрицы расстояний равна 20.

Число связей в структуре полного графа $Q_{\text{пг}} = n(n-1) = 4(4-1) = 12$.

Относительная компактность (6) графа линейной структуры:

$$Q_{отн} = \frac{Q}{Q_{\text{пг}}} - 1 = \frac{20}{12} - 1 = 1{,}666 - 1 = 0{,}67.$$

Диаметр графа (7) линейной структуры, максимальное расстояние между вершинами

$$d = \max d_{ij} = 3 .$$

По (9) $z_{\max} = \max \frac{Q}{2d_i}$. $\max \frac{Q}{2d_i}$ получается, когда d_i минимальное.

Минимальным является сумма элементов 3-ей строки матрицы расстояний, поэтому $d_3 = 6$.

Тогда $z_{\max} = \frac{Q}{2d_i} = \frac{20}{2 \cdot 4} = \frac{10}{3} = 2{,}5$.

Степень централизации (8) графа линейной структуры

$$\delta = (n-1)(2z_{\max} - n)\frac{1}{z_{\max}(n-2)} = 3(5-4)\frac{1}{2{,}5 \cdot 2} = 0{,}6 .$$

Структурная избыточность (3): $R = m \cdot \frac{1}{n-1} - 1 = 3 \cdot \frac{1}{3} - 1 = 0$.

Рассмотрим кольцевую структуру, которая представлена на рис. 3.

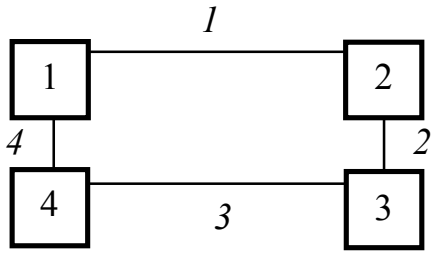


Рисунок 3 – Кольцевая структура

Для этой структуры матрица смежности имеет вид:

$$A = \begin{Vmatrix} 0101 \\ 1010 \\ 0101 \\ 1010 \end{Vmatrix} \begin{matrix} 2 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \end{matrix}$$

Тогда структурная избыточность

$$R = \frac{1}{2}\left[\sum_{i=1}^{i=n}\sum_{j=1}^{j=m} q_{ij}\right]\frac{1}{n-1} - 1 = \frac{8}{2 \cdot (4-1)} - 1 = 0{,}33 .$$

Средняя степень всех вершин графа

$$\rho_{\text{ср}} = 2\frac{m}{n} = 2\frac{4}{3} = 2{,}66 .$$

По (4) определим показатель ε^2. $\rho_i = 2$ – для любой вершины. $\rho_{cp} = 2$.

$$\varepsilon^2 = \sum_{i=1}^{n}(\rho_i - \rho_{\text{ср}})^2 = \sum_{i=1}^{n}(2-2)^2 = \sum_{i=1}^{n} 0 = 0 .$$

Матрица расстояний для графа кольцевой структуры имеет следующий вид:

$$\left\| d_{ij} \right\| = \begin{Vmatrix} 0 & 1 & 2 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 2 \\ 2 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 2 & 1 & 0 \end{Vmatrix} \begin{matrix} 4 \\ 4 \\ 4 \\ 4 \end{matrix}.$$

Относительная компактность (6) графа кольцевой структуры:

$$Q_{отн} = \frac{Q}{Q_{\text{пг}}} - 1 = \frac{16}{12} - 1 = 1{,}33 - 1 = 0{,}33 .$$

Диаметр графа (7) кольцевой структуры, максимальное расстояние между вершинами $d = \max d_{ij} = 2$.

По (9) $z_{\max} = \max \frac{Q}{2d_i}$. $\max \frac{Q}{2d_i}$ получается, когда d_i минимальное.

Минимальным является $d_i = 6$.

Тогда $z_{\max} = \frac{Q}{2d_i} = \frac{16}{2 \cdot 4} = \frac{16}{8} = 2.$

Степень централизации (8) графа кольцевой структуры

$$\delta = (n-1)(2z_{\max} - n)\frac{1}{z_{\max}(n-2)} = 3(2 \cdot 2 - 4)\frac{1}{2 \cdot 2} = 0.$$

Рассмотрим радиальную структуру, которая представлена на рис. 4.

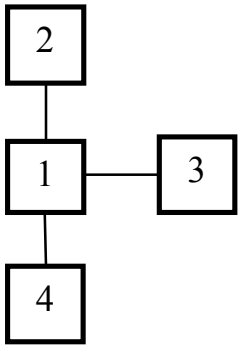


Рисунок 4 – Радиальная структура

Для этой структуры матрица смежности имеет вид:

$$A = \begin{Vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{Vmatrix} \begin{matrix} 3 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{matrix}$$

Тогда структурная избыточность

$$R = \frac{1}{2}\left[\sum_{i=1}^{i=n}\sum_{j=1}^{j=m} q_{ij}\right]\frac{1}{n-1} - 1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{6}{3} - 1 = 0 .$$

По (4) определим показатель ε^2, $\rho_1 = 3$, $\rho_2 = \rho_3 = \rho_4 = 1$.

$$\rho_{ср} = \frac{3+1+1+1}{4} = 1{,}5 .$$

$$\varepsilon^2 = \sum_{i=1}^{n}(\rho_i - \rho_{\text{ср}})^2 = (3-1{,}5)^2 + (1-1{,}5)^2 - 3 = (1{,}5)^2 + (-0{,}5)^2 \cdot 3 = 2{,}25 + 3 \cdot 0{,}25 = 3.$$

Матрица расстояний для графа радиальной структуры имеет следующий вид:

$$\left\| d_{ij} \right\| = \begin{Vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 2 & 2 \\ 1 & 2 & 0 & 2 \\ 1 & 2 & 2 & 0 \end{Vmatrix} \begin{matrix} 3 \\ 5 \\ 5 \\ 5 \end{matrix}$$

Диаметр графа (7) радиальной структуры, максимальное расстояние между вершинами $d = \max d_{ij} = 2$, d_i минимальное $= 3$.

По (9) $z_{\max} = \max \dfrac{Q}{2d_i} = \dfrac{18}{6} = 3$.

Относительная компактность (6) графа радиальной структуры:

$$Q_{отн} = \frac{Q}{Q_{\text{пг}}} - 1 = \frac{18}{12} - 1 = 1{,}5 - 1 = 0{,}5.$$

Степень централизации (8) графа радиальной структуры

$$\delta = (n-1)(2z_{\max} - n)\frac{1}{z_{\max}(n-2)} = 3(2 \cdot 3 - 4)\frac{1}{3 \cdot 2} = 3 \cdot 2 \cdot \frac{1}{6} = 1.$$

Рассмотрим структуру «полный граф», которая представлена на рис. 5.

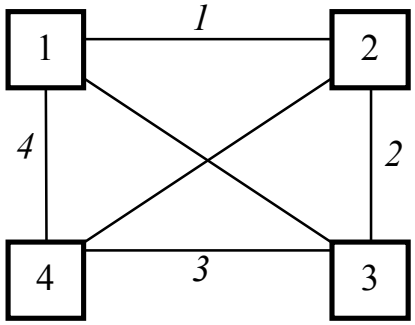


Рисунок 5 – Структура «полный граф»

Для данной структуры матрица смежности имеет вид:

$$A = \begin{Vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{Vmatrix} \begin{matrix} 3 \\ 3 \\ 3 \\ 3 \end{matrix},$$

Тогда структурная избыточность

$$R = \frac{1}{2}\left[\sum_{i=1}^{i=n}\sum_{j=1}^{j=m} q_{ij}\right]\frac{1}{n-1} - 1 = \frac{1}{2} \cdot 12 \cdot \frac{1}{3} - 1 = 2 - 1 = 1.$$

По (4) определим показатель ε^2, $\rho_i = 3$, $\rho_{cp} = 3$.

$$\varepsilon^2 = \sum_{i=1}^{n}(\rho_i - \rho_{\text{ср}})^2 = \sum_{i=1}^{n}(3-3)^2 = \sum_{i=1}^{n} 0 = 0.$$

Матрица расстояний для графа структуры «полный граф» имеет следующий вид:

$$\left\| d_{ij} \right\| = \begin{Vmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 0 \end{Vmatrix} \begin{matrix} 3 \\ 3 \\ 3 \\ 3 \end{matrix}.$$

Диаметр графа (7) радиальной структуры $d = 1$.

По (9) $z_{\max} = \max \dfrac{Q}{2d_i} = \dfrac{12}{6} = 2$.

Относительная компактность (6) графа радиальной структуры:

$$Q_{отн} = \frac{Q}{Q_{\text{пг}}} - 1 = \frac{12}{12} - 1 = 0.$$

Степень централизации (8) графа радиальной структуры

$$\delta = (n-1)(2z_{\max} - n)\frac{1}{z_{\max}(n-2)} = (4-1)(2 \cdot 2 - 4)\frac{1}{2 \cdot 2} = 0.$$

Представим в табл. 1 структурно-топологические характеристики графа мобильных связей. Параметры этой таблицы для разных структур вычислялись по приведенным выше формулам.

Таблица 1 – Структурно-топологические характеристики графов мобильных связей

Структура	***Характеристики***				
	R	ε^2	$Q_{отн}$	d	δ
Линейная	0	1	0,67	3	0,6
Кольцевая	0,33	0	0,33	2	0
Радиальная	0	3	0,5	2	1,0
«Полный граф»	1	0	0	1	0

Анализ табл. 1 показывает [8], что:

– структурная избыточность R наименьшая (равна 0) для линейной, радиальной и $R > 0$ для кольцевой структуры, структуры типа «полный граф», а это, как принято, означает, что система с малой R менее надежна, однако в ряде случаев она должна быть приближена к минимальной $R = 0$ (в целях повышения оперативности и экономичности);

– наименьшую неравномерность $\varepsilon^2 = 0$ имеют структуры кольцевая, структуры типа «полный граф», для остальных структур наблюдается значительная неравномерность связей, $\varepsilon^2 > 0$;

– наибольшую «близость» (наибольшую компактность) $Q_{отн}$ имеет структура типа «полный граф», напротив линейная структура наименее компактна, поскольку величина относительной компактности $Q_{\text{отн}}$ значительна;

– кольцевая и радиальная структуры, имеющие одинаковое значение $d = 2$ незначительно различаются компактностью $Q_{отн}$;

Дополнительно можно увидеть, что магистральная структура по своим характеристикам эквивалентна структуре типа «полный граф».

В качестве числовых функций на графах используются показатели интенсивности связей, характеризующие интенсивность выполнения поисково-спасательных работ между основными элементами структуры системы в различных режимах его функционирования.

Вывод. Рассмотренное в работе понятие графа мобильных связей координационного центра поиска и спасения на море в зоне действия Украины, позволило дать наглядную информацию о составе и структуре системы, показать вероятностные структурно-топологические характеристики графов мобильных связей между элементами

структуры в различных условиях его функционирования. Это дает возможность решать широкий круг задач системы поиска и спасения с заданными показателями эффективности и качества. Используя различные структуры графов, получили структурно-топологические характеристики графа мобильных связей, что дало возможность провести полный анализ устойчивости мобильных связей между элементами структуры системы в различных условиях его функционирования.

Полученные результаты исследований будут способствовать совершенствованию национальной морской системы поиска и спасания.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по международному авиационному и морскому поиску и спасению (IAMSAR). – Т. 1. – Лондон/Монреаль : ИМО/ИКАО, 2007.

2. Международные конвенции и документы IMO : UNCLOS'82 (Конвенция ООН по морскому праву), статья 98.

3. Сигорский В. П. Специальный математический аппарат инженера / В. П. Сигорский. – К. : Техника, 1977. – 768 с.

4. Берж К. Теория графов и ее применение / К. Берж. – М. : Изд-во иностр. лит., 1962. – 320 с.

5. Теория сетей связи / [В. Н. Ропинский, А. Д. Харкевич, М. А. Шнепс, Г. Б. Давыдов, А. Я. Толчан] ; под ред. В. Н. Ропинского. – М. : Радио и Связь, 1981. – 192 с.

6. Малышев Н. Г. Структурно-автоматные модели технических систем / Н. Г. Малышев. – М. : Радио и связь, 1986. – 166 с.

7. Ларин А. А. Теоретические основы управления. Ч. 1. Процессы, системы и средства управления / А. А. Ларин. – М. : РВСН, 2003. – 230 с.

8. Вирт Н. Алгоритмы+структуры данных = программы / Н. Вирт. – М. : Мир, 1985. – М. : Мир, 1989. – 360 с.

Годованюк С.П., Селіванов С.Є. ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОРСЬКОЇ ПОШУКОВО-РЯТУВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ В ЗОНІ ВІДПОВІДАЛЬНОСТІ УКРАЇНИ

В Україні створена система морського пошуку й рятування (SAR). Система SAR, як будь-яка інша система, складається з окремих компонентів (структур), які повинні функціонувати у взаємодії з метою забезпечення системи в цілому. Такими структурами є координаційний центр (підцентри) пошуку й рятування (RCC) з відповідним районом пошуку й рятування (SRR). Для даної системи в роботі вводиться поняття графа мобільних зв'язків, що дозволяє дати наочну інформацію про склад і структуру системи, показати ймовірнісні структурно-топологічні характеристики графів мобільних зв'язків між елементами структури в різних умовах його функціонування, що дає можливість вирішувати широке коло завдань системи пошуку й порятунку із заданими показниками ефективності та якості.

Ключові слова: система морського пошуку й рятування, структура, мобільні зв'язки, граф, характеристики графа.

Godovanyk S.P., Selivanov S.E. RESEARCHES of STRUCTURAL PROPERTIES the SEA SEARCH AND RESCUE SYSTEM IN THE ZONE OF RESPONSIBILITY OF UKRAINE

In Ukraine the system of sea search and rescuing (SAR) is created. System SAR as any other system, consists of separate components (structures) which should function in interaction with a view of system maintenance as a whole. Such structures are the coordination centre search and rescuing (RCC) with corresponding area of search and rescuing (SRR). For the given system in work the concept of the count of the mobile communication

is entered, allowing to give the evident information on structure and system structure, to show likelihood structurally-topological characteristics of counts of a mobile communication between structure elements in various conditions of its functioning that gives the chance to solve a wide range of problems of system of search and rescue with the set indicators of efficiency and quality.

Keywords: system of sea search and rescuing, structure, a mobile communication, the count, characteristics of the count.

Статтю прийнято
до редакції 13.06.14.

УДК 613.6.027; 613.064

ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ НА ТРЕНАЖЕРНОМ СИМУЛЯТОРЕ

Евдокимова В.А., Короленко А.В., Товстокорый О.Н., Борисенко Е.И.
Херсонская государственная морская академия

В статье представлены данные измерения электромагнитного излучения, создаваемого видеодисплейными терминалами в рабочей зоне оператора при работе на тренажере по грузовым операциям с крупногабаритными грузами (Heavy Lift simulator). Целью данной работы являлась гигиеническая оценка электромагнитного воздействия на оператора при работе на тренажере Heavy Lift simulator. В работе проведено измерение параметров электрического и магнитного полей ЖК-дисплеев на рабочем месте оператора, а также по всему периметру помещения, в котором происходит обучение. Для проведения измерений использовался профессиональный прибор, соответствующий 1-му классу точности, отвечающий всем требованиям последних нормативных документов в области электромагнитной безопасности видеодисплейных терминалов – трехкомпонентный ВЕ-метр-АТ-003. Измерения параметров электрического и магнитного полей ВДТ проводились согласно требованиям стандарта на эргономичность и безопасность электронного оборудования, разработанного Шведской конфедерацией профсоюзов, ТСО-2012. В работе представлена полученная план-карта точек измерения параметров электрического и магнитного полей в помещении, в котором работает оператор тренажерного симулятора. Согласно проведенных измерений, в рабочей зоне оператора не наблюдается превышение допустимых уровней напряженности магнитного и электрического полей, что свидетельствует о возможности безопасного использования тренажеров в образовательном процессе.

Ключевые слова: напряженность магнитного поля, напряженность электромагнитного поля, трехкомпонентный измеритель, тренажерный симулятор.

Введение. Труд судоводителя относится к категории тяжелых. На вахте он занят по 8–12 ч в сутки, которые проходят в большом напряжении, при этом штурман является не только оператором, сидящим у прибора, одновременно, он активно участвует в управлении судном, в его коммерческой деятельности, в вопросах безопасности. И так ежедневно от вахты к вахте, в течение многих месяцев, в условиях ограниченного судном жизненного пространства, однообразия лиц и событий, приводящих человека в состояние общей усталости. Потому человек, выбравший себе профессию судоводителя, должен ставить задачу перед самим собой стать компетентным высококвалифицированным специалистом, который не скажет «Это не входит в мои обязанности, это не мое дело», а будет нести ответственность за безопасность судна и экипажа.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими заданиями. Сегодня, одной из серьезнейших проблем судоходства, стало появление на капитанском мостике людей малообразованных, некомпетентных и недисциплинированных. Статистика ужасает: по данным страховых обществ, в области морского транспорта ошибки людей соотносятся с другими причинами аварии не менее как 5:1, основная доля всей аварийности флота приходится на человеческий фактор. Это вывод подтверждается анализом аварийности флота с 2006–2010 гг. по данным английского Ллойд Регистра (табл. 1) [1].

Таблица 1 – Анализ аварийности флота с 2006–2010 г.г.

	2006	***2007***	***2008***	***2009***	***2010***
Суда валовой вместимостью от 500 и выше	88	91	80	98	119
Судна валовой вместимостью от 100 до 499	32	44	55	44	53
Суда валовой вместимостью от 100 и ниже	120	135	135	142	172
Процент потерь (все суда)	1,3	1,4	1,4	1,4	1,7

С теоретической точки зрения подход к решению подобных задач, связывающих безопасность и надежность эксплуатации объекта с человеческим фактором и его роль в формировании выходного контролируемого критерия была проведена в работе [2].

Анализ последних исследований и публикаций и выделение нерешенных задач проблемы. Одним из выходов в сложившейся ситуации является материально-техническое оснащение лабораторий, учебных судов и установка хороших тренажеров в морских вузах. По мнению социологов и психологов в процессе обучения у специалистов остается 10 % того, что он слышит, половина того, что он видит и 90 % того, что он делает 90 % – это КПД тренажеров. В этом просматриваются стратегии подготовки судового экипажа с целью обеспечения безопасности мореплавания [3]. Сегодня уже никто не оспаривает значимость тренажеров в процессе профессиональной подготовке. Компьютеризированные тренажеры-симуляторы существуют на протяжении многих лет и широко используются во многих отраслях промышленности. Например, пилоты коммерческих авиалиний должны отработать на тренажере определенное количество часов прежде, чем они сядут за штурвал настоящего самолета. Тренажеры используются и операторами подъемных кранов. Со временем в условиях научно-технического прогресса была увеличена функциональность компьютеризированных тренажеров-симуляторов при уменьшении соответствующей затратной части. Преимущества работы на тренажерах-симуляторах наиболее очевидны, если оборудование является: сложным; эксплуатационно небезопасным; по какой-то причине недоступным для обучения; требующим высоких затрат при эксплуатации [4]. Однако нерешенным остается вопрос оценки воздействия электромагнитного излучения от видео-дисплейных терминалов (ВДТ) жидко-кристаллических (ЖК) мониторов высоко-компьютеризированных тренажерных симуляторов.

Формулировка целей статьи. Целью данной работы является гигиеническая оценка электромагнитного воздействия на оператора при работе на тренажере по грузовым операциям с крупногабаритными грузами (Heavy Lift simulator).

Изложение материалов исследования. Специализированные тренажеры-симуляторы подъемных кранов предполагают наличие отдельного компьютера со специализированным программным обеспечением – рабочей станции инструктора. Тренажер обслуживается 19 компьютерами (рис. 1.).



Рисунок 1 – Рабочее место оператора на тренажерном симуляторе

Программа предусматривает возможность двух типов погрузки. Первый тип – это единичные грузы, такие как контейнеры, металл в рулонах, металлопрокат и др. Эта операция проводится одним крановщиком под контролем руководителя курсов. Во втором типе тренажерной подготовки отрабатывается погрузка тяжеловесных грузов одним и двумя кранами. График работы оператора на тренажерном симуляторе, как правило, составляет обычный 8-ми часовой рабочий день, с перерывом на обед, в течение трех

дней. Представляет интерес оценить безопасность для здоровья оператора вредного воздействия электромагнитного излучения от ЖК-дисплеев.

ЖК-дисплеи формируют изображение методом, принципиально отличающимся от дисплеев с электронно-лучевой трубкой, потому проблем рентгеновского излучения и статического заряда на поверхности экрана у них просто не существует. Опасность представляет электромагнитное излучение и поля низких радиочастот: средние частоты, низкие частоты, очень низкие частоты.

ЭМП имеет электрическую (Е) и магнитную (В или Н) составляющую, причем взаимосвязь их достаточно сложна. Конструкция дисплея включает в себя много источников переменных электрических полей, влияние которых убывает с расстоянием. При протекании переменного тока по проводнику создаётся переменное магнитное поле. Как и вся электрическая аппаратура, дисплеи окружены магнитными полями, создаваемыми различными элементами их конструкции.

В работе проведено измерение параметров электрического и магнитного полей ЖК-дисплеев на рабочем месте оператора, а также по всему периметру помещения, в котором происходит обучение. Для проведения измерений использовался профессиональный прибор, соответствующий 1-му классу точности, отвечающий всем требованиям последних нормативных документов в области электромагнитной безопасности видеодисплейных терминалов – трехкомпонентный ВЕ-метр-АТ-003.

Прибор позволяет проводить измерения среднеквадратических значений напряженности электрического поля и среднеквадратических значений напряженности магнитного поля в диапазоне измерений на частотах от 5 Гц-2 кГц; 50 Гц; 2 кГц-400 кГц. Прибор на момент проведения измерений имел действующее свидетельство о государственной поверке.

Измерения параметров электрического и магнитного полей ВДТ проводятся согласно требованиям стандарта на эргономичность и безопасность электронного оборудования, разработанного Шведской конфедерацией профсоюзов, ТСО-2012 [5].

Измерения уровней напряженности электрического и магнитного полей производились на расстоянии 50 см от экрана на трех уровнях, на высоте 0,5 м, 1,0 м и 1,5 м как показано на рис. 2.

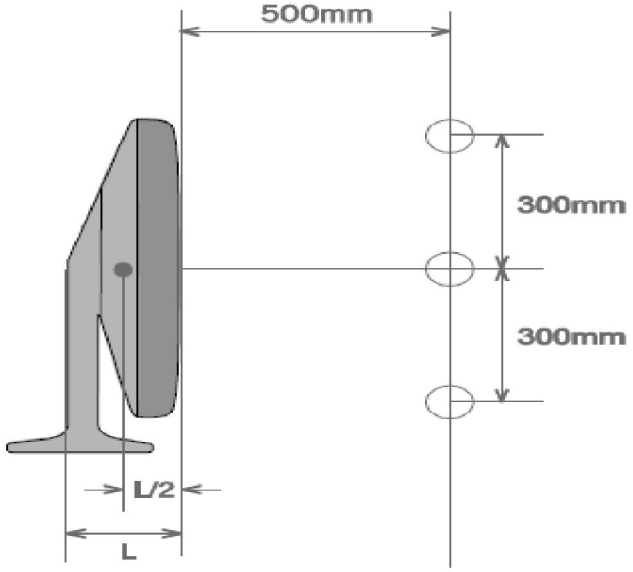


Рисунок 2 – Геометрия измерения ЭМИ видеодисплейных терминалов

Для оценки электромагнитного излучения ВДТ руководствовались требованиями стандарта ТСО-2012.

Таблица 2 – Предельно-допустимые уровни электромагнитного излучения ВДТ

Наименование параметров		***ПДУ удалении 30 см вокруг дисплея и 50 см перед дисплеем***
Напряженность электрического поля	в диапазоне 5 Гц – 2кГц	10 В/м
	в диапазоне 2кГц – 400кГц	1 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне 5 Гц – 2кГц	200 нТл
	в диапазоне 2кГц – 400кГц	25 нТл

План-карта точек измерения параметров электрического и магнитного полей в помещении, в котором работает оператор тренажерного симулятора, представлена на рис. 3.

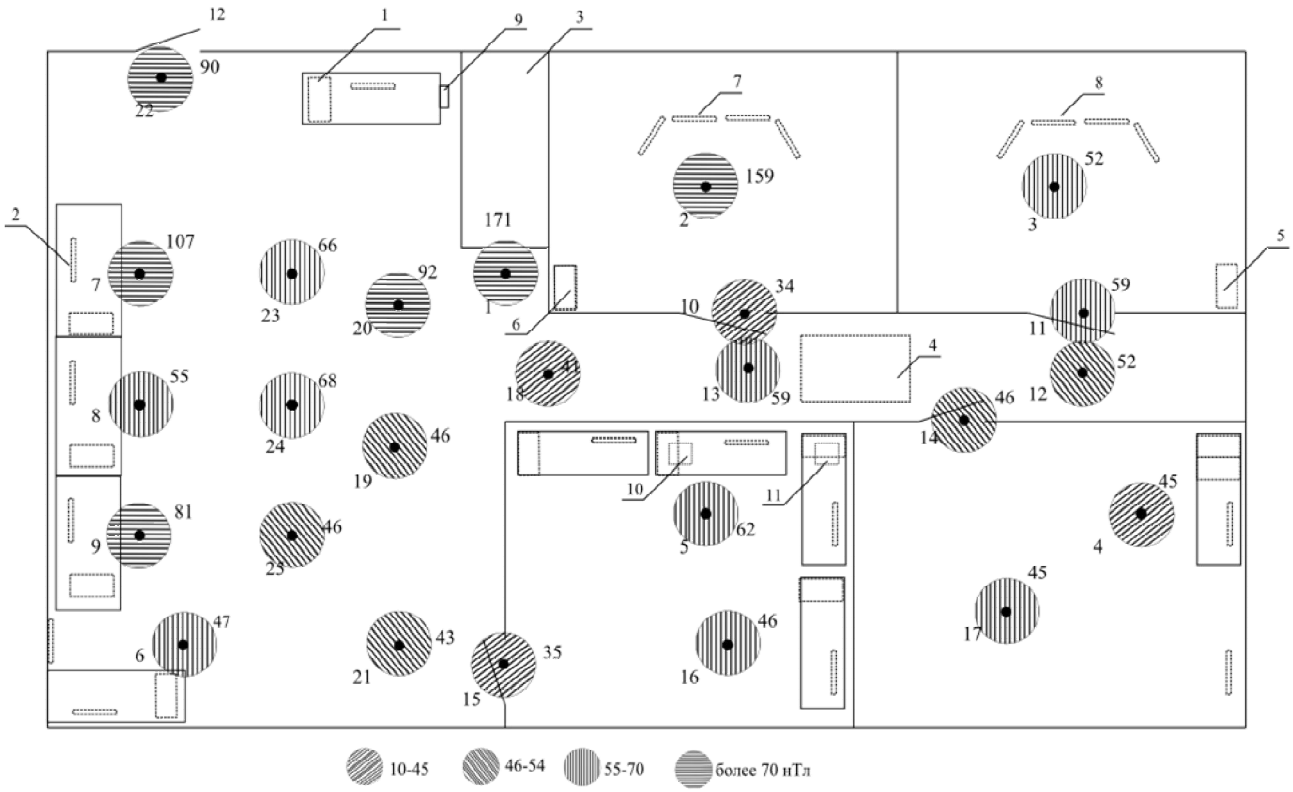


Рисунок 3 – План-карта точек измерения:
1 – системный блок компьютера; 2 – ЖК-дисплеи; 3 – бесперебойное питание; 4 – кондиционер; 5, 6 – стеллажи, в которых установлены семь системных блоков; 7, 8 – непосредственно ЖК-дисплеи тренажера; 9 – wi-fi свич; 10 – принтер; 11 – ламинатор; 12-точка wi-fi

Результаты полученных измерений и предельно допустимые уровни (ПДУ) представлены в табл. 3, где $B_{I\text{-}50}$, $E_{I\text{-}50}$ – индукция магнитного и напряженность электрического полей в частотном поддиапазоне от 5Гц – 2кГц; B_{II}, E_{II} – индукция магнитного и напряженность электрического полей в частотном поддиапазоне от 2кГц–400кГц.

Согласно полученным данным, электромагнитное воздействие на оператора при работе на тренажере не представляет опасности, так как ни один из показателей не превысил ПДУ электромагнитного излучения. Однако следует отметить о нерациональном размещении бесперебойного питания рядом с рабочим местом оператора в первой кабине, так как наблюдается повышенный фон магнитного поля, как показано на рис. 3 точка 2 в сравнении с другими точками измерения.

Таблица 3 – Результаты инструментальных измерений параметров электромагнитного поля в помещении тренажерного симулятора

Точки измерениия	***Измеряемые параметры***							
	B_{1-50}, нТл	***ПДУ, нТл***	***B_{II}, нТл***	***ПДУ, нТл***	***E_{1-50}, В/м***	***ПДУ, В/м***	***E_{II}, В/м***	***ПДУ, В/м***
1	171	200	4,28	25	1,875	10	0,375	1
2	159	200	12,4	25	1,596	10	0,396	1
3	52	200	14,9	25	0,887	10	0,387	1
4	45	200	3,44	25	1,278	10	0,378	1
5	62	200	1,99	25	1,485	10	0,385	1
6	47	200	1,91	25	2,079	10	0,379	1
7	107	200	2,58	25	0,787	10	0,387	1
8	55	200	2,44	25	2,479	10	0,379	1
9	81	200	2,1	25	2,891	10	0,391	1
10	34	200	8,11	25	2,238	10	0,38	1
11	59	200	2,83	25	1,879	10	0,379	1
12	52	200	1,94	25	2,079	10	0,379	1
13	59	200	2,13	25	1,379	10	0,379	1
14	46	200	1,87	25	1,978	10	0,378	1
15	35	200	1,84	25	4,98	10	0,38	1
16	46	200	1,85	25	2,379	10	0,379	1
17	45	200	1,97	25	1,279	10	0,379	1
18	41	200	1,91	25	3,079	10	0,379	1
19	46	200	1,84	25	4,676	10	0,376	1
20	92	200	2,08	25	1,678	10	0,378	1
21	43	200	1,84	25	2,279	10	0,379	1
22	90	200	2,48	25	1,578	10	0,378	1
23	66	200	1,9	25	4,478	10	0,378	1
24	68	200	1,79	25	1,078	10	0,378	1
25	46	200	1,8	25	5,378	10	0,378	1

Выводы. Дана гигиеническая оценка электромагнитного воздействия на оператора при работе на тренажере по грузовым операциям с крупногабаритными грузами (Heavy Lift simulator) с помощью электромагнитного Измерителя трехкомпонентного ВЕ-метра-АТ-003. Согласно проведенных измерений, в рабочей зоне оператора тренажерного симулятора не наблюдается превышение допустимых уровней напряженности магнитного и электрического полей, что свидетельствует о возможности безопасного использования тренажеров в образовательном процессе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. International Shipping Facts and Figures – Information Resources on Trade, Safety, Security, Environment / IMO 6 March 2012. – 47 c.

2. Goncharenko A. V. Some identities of subjective analysis derived on the basis of the subjective entropy extremization principle by professor V. A. Kasianov / A. V. Goncharenko // Automatic Control and Information Sciences. – 2014. – Vol. 2, No. 1. – P. 20-25.

3. Гончаренко А. В. Варіанти вибору стратегії підтримання безпеки функціонування транспортної системи / А. В. Гончаренко // Вісник НАУ. Сучасні авіаційні технології : науковий журнал. – К. : НАУ, 2009. – № 2 (39). – С. 30-35.

4. Шаталин О. Г. Методика создания тренажеров крановщиков для эксплуатации кранов в морских и речных портах : дис. канд. техн. наук : 05.22.19. / О. Г. Шаталин – М. : Прософт-М, 2005. – 120 с.

5. Стандарт на эргономичность и безопасность электронного оборудования, разработанный Шведской конфедерацией профсоюзов ТСО-2012.



Євдокимова В.А., Короленко О.В., Товстокорий О.М., Борисенко К.І. ГІГІЄНІЧНА ОЦІНКА ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ПІД ЧАС РОБОТИ НА ТРЕНАЖЕРНОМУ СИМУЛЯТОРІ

У статті представлені дані вимірювання електромагнітного випромінювання, що створюється відео-дисплейними терміналами в робочій зоні оператора під час роботи на тренажері по вантажних операціях з великогабаритними вантажами (Heavy Lift simulator). Метою даної роботи була гігієнічна оцінка електромагнітного впливу на оператора пі час роботи на тренажері Heavy Lift simulator. У роботі проведено вимірювання параметрів електричного і магнітного полів ЖК-дисплеїв на робочому місці оператора, а також по всьому периметру приміщення, в якому відбувається навчання. Для проведення вимірювань використовувався професійний прилад, який відповідає 1-му класу точності та всім вимогам останніх нормативних документів у галузі електромагнітної безпеки відео-дисплейних терміналів – трикомпонентний ВЕ-метр-АТ-003. Вимірювання параметрів електричного і магнітного полів ВДТ проводилися згідно вимогам стандарту на ергономічність і безпеки електронного обладнання, розробленого Шведської конфедерацією профспілок – ТСО-2012. У роботі представлена план-карта точок вимірювання параметрів електричного і магнітного полів у приміщенні, в якому працює оператор тренажерного симулятора. Згідно проведених вимірювань, у робочій зоні оператора не спостерігається перевищення допустимих рівнів напруженості магнітного й електричного полів, що свідчить про можливість безпечного використання тренажерів в освітньому процесі.

Ключові слова: напруженість магнітного поля, напруженість електромагнітного поля, трикомпонентний вимірювач, тренажерний симулятор.

Ievdokimova V.A., Korolenko A.V., Tovstokoriy O.N., Borisenko C.I. HYGIENIC EVALUATION OF ELECTROMAGNETIC RADIATION WHEN WORKING AT THE GYM SIMULATOR

In this paper measurements of the electromagnetic radiation produced by video display terminals in the work area of the operator when working on the simulator for cargo operations with bulky loads (Heavy Lift simulator) are made. The aim of this study was to hygienic evaluation of electromagnetic influence on the operator when working on the simulator Heavy Lift simulator. In the investigation, the parameters of the electric and magnetic fields of LCD displays on the operator, as well as around the perimeter of the room in which learning takes place. For measurements use a professional tool, the corresponding class 1 accuracy, meeting all requirements of the latest regulations in the field of electromagnetic safety video display terminals – a three-meter-BE-AT-003. Measuring the parameters of the electric and magnetic fields VDT conducted according to the requirements of ergonomics and safety electronic equipment developed by the Swedish Trade Union Confederation, TCO-2012. We present a plan-point map parameters measurement of electric and magnetic fields in the room in which the operator works simulator. According to the measurements in the working zone of the operator is not observed allowable levels of magnetic and electric fields, indicating the possibility of safe use of simulators in the educational process.

Keywords: magnetic field, electromagnetic field, the three- meter, simulator.

Статтю прийнято
до редакції 8.04.14.

UDC 656.052.4

NOVEL FUNCTION OF ECDIS FOR SMART VHF COMMUNICATION

Koshevoy V.M., Shishkin A.V.
Odessa National Maritime Academy

Presently Electronic Chart Display and Information System (ECDIS) is stage-by-stage introduced on all marine merchant vessels. Due to its connection to various navigation sensors the ECDIS plays as the prime navigational mean of modern shipping. Further integration of ECDIS with the Very High Frequency (VHF) radio installation allows to enhance efficiency and operability of radio communication to increase safety of navigation.

The aim of the present paper is designing the new ECDIS function, that provides interaction with the Digital Selective Calling (DSC) controller of radio communication.

To implement this ECDIS function it is proposed to introduce modules for forming and processing DSC messages, module of Automatic Identification System (AIS) target marking and also input and output information ports by way of the connection to DSC controller is provided.

The obtaining advantages due to realization the new ECDIS function are analyzed. They are expressed in the eliminating of hand operations with the DSC controller and replacing them by automatic call forming, increasing efficiency of navigation situation analysis while simultaneously lowering the risk of "human factor".

In the article practicable maritime interfaces for DSC controller interconnection and symbols for displaying AIS targets are also considered and it's reflection in the case of DSC activation for different radio communication priorities is proposed.

Keywords: Electronic Chart Display and Information System, Digital Selective Calling, Automatic Identification System, radiocommunication

Introduction. Electronic Chart Display and Information System (ECDIS) [1, 2] is one of the most important navigation and decision support tools, in the high degree due to the ability of integration with the other systems and peripheral vessels equipment. Integration of various systems, development of the concept of the integrated navigating bridge allows to operate a vessel from one workplace – operator ECDIS. Another important tool in contemporary marine navigation is Automatic Identification System (AIS). The AIS gives to navigator officer the possibility of watching vessels in the vicinity on ECDIS display in the case of its linking to ECDIS. The progress in real time digital signal processing of radar images has made possible imposing these images upon electronic charts. Therefore AIS and navigational radar mutually supplement each other and eliminate the drawbacks of separate systems for the sake of navigation safety. It is already evident from the benefits of linking AIS, radar and ECDIS that appropriately integrated systems give a synergy effect. Alongside the intrinsic advantages gained by combining these instruments, such integration corresponds to the principles that underpin IMO's e-navigation concept [3]. Integration of various systems around the ECDIS allows to optimize control of a vessel, avoid possible misses and incorrect decisions of the navigator because of so called «human factor».

From the other hand maritime Very High Frequency (VHF) communication suffers from some drawbacks. Terrestrial (not satellite) communication in general and VHF particularly is based on Digital Selective Calling (DSC) technology. DSC is one of the core subsystem in Global Maritime Distress and Safety System (GMDSS). In accordance with GMDSS communication all radio telephone transmissions of any priority (distress, urgency, safety and routine) must be preceded by the proper digital selective call. Nevertheless, the procedures of radiocommunication with the use of DSC are often neglected either in cases of distress or with other priorities. In particular, VHF channel 16 is often used incorrectly for any calls attributed with routine priority as it was foreseen in the old (before GMDSS) system procedure instead of using DSC on channel 70. Shortcomings of VHF communication using DSC or VHF/DSC in abbreviation in its present state have been analyzed in document s [4 - 6]. In the document [5] and paper [6], in particularly, some measures towards simplification of VHF/DSC communication were proposed.



Taking into account the technical possibilities of ECDIS/AIS system and imperfection of VHF/DSC radiotelephony the next step in gaining the efficiency of ECDIS, to our opinion, gives the opportunity of linking ECDIS/AIS to VHF/DSC radio installation.

Aim of the paper. The main aim of this paper is designing innovative function of ECDIS that provides smart VHF communication under standard operational DSC procedures and preservation the up-to-date radio installation. Benefits from such function implementation in practical navigation and shore infrastructure are considered. Some decisions of technical interfacing and marking of calling AIS targets are also proposed.

Results of investigations. Maritime VHF communication in the GMDSS includes two stages: 1) preparing stage, which includes call on the channel 70 indicating the working channel by means of DSC controller, and 2) properly voice communication on the stated working channel after receiving appropriate acknowledge. In the other communication system with automatic switching of channels the first phase is realized beyond operator activity. The user doesn't make any actions for channel setting and not feeling this process at all. Unfortunately in the maritime communication all this burden falls on a navigator. After GMDSS coming in force DSC channel 70 became a calling (and watching) channel in VHF band instead of voice channel 16, but this introduction didn't solve the main problem of work channel settings.

Many additional manual actions and time are needed to establish the communication which slows down the speed of information exchange and decreases the safety of navigation especially during ship manoeuvres. Only entering Maritime Mobile Self Identity (MMSI) demands 9 push buttons. In general making DSC includes about 20 elementary manual operations on control panel.

In a pressing situation, for instance, when a ship intends to make any manoeuvre and there is a nearby ship which makes an obstacle to this, navigators, as usual, neglect DSC process and directly pick up the telephone on channel 16. Such elimination of DSC does not accelerate reliable and correct VHF communication because a lot of time may be needed for called/calling vessel's verbal identification among other vessels. The calling vessel has to explain verbally which vessel it wishes to call and this very called vessel must quickly understand that it is addressed to it by exactly this calling vessel (along with its location among other vessels). As mentioned in document [4], «it is sometimes necessary to call an unknown vessel, e.g.: The vessel next to … buoy, this is …, what are your intentions?» and «any DSC call, however simple it would be, would require more time than picking up the handset and making a call on radiotelephony».

Consequently, DSC is not suitable for quick operational communication with chosen vessel and needs to be modified. In any case, using or neglecting of DSC, VHF radiotelephony has a drawback apparent in the lack of prompt, clear and reliable identification of the called/calling vessel.

Overcoming this drawback is achieved within the framework of the currently used vessel equipment through the integration of the navigation equipment ECDIS/AIS and DSC controller. In this case, all of the basic functions of integrated systems are preserved.

The combination of the ECDIS/AIS system with the VHF DSC equipment allows:

– to eliminate just the routine procedure of DSC making while replacing them by a computer mouse click (or trackball action) on the ECDIS vessel's AIS mark and then a DSC call to chosen vessel is produced at once automatically;

– to provide the identification of a calling vessel on the electronic chart and thus to make immediately the process of attachment of the calling vessel to the navigation situation automatically. A calling vessel can be indicated on the display by a blinking mark which will allow officer of the watch (OOW) of the called vessel to quickly estimate the navigational situation and make an effective decision; and

– after that, pick up the handset and conduct an address radiotelephone communication and not waste any time on verbal identification of communicating vessels.

Another words the discussed integration allows excluding the manual routine of the first stage and exchange it by intuitively understandable «click-to-talk» operation on ECDIS monitor. This approach releases an OOW who is not professional radio specialist from keeping in mind and entering MMSI and other features of DSC message. All necessary operations for DSC forming are executed automatically.

Integration of the ECDIS/AIS and VHF/DSC requires no changes to the existing radiocommunication operational procedures (If necessary all components of integrated system may be used separately in regularly regimes). What is essential is that the present manual method of making/viewing calls will be preserved as a supplementary means to the automatic method of making calls in the ECDIS. Only two additional functions for ECDIS are needed to be implemented:

1) providing the DSC automatically directly from ECDIS. The parameters, for example, the working channel number, can be set by default (or can be chosen manually if necessary using standard computer actions). The entering of the MMSI is not required at all because AIS data already have it and MMSI can be sent to the DSC controller automatically; and

2) displaying the calling vessel by blinking AIS mark on called vessel's ECDIS (and red-blinking mark in the case of distress call).

The above mentioned functions were software-based implemented as presented in fig. 1. An innovative ECDIS functions are realised in the dot lined modules. Standard ECDIS comprises Processing block with Electronic chart storage block, Monitor and external information transducers: Radar, AIS, GPS receiver, Log and Gyrocompass. In a case of DSC call OOW should only select the vessel to which he intend communicate. It is not necessary to look for MMSI of the called vessel because it already known from AIS information. All necessary operations for calling message assembling are provided in the DSC message forming module. Calling sequence is directed through the Output information port to the external DSC controller.

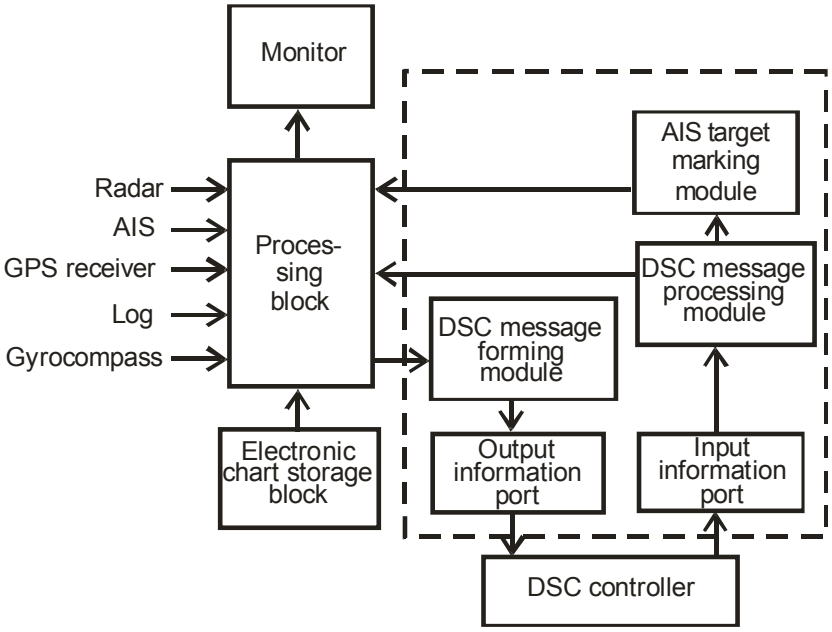


Figure 1 – Block scheme of ECDIS with DSC interaction function

The second new ECDIS function supports information received from DSC controller. In a case of getting relevant to own vessel DSC call the received sequence is directed through Input information port to DSC message processing module. Comparing MMSI from DSC controller with AIS target MMSI makes possible to mark the calling vessel among another ships. OOW is able to estimate immediately the current navigational situation not wasting any time on the properly DSC actions. After acknowledge, if necessary, again by clicking the AIS mark of the

calling vessel operator can start voice communication. It is essentially that addressed and clearly understood recipient side communication is guaranteed without additional explanations.

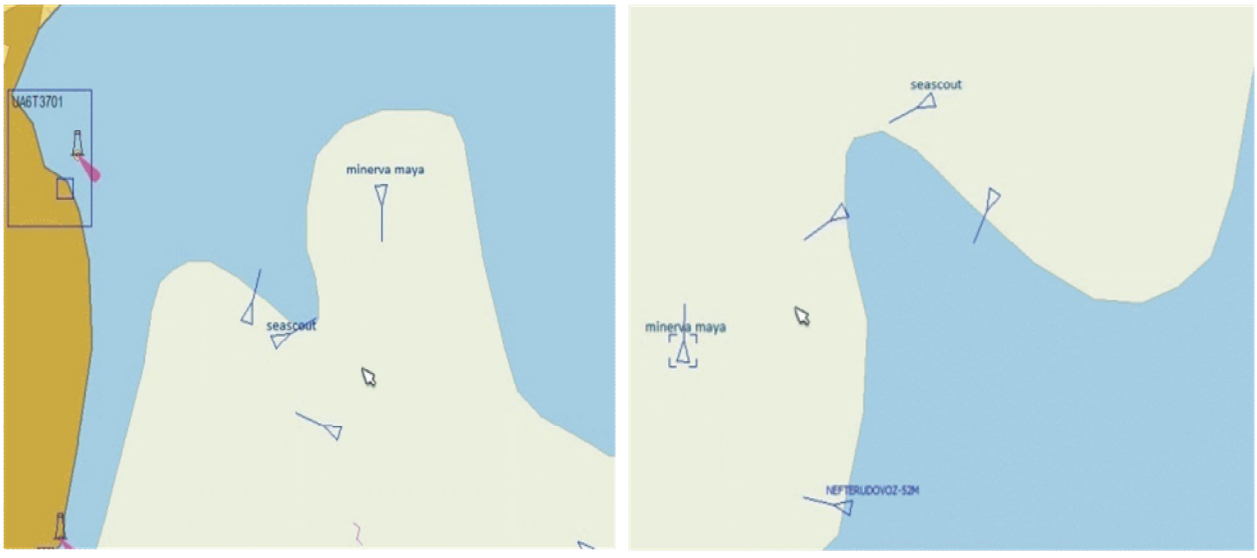
The involved tools and achieved new qualities in making addressed communication using ECDIS as interface for the communication means allow to name this type of communication as COMEC (Communication on the base of Electronic Chart). The proposed method was protected by national patents of Ukraine [7, 8] and patented in Germany [9].

Simulated navigation environment is presented in fig. 2. In this figure is given print screen for m/v Minerva Maya ECDIS on the first step, when she is calling to m/v Seascout. For Minerva Maya the vessel Seascout presents a potential risk. Therefore the vessel Minerva Maya must call just vessel Seascout to coordinate maneuver. Routine for Minerva Maya navigator consists in clicking Seascout AIS-mark, selection/default working channel in the menu and finally approving the DSC transmission. DSC format forming is produced automatically and any actions to DSC number identification at that are not necessary. All actions are executed quickly using standard computer methods which are not connected to DSC unit key boards of different manufactures.

In the fig. 2 ECDIS print screen at m/v Seascout is shown. AIS-mark of vessel Minerva Maya is blinking, pointing that it is the calling vessel. Seascout OOW is able to simultaneous estimation of navigation situation and acknowledge to calling vessel. After that vessel Minerva Maya begins an addressed communication without wasting time for ship's identification.

An additional automatic identification of radiotelephone transmissions in the frame of COMEC gives us one more aspect of the discussed integration. AI of radiotelephone transmissions on ECDIS is a developing of COMEC. AI on the base of «audio watermarks» is analysed in [6]. AI have to provide identification data of currently transmitting vessel in the form of Maritime Mobile Service Identity (MMSI) or/and ship's name/call sign. These data have to be passed from VHF equipment with AI function to ECDIS. Then the detected identification data should be compared with AIS target information and the transmitting vessel might be singled out among other vessels by special mark. This question is discussed below.

Implementation of the design ECDIS demands for additional hardware interface between ECDIS station and DSC controller. This interface should be chosen from maritime interfaces of instrumental level. There are two suitable candidates: NMEA 0183 (National Marine Electronics Association) ant its international version IEC 61162-1/2 and NMEA 2000 (IEC 61162-3) [10, 11]. Presently NMEA 0183 is widely used for interconnection of various maritime



a) b)

Figure 2 – Simulated navigation environment in COMEC system:
a) view from m/v Minerva Maya: m/v Minerva Maya is making individual DSC call to m/v Seascout
b) view from m/v Seascout: Marking of the calling vessel at m/v Seascout

navigational tools, but according to its characteristics it is not quite suitable for up-to-date information exchange on the bridge in real time mode. and is the most important standard for ship instruments interconnection.

The next generation of maritime interfaces is NMEA 2000. Today it is widely implemented mainly on the small and pleasure vessels where it combines not only navigational means but also transducers of propulsive system and ship's automatic machinery. Comparative interface characteristics are given in the tab. 1.

Table 1 – Comparative interface NMEA 0183/2000 characteristics

NMEA 0183	***NMEA 2000***
Rate 4.8 kbit/sec (38.4 kbit/sec for version NMEA 0183HS)	Rate 250 kbit/sec (on general bus length 200 м)
One directional, one talker and several (up to 10) listeners	Bidirectional
There is no any special demands to connectors	Only uniform waterproof connectors in maritime realization
Needs for additional activation on a program level	Implements plug-and-play function
Point-to-point implementation. Needs for numerous cable interconnections between installations, especially for backup	Use the general bus (backbone) for switching all instruments, that minimizes the connectors number

In the NMEA 0183 interface data transmission is realized by means transferring an information packets named as sentences. There are 4 sentences that officially approve for DSC utilization:

DSC – Digital Selective Calling Information,
DSE – Expanded Digital Selective Calling,
DSI – DSC Transponder Initialize,
DSR – DSC Transponder Response.

Analysis of these sentences makes possible to resume that they contain all necessary information for bidirectional interaction between ECDIS and DSC controller. Therefore NMEA 0183 standard is fully suitable for our application. Unfortunately the NMEA 2000 standard is publically closed and arguments on its application are not possible. In general coming from Table 1 comparison the preference should be given to NMEA 2000.

In the designed ECDIS all information related to DSC interaction is presented in separate graphical layer. As it is well known ECDIS operates with vector formats of graphical presentation. Therefore not obligatory kinds of visual information (inscriptions, AIS marks, radar image, etc) may be switched on/off. To be correct according to the ECDIS performance standards information available for displaying during route planning and route monitoring should be subdivided into the following three categories, Display Base, Standard Display and All Other Information. It is proposed to present all information relevant to DSC in the separate layer and display AIS vessel's targets by blinking figure.

Standard pictures for displaying AIS targets are shown in fig. 3. The next symbols are shown:

a) sleeping AIS target;

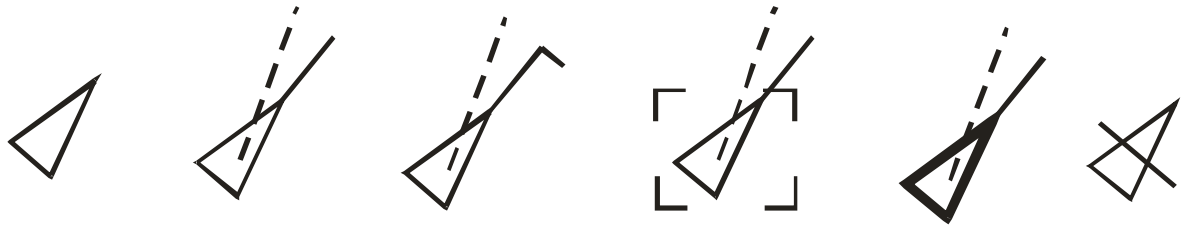
b) activated AIS target The COG/SOG vector should be displayed as dashed line starting at the centroid of the triangle The heading should be displayed as solid line of fixed length starting at the apex of the triangle;

c) a flag on the heading indicates a turn;

d) selected target. A square indicated by its corners should be drawn around the target symbol;

e) dangerous target. A bold line clearly distinguishable from the standard lines should be used to draw the symbol;

f) lost target.



a) b) c) d) e) f)

Figure 3 – Symbols for displaying AIS targets (SN/Circ.217 11 July 2001)

In our case the target that is calling by means DSC on channel 70 should be marked with blinking triangular AIS target. In the case of distress when the priority the AIS target should be coloured by red. In all other situations AIS targets are shown green as foreseen by ECDIS performance standards. Officer of the watch when received the call is able immediately estimate the navigational environment on ECDIS display, look through the containing in the DSC information and acknowledge if necessary the call again by means of trackball actions. The shouldn't turn his attention from watching navigation situation to DSC control panel and not wasting any time to the properly communication task but focusing entirely on navigation task. In this relation computer actions trackball are more intuitive understood rather than the manual operations with DSC controllers. Various control panels by different manufactures only complicate the situation.

After acknowledgement the blinking is stopped and navigator officer is able to communicate by radiotelephony again not wasting any time clarifying on what vessel he is addressing to.

Conclusions and perspectives for further studies. An experimental hardware-software complex VHF/DSC – ECDIS/AIS is worked out to implement the new function of ECDIS for clearly addressed and smart radiotelephone communication with DSC as directed in the GMDSS. The complex includes standard VHF/DSC controller RM-2042, AIS transponder MT3, specially designed software to customize ECDIS functionality for remote DSC controlling and bidirectional unconventional hardware interface for linking DSC controller and ECDIS personal computer. The necessity of this interface is caused by the absence of standard interfacing like NMEA for interaction with ECDIS. This interface doesn't need any invasions into hard and soft wares of the DSC modem. The main idea of the interface is based on electronic emulation of key board and signal decoding from liquid crystal display (LCD) matrix. If the DSC controller supports NMEA DSC sentences, then need to project additional hardware for interfacing is not necessary. But the software according Figure 1 for ECDIS – DSC interconnection is necessary in any way.

The experiments has demonstrated the full operability of the newly proposed ECDIS click-to-talk function. The proposed function doesn't have action upon another ECDIS functions and operations of DSC controller in standard regime. DSC overlaying function may be switched off, and DSC controller may be manually operated. All operational procedures are contained in the full scope, because the DSC sequence is forming automatically without any delay as in manual manner.

The proposed ECNIS function is especially effective for application in Vessel Traffic Systems (VTS) and Maritime Rescue-Coordination Centres (MRCC). VTS and MRCC operator is capable operating VHF communication as promptly possible from one ECDIS operator place. He is able to make situational analysis of navigational environment considering real time DSC activity in the area. Besides the coast infrastructure is not so strictly limited by IMO regulations as shipboard equipment. The functionality of VTS and MRCC doesn't depend upon vessel's ECDIS modernization.

The new ECDIS function is in full harmony with IMO strategic plan on e-navigation implementation because it responds to system integration principle and is compatible with standard installation without this function.

LIST OF THE USED LITERATURE

1. Вагущенко Л. Л. Интегрированные системы ходового мостика / Л. Л. Вагущенко. – Одесса : Латстар, 2003. – 169 с.

2. Weintrit A. The Electronic Chart Display and Information System (ECDIS) : An Operational Handbook. – CRC Press/Balkema, 2009. – 895 p.

3. Patraiko D., Wake P., Weintrit A. // e-Navigation and the Human Element. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. – 2010. – Vol. 4, No. 1.– Pp. 11-16.

4. Simplification of DSC equipment and procedures. Submitted by Finland / Sub-Committee on Radiocommunications and Search and Rescue 8/4/1. – 27 November 2003.

5. Proposal for simplification of VHF DSC radiocommunication and increasing DSC efficiency / Submitted by Ukraine / Sub-Committee on Radiocommunications and Search and Rescue. COMSAR 14/7. – 27 October 2009.

6. Miyusov M. V. Increasing Maritime Safety: Integration of the Digital Selective Calling VHF Marine Radiocommunication System and ECDIS / M. V. Miyusov, V. M. Koshevoy, A. V. Shishkin // TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. – Volume 5, Number 2. – June 2011. – Pp. 159-161.

7. Патент 78762 (Україна). Пристрій для цифрового вибіркового виклику з підвищеною оперативністю / Кошевий В. М., Шишкін О. В., Заічко В. С. – Опубл. бюл. № 5/ 2007.

8. Патент 90497 (Україна). Інтегрована система цифрового вибіркового виклику / Шишкін О. В., Кошевий В. М., Заічко В. С. – Опубл. бюл. №9/2010.

9. Patent No. : DE 11 2007 003 617 T5 (Germany). Integriertes System eines digitalen Selektivrufs und einer elektronischen nautischen Seekartographie / Shishkin O., Koshevyy V., Zaichko V. – Date of Patent 03.12.2007.

10. Rodseth O.J. Design challenges and decisions for a new ship data network / O. J. Rodseth, M. J. Christensen, K. Lee ; ISIS 2011. – 23 p. : [Электронный ресурс] – Режим доступа : http://www.mits-forum.org/resources/lwe-paper-isis-v9.pdf

11. NMEA 0183. Standard for Interfacing Marine Electronic Devices. Version 4.00 – November, 2008. – 236 p. : [Электронный ресурс] – Режим доступа : http://http://www.plaisance-pratique.com/IMG/pdf/NMEA0183-2.pdf

Кошевой В.М., Шишкин А.В. НОВАЯ ФУНКЦИЯ ЭКНИС ДЛЯ БЫСТРОЙ УКВ РАДИОСВЯЗИ

В настоящее время электронная картографическая навигационная и информационная система (ЭКНИС) поэтапно устанавливается на все морские торговые суда. Благодаря подключению к ней различных навигационных датчиков ЭКНИС является важнейшим навигационным средством современного судовождения. Дальнейшая интеграция ЭКНИС с аппаратурой ультракоротковолновой (УКВ) радиосвязи позволяет повысить эффективность и оперативность радиосвязи в целях повышения навигационной безопасности.

Целью настоящей работы является разработка новой функции ЭКНИС, которая обеспечивает взаимодействие с контроллером цифрового избирательного вызова (ЦИВ) УКВ радиосвязи.

Для реализации данной функции в ЭКНИС предложено ввести модули формирования и обработки сообщений ЦИВ, модуль маркировки целей автоматической идентификационной системы (АИС), а также входной и выходной информационные порты, через которые осуществляется подключение к контроллеру ЦИВ.

Проанализированы преимущества, получаемые за счет реализации новой функции ЭКНИС, которые выражаются в устранении ручных операций с контроллером ЦИВ и замене их автоматическим формированием вызова, повышении оперативности анализа навигационной ситуации при одновременном снижении риска «человеческого фактора».

В статье также рассмотрены возможные морские интерфейсы для подключения контроллера ЦИВ, символы для отображения АИС-целей и предложена их маркировка в случае активации ЦИВ с различными приоритетами радиосвязи.
Ключевые слова: электронная картографическая навигационная и информационная система, цифровой избирательный вызов, автоматическая идентификационная система, радиосвязь.

Кошевий В.М., Шишкін О.В. НОВА ФУНКЦІЯ ЕКНІС ДЛЯ ШВИДКОГО УКХ РАДІОЗВ'ЯЗКУ

Сьогодні електронна картографічна навігаційна й інформаційна система (ЕКНІС) поетапно встановлюється на усі морські торговельні судна. Завдяки підключенню до неї різних навігаційних датчиків ЕКНІС є найважливішим навігаційним засобом сучасного судноплавства. Подальша інтеграція ЕКНІС з апаратурою ультракороткохвильового (УКХ) радіозв'язку дозволяє підвищити ефективність і оперативність радіозв'язку в цілях підвищення навігаційної безпеки.

Метою даної роботи є розробка нової функції ЕКНІС, яка забезпечує взаємодію з контролером цифрового вибіркового виклику (ЦВВ) УКХ радіозв'язку.

Для реалізації даної функції в ЕКНІС запропоновано ввести модулі формування і обробки повідомлень ЦВВ, модуль маркування цілей автоматичної ідентифікаційної системи (АІС), а також вхідний і вихідний інформаційні порти, через які здійснюється підключення до контролеру ЦВВ.

Проаналізовані переваги, що отримуються за рахунок реалізації нової функції ЕКНІС, які виявляються в усуненні ручних операцій з контролером ЦВВ і заміні їх автоматичним формуванням виклику, підвищенні оперативності аналізу навігаційної ситуації при одночасному зниженні ризику «людського фактору».

В статті також розглянуті можливі морські інтерфейси для підключення контролера ЦВВ, символи для відображення АІС-цілей і запропоновано їхнє маркування у разі активації ЦВВ з різними пріоритетами радіозв'язку.
Ключові слова: електронна картографічна навігаційна і інформаційна система, цифровий вибірковий виклик, автоматична ідентифікаційна система, радіозв'язок

Статтю прийнято
до редакції 9.04.14.

УДК 005.334

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ФАКТОРОВ ОПАСНОСТИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПРОФИЛЯ РИСКА СУДОВЫХ РАБОТ

Парменова Д.Г.
Одесская национальная морская академия

Составление профиля риска является самым важным этапом в процедуре оценки риска на судах, так как он отражает максимальный перечень опасных и вредных факторов, приводящих к травмам и профессиональным заболеваниям моряков.
Создание максимально полной базы данных по факторам опасности, возникающим при выполнении работ на борту судна, позволит проводить качественную оценку риска этих работ и обеспечить безопасность труда для членов экипажа. Была собрана информация об опасностях и рисках на судах, проведена систематизация этих рисков, а так же был проведен анализ выявленных опасностей с целью определения превентивных мероприятий.
Результаты систематизации факторов опасности для судовых работ, анализ причин и условий их воздействия показывают, что они позволяют объективно оценить риск и предпринять необходимые меры для обеспечения безопасности моряков.
Практическое применение созданной базы данных в процессе обучения курсантов даст возможность существенно повысить их уровень профессиональной подготовки и развить культуру личной безопасности.
Ключевые слова: факторы опасности, систематизация, профиль риска, анализ, безопасность труда.

Введение. Современный флот непрерывно развивается и вместе с техническим совершенствованием судов постепенно изменяется и характер труда моряков. Новые суда характеризуются увеличением грузоподъемности, скорости, мощности энергетических установок, появлением принципиально новых типов судовых установок, повышением уровня автоматизации процессов управления и контроля за работой энергетической установки, а также автоматизацией процессов судовождения, повышением уровня механизации палубных работ, общим улучшением условий труда и быта экипажа. В таких условиях для выполнения трудовых задач экипаж прилагает меньше физических усилий, так как тяжелые и трудоемкие работы и процессы обслуживания совершают механизмы и системы автоматики. Однако множество работ опасных и неопасных, связанных с обслуживанием и ремонтами на судне, по-прежнему выполняют члены экипажа, что требует от них определенного уровня профессиональной подготовки и соблюдения правил техники безопасности. Количество случаев травматизма на судах и профессиональных заболеваний плавсостава все еще находится на достаточно высоком уровне. Причины травматизма и роста профзаболеваний среди моряков связаны с влиянием на них вредных и опасных производственных факторов, которые присутствуют в производственном процессе. Один из путей уменьшения влияния этих факторов на работников – повышение уровня начальной подготовки моряков, которую они получают в учебных заведениях, и которая, в соответствии с требованиями Конвенции ПДНВ 78/95 с поправками 2010 года, должна обеспечить получение знаний и понимания культуры личной безопасности и методов управления безопасностью на судах [1].

Термин «культура личной безопасности» включает в себя степень готовности человека совершенствовать и применять арсенал своих знаний и опыт в тех ситуациях, когда появляется опасность для его жизни. Постоянная готовность обеспечения собственной безопасности прямо пропорциональна такому качеству человека, как бдительность. Чем выше планка бдительности, тем выше культура личной безопасности и его готовность преодолеть угрозу опасности. В свою очередь бдительность зависит от общеобразовательного уровня, физического состояния, психологической и специальной (по вопросам личной безопасности) подготовки человека. Обучение по вопросам безопасности и охраны труда позволяет обеспечить два критерия – общеобразовательный

уровень и специальную подготовку по вопросам личной безопасности. Общеобразовательный уровень дает возможность человеку объективно оценивать обстановку, анализировать события и факты, принимать различные решения и делать правильные выводы. Специальная подготовка по вопросам личной безопасности – это тот минимум конкретных знаний и умений, которые позволяют человеку чувствовать себя уверенно в повседневной жизни и в экстремальных условиях.

Цель статьи. Целью статьи является описание разработанной базы данных по факторам опасности, возникающим на борту судна в процессе трудовой деятельности. Особое внимание уделяется применению этой базы в учебном процессе для оценки и анализа риска при выполнении различных видов судовых работ, что поможет обеспечить получение курсантами и студентами морских специальностей знаний и навыков по организации и проведению судовых работ на безопасном уровне.

Актуальность исследований. Ведущие международные организации, такие как Международная морская организация (IMO) и Международная организация труда (ILO), приняли документы, основными из которых являются Международный кодекс по управлению безопасностью на судах (ISM Code), Кодекс безопасной рабочей практики для моряков торгового флота (COSWP 2010), Сводная конвенция МОТ 2006 г. (MLC), Свод правил МОТ «Предупреждение несчастных случае на судне в море и в порту» и т.д. Эти документы призваны помочь морякам и их работодателям (судовым компаниям) организовать эффективную систему управления профессиональной безопасностью моряков на борту судна.

В соответствие с этими документами, для осуществления профилактики и предупреждения производственного травматизма и профзаболеваний проводится процедура оценки риска на рабочем месте. Общей целью оценки рисков является повышение уровня безопасности труда и состоит она во всеобъемлющем и систематическом выявлении опасностей и определении величины рисков. В соответствии с вышеперечисленными документами начальным этапом процедуры оценки риска является выявление основных причин, которые могут привести к травме, т.е. факторов опасности, которые имеют физическую, химическую, биологическую, эргономическую либо психофизиологическую природу. Их выявление до того, как они принесут вред здоровью, позволяет обеспечить устранение этих опасностей либо снижение их влияния до безопасного уровня. Подробные рекомендации по методике проведения этих оценок рисков, а также рекомендации по дальнейшим мероприятиям в зависимости от результатов этих оценок отражены в документах Международной организации труда [2, 3]. Эти рекомендации носят общий характер и универсальны для всех организаций и предприятий, однако для каждой отрасли необходимо производить учет опасностей, которые характерны для ее производственных условий и технологического обеспечения. В последние годы роль и значение оценки и управления рисками для судоходных компаний постоянно возрастает, поскольку является мощным инструментом снижения потерь и повышения эффективности труда моряков. Судовые компании в соответствие с требованиями международных конвенций обеспечивают свои суда руководствами, в которых описываются процедуры идентификации опасностей, проведения оценки риска, предупреждающие мероприятия для различных видов работ, выдачи разрешений на проведение работ и т.д., однако вся эта информация и методики отсутствуют в учебной литературе для базового и специального обучения будущего плавсостава.

Постановка задач исследования. Основная направленность исследований заключается в совершенствовании методов проведения оценки риска при выполнении судовых работ. Так как оценка рисков должна быть «соответствующей и достаточной», то при ее проведении необходимо придерживаться двух основных принципов:

1. Должны быть учтены ВСЕ факторы риска и возможные угрозы.

2. После выявления риска, необходимо определить, можно ли избавиться от него полностью. Если нет, то необходимо оценить его возможные последствия.

Для реализации первого принципа должен быть составлен «профиль факторов опасности» или другими словами «профиль рисков».

Профиль рисков – это документ, в котором отражаются все риски, возникающие или, которые могут возникнуть на рабочем месте. Вне зависимости от того, какие риски мы рассматриваем, полноценное управление ими возможно только тогда, когда мы управляем одновременно всеми рисками.

При составлении профиля риска необходимо дать ответы на следующие вопросы:

– ***Какие*** факторы опасности присутствуют при выполнении данного вида работ?
– ***Что*** является причинами этих факторов опасности?
– ***В каких случаях*** работники могут подвергнуться опасности?

Составление профиля рисков является начальным и самым важным этапом оценки рисков, который учитывает все недостатки в организации охраны труда.

Для сбора полной и точной информации о факторах опасности необходимо основываться на следующих источниках:

– информация об используемом оборудовании, местах и условиях проведения работ;
– изучение существующих судовых инструкций или правил техники безопасности для данного вида работ;
– изучение статистических данных по несчастным случаям, которые имели место при выполнении данного вида работ;
– сбор информации у моряков, которые были задействованы в анализируемых видах работ.

Результаты исследований. Для решения поставленной задачи была собрана информация об опасностях и рисках на судах, проведена систематизация этих рисков, а так же был проведен анализ выявленных опасностей. Анализ включает определение причин возникновения и характера влияния опасных факторов, условий их воздействия на человека, а так же разработку мероприятий по устранению или минимизации их воздействия. База данных на данный момент состоит из 175 факторов опасностей. Их систематизация проводилась разделением всех факторов на два типа, как это делают современные судоходные компании [4]: человеческие факторы и производственные факторы. В соответствии с отечественной классификацией вредных и опасных факторов производственной среды [5] в категорию производственных факторов вошли физические, химические и биологические факторы, а в категорию человеческих факторов – психофизиологические. Производственные и человеческие факторы являются Основными причинами несчастных случаев, а к Прямым причинам несчастных случаев относятся обстоятельства, которые предшествовали опасному событию. Прямые причины разделяют на «Небезопасные Действия» и «Небезопасные Условия» [4]. Источником возникновения Основных и Прямых причин являются недостатки в системе Контроля и Управления, которые проявляются в несоответствиях программ, стандартов, соблюдения этих стандартов. Модель причинно-следственных связей возникновения аварийных ситуаций представлена на рис. 1.

Необходимость правильного и полного выявления причин событий (случаев), приводящих к травмам и повреждениям, определяется тем, что цель оценки риска – предотвратить не только аварии и инциденты, но и Потенциально Опасные Ситуации, т.е. те опасные явления, которые при незначительно изменившихся условиях могли бы привести к травме или повреждению, а так же вовремя предпринять меры для уменьшения последствий от вреда, который они могут причинить работнику.

Таким образом, цепь **Фактор опасности ⇒ Причины опасности ⇒ Условия воздействия ⇒ Мероприятия по предотвращению** дает возможность предотвратить

риск несчастного случая и обеспечить профессиональную безопасность. Приведем несколько примеров такой цепи в табл. 1.



Рисунок 1 – Модель причинно-следственных связей возникновения аварийных ситуаций

Таблица 1 – Примеры анализа факторов опасности

Фактор опасности	***Причины опасности***	***Условия воздействия***	***Мероприятия по предотвращению***
Оборудование или механизмы неисправны	1. Недостаточное или несвоевременное техобслуживание оборудования или механизмов. 2. Производственный брак. 3. Износ оборудования (не связанный с техобслуживанием).	1. Оборудование или механизм не был проверен перед использованием. 2. Работник, выполняющий работу не имеет достаточного опыта и навыков по работе с данным оборудованием.	1. Обеспечить проверку оборудования перед использованием компетентным членом экипажа.
Отсутствие предупреждающих знаков и надписей	1. Их нет в наличии на судне. 2. Несоблюдение процедуры подготовки к работе.	1. Проведение работ в опасных зонах.	1. Обеспечение контроля за установкой предупреждающих знаков и надписей в опасных зонах.
Опасность от падения предметов	1. Недостаточно хорошо закрепленные элементы конструкции, детали и т.д. 2. При работе на высоте не использованы сумки для инструментов (специальные пояса).	1. Место возможного падения предметов не ограждено и не выставлены предупреждающие знаки. 2. Отсутствие сумок для инструмента. 3. Пренебрежение правилами техники безопасности при подготовке к работе (неиспользование сумки для инструмента). 4. Отсутствие каски. 5. Отсутствие или недостаточное техническое обслуживание конструкций, оборудования и т.д.	1. Проведение инструктажа перед направлением на работу. 2. Подготовка места проведения работ (обеспечение ограждений, вывеска предупредительных знаков, обеспечение наблюдающего по необходимости). 3. Обеспечение и контроль за использованием работниками средств безопасности (сумка для инструментов) и СИЗ (каска). 4. Проведение регулярного планового техобслуживания.

Заметим, что графы «Причины опасности» и «Условия воздействия» содержат Прямые причины возникновения несчастных случаев, что позволяет выделить и систематизировать Небезопасные действия и условия, характерные для конкретных видов работ, и в дальнейшем использовать их для оценки риска.

Система анализа факторов риска может дополняться и совершенствоваться в зависимости от условий проведения работ, при выполнении которых они возникают, от специфики судна, технического оснащения судна, перевозимого груза и т.д. Представленная систематизация опасных факторов может быть использована не только при проведении оценки риска, но и при расследовании и анализе произошедших несчастных случаев, так как причинно-следственные связи при предупреждении аварий и при их расследовании имеют одинаковые составляющие, но развиваются в противоположных направлениях (рис. 1).

Выводы

1. Знание и понимание моряками причин и последствий несчастных случаев, а также понимание места и роли выполняемых работ в функционировании судна, оказывают влияние на поведение человека при выполнении работ, таким образом, качественная профессиональная подготовка моряков позволяет достичь повышение уровня личной безопасности и безопасности судна в целом.

2. Создание профиля риска, его анализ и использование методик оценки риска для различных видов судовых работ при изучении вопросов охраны труда позволит развить у курсантов и студентов осознание опасности и приобрести навыки по организации и контролю безопасной работы на судах в соответствии с требованиями Конвенции ПДНВ 78/95 с поправками 2010 года.

3. В дальнейших исследованиях предполагается дополнить базу по опасным факторам с анализом небезопасных действий и условий, которые приводят к негативным последствиям для членов экипажа в процессе трудовой деятельности, и разработать модель, которая позволит определять уровень риска с учетом максимального числа факторов риска.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Международная Конвенция по подготовке и дипломированию моряков и несению вахты, 1978/95 с поправками 2010 года – International Convention on Standards of Training Certification and Watchkeeping for Seafarers 1978/95 (STCW-78/95). – Лондон : IMO, 2010.

2. Оценка рисков на рабочем месте : практическое пособие : [перевод с финского] / Мерви Муртонен ; [науч. ред. : Г. З. Файнбург] ; VTT-техн. исслед. центр Финляндии, М-во социал. обеспечения и здравоохранения Финляндии, Отд. охраны труда. – М. : Международная организация труда, 2011. – 63 с.

3. МОТ. Окружающие факторы на рабочем месте. Инструкция МОТ. – Женева, Бюро Международной Организации Труда, 2001 (ISBN 92-2-111628-X).

4. Code of Safe Working Practices for Merchant Seamen, Consolidated, 2011.

5. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

Парменова Д.Г. СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ФАКТОРІВ НЕБЕЗПЕКИ ДЛЯ ПОБУДОВИ ПРОФІЛЮ РИЗИКУ СУДНОВИХ РОБІТ

Складання профілю ризику є найважливішим етапом у процедурі оцінки ризику на судах, оскільки він відбиває максимальний перелік небезпечних і шкідливих факторів, що призводять до травм і професійних захворювань моряків.

Створення максимально повної бази даних за факторами небезпеки, що виникають при виконанні робіт на борту судна, дозволить проводити якісну оцінку ризику цих робіт і забезпечити безпеку праці для членів екіпажу. Була зібрана інформація про небезпеки та ризики на судах, проведена систематизація цих ризиків та було проведено аналіз виявлених небезпек з метою визначення превентивних заходів.

Результати систематизації факторів небезпеки для суднових робіт, аналіз причин і умов їх впливу показують, що вони дозволяють об'єктивно оцінити ризик і вжити необхідних заходів для забезпечення безпеки моряків.
Практичне застосування створеної бази даних в процесі навчання курсантів дасть можливість істотно підвищити їх рівень професійної підготовки і розвинути культуру особистої безпеки.
Ключові слова: фактори небезпеки, систематизація, профіль ризику, аналіз, безпека праці.

Parmenova D.G. SYSTEMATIC OF HAZARDS TO THE RISK PROFILE OF SHIPBOARD WORKS

Risk profiling is the most important step in the risk assessment procedure for the courts, as it reflects the maximum list of dangerous and harmful factors, leading to injuries and occupational diseases sailors.
Creating the most complete database on hazards arising in the performance of work on board will allow for qualitative risk assessment of these works and to ensure safety for the crew members. Information was collected about the dangers and risks on ships systematized these risks, as well as an analysis of the identified hazards in order to identify preventive measures.
Results systematization hazards for marine works, analysis of the causes and conditions of exposure show that they allow to evaluate the risk and take the necessary measures to ensure the safety of seafarers.
Practical application of the database created in the learning process of students will able to significantly improve their level of training and develop a culture of personal safety.
Keywords: risk factors, classification, profile of risk, analysis, work safety.

Статтю прийнято
до редакції 30.04.14.

УДК 344.63

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ОЦЕНКИ РИСКА В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Приходько Е.А.
Одесская национальная морская академия

Метод оценки риска является важным этапом планирования и реализации любой хозяйственной деятельности, так как позволяет идентифицировать риски и прогнозировать наступления ущерба для различных систем функционирования.
Формирование базы параметрических характеристик для построения математической модели прогнозов риска комплексных систем, элементами которых являются технологические, социальные, экономические и др. компоненты. Использование метода должно обеспечить максимально безопасные условия для реализации производственной и экологической деятельности. Была собрана информация о категориях рисков, методах анализа и оценки, а так же были проанализированы возможности использования интерполяции и экстраполяции для прикладных задач по оценке риска.
Промежуточными результатами исследования можно назвать выбор математических связей для динамического прогнозирования специфических рисков и определения уровней для выбора мероприятий по их устранению.
Применение метода оценки риска в производственной и природоохранной деятельности позволяет предвидеть и внедрять эффективные предупредительные меры по минимизации вероятности возникновения возможных рисков.
Ключевые слова: оценка риска, прогнозы риска, математическая модель, анализ, ущерб.

Введение. Эффективность производственной и природоохранной деятельности зависит от качества управления и организации, начиная с этапа первичной оценки возможных рисков. Риски – вероятность развития неблагоприятных факторов и, с точки зрения математического анализа, представляют собой прогностическую модель. Такая модель может давать достоверный прогноз лишь в случае, когда учтены максимально факторы, прямо или опосредовано влияющие на конкретную деятельность. В основе комплекса факторов для любой хозяйственной деятельности лежат экономические показатели, состояние природных ресурсов, социальные условия, правовые лимиты и другие специфические параметры для каждой задачи. Эти факторы, по результатам деятельности предприятия, характеризуют его как эффективное и безопасное. При планировании учет факторов риска позволяет минимизировать потери и ущербы для любой хозяйственной деятельности.

Прогнозирование перспектив развития деятельности возможно только при условии наличия полной, достоверной и объективной информации о деятельности на всех этапах и об условиях в которых она осуществляется. Мониторинг факторов риска и интродукция в динамические модели прогнозирования результатов деятельности – значительно расширяет круг параметров, влияющих на все аспекты жизнедеятельности, и при этом упрощает определение методов оптимизации хозяйственных и социальных задач.

Актуальность исследований. Опыт развитых стран свидетельствует, что именно метод оценки риска деятельности, позволяет предвидеть и внедрять эффективные предупредительные меры по минимизации вероятности возникновения возможных опасностей. Проблема управления рисками, в той или иной степени получила отражение в достаточно большом количестве научных трудов. Среди теоретиков, внесших реальный вклад в развитие теории риска, можно выделить таких ученых, как А. П. Альгин, Дж. М. Кейнс, А. Маршалл, О. Моргенштейн, Ф. Найт, Дж. Нейман, Б. А. Райзберг и др.

Оценка рисков – это простое, но тщательное исследование того, что может нанести вред. Применительно к производственной среде, приоритетной, является безопасность работающих. Параллельно, проводимое таким образом, чтобы работодатель мог взвесить, достаточно ли мер предосторожности уже предпринято, и что именно должно быть сделано с тем, чтобы предотвратить возможные вредные последствия.



Работники и другие лица имеют право на защиту от вреда, нанесенного в результате несчастного случая, право на принятие разумных мер контроля.

По данным оценок экспертов, внедрение метода оценок риска позволяет за счет эффективных мер в 7–10 раз сократить затраты на разработку и создание безопасных направлений деятельности с участием человека. Затраты определяются соотношением весовых коэффициентов факторов по каждому направлению и их комплексные результирующие. Для факториального анализа, необходимо выявить перечень и параметры каждого фактора в конкретных условиях. В основе экономической составляющей управления риском лежит методика сравнения затрат и получаемых выгод от снижения риска. Факториальные составляющие должны охватывать все источники рисков и все объекты воздействия, только при условии максимально достоверных данных, можно рассчитывать на достоверность прогноза.

Для прогностических моделей развития риска могут применяться условные критерии, которые позволяют выявить тенденции формирования факторов риска и сфокусировать предметный интерес на конкретные источники. Очевидной целью является защита от опасностей объектов воздействия. Для выбора методов защиты необходимо детальное изучение природы объекта, его характеристики и уязвимые места. Когда задачи четко сформулированы и правильно выбран метод решения, меньше вероятность ошибочных решений. Объектом оценки риска может быть любая динамическая система, для которой применимы оценочные параметры. Такими системами являются производственная среда, экологическая среда, социальная и т.д.

Применение метода оценки риска – может сделать прозрачной схему вынесения решения по реализации деятельности и снять социальное напряжение во взаимодействиях управления и выполнения действия, благодаря построению логистического алгоритма, каждый шаг которого аргументирован и подкреплен ссылками на правовые источники. Важным и перспективным, является урегулирование правовых условий элементов системы еще на этапе подбора параметров, что исключит необоснованные возражения.

Управление риском – это процесс принятия решений и осуществление мер, направленных на обеспечение минимально возможного риска. Цель управления риском – своевременное предвидение (прогнозирование) риска, выявление факторов, что влияют на ситуацию, применение соответствующих мер по минимизации их влияния. А при условии вынесения решения о невозможности выполнения действия – может приблизить альтернативные варианты более приемлемых решений ситуации.

Постановка задачи. Разработка методов управления риском и, в конечном итоге безопасностью жизнедеятельности, основана на систематизации факторов, формирующих условия любой деятельности. Систематизация определяет необходимые и достаточные элементы безопасности, также возможности мониторинга динамических изменений состояний системы при изменении условий. Реализация системного подхода к прогнозированию рисков и решения комплексных задач, на разных уровнях от микро- до макросистем, лимитирована доступом к достоверным данным о ее состоянии. Создание банков данных в условиях предприятия, отрасли, региона и т.д., дают возможность для прогнозирования рисков любого свойства.

Возможности применения метода оценки риска в таких областях как производственная и экологическая безопасность могут послужить консолидации финансовой и производственной части бизнеса. Этот метод делает возможность определение финансовых рисков для краткосрочных и долгосрочных проектов в микро и макросистемах. Помогает проявить области рисков для проработки эффективных методов нейтрализации. Делает прозрачным контроль за финансовыми потоками, направленными на развитие хозяйственной деятельности и позволяет максимально приблизиться к достоверной информации об объекте исследования.

Важнейшей тенденцией в области управления рисками становится конвергенция – встречное движение изначально «разделенных» финансовых математиков – специалистов

по актуарной (страховой) математике и инженеров – для совместного развития количественных методов управления рисками, что особенно важно для риск-менеджмента в реальном секторе экономики.

Систематический и индивидуальный риски (беты и альфа) в составе вариативности могут быть выделены с помощью регрессионного анализа. При оценке рисков, как правило, используются матрицы миграций рейтингов (уровней) опасности, включая частоты инцидентов, уровни восстановления и величину потерь в случае инцидента, комплексные опасности, расстояние до точки инцидента и т.п.

Риск-аудит может проводиться внутренними и внешними оценщиками. По его итогам оценка риска может быть выражена в виде рейтинга. Ключевые показатели риска (KRI) – это показатели, характеризующие концентрацию рисков, в том числе накопившиеся негативные события в процессах (по видам работ) и т.п. Например, отклонение (невыполнение) технологического плана работ по тем или иным целевым показателям деятельности (KPI) может служить в качестве KRI. Количество событий (либо доля в общей массе событий) отказов, аварий, задержек, несчастных случаев, производственного брака, деградаций экосистем, судебных исков, негативных публикаций в прессе и пр. за период. Иногда это и контроль рисков (например, количество нарушений во время проведения операций).

Самая большая сложность в применении математических методов оценки рисков – получение исходных данных для расчетов – статистических, исторических (для определения вероятности). Какой бы совершенный метод оценки не применялся, как известно, если загрузить недостоверные данные на входе – на выходе, погрешность сведет на нет смысл прогноза. Сбор отраслевой статистики затруднен инфантильной позицией участников сбора «полевой» информации. И статистика по этим видам риска сложно сопоставима и требует сложных интерполяций. Трудности в применении количественных методов анализа риска связаны с недостатками развития теории и практики риск-менеджмента. Слабо развит математический аппарат, предназначенный для выявления связей, корреляции и, следовательно, диверсификации профиля риска. За исключением корреляции и коинтеграции, сфера применимости которых весьма ограничена, остальные меры зависимости нелинейно связанных величин либо не разработаны, либо мало-известны.

Риск-менеджмент основывается лишь на современных концепциях. Например, гипотетически модель реальных опционов могла бы в будущем вытеснить из практики общепринятую сейчас концепцию оптимизации риска. Господствующая в наши дни необернуллианская школа практически ориентируется на дисперсию как показатель изменчивости факторов риска. Этот подход неявно подразумевает ориентацию на ожидаемое значение квадратичной функции полезности фон Неймана-Моргенштерна, тогда как парадокс Мориса Алле показал, что подобные теории не описывают полноценно предпочтения по риску. Иначе говоря, сегодня почти весь риск-менеджмент построен на дисперсии, а этот показатель не отражает реальных предпосылок к формированию риска, является лишь очень грубой их моделью.

Анализ рисков можно подразделить на два взаимно дополняющих друг друга вида: качественный и количественный. Качественный анализ имеет целью определить (идентифицировать) факторы, области и виды рисков. Количественный анализ рисков должен дать возможность численно определить размеры отдельных рисков и риска предприятия в целом. Итоговые результаты качественного анализа риска, в свою очередь, служат исходной информацией для проведения количественного анализа.

Однако осуществление количественной оценки встречает и наибольшие трудности, связанные с тем, что для количественной оценки рисков нужна соответствующая исходная информация.

Результаты исследований. Нашей задачей было – выстроить модель с более детальной проработкой параметров и более ориентированную на безопасность условий в

соответствии уровнем влияния факторов и действующего правового поля. Параметры объекта оценки объединены в систему факторов, профилированы и идентифицированы для упрощения процедур диагностики и разработки проекта минимизации ущерба. Для каждого фактора выделяется коридор оптимума по соответствующим характеристикам и после анализа уровня опасности выхода за разрешительные пределы одного или группы факторов рассматриваются мероприятия по их нейтрализации и их эффективность.

В теории рисков выделяют следующие виды математических моделей: прямые, обратные и задачи исследования чувствительности. В прямых задачах оценка риска, связанная с определением его уровня, происходит на основании априори известной информации. В обратных задачах устанавливаются ограничения на один или несколько варьируемых исходных параметров с целью удовлетворения заданных ограничений на уровень приемлемого риска. Основная идея метода исследования чувствительности, применяемого в связи с неизбежной неточностью исходной информации, состоит в анализе уязвимости, степени изменяемости результативных показателей по отношению к варьированию параметров моделей (распределение вероятностей, областей изменения тех или иных величин и т.п.).

Особенностью оценки риска технологического пространства при помощи математической модели, является использование оценочных характеристик риска отказа технических объектов, на примере технологического оборудования судовых энергетических установок, других судовых устройств. Кроме технических элементов в комплексе факторов риска для решения поставленной задачи, учитываются фоновые характеристики риска развития опасности для человека и др. биологических объектов. Для некоторых задач необходимо учитывать социально-экономические и другие параметры соответствующие объектам исследования.

В процессе исследования обнаружена категория рисков, которые возникают как следствие постоянно меняющихся условий жизнедеятельности. Возникающие риски могут быть как «новыми», так и «возрастающими». Под «новыми» понимаются риски, которые ранее не существовали и возникли с появлением новых производственных процессов, технологий либо в результате социальных или организационных перемен (из-за перемен во взглядах общества или появления новых научных знаний). Риск «возрастает», если растет число порождающих его опасных факторов, увеличивается вероятность воздействия порождающего этот риск опасного фактора или становятся более серьезными возможные последствия воздействия такого фактора.

На базе методологических схем отработанных в морской отрасли разработан способ оценки рисков в системах, где человек взаимодействует с факторами, подвергаясь их влиянию и, является их источником.

Работа над построением модели оценки безопасности судна как транспортного средства, включает в себя количественные оценки безопасности на основании заданных параметров. Учитывается, что судно эксплуатируется согласно требованиям квалификационных обществ и соблюдения всех международных нормативно-правовых актов. Вероятность наступления неблагоприятных последствий ориентирована на данные статистики и общепринятые определения характера опасности.

Решение поставленной задачи по оценке безопасности направлено на повышение эффективности деятельности с определенными специализированными показателями. Для обеспечения всестороннего анализа факторов риска модель расширена характеристиками психофизиологических показателей субъекта деятельности и условиями внешних факторов окружающей среды.

Наиболее точная оценка эффективности и риска может быть получена при известном распределении вероятности случайных параметров внешней среды и производственной системы. Распределение можно получить на основании статистических данных о функционировании производственной системы и состоянии внешней среды в предыдущие временные периоды. Если предприятие не располагает

такой статистикой или она недостаточна для надежной оценки параметров распределения исследуемых показателей, то целесообразно использовать метод Монте-Карло.

Схема использования метода Монте-Карло в количественном анализе эффективности и рисков включает в себя построение математической модели выходного показателя функционирования системы как функции входных переменных и параметров системы. Основная логика процедуры построения модели заключается в определении включаемых в модель входных и выходных переменных, установлении границ диапазона изменения риск – переменных (факторов риска), в выборе вида закона распределения, которому подчиняются случайные входные переменные, и оценке его числовых характеристик, определении взаимосвязи (функциональной и вероятностной зависимости между переменными).

Математическая модель системы имеет вид:

$$y = f(x, a),$$

где y – выходной показатель функционирования системы; f – функция, устанавливающая связь между выходным показателем и входными переменными через параметры системы; $x=(x_1,\ldots,x_n)$ – n-мерный вектор риск – переменных (случайных величин); $a = (a_1,\ldots,a_m)$ – m-мерный вектор параметров системы (детерминированных величин).

Далее математическая модель пересчитывается при каждом новом имитационном эксперименте, в рамках которого значения случайных переменных выбираются на основе генерации псевдослучайных чисел, подчиненных заданным законам распределения вероятностей. Результаты всех имитационных экспериментов объединяются в выборку и анализируются с помощью статистических методов с целью получения распределения вероятностей выходного показателя и расчета основных показателей (измерителей) риска стратегии. Реализуемый при применении метода Монте-Карло комплексный подход к оценке риска заключается в том, что для аналитика представляется возможным анализировать различные измерители риска: распределение вероятностей, оценки математического ожидания, среднеквадратического отклонения и коэффициента вариации, вероятности попадания значения выходного показателя в заданный интервал.

Многообразие показателей, посредством которых осуществляется количественная оценка, порождает и многообразие шкал риска являющихся своего рода рекомендациями приемлемости того или иного уровня риска. На основании обобщения результатов исследований многих авторов по проблеме количественной оценки риска ниже приведена эмпирическая шкала риска, которую рекомендуют применять предпринимателям при использовании ими в качестве количественной оценки риска вероятности наступления рискового события.

Таблица 1 – Шкалы риска

№	*Величина риска*	*Наименование градаций риска*
1	0,0-0,1	минимальный
2	0,1-0,3	малый
3	0,3-0,4	средний
4	0,4-0,6	высокий
5	0,6-0,8	максимальный
6	0,8-1,0	критический

Первые три градации вероятности нежелательного исхода соответствуют «нормальному», «разумному» риску, при котором рекомендуется принимать обычные предпринимательские решения. Принятие решений с большим риском возможно, если наступление нежелательного исхода не приведет к значительному ущербу (аварии).

Для оценки изменчивости риска используется коэффициент вариации ($V = \sigma / X$) и приводятся следующие шкалы: до 0,1 – слабая; от 0,1-0,25 – умеренная; свыше 0,25 – высокая.

При оценке приемлемости коэффициента, определяющего риска аварии существует несколько не противоречащих друг другу точек зрения. Одни авторы считают, что оптимальным является коэффициент риска, составляющий 0,3, а коэффициент риска, ведущий к аварии – 0,7 и выше. В других источниках приводится шкала риска со следующими градациями указанного выше коэффициента: до 0,25 – приемлемый; 0,25-0,50 – допустимый; 0,50-0,75 – критический; свыше 0,75 – катастрофический риск.

Существуют описательные характеристики шкал риска по величине ожидаемых потерь, которые используются для оценки приемлемости содержащего риск решения. В этих градациях риска в зависимости от уровня возможных потерь осуществляются путем выделения следующих весьма условных зон.

1. Область минимального риска характеризуется уровнем потерь, не превышающим размеры целесообразности.
2. Область повышенного риска характеризуется уровнем потерь, не превышающим размеры целесообразности.
3. Область критического риска характеризуется тем, что в границах этой зоны возможны потери, величина которых превышает расчетные результаты деятельности.
4. Область недопустимого риска характеризуется тем, что в границах этой зоны ожидаемые потери способны превзойти размер ожидаемых результатов от операции и достичь величины, равной всему состоянию деятельности.

Выводы. Для оценки безопасности действия применение метода оценки риска дает информацию об уровне и характере опасности, что позволяет принять адекватное решение по планированию действия и способах нейтрализации опасностей. Очень важным моментом является определение причинно-следственных связей и персонализация каждого этапа выполнения действия для определениянеобходимой квалификации.

Так, на примере судна важным является оценка отказов отдельных элементов. Вариантность отказов элементов системы зависит от конкретных условий. Последствия, к которым приводят отказы, характеризуются величиной убытка, который можно выразить в денежном эквиваленте. Таким образом, все отказы, с точки зрения опасности, условно характеризуются показателями определяющими надежность, и убытками, последствий, которые вызваны этими отказами. В качестве критериев риска отказов, рассматриваются результирующие, таки как нанесение ущербов, травмы, заболеваемость и т.д.

Для экологических систем присущи другие задачи: сохранение баланса, биоразнообразия, целостности и т.д. Если исследуются антропогенные системы, то риски могут быть социальные, экономические, медицинские и др.

Общие подходы к расчетам риска дают возможности исследования многокомпонентных систем для определения опасных участков системы и эффективного использования этой информации для нейтрализации опасности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. OHSAS Project Group (2008). OHSAS 18002:2008. Система менеджмента профессиональной безопасности и здоровья : руководство по внедрению требований OHSAS 18001:2007. – London.
2. ISO 31000:2009. Менеджмент риска. Принципы и руководящие указания.
3. Управление рисками организаций. Интегрированная модель. Краткое изложение. Концептуальные основы. COSO, 2004.
4. Коршунова Л. Н. Оценка и анализ рисков / Л. Н. Коршунова, Н. А. Проданова. – Феникс, 2007.
5. Соболь И. М. Метод Монте-Карло / И. М. Соболь – М. : Наука, 1985. – 80 с.

Приходько К.О. ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ОЦІНКИ РИЗИКУ В ВИРОБНИЧІЙ ТА ЕКОЛОГІЧНІЙ БЕЗПЕЦІ

Метод оцінки ризику є важливим етапом планування та реалізації будь-якої господарської діяльності, оскільки дозволяє ідентифікувати ризики і прогнозувати збитки для різних систем функціонування.

Формування бази параметричних характеристик для побудови математичної моделі прогнозів ризику комплексних систем, елементами яких є технологічні, соціальні, економічні та інши компоненти. Використання методу має забезпечити максимально безпечні умови для реалізації виробничої та екологічної діяльності. Була зібрана інформація про категорії ризиків, методах аналізу та оцінки, а також були проаналізовані можливості використання інтерполяції та екстраполяції для прикладних задач з оцінки ризику.

Проміжними результатами дослідження можна назвати вибір математичних зв'язків для динамічного прогнозування специфічних ризиків і визначення рівнів для вибору заходів щодо їх усунення.

Застосування методу оцінки ризику у виробничій та природоохоронній діяльності дозволяє передбачати і впроваджувати ефективні попереджувальні заходи з мінімізації ймовірності виникнення можливих ризиків.

Ключові слова: оцінка ризику, прогнози ризику, математична модель, аналіз, збиток.

Prykhodko K.A. SCOPE OF THE ASSESSMENT OF RISK IN PRODUCTION AND ECOLOGICAL SAFETY

The method of an assessment of risk is an important stage of planning and realization of any economic activity as allows to identify risks and to predict occurrences of damage to various systems of functioning.

Formation of base of parametrical characteristics for creation of mathematical model of forecasts of risk of the complex systems which elements are technological, social, economic, etc. components. Use of a method has to provide the safest conditions for realization of production and ecological activity. Information on categories of risks, analysis and assessment methods and as possibilities of use of interpolation and extrapolation for applied tasks on risk estimates were analysed was collected.

It is possible to call intermediate results of research a choice of mathematical communications for dynamic forecasting of specific risks and definition of levels for a choice of actions for their elimination.

Application of a method of an assessment of risk in production and nature protection activity allows to expect and introduce effective precautionary measures for minimization of probability of emergence of possible risks.

Keywords: risk assessment, risk forecasts, mathematical model, analysis, damage.

Статтю прийнято
до редакції 26.05.14.



УДК 621.311

ФОРМАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА ОПЕРАТОРА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Рябенький В.М., Ушкаренко А.О.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова (г. Николаев)

Рассмотрены принципы математического описания элементов пользовательских интерфейсов автоматизированных рабочих мест операторов судовых электроэнергетических систем для определения компонентного и структурного состава интерфейсов автоматизированных рабочих мест при проектировании человеко-машинных систем, а также выполнения анализа процессов преобразования информации при взаимодействии автоматизированного рабочего места оператора со всеми подсистемами автоматизированной системы управления. Предложен метод формализации процесса работы оператора с экранными элементами управления. Разработана структурно-функциональная модель системы измерения и мониторинга параметров синхронного генератора. Определены правила описания функциональных структур на различных уровнях декомпозиции системы мониторинга и управления судовой электроэнергетической установкой. Наличие аналитической модели интерфейса пользователя позволяет оценить его полноту и непротиворечивость, определить отношения и типы связей между подсистемами управления и визуализации, а также описать функциональные возможности элементов отдельных подсистем и алгоритмы обработки данных. Преимуществом предлагаемого в работе подхода является возможность использования различных уровней декомпозиции для описания подсистем и элементов АСУ, что позволяет выделить наиболее важные аспекты описания на различных стадиях проектирования и анализа системы. Рассмотренный подход обладает объектно-ориентированным стилем описания, содержит информацию о структуре и типах информационных связей между составляющими систему элементами. Представленные в явном виде обозначения элементов пользовательского интерфейса, элементов преобразования информации остаются прозрачными для разработчика и содержат информацию о поведении элементов, требованиях к взаимодействию и их функциональных возможностях.

Ключевые слова: судовая электроэнергетическая система, АРМ оператора, структурно-функциональная модель, интерфейс.

Введение. Современные автоматизированные системы управления (АСУ) электроэнергетическими установками – это человеко-машинные системы, в которых с помощью технических средств обеспечивается сбор, накопление, обработка информации, формирование оптимальной стратегии управления и выдача результатов человеку или группе людей, принимающих решение по управлению. С целью обеспечения возможности взаимодействия человека с компьютером в интерактивном режиме появляется необходимость реализовать в рамках АСУ автоматизированное рабочее место (АРМ), которое представляет собой совокупность различных взаимосвязанных подсистем. Для получения эффективного результата разработки пользовательского интерфейса используется системный подход, при котором пользователь рассматривается как интеллектуальная часть системы «человек–программный продукт» [1]. При этом должны быть проанализированы вопросы взаимодействия человека с компьютером с точки зрения эргономики, учтены психологические и психофизиологические характеристики пользователя с целью повышения эффективности пользовательского интерфейса [2, 3], а экранные органы управления удовлетворять ряду требований, рассмотренных в работе [1]. На ранних этапах проектирования АРМ оператора сложность разработки пользовательского интерфейса обусловлена невозможностью подключения реального оборудования, а в случае наличия такой возможности – небезопасностью искусственного создания всевозможных, в том числе и аварийных ситуаций. Неправильное функционирование подсистемы управления или ее части может принести значительный ущерб. Предложенный в работе [4] подход является одним из наиболее подходящих методов решения этой проблемы, поскольку представляет собой имитационный стенд, реализованный на нескольких компьютерах и содержащий набор основных подсистем

автоматизированной системы управления. В состав имитационного стенда включена подсистема визуализации, и результат работы модели отображается на мониторе так же, как и в реальной системе в определяемом моделями объеме. Недостатком предложенной в работе [4] модели является отсутствие формального описания подсистемы визуализации. Рассмотренный в работе [5] метод синтеза математических моделей логико-динамических процессов контроля и управления может быть расширен и использован для аналитического описания пользовательских интерфейсов программ. Наличие аналитической модели интерфейса пользователя позволит оценить его полноту и непротиворечивость, определить отношения и типы связей между подсистемами управления и визуализации, а также описать функциональные возможности элементов отдельных подсистем и алгоритмы обработки данных. Преимуществом предлагаемого в работе подхода является возможность использования различных уровней декомпозиции для описания подсистем и элементов АСУ, что позволяет выделить наиболее важные аспекты описания на различных стадиях проектирования и анализа системы.

Цель работы. Целью работы является разработка метода описания пользовательского интерфейса автоматизированного рабочего места оператора для определения компонентного и структурного состава интерфейсов автоматизированных рабочих мест при проектировании человеко-машинных систем, а также выполнения анализа процессов преобразования информации при взаимодеййтвии АРМ оператора со всеми подсистемами АСУ.

Основной материал. Пользовательский интерфейс любой сложной системы составляется из комбинации типовых элементов ввода и вывода данных в различных формах – текстовой, графической, звуковой. Использование специализированных графических элементов (визуальных метафор) для отображения контролируемых параметров придает информации принципиально новое качество динамичности, т.е. способности к быстрой перестройке и непосредственному ее использованию в решаемых задачах управления. В случае необходимости имеется возможность быстро представить любую выборку из этой информации, например путем построения адаптивных пользовательских интерфейсов [6, 7], использованием цветового кодирования отображаемой информации и анимированных изображений.

Интерфейс автоматизированного рабочего места оператора электроэнергетической системы в данной работе рассматривается как множество функциональных структур, под которыми понимается закон связи между функциональными элементами процесса деятельности. Под элементами понимаются локализованные в пространстве и времени активности, в смысле направленных действий или фаз процесса деятельности [8]. В системном описании пользовательского интерфейса опорными точками служат: типология элементов (ввод данных, текстовое или графическое отображение информации); типы связей между элементами, характеризующие порядок взаимодействия элементов (входные связи для графических элементов отображения информации, выходные связи для графических элементов управления).

На рис. 1 представлена модель АРМ оператора, разработанная в среде Matlab для моделирования процесса управления и мониторинга параметров судового дизель-генератора, который входит в состав электроэнергетической установки [4]. Среди графических элементов пользовательского интерфейса можно выделить основные и производные, главные и второстепенные; разным уровням функциональной структуры соответствуют и разные группы элементов.

При помощи экранных органов управления на модели контролирующего оборудования (в данном случае это два блока «Generic Knob» и три кнопки – «Square Red») задаются требуемые значения частоты напряжения (оборотов дизеля) и величина линейного напряжения на обмотках статора синхронного генератора. Экранные кнопки используются для подключения к генератору различной нагрузки. В свою очередь, выполняется мониторинг таких параметров, как ток и напряжение статора генератора,

обороты дизеля, частота напряжения сети и мощность, потребляемая нагрузкой (абсолютное значение мощности и относительное, в процентах от номинальной мощности генератора) путем визуализации указанных величин с помощью виртуальных объектов на экране (семисегментный индикатор, стрелочный прибор, линейный индикатор). Также используется виртуальный осциллограф для отслеживания характера изменения контролируемых параметров объекта.

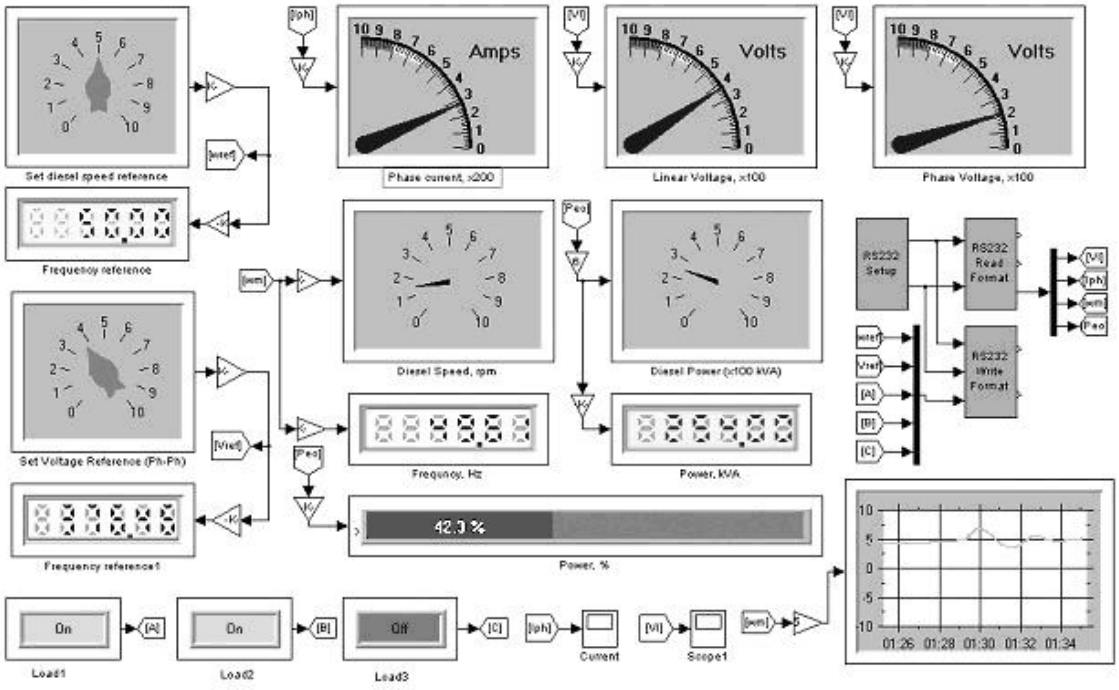


Рисунок 1 – Модель АРМ оператора

На рис. 2 представлен элемент пользовательского интерфейса, выполняющий роль экранного органа управления опорным значением напряжения генератора. Оператор с помощью манипулятора типа «мышь» имеет возможность изменить положение вращательного регулятора. Это действие можно описать выражением $f_1(Mouse^{Core}{}_{\uparrow\downarrow}{}^{U})$, в котором Mouse означает тип манипулятора «мышь», Core – задаваемый оператором параметр используется вычислительным ядром микроконтроллера для расчета и моделирования управляющего воздействия на объект управления (систему возбуждения синхронного генератора). Символы «↑↓» означают, что изменение параметра может происходить как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения значения. Символ U несет информацию про задаваемый параметр – напряжение генератора.

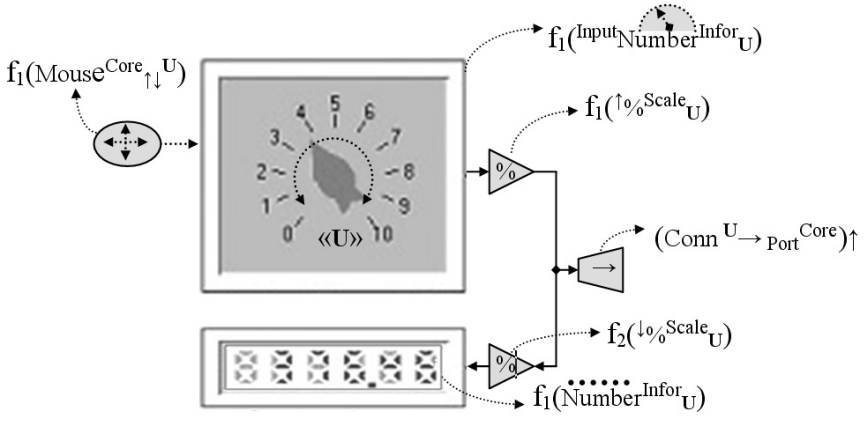


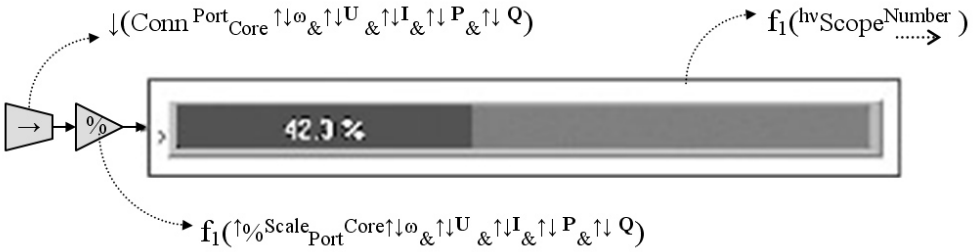
Рисунок 2 – Аналитическое описание элементов пользовательского интерфейса

Установленное с помощью экранного органа управления значение масштабируется. Эта операция описывается выражением $f_1(^{\uparrow}\%^{Scale}{}_U)$, в котором обозначение $\%^{\text{Scale}}$ описывает выполнение процедуры масштабирования, символ «↑» в верхнем индексе означает, что полученное значение увеличивается. Выражение $f_2(^{\downarrow}\%^{Scale}{}_U)$ описывает операцию масштабирования, однако результирующее значение уменьшается. В данном случае это необходимо чтобы подготовить данные для отображения на виртуальном индикаторе – семисегментном индикаторе, который описывается выражением $f_1(\overset{\bullet\bullet\bullet\bullet\bullet\bullet}{Number}^{\cdot Infor}{}_U)$. В этом выражении Infor означает, что виртуальный объект на экране выполняет функцию отображения информации о значении напряжения генератора (U) с помощью 6-ти позиционного числового индикатора (Number). Это необходимо для дополнительного контроля оператором процесса ввода и преобразования данных, а также установки параметра с заданной точностью. Масштабирование выполняется для удобства передачи данных между узлами сети с использованием промышленных интерфейсов и протоколов.

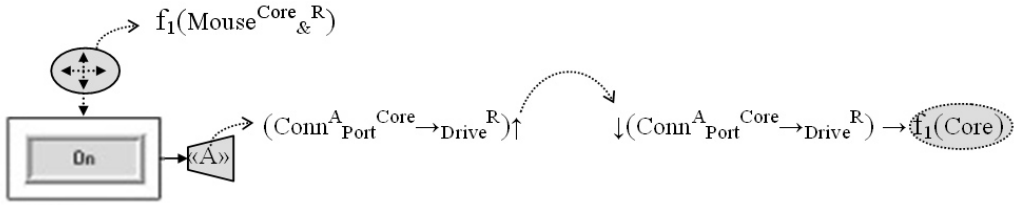
Процесс работы оператора с экранным элементом управления (вращательным регулятором) для установки требуемого значения напряжения генератора можно представить в виде:

$$f_1(Mous\acute{e}^{Core}{}_{\uparrow\downarrow}{}^{U}) \rightarrow f_1(^{Input}Numbe\overset{\bullet\bullet\bullet\bullet\bullet\bullet}{r}^{Infor}{}_U) \rightarrow f_1(^{\downarrow}\%^{Scale}{}_U)\begin{cases} \rightarrow (Conn^{U} \rightarrow Port^{Core})\uparrow \\ \rightarrow f_2(^{\uparrow}\%^{Scale}{}_U) \rightarrow f_1(\overset{\bullet\bullet\bullet\bullet\bullet\bullet}{Number}^{Infor}{}_U) \end{cases} \quad (1)$$

Выражение $(Conn^{U} \rightarrow Port^{Core})\uparrow$ описывает выходную связь (символ «↑») между экранным элементом управления, с помощью которого выполняется управление напряжением генератора ($Conn^{U}$), и элементом, представляющим собой входной порт микропроцессорной системы ($Port^{Core}$), выполняющей обработку введенного оператором значения и формирование управляющего воздействия на локальные системы управления.



а)



б)

Рисунок 3 – Графические элементы интерфейса и их аналитическое описание:
а) – линейный индикатор; б) – экранная кнопка

На рис. 3а, представлен элемент управления «линейный индикатор», который используется для отображения информации о величине отдаваемой генератором активной мощности в виде шкалы (в процентах от номинальной мощности генератора), а на рис. 3б – элемент управления «экранная кнопка», которая представляет собой переключатель с двумя положениями вкл/выкл, и используется для управления нагрузкой.

Экранный элемент отображения информации «линейный индикатор» связан (Conn) с выходным портом микропроцессорной системы ($Port_{Core}$). Кроме информации об

активной мощности, входная связь также содержит информацию и (&) о частоте (ω), напряжении (U), токе (I), активной мощности (P), реактивной мощности (Q), значения которых оператор может как увеличивать, так и уменьшать («↑↓»). Символ «↓» несет информацию о направлении данных и означает, что данные передаются в элемент управления для их отображения. Аналитическая запись $f_1({}^{hv}Scope^{Number}_{\cdots\cdots>})$ означает, что информацию в виде числового значения (Number) и дискретно изменяющейся шкалы ($\cdots\cdots>$) оператор получит визуально, через зрительный анализатор (^{hv}Scope). Увеличение значения отображаемого индикатором параметра приводит к заполнению рабочей области индикатора системным цветом в направлении слева направо.

Элемент управления «экранная кнопка» позволяет оператору выполнять операции (включение, отключение и т. п.) с отдельными объектами оборудования и группами объектов. Аналитическая запись действий оператора при работе с этим элементом управления содержит информацию о типе нагрузки (активная нагрузка обозначается символом R, индуктивная символом L, активно-индуктивная символами RL и т.д.), типе манипулятора, с помощью которого выполняется управление (Mouse – «мышь»), и подсистему, в которую передается информация о состоянии экранной кнопки (Core – микропроцессорная система управления).

Таким образом, предложенное аналитическое представление экранных элементов управления и действий оператора содержит описание трех основных частей пользовательского интерфейса [1]:

– визуальное (звуковое, тактильное) оформление, отвечающее за представление информации оператору о вводимых и контролируемых параметрах в текстовом, графическом, мнемоническом и других видах;

– функциональные возможности системы, включающие набор возможностей для выполнения профессиональной деятельности;

– техники взаимодействия оператора с системой (мышь, клавиатура, трекбол, джойстик, сенсорный экран и др.)

При этом функциональность системы рассматривается в тесной связи с пользовательским интерфейсом и элементами взаимодействия пользователя с системой.

На рис. 4 представлено описание логико-динамического процесса измерения действующего значения линейного напряжения генератора, и визуализации измеренного значения с помощью виртуального осциллографа в среде Matlab Simulink.

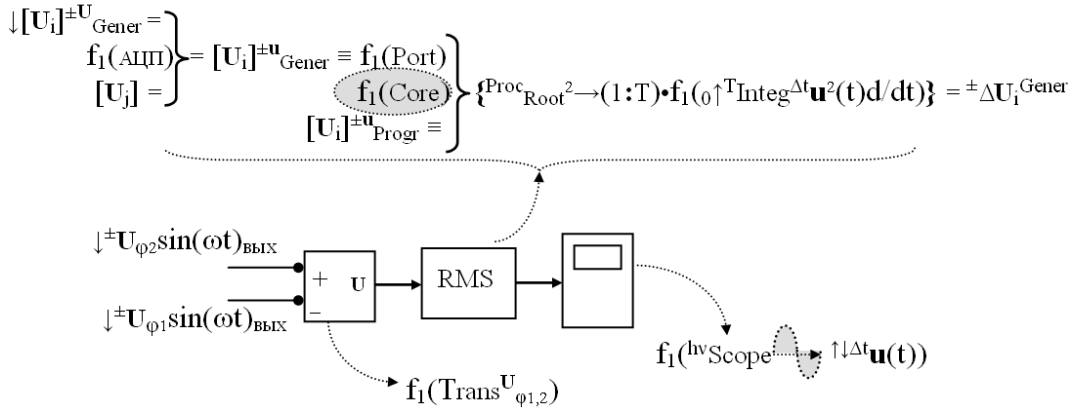


Рисунок 4 – Формализация процесса измерения действующего значения напряжения

Аналитическое выражение $f_1(Trans^{U}_{\varphi_{1,2}})$ описывает функциональную структуру измерительного трансформатора напряжения. При рассмотрении этого элемента системы в виде «черного ящика», скрываются его детали реализации. Этот элемент содержит также аналого-цифровой преобразователь (АЦП), арифметическое устройство, выполняющее расчет разницы мгновенных значений фазных напряжений ($U_{\varphi1}$ и $U_{\varphi2}$) для

определения величины линейного напряжения (u=$U_{\varphi 1,2}$). Элемент «RMS» выполняет расчет действующего значения линейного напряжения U_{AB} в соответствии с выражением:

$$U_{AB} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T u^2 dt} .$$

Аналитическая запись ${}^{Proc}Root^2$ описывает процедуру нахождения квадратного корня. Процедура интегрирования (Integr) в пределах одного периода (${}_0\uparrow^T$) напряжения (**u**(t)) в выбранной нотации описывается выражением {(1:T)•$f_1({}_0\uparrow^T Integr^{\Delta t}\mathbf{u}^2(t)d/dt)$}. Фигурные скобки указывают на программную реализацию алгоритма расчета, по аналогии с языком Си, в котором тело функции заключается в аналогичные скобки. Численное интегрирование выполняется методом прямоугольников с равномерным шагом сетки Δt, который равен периоду дискретизации АЦП. Таким образом, рассмотренный вариант аналитической записи позволяет перейти от модели «черного ящика» к модели «серого ящика». Аналого-цифровое преобразование напряжения выполняется встроенным в микроконтроллер периферийным устройством (f_1(АЦП)). Полученный в результате массив значений $[U_i]^{\pm u}{}_{Gener}$ по внутренней шине поступает (f_1(Port)) в арифметико-логическое устройство, которое вместе с регистрами общего назначения, счетчиком команд и некоторыми другими элементами является ядром микропроцессора (f_1(Core)). Далее, выполняется обработка массива с данными о мгновенных значениях линейного напряжения генератора в соответствии с алгоритмом, который реализован в программе ($[U_i]^{\pm u}{}_{Progr}$).

Рассмотренный подход позволяет создать математическую модель АРМ оператора или его части. Согласно определению В. М. Глушкова, математическая модель – это множество символических математических объектов и соотношений между ними. В широком смысле к математическим моделям относят любые модели, удовлетворяющие определению В. М. Глушкова [9]. Например, измерение активной и реактивной мощности генератора, а также отображение значений этих величин с помощью графических элементов пользовательского интерфейса, можно представить в виде комбинированной структурно-функциональной модели (рис. 5).

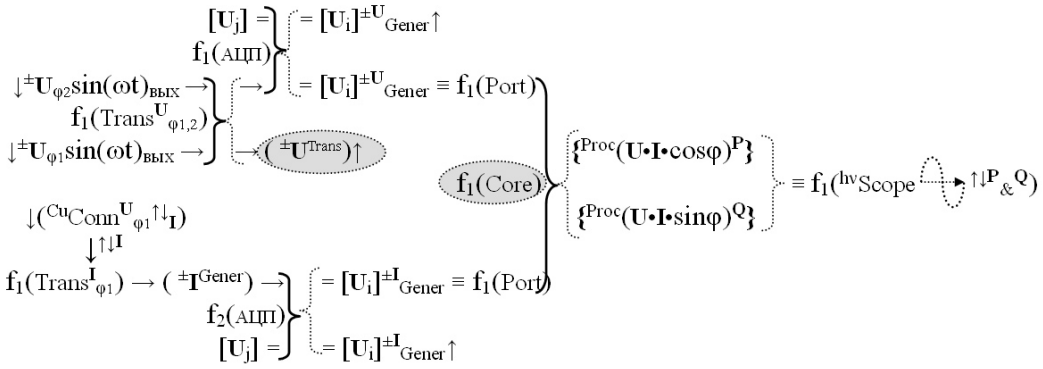


Рисунок 5 – Структурно-функциональная модель процесса измерения мощности

Математическое моделирование играет значительную роль в проверке адекватности моделей путем логического анализа. Описание системы в виде логико-динамического процесса преобразования информации позволяет выполнить проверку качественной адекватности модели – истинность гипотез о связях между параметрами и переменными модели, внутреннюю непротиворечивость, корректность преобразования информации, в частности замену непрерывных процессов дискретными. Такая проверка является обязательным предварительным этапом и при установлении адекватности количественных моделей.

Рассмотренный подход обладает объектно-ориентированным стилем описания, содержит информацию о структуре и типах информационных связей между

составляющими систему элементами. Представленные в явном виде обозначения элементов пользовательского интерфейса, элементов преобразования информации остаются прозрачными для разработчика и содержат информацию о поведении элементов, требованиях к взаимодействию и их функциональных возможностях.

Выводы. Понятия элементов, связей, функциональных структур служат средством описания сложных форм деятельности, к которым относится процесс взаимодействия человека с компьютером. Эти средства могут использоваться и для объективной характеристики видов деятельности (мониторинг, управление), действий и способов их осуществления (ввод данных с клавиатуры или специализированных графических элементов управления). Предложенный в работе подход позволяет представить пользовательский интерфейс автоматизированного рабочего места оператора как систему взаимосвязанных единиц с возможными отношениями между ними и типами связи. Это позволит при проектировании человеко-машинных систем определить компонентный и структурный состав интерфейсов автоматизированных рабочих мест, выполнить анализ процессов преобразования информации, рассматривать АРМ оператора со всеми подсистемами АСУ. Использование аналитического описания пользовательского интерфейса позволяет повысить эффективность программного продукта путем полного использования заложенной в программное обеспечение функциональности. Предложенный подход может быть использован как для высокоуровневого проектирования и описания взаимодействия оператора с системой, так и для низкоуровневого проектирования и описания взаимодействия элементов системы на различных уровнях декомпозиции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сергеев С. Ф. Введение в проектирование интеллектуальных интерфейсов. Учебное пособие / С. Ф. Сергеев, П. И. Падерно, Н. А. Назаренко. – СПб. : СПбГУ ИТМО, 2011. – 108 с.

2. Обознов А. А. Проектирование пользовательского интерфейса : эргономический подход / А. А. Обознов, А. С. Баканов. – М. : Изд-во «Институт психологии РАН», 2009. – 184 с.

3. Радванська Л. М. Моделі, методи та засоби підвищення ефективності інтерфейсу «користувач–ЕОМ» у системах організаційного управління : автореф. дисс. канд. техн. наук / Л. М. Радванська. – Херсон : ХГТУ, 1999. – 17 с.

4. Рябенький В. М. Моделирование микропроцессорных систем управления газодизель-генераторными установками / В. М. Рябенький, А. О. Ушкаренко, В. И. Воскобоенко // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – Львів : НУ «Львівська політехніка». – 2009. – № 637. – С. 78-82.

5. Рябенький В. М. Метод синтезу математичних моделей логіко-динамічних процесів контролю та керування / В. М. Рябенький, А. О. Ушкаренко // Технічна електродинаміка : тем. випуск, Ч. 2. – Київ, 2011. – С.121-125.

6. Ходаков В. Е. Адаптивный пользовательский интерфейс : проблемы построения / В. Е. Ходаков, Д. В. Ходаков // Информационно-измерительные системы. – 2003. – № 11 (11). – С. 12-19.

7. Соколова Н. А. Адаптивный интерфейс АРМ диспетчера системы электросетей / Н. А. Соколова, Д. В. Ходаков // Автоматика. Автоматизация. Электрические комплексы и системы. – 2000. – № 2 (7). – С. 48-56.

8. Большой психологический словарь / Сост. и общ. ред. Б. .Г. Мещеряков, В. П. Зинченко. – СПб. : Прайм-ЕВРОЗНАК, 2003. – 672 с.

9. Глушков В. М. Кибернетика, вычислительная техника, информатика. Избранные тр. в трех томах. Т. 1. Математические вопросы кибернетики. Т. 2. ЭВМ – техническая база кибернетики. Т. 3. Кибернетика и ее применение в народном хозяйстве / В. М. Глушков. – К. : Наукова думка, 1990.

Рябенький В.М., Ушкаренко О.О. АНАЛІТИЧНИЙ МЕТОД ОПИСУ ІНТЕРФЕЙСУ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОБОЧОГО МІСЦЯ ОПЕРАТОРА ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ

Розглянуто принципи математичного опису елементів користувальницьких інтерфейсів автоматизованих робочих місць операторів суднових електроенергетичних систем для визначення компонентного і структурного складу інтерфейсів автоматизованих робочих місць при проектуванні людино-машинних систем, а також виконання аналізу процесів перетворення інформації при взаємодії автоматизованого робочого місця оператора з усіма підсистемами автоматизованої системи управління. Запропоновано метод формалізації процесу роботи оператора з екранними елементами управління. Розроблено структурно-функціональну модель системи вимірювання та моніторингу параметрів синхронного генератора. Визначено правила опису функціональних структур на різних рівнях декомпозиції системи моніторингу та управління судновою електроенергетичною установкою. Наявність аналітичної моделі інтерфейсу користувача дозволяє оцінити його повноту і несуперечність, визначити відносини і типи зв'язків між підсистемами управління та візуалізації, а також описати функціональні можливості елементів окремих підсистем і алгоритми обробки даних. Перевагою запропонованого в роботі підходу є можливість використання різних рівнів декомпозиції для опису підсистем і елементів АСУ, що дозволяє виділити найбільш важливі аспекти опису на різних стадіях проектування та аналізу системи. Розглянутий підхід має об'єктно-орієнтований стиль опису, містить інформацію про структуру і типи інформаційних зв'язків між складовими елементами системи. Представлені в явному вигляді позначення елементів користувальницького інтерфейсу, елементів перетворення інформації залишаються прозорими для розробника і містять інформацію про їх поведінку, вимоги до взаємодії та їх функціональних можливостей.

Ключові слова: суднова електроенергетична система, АРМ оператора, структурно-функціональна модель, інтерфейс.

Ryabenkiy V.M., Ushkarenko O.O. ANALYTICAL METHOD OF DESCRIPTION OF INTERFACE FOR AUTOMATED OPERATOR WORKPLACE OF POWER SYSTEM

The principles of the mathematical description of elements of the operator's user interface of ship power plants to determine the component interfaces and the structural composition of workstations in the design of human-machine systems, and perform analysis of the processes of transformation of information in the interaction of the operator workstation with all the subsystems of the automated control system have been described. Proposed a method for formalization of the work process of operator with onscreen controls. The structural-functional model of the system to measure and monitor the parameters of the synchronous generator have been developed. The rules for describing functional structures at various levels of decomposition of the monitoring and control of ship's power plant have been defined. The presence of an analytical model of the user interface is a measure of completeness and consistency, to determine the types of relationships and connections between subsystems control and visualization, as well as to describe the functionality of the individual subsystems and data processing algorithms. Advantage of this approach is in the use of different levels of decomposition to describe subsystems and elements of ICS, which allows to highlight the most important aspects of the description of the various stages of design and analysis system. The approach has an object-oriented style description contains information about the structure and types of communication links between the constituent elements of the system. Represented obviously user interface elements, elements of information transformation remain transparent to the developer and contain information about the behavior of the elements, requirements and their interaction capability.

Keywords: ship power system, operator workstation, structural-functional model, interface.

Статтю прийнято
до редакції 26.05.14

УДК 656.61052.001.2

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ УСИЛЕННОЙ И РЕЗОНАНСНОЙ БОРТОВОЙ КАЧКИ СУДНА НА ТРАНСОКЕАНСКОМ УЧАСТКЕ МАРШРУТА ПЕРЕХОДА

Спешилов В.М., Степкова В.В.
Херсонская государственная морская академия

В данной статье изложена методика определения вероятности возникновения усиленной и резонансной бортовой качки судна на трансокеанском участке маршрута перехода с помощью гидрометеорологических карт Атлантического, Индийского и Тихого океанов. Исходя из периода собственных колебаний судна и ожидаемого истинного периода морских волн на трансокеанском участке маршрута перехода, определен порядок вычисления курсовых углов бега волны, при которых возникает усиленная и резонансная бортовая качка. С помощью роз повторяемости периодов морских волн, нанесенных на гидрометеорологических картах Атлантического, Индийского и Тихого океанов для каждого месяца года определен порядок оценки вероятности возникновения усиленной и резонансной бортовой качки на альтернативных трансокеанских маршрутах перехода по ортодромии и локсодромии в целях дополнительной информации для мотивации принятия решения по планированию перехода судна.
Ключевые слова: роза повторяемости периодов морских волн, истинный период волны, видимый период волны, курсовой угол бега волны, период свободных колебаний судна, усиленная и резонансная бортовая качка.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важнейшими практическими задачами. В процессе планирования рейса судна часто возникает дилемма альтернативного пути судна по ортодромии или по локсодромии на трансокеанском участке маршрута перехода. Выбор наивыгоднейшего пути на этом участке основывается на квалифицированной оценке всех факторов, влияющих на безопасность плавания. Помимо обязательного учета гидрометеорологических условий в районе плавания необходимо учитывать мореходные и эксплуатационные качества судна, а также характер груза. В этой связи анализ условий вероятного возникновения усиленной и резонансной бортовой качки, который не предусмотрен в методических указаниях и рекомендациях [6–8], может дать дополнительную мотивацию выбора альтернативного пути судна особенно при перевозке навалочных грузов.

Анализ последних публикаций, в которых начато решение данной проблемы, и выделение нерешенных ранее частей проблемы. Во всех учебных пособиях по управлению судном [1–5] изложена методика определения условий возникновения усиленной и резонансной бортовой качки, с помощью универсальной штормовой диаграммы Ю.В. Ремеза, которая основана на измерении видимого периода морской волны во время плавания по маршруту перехода. Таким образом, если запланированные курс и скорость судна на переходе войдут в зону усиленной и резонансной бортовой качки, маневр курсом и (или) скоростью для выхода из этой зоны неизбежно приведет к увеличению ходового времени. Важнейшим фактором принятия решения на оптимальный переход является предусмотрительность вероятного развития событий, влияющих на безопасность плавания. Поэтому условия возникновения усиленной и резонансной бортовой качки предпочтительнее просчитать заранее на стадии планирования перехода.

Цель статьи. Целью статьи является определение методики вычисления вероятности возникновения усиленной и резонансной бортовой качки судна на трансокеанском участке маршрута перехода с помощью гидрометеорологических карт Атлантического, Индийского и Тихого океанов.

Изложение основного материла. Вероятность возникновения усиленной и резонансной бортовой качки судна можно определить с помощью розы повторяемости периодов морских волн, которая нанесена внутри ограниченного района океана на

гидрометеорологической карте и показывает вероятность повторения периода морских волн в зависимости от истинного пеленга бега волны.

Поскольку роза повторения периодов волн показывает истинные периоды волн в четырех диапазонах – 1с ÷ 7с; 8с ÷ 11с; 12с ÷ 15с; 16с и более, то необходимо вычислить курсовые углы бега волны, при которых возникает усиленная и резонансная бортовая качка судна для каждого из этих диапазонов периодов волн. Формулу для вычисления курсового угла бега волны, при котором возникает усиленная и резонансная бортовая качка, можно вывести с помощью известного соотношения истинного периода морских волн $\tau_и$, видимого (кажущегося) периода морских волн $\tau_{вид}$, скорости хода судна $V_{сх}$ и курсового угла бега волны $q_{бв}$:

$$\tau_{вид} = \frac{\tau_и}{1 + 0.33\frac{V_{сх}}{\tau_и}\cos q_{бв}} \rightarrow q_{бв} = \arccos\frac{\left(\frac{\tau_и}{\tau_{вид}} - 1\right)\tau_и}{0.33V_{сх}}, \quad (1)$$

где $q_{бв}$ – курсовой угол бега морской волны в полукруговом счете, градусы; $\tau_и$ – истинный период морских волн, секунды; $\tau_{вид}$ – видимый (кажущийся) период морских волн, секунды; $V_{сх}$ – скорость хода судна, узлы.

Поскольку усиленная и резонансная бортовая качка возникает в том случае, если при движении судна возникает видимый период морских волн в диапазоне $0.77\tau_{ск}$ ÷ $1.43\tau_{ск}$, где $\tau_{ск}$ – период свободных (собственных) колебаний судна, то формула (1) для вычисления диапазона курсовых углов, при котором возникает усиленная и резонансная бортовая качка, приобретает следующий вид:

$$q_{бв} = \arccos\frac{\left(\frac{\tau_и}{0.77\,\tau_{ск}} - 1\right)\times\tau_и}{0.33V_{сх}} \div \arccos\frac{\left(\frac{\tau_и}{1.43\,\tau_{ск}} - 1\right)\times\tau_и}{0.33V_{сх}}. \quad (2)$$

Вычисление курсовых углов бега волны, при которых возникает усиленная и резонансная бортовая качка, вычисляют в следующей последовательности:

1. Для диапазона истинных периодов морских волн 1 с ÷ 7 с:

$$q_{бв} = \arccos\frac{\left(\frac{1}{0.77\,\tau_{ск}} - 1\right)\times 1}{0.33V_{сх}} \div \arccos\frac{\left(\frac{1}{1.43\,\tau_{ск}} - 1\right)\times 1}{0.33V_{сх}};$$

$$q_{бв} = \arccos\frac{\left(\frac{7}{0.77\,\tau_{ск}} - 1\right)\times 7}{0.33V_{сх}} \div \arccos\frac{\left(\frac{7}{1.43\,\tau_{ск}} - 1\right)\times 7}{0.33V_{сх}}.$$

2. Аналогично вычисляют курсовые углы бега волны для остальных трех диапазонов истинных периодов морских волн: 8с ÷ 11с, 12с ÷ 15с, 16с.

Например, судно осуществляет трансокеанский переход истинным курсом 263.°0 (ИК = 263.°0). Скорость хода судна 23.9 узлов ($V_{сх}$ = 23.9 уз), период свободных (собственных) колебаний судна 19.7 секунд ($\tau_{ск}$ = 19.7 с). Исходя из того, что усиленная и резонансная бортовая качка этого судна возникает в том случае, если при движении судна видимый период морских волн получается в диапазоне 15.2÷28.2 с (0.77×19.7÷1.43×19.7= =15.2 ÷ 28.2), то для истинного периода морских волн в одну секунду ($\tau_и$ = 1 с) усиленная и резонансная бортовая качка судна возникает при курсовом угле бега волны 97°:

$$q_{бв} = \arccos\frac{\left(\frac{1}{15.2}-1\right)\times 1}{0.33\times 23.9} = \arccos\frac{-0.93421058}{7.887} \div \arccos\frac{\left(\frac{1}{28.2}-1\right)\times 1}{7.887} = 97.^{\circ}0 .$$

Для истинного периода волны в 7 секунд ($\tau_и$ = 7 с) усиленная и резонансная бортовая качка судна возникает при курсовых углах бега волны в диапазоне 119° ÷ 132°:

$$q_{бв} = \arccos\frac{\left(\frac{7}{15.2}-1\right)\times 7}{7.887} \div \arccos\frac{\left(\frac{7}{28.2}-1\right)\times 7}{7.887} = 118.^{\circ}6 \div 131.^{\circ}9 .$$

Таким образом, если в районе плавания истинный период морских волн в диапазоне 1 ÷ 7 с, то усиленная и резонансная качка для данного судна может возникнуть при курсовых углах бега волны в диапазоне 97° ÷ 132°.

Вычисление резонансных курсовых углов бега волны для диапазона истинных периодов морских волн 8 ÷ 11 с производится в следующей последовательности:

$$q_{бв} = \arccos\frac{\left(\frac{8}{15.2}-1\right)\times 8}{7.887} \div \arccos\frac{\left(\frac{8}{28.2}-1\right)\times 8}{7.887} = 118.^{\circ}7 \div 136.^{\circ}6 ;$$

$$q_{бв} = \arccos\frac{\left(\frac{11}{15.2}-1\right)\times 11}{7.887} \div \arccos\frac{\left(\frac{11}{28.2}-1\right)\times 11}{7.887} = 112.^{\circ}7 \div 148.^{\circ}3 ,$$

Таким образом, если в районе плавания истинный период морских волн в диапазоне 8 с ÷ 11 , то усиленная и резонансная бортовая качка судна может возникнуть при курсовых углах бега волны в диапазоне 113° ÷ 148°.

Вычисление резонансных курсовых углов бега волны для диапазона истинных периодов морских волн 12 с ÷ 15 с:

$$q_{бв} = \arccos\frac{\left(\frac{12}{15.2}-1\right)\times 12}{7.887} \div \arccos\frac{\left(\frac{12}{28.2}-1\right)\times 12}{7.887} = 108.^{\circ}9 \div 150.^{\circ}9 ;$$

$$q_{бв} = \arccos\frac{\left(\frac{15}{15.2}-1\right)\times 15}{7.887} \div \arccos\frac{\left(\frac{15}{28.2}-1\right)\times 15}{7.887} = 91.^{\circ}4 \div 152.^{\circ}9 .$$

Таким образом, если в районе плавания истинный период морских волн в диапазоне 12 с ÷ 15 с, то усиленная и резонансная бортовая качка судна может возникнуть при курсовых углах бега волны в диапазоне 91° ÷ 153°.

Вычисление резонансных курсовых углов бега волны для истинного периода морских волн 16 секунд:

$$q_{бв} = \arccos\frac{\left(\frac{16}{15.2}-1\right)\times 16}{7.887} \div \arccos\frac{\left(\frac{16}{28.2}-1\right)\times 16}{7.887} = 83.^{\circ}9 \div 151.^{\circ}1 .$$

Таким образом, если в районе плавания истинный период морских волн равен 16 секунд, то усиленная и резонансная бортовая качка судна может возникнуть при курсовых углах бега волны в диапазоне 84° ÷ 151°.

Для определения вероятности возникновения усиленной и резонансной бортовой качки судна в районе действия розы повторяемости периодов морских волн – в этом

районе проводят линию истинного курса судна 263° (рис. 1) и вычисляют курсовые углы бега волны для каждого из восьми лучей розы исходя из того, что диапазон пеленгов каждого луча ±22° от среднего истинного пеленга 0° – для луча № 1, 45° – для луча № 4, 180° – для луча № 5, 235° – для луча № 6, 270° – для луча № 7 и 315° – для луча № 8.

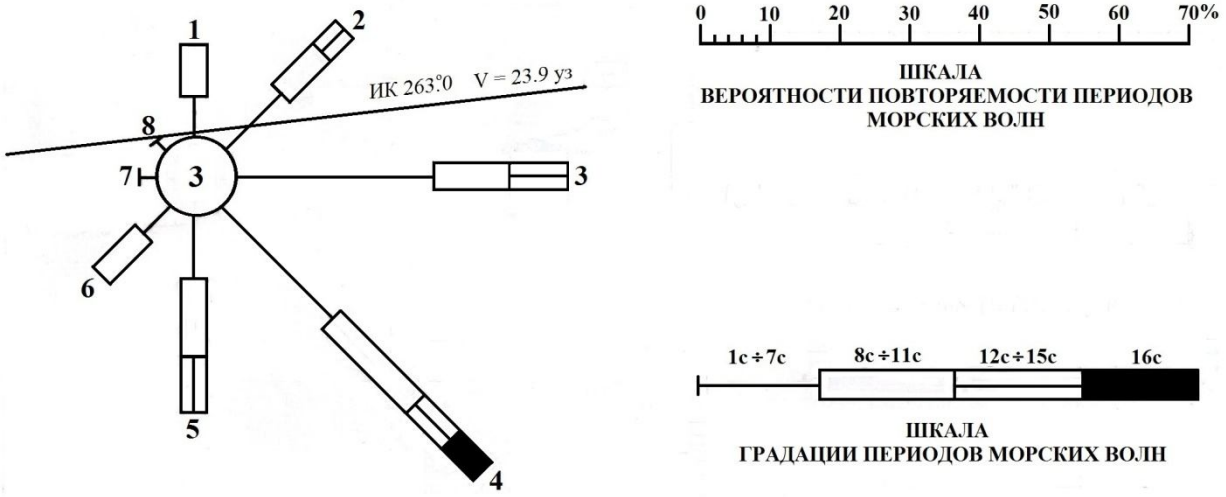


Рисунок 1 – Роза повторяемости периодов морских волн

Истинные пеленги каждого луча, курсовые углы бега волны в соответствии с пеленгом каждого луча и вычисленные резонансные курсовые углы сводят в табл. 1.

Таблица 1– Вероятность возникновения усиленной и резонансной бортовой качки

Номер луча розы	***1***	***2***	***3***	***4***	***5***	***6***	***7***	***8***
Истинный пеленг бега волны $ИП_{бв}$	338°÷22°	23°÷67°	68°÷112°	113°÷157°	158°÷202°	203°÷247°	248°÷292°	293°÷337°
Курсовой угол бега волны $q_{бв} = ИП_{бв} - ИК$	75°÷119°	120°÷164°	165°÷180° 151°÷180	106°÷150°	61°÷105°	16°÷60°	0°÷15° 0°÷29°	30°-74°
Диапазон периодов волн	$\tau_и$ = 1 с ÷ 7 с							
Вероятность повторения периодов волн	6%	11%	28%	22%	10%	6%	3%	2%
Резонансные курсовые углы бега волны	97°÷132°	97°÷132°	–	97°÷132°	97°÷132°	–	–	–
Диапазон периодов волн	$\tau_и$ = 8 с ÷ 11 с							
Вероятность повторения периодов волн	8%	9%	11%	17%	12%	9%	–	–
Резонансные курсовые углы бега волны	113°÷148°	113°÷148°	–	113°÷148°	–	–	–	–

Продолжение табл. 1

Диапазон периодов волн	$\tau_и$ = 12 с ÷ 15 с							
Вероят-ность повторения периодов волн	–	4%	8%	7%	–	–	–	–
Резонансные курсовые углы бега волны	–	–	91°÷153°	91°÷153°	91°÷153°	–	–	–
Период волн	$\tau_и$ = 16 с							
Вероят-ность повторения периодов волн	–	–	–	7%	–	–	–	–
Резонанс-ные курсовые углы бега волны	–	–	–	84°÷151°	–	–	–	–

Анализ табл. 1 показывает, что в районе действия розы повторяемости истинных периодов морских волн наибольшая вероятность возникновения резонансной бортовой качки судна равна 22 %.

Для вычисления курсового угла бега волны, с помощью формулы (2) в формате MS Excel используются показатели, отображенные на рис. 2.

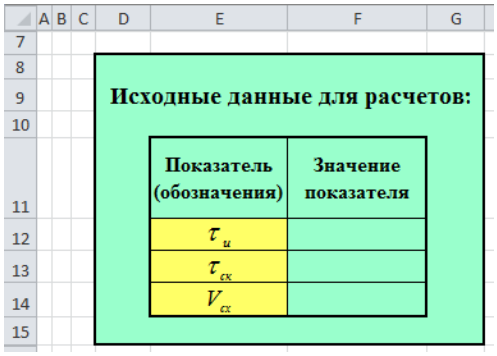


Рисунок 2 – Таблица для ввода исходных данных в MS Excel

Вычисление курсового угла бега волны, при котором возникает усиленная и резонансная бортовая качка, в формате MS Excel будет выглядеть следующим образом:

$q_{бв}$ =ГРАДУСЫ(ACOS(((F12/(0,77*F13)-1)*F12)/(0,33*F14)))

$q_{бв}$ =ГРАДУСЫ(ACOS(((F12/(1,43*F13)-1)*F12)/(0,33*F14)))

Выводы. Предложенный метод определения вероятности возникновения усиленной и резонансной бортовой качки судна по маршруту перехода позволяет расширить информацию по ожидаемым условиям плавания на маршруте перехода, которая необходима для мотивации принятия решения по планированию перехода на трансокеанском участке этого маршрута.

В дальнейшем целесообразно увеличить диапазон информации, необходимой для принятия решения на переход за счет оценки вероятности возникновения слеминга и брочинга на трансокеанском участке маршрута перехода.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Снопков В. И. Управление судном : Учебник для ВУЗов. / В. И. Снопков. – СПб. : АНО НПО «Профессионал», 2004. – 536 с.

2. Лихачев А. В. Управление судном : учебник для морских вузов / А. В. Лихачев. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2004 – 504 с.

3. [Демин С. И., Жуков Е. И., Кубачев Н. А. и др.] : под ред. В. И. Снопкова. – М. : Транспорт, 1991. – 359 с.

4. Дидык А. Д. Управление судном и его техническая эксплуатация : учебник для мореходных училищ / А. Д. Дидык, В. Д. Усов, Р. Ю. Титов. – М. : Транспорт, 1990 – 320 с.

5. Захаров А. М. Управление судном и его техническая эксплуатация : учебник для мореходных училищ / А. М. Захаров, А. Д. Дидык. – М. : Транспорт, 1982. – 328 с.

6. Методичні рекомендації до виконання випускної роботи освітньо-кваліфікаційного рівня «спеціаліст» / Відповідальний редактор В. Є. Лєонов. – Херсон : ХДМА, 2013. – 108 с.

7. Методичні рекомендації до виконання випускної роботи освітньо-кваліфікаційного рівня «спеціаліст» / Відповідальний редактор В. Є. Лєонов. – Херсон : ХДМІ, 2011. – 73с.

8. Алексишин В. Г. Методика выполнения курсовой работы по навигации «Навигационное планирование перехода» / В. Г. Алексишин, Л. А. Козырь. – Одесса : Латстар, 2001. – 72 с.

Спєшилов В.М., Степкова В.В. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ ВИНИКНЕННЯ ПОСИЛЕНОЇ ТА РЕЗОНАНСНОЇ БОРТОВОЇ КАЧКИ СУДНА НА ТРАНСОКЕАНСЬКІЙ ДІЛЯНЦІ МАРШРУТУ ПЕРЕХОДУ

У даній статті викладена методика визначення ймовірності виникнення посиленої та резонансної бортової качки судна на трансокеанській ділянці маршруту переходу за допомогою гідрометеорологічних карт Атлантичного, Індійського і Тихого океанів. Виходячи з періоду власних коливань судна та очікуваного істинного періоду морських хвиль на трансокеанській ділянці маршруту переходу, визначено порядок обчислення курсових кутів бігу хвилі, при яких виникає посилена і резонансна бортова качка. За допомогою роз повторюваності періодів морських хвиль, нанесених на гідрометеорологічних картах Атлантичного, Індійського і Тихого океанів для кожного місяця року визначено порядок оцінки ймовірності виникнення посиленої і резонансної бортової качки на альтернативних трансокеанських маршрутах переходу по ортодромії і локсодромії з метою додаткової інформації для мотивації прийняття рішення по плануванню переходу судна.

Ключові слова: роза повторюваності періодів морських хвиль, істинний період хвилі, видимий період хвилі, курсовий кут бігу хвилі, період вільних коливань судна, посилена і резонансна бортова качка.

Speshylov V.M., Stepkova V.V. THE METHOD OF DETERMINATION REINFORCED AND RESONANT SHIP'S ROLLING APPEARANCE PROBABILITY ON TRANSOCEANIC LEG OF THE ROUTE

In the following article we propose the method of determination reinforced and resonant ship's rolling appearance probability on transoceanic leg of the route using Atlantic, Pacific and Indian ocean's hydrometeorological charts. On the basis of ship's free period and estimated true sea waves period on transoceanic leg of the route we determined the calculation sequence of course angles of wave's run, which cause reinforced and resonant rolling. With assistance of sea wave's period roses marked on Atlantic, Indian and Pacific ocean's hydrometeorological charts for each month of the year the assessment order of appearance probability of reinforced and resonant rolling on alternative transoceanic routes by great circle and rhumb line was determined as purpose of additional information for passage planning's decision making motivation.

Key words: sea wave's period rose, true wave period, visible wave period, course angle of wave's run, ship's free period, reinforced and resonant rolling.

Статтю прийнято
до редакції 30.04.14

УДК 656.61.052

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПОЛЮСА ПОВОРОТА ПО ТАНГЕНЦИАЛЬНЫМ СКОРОСТЯМ НОСА И КОРМЫ

Товстокорый О.Н.
Херсонская государственная морская академия

В работе предложен новый способ экспериментального определения положения полюса поворота по измерению характера распределения местных тангенциальных скоростей на кормовом и носовом перпендикулярах.
При управлении маневрированием обзорно-сравнительным способом оператору кажется, что вращение происходит вокруг него, в то время когда фактически происходит вокруг полюса поворота (ПП). Это приводит к неверной оценке расстояний до ориентиров и создает предпосылки для возникновения аварийной ситуации.
При изменении точки приложения поперечных сил положение ПП изменяется, что существенно влияет на характер маневрирования. Особенно это проявляется при маневрировании больших парусных судов (БПС), для которых точку приложения поперечных сил корректно определить расчетным способом не представляется возможным. Поэтому экспериментальное определение положения ПП БПС является весьма актуальным.
Способ определения мгновенного положения полюса поворота может быть использован на любых судах для повышения точности управления судном при морских операциях.
Ключевые слова: полюс поворота, боковые силы, плечо боковой силы, плечо полюса поворота, тангенциальные скорости.

Постановка проблемы в общем виде. При обзорно-сравнительном способе управления судном оператору кажется, что вращение происходит вокруг него, в то время когда фактически происходит вокруг полюса поворота (ПП). В большинстве случаев при таком маневрировании судна судоводитель прибегает к глазомерной оценке и руководит приложением управляющих воздействий на основании своего опыта по управлению конкретным судном и интуиции.

Это приводит к неверной оценке расстояний до ориентиров и создает предпосылки для возникновения аварийной ситуации. Вокруг ПП происходит вращение и угол дрейфа в нем равен 0^0. При изменении точки приложения поперечных сил положение ПП изменяется, что существенно влияет на характер маневрирования. Особенно это проявляется при маневрировании больших парусных судов (БПС), для которых точку приложения поперечных сил корректно определить расчетным способом не представляется возможным. Поэтому экспериментальное определение положения ПП позволяет, как уточнить расчетные методы определения положения ПП, так и получить закономерности его перемещения при маневрировании. Поэтому экспериментальное определение положения ПП БПС является весьма актуальным.

Анализ последних достижений и публикаций. В работе [1] отмечается, что перемещение ПП зависит от отношения величины лобового сопротивления к движущей силе и направлено в сторону действия этой силы.

В работе [2] показано, что положение ПП зависит от точки приложения равнодействующей боковых сил и предложены формулы для расчета положения ПП для разных вариантов приложения сил.

В работе [3] автор утверждает, что при поворотах судно разворачивается вокруг вертикальной оси (центра вращения), проходящей через центр сил сопротивления.

В работе [4] приведены формулы расчета положения ПП при маневрировании в узкостях при различной ширине занимаемой полосы движения.

В работе [5] усовершенствовано алгоритмы расчета положения ПП при нескольких поперечных силах и получена формализованная модель расчета его положения с индикацией судоводителю на контуре ватерлинии.

В работе [6] приведены содержательные модели оценки положения ПП,

полученные на основании личного производственного опыта выполнения практического маневрирования.

В работе [7] показано, что изменение положения ПП при маневрировании парусного судна происходит за счет изменения угла перекладки руля и набора парусов. Однако формализованные модели не приведены.

Постановка задачи. Для уточнения закономерностей изменения положения ПП при маневрировании парусного судна и проверки существующих формализованных моделей необходимо экспериментально установить характер изменения точек приложения боковых сил, определить положение ПП и сравнить его значение с полученными расчетными величинами.

Изложение материала исследования. Эксперименты проводились на пассажирском парусном судне «Running On Waves» (RoW) в августе 2013 года в Эгейском море.

ППС «Running On Waves» – 3-мачтовая баркентина, постройки 2011 года в Гданьске (Польша). Длина 63,8 м, ширина – 9,5 м, осадка – 3,45 м, GT – 634 т, водоизмещение – 700 т. Несет 13 парусов общей площадью 1107 м^2. Имеет двигатель *AB Penta Volvo* мощностью 478 kW и подруливающие устройства в носу и в корме мощностью по 110 kW. И главный двигатель и подруливающие устройства оборудованы винтами регулируемого шага. Кроме того ВРШ ГД может устанавливаться во флюгерное положение для уменьшения сопротивления при плавании под парусами.

На судне был произведен ряд экспериментов при движении под машиной, под парусами, при отсутствии движения. Эксперименты производились согласно нижеприведенной схеме (рис. 1).

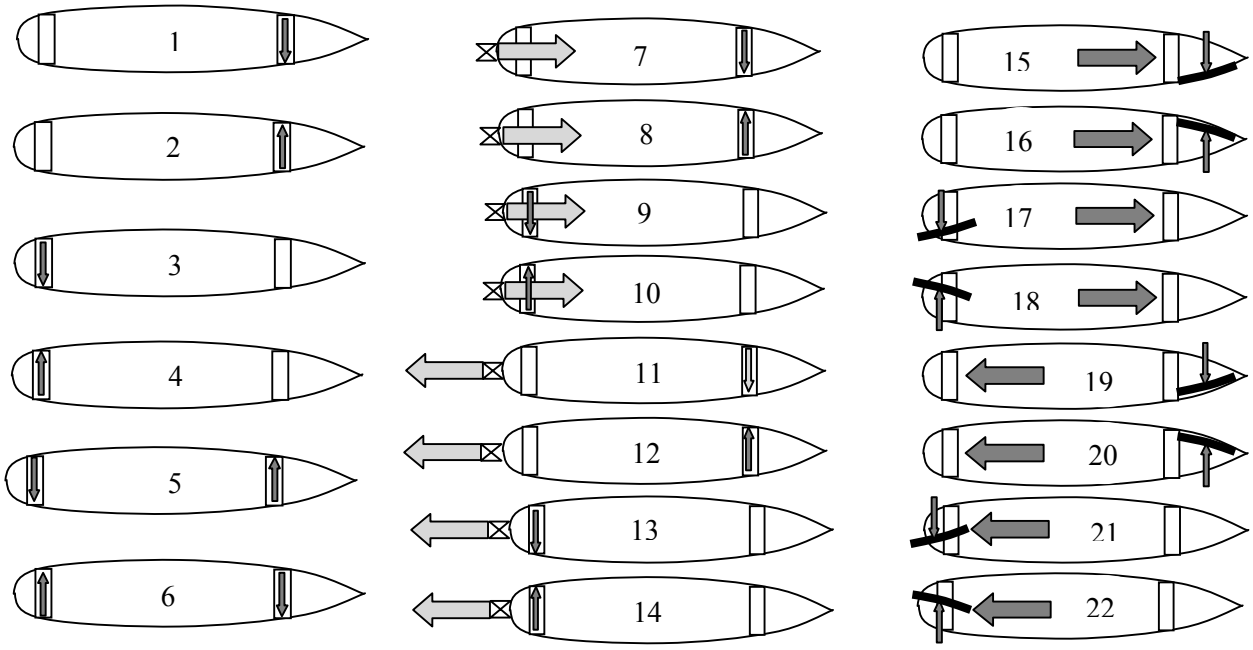


Рисунок 1 – Схема экспериментов на ППС «Running on Waves»

Руль при экспериментах не использовался, оставался все время в положении «прямо». Боковая сила создавалась либо за счет подруливающих устройств, либо за счет парусов, поставленных в оконечностях судна.

При эксперименте скорость и направление движения носа и кормы замерялись с помощью портативных спутниковых определителей положения места «GARMIN eTrex 30»(точность до +/- 5 м). Они располагались на носовом и кормовом перпендикулярах и расстояние между ними было 45м. Положение мостика определялось с помощью стационарной GPS SIMRAD GN33. Курс – с помощью гирокомпаса SIMRAD GC80 (точность +/- 1^0), сила и направление ветра с помощью анемометра WALKER 7070 (точность по скорости +/- 1узел, по направлению +/- 10^0).

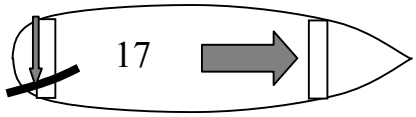
Всего было проведено 24 эксперимента, причем некоторые повторялись с измененными начальными условиями.

Результатом каждого эксперимента являлась таблица, где были записаны данные по эксперименту: вид движения, боковая сила, точка приложения этой силы, дата и время начала эксперимента, координаты, ветер, глубина, а также скорость и направление движения носа, кормы и мостика.

Ниже приведена, как пример, табл. 1 для эксперимента 17.

Таблица 1 – Эксперимент 17

Направление движения				Вперед									
Боковая сила				Ветер				Кр.ст.стаксель					
Точка приложения боковой силы													
Дата				19.08.13									
Время				09.51									
Координаты				36°54’,1 N				27°18’,1 E					
Ветер				10-12 узлов				W					
Глубина				18 – 30 м									
Время	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Скорость н.	6,4	6,2	5,9	5,4	5,5	5,5	4,2	4,2	3,9	3,6	3,5	2,8	2,5
Курс н	25	25	23	19	14	10	7	5	4	1	354	354	344
Скорость к.	6,4	6,4	6,3	5,4	5,2	4,9	4,6	4,4	4,4	4,1	3,5	3,3	3,0
Курс к.	41	34	30	28	21	21	20	16	16	14	9	8	2
Скорость м.у.	3,4	3,4	3,2	3,3	2,9	2,7	2,7	2,5	2,4	2,2	2,0	1,9	1,7
Курс м.	20	16	12	9	5	1	358	354	350	346	342	339	336
Плечо ПП	37,0	65,8	81,2	73,9	90,1	70,0	50,2	65,1	65,6	64,7	59,8	60,5	38,7



В случае, когда судно не имеет хода, положение ПП можно получить путем сравнения скоростей носа и кормы (рис. 2).

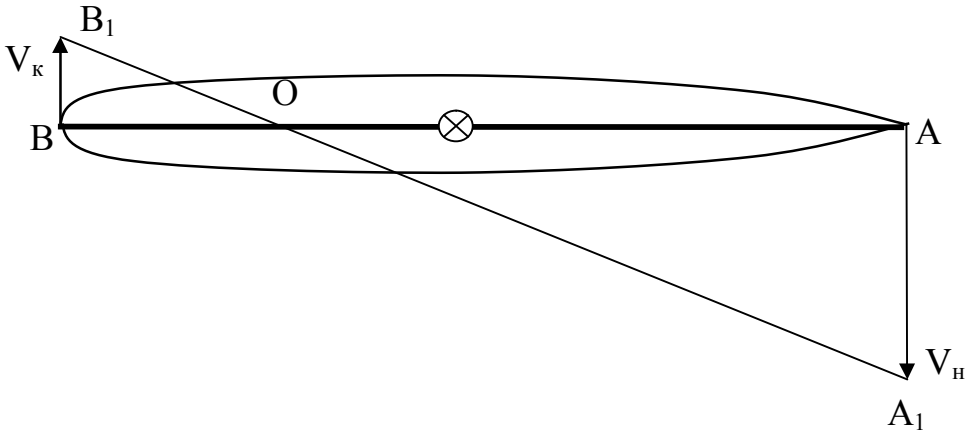


Рисунок 2 – Схема определения ПП в случае, когда судно не имеет хода

$$AA_1/ BB_1 = AO /OB$$

или же

$$V_н/ V_к = AO /OB.$$

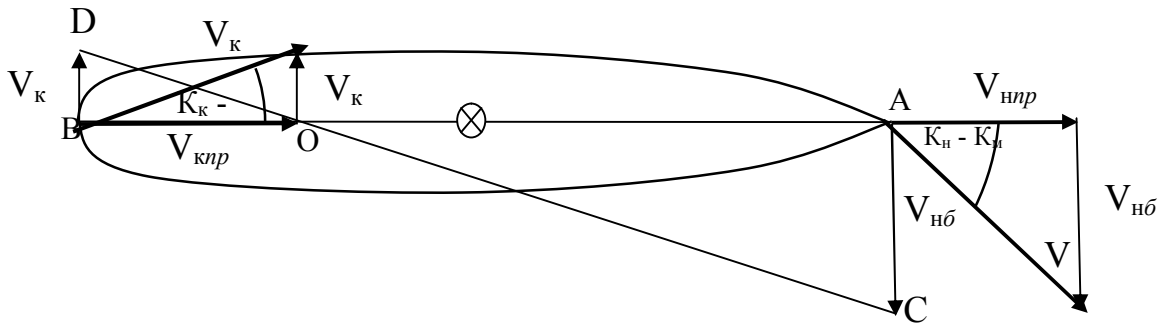


Рисунок 3 – Схема определения полюса поворота, когда судно имеет ход и скорости носа и кормы направлены в стороны противоположных бортов

Рассмотрим поворот судна (рис. 3). Точки А и В показывают положение носового и кормового датчиков. Кормовой и носовой датчики показывают значение курса и скорости носа и кормы (точек А и В) – $V_н$, $К_н$; и $V_к$, $К_к$ соответственно. Из точек расположения датчиков строим векторы скоростей носа и кормы в масштабе под углами $К_н – К_м$ и $К_к – К_м$. Откладываем их по часовой стрелке, если они положительны, и против, если отрицательны.

$V_н$ и $V_к$ раскладываем на продольные (аксиальные) и поперечные (тангенциальные) составляющие $V_{нпр}$ $V_{нб}$ и $V_{кпр}$ $V_{кб}$. Переносим $V_{нб}$ и $V_{кб}$ в точки расположения датчиков и в дальнейшем задача получает то же самое решение, что и в случае без хода, только используются боковые (поперечные) составляющие скоростей носа и кормы.

$$V_{нб}(AC) = V_н \sin(К_н – К_м),$$

$$V_{кб}(BD) = V_н \sin(К_к – К_м),$$

а

$$V_{нб}(AC)/ V_{кб}(BD) = AO /OB.$$

В случае, когда векторы скоростей носа и кормы направлены в сторону одного борта (рис. 4), картина несколько иная. Соединяем концы векторов скорости и проводим линию до пересечения с продолжением ДП судна. Получаем ΔАСО, где искомыми величинами являются АО или ОВ.

$$V_{нб}(AC) = V_н \sin(К_н – К_м),$$

$$V_{кб}(BD) = V_н \sin(К_к – К_м),$$

$$V_{нб} - V_{кб} / AB = V_{кб} / OB.$$

Отсюда

$$OB = AB \times V_{кб} / V_{нб} - V_{кб.}$$

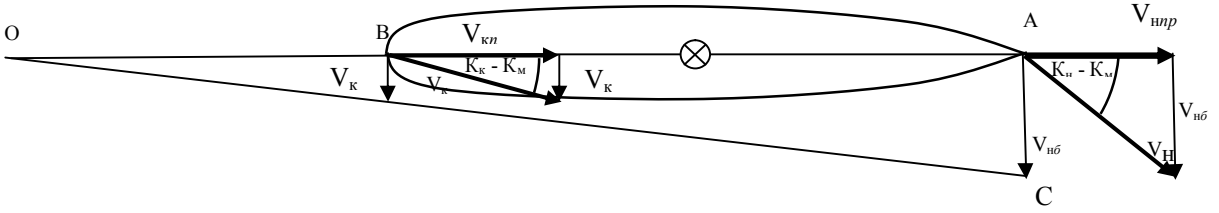


Рисунок 4 – Схема определения полюса поворота, когда судно имеет ход и скорости носа и кормы направлены в сторону одного борта

Произведен расчет плеч ПП. Плечо ПП отсчитывалось от миделя со знаком (+) в нос и со знаком (-) в корму.

По данной методике были рассчитаны плечи ПП для всех экспериментов.

Так, например, плечо ПП рассчитано для эксперимента 22 на 20 секунде при $К_н$=141 ^{О}, $К_к$=163^{О}, $К_м$=149^{О}, $V_н$=2,2 км/ч, $V_к$=2,1км/ч. Плечо ПП=5,58м от миделя (рис. 5).

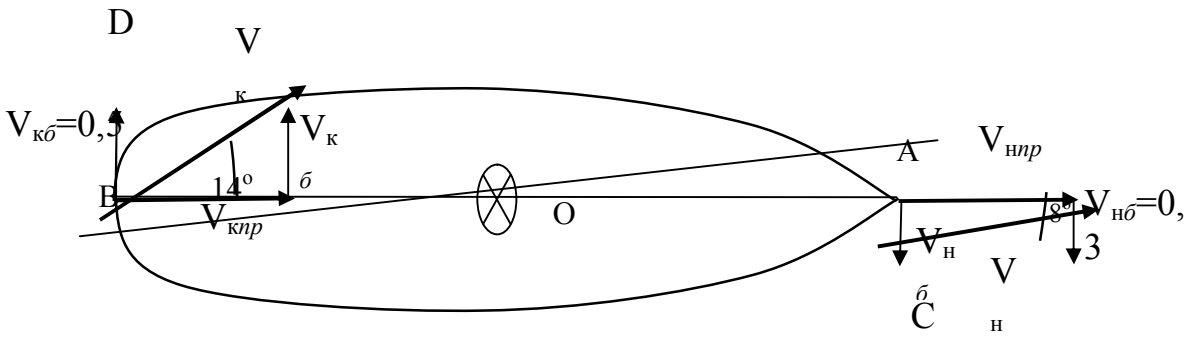


Рисунок 5 – Эксперимент 22, секунда 20

Плечи ПП для остальных экспериментов определены аналогичным образом.

Плечо полюса поворота можно также определить расчетным способом по методике, приведенной в [5]. Для этого будем считать, что мы находимся в начальной фазе эксперимента в момент приложения боковой силы. Дрейфа и угловой скорости от этой боковой силы еще нет. Поэтому боковая гидродинамическая сила отсутствует. В таком случае в наличии только одна боковая сила в каждом эксперименте, точку приложения которой можно определить по вышеупомянутой методике. По этой же методике определяется плечо полюса поворота.

Результаты экспериментов и расчетные данные сведены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты расчетов и экспериментальные данные по определению положения ПП во всех экспериментах

№ эксперимента	***Расчетное значение плеча ПП***	***Экспериментальное значение плеча ПП***
1	-8,58м	-2,25м
2	-8.58м	-9,0м
3	10,13м	-8,1м
4	10,13м	3,15м
5	0,74м	-1,35м
6	0,74м	2,25м
11	-8,58м	-11,94м
12	-8,58м	-7,29м
13	10,13м	5,23м
17	39,99м	63,27м
18	39,99м	87,42м
19	-6,27м	-29,43
21	39,99м	66,83м

Теперь время проанализировать результаты экспериментов.

Эксперименты с 1 по 6 производились на стоящем судне. Эксперименты с 7 по 14 – на судне, движущемся под машиной. Эксперименты с 15 по 22 на судне, движущемся по инерции и под парусами.

В экспериментах 1,2, 4, 5,6,11 – 13,17 – 19, 21 расчетные и экспериментальные данные близки. В остальных экспериментах есть различия. Причина низкой точности

совпадений расчетных и экспериментальных данных в точности переносных определителей места и отсутствии пересчета координат на центр тяжести.

Выводы и предложения

1. Способ определения мгновенного положения полюса поворота может быть использован на любых судах для повышения точности управления судном при морских операциях.

2. Положение полюса поворота постоянно меняется при выполнении маневра и необходимо определять мгновенное положение полюса поворота.

3. Для парусного судна, чтобы увалиться под ветер на ходу, требуется значительный момент боковой силы(дополнительные паруса на носу, перекладка руля под ветер, использование подруливающих устройств).

4. Для уточнения закономерностей изменения положения ПП исследования целесообразно продолжить.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Генри Г. Хойер. Управление судами при маневрировании / Генри Г. Хойер : перевод с английского. – М. : Транспорт, 1992 – 101 с.

2. Демин С. И. Управление судном / [С. И. Демин, Е. И. Жуков и др.]. – М. : Транспорт, 1991. – 359 с.

3. Шарлай Г. Н. Управление морским судном / Г. Н. Шарлай. – Владивосток : Мор. гос. ун-т, 2009. – 503 с.

4. Павельев А. Д. Определение положения полюса поворота и его учет при маневрировании судна : дис. кандидата технических наук / А. Д. Павельев [Электронный ресурс]. – Режим доступу : http://www.dissercat.com/content/opredelenie-polozheniya-polyusa-povorota-i-ego-uchet-pri-manevrirovanii-sudna-0.

5. 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 : Видавнитство ХДМА, 2013. – № 1(8). – С. 21-27.

6. Capt. Hugues Cauvier. The Pivot Point // The official organ of the United Kingdom Maritime Pilot Association. – The PILOT № 295. – October 2008.

7. G.Andy Chase. Sailing Vessel Handling and Seamanship-The Moving Pivot Point // The Northern Mariner/Le Marin du nord. – IX, No. 3 (July 1999), 53-59.

Товстокорий О.М. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ВИЗНАЧЕННЯ ПОЛОЖЕННЯ ПОЛЮСУ ПОВОРОТУ ЗА ТАНГЕНЦІАЛЬНИМИ ШВИДКОСТЯМИ НОСА ТА КОРМИ

У роботі запропонований новий метод експериментального визначення положення полюсу повороту по зміненню характеру розподілення місцевих тангенціальних швидкостей на носовому та кормовому перпендикулярах.

При керуванні маневруванням оглядово-порівнювальним способом оператору здається, що обертання відбувається навколо нього, в той час, коли фактично відбувається навколо полюсу повороту (ПП). Це призводить до невірної оцінки відстаней до орієнтирів та створює передумови для створення аварійної ситуації.

При зміненні точки прикладення поперечних сил положення ПП змінюється, що суттєво впливає на характер маневрування. Особливо це проявляється при маневруванні великих вітрильних суден (ВВС), для яких точку прикладення поперечних сил коректно не представляється можливим. Тому експериментальне визначення положення ПП ВВС є досить актуальним. Спосіб визначення миттєвого положення полюсу повороту може бути використаним на будь-яких суднах для підвищення точності керування судном при морських операціях.

Ключові слова: полюс повороту, бокові сили, плече бокової сили, плече полюсу повороту, тангенціальні швидкості.

Tovstokoryi O. EXSPERIMENTAL DETERMINATION OF POSITION OF PIVOT POINT BY TANGENTIAL VELOCITIES OF BOW AND STERN.

The new method of experimental determination of position of pivot point by changes of character of distribution of local tangential velocities on the fore and aft perpendiculars is presented in this article.

During ship handling using overview and comparative method it seems for operator, that vessel rotates around him, when in reality vessel rotates around pivot point (PP). It causes wrong assessment of distances to landmarks and creates background for emergency situation.

In case of changes in position of point of application of lateral forces position of PP also changes. It considerably affects to character of maneuvers. Especially such effect appears during maneuvers of tall ships (TS), for which position of application of lateral forces cannot be determine correctly by calculation method. Due to this experimental determination of position of PP for TS is quite topical.

Method of determination of instantaneous position of pivot point can be used at any ships for increasing of accuracy of ship handling during marine operations.

Key words: pivot point, lateral forces, lever of lateral forces, lever of pivot point, tangential velocities.

Статтю прийнято
до редакції 25.04.14.

УДК 656.615.073.2:628.4.037

ЗАГРУЗКА СУДНА ТИПА «КОАСТЕР» НАВАЛОЧНЫМ ГРУЗОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА «ЕСТЕСТВЕННОЙ» СЕПАРАЦИИ

Хомяков В.Ю., Савчук В.Д.
Одесская национальная морская академия

При эксплуатации судов типа «коастер» не всегда возможно равномерно загрузить его трюм. Судно необходимо перетягивать вдоль терминала, что приводит к формированию в трюме отдельных насыпей. В связи с такой загрузкой, для расчета мореходных качеств судна предлагает считать, что каждая отдельная насыпь является отдельным грузом, и имеет свою массу, своё плечо, свой момент и т.д. Этот способ был опробован на практике при работе т/х «PLATO» в районах Северной Европы и Норвегии, в бассейнах Норвежского, Северного и Балтийского морей.

В статье рассмотрены задачи, которые решает грузовой помощник капитана при составлении плана загрузки судна типа «коастер» отдельными насыпями при одновременной перевозке нескольких видов или фракций навалочных грузов. Чтобы не допустить их смешения, предлагается использовать метод размещения грузов в трюме с «естественной» сепарацией.

Загрузка судна отдельными насыпями, которые могут быть получены двумя способами организации технологического процесса с использованием «естественной» сепарации достигается при решении комплексной задачи – расчёта количества насыпей, их объемов и высоты, а также шагов перестановки портового перегружателя. Для определения размеров и количества насыпей навалочных грузов в трюме «коастера», при одновременной перевозке нескольких видов этих грузов и загрузке отдельными насыпями, предложена диаграмма.

Диаграмма позволяет выполнить расчеты количества штабелей различных партий навалочных грузов, определить высоту и объем каждой партии, с учетом значений угла естественного откоса, а также шагов перестановки портового перегружателя.

Рейсовые наблюдения на т/х «PLATO» (типа «коастер») подтвердили, что наличие на судне диаграммы дает возможность грузовому помощнику капитана сократить затраты времени на расчет технологического процесса погрузки и грузового плана в целом до 8–10 %.

Ключевые слова: судно типа «коастер», навалочне грузы, технология погрузки.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами. При погрузке судов типа «коастер» грузовой помощник капитана стремиться к равномерной загрузке его трюма, но фактически это не всегда возможно. Например, на грузовых терминалах Норвегии транспортерные ленты могут двигаться с борта на борт, а судно необходимо перетягивать вдоль терминала, что приводит к формированию в трюме отдельных насыпей.

В связи с такой загрузкой, для расчета мореходных качеств судна предлагает считать, что каждая отдельная насыпь является отдельным грузом, и имеет свою массу, своё плечо, свой момент и т.д. Этот способ был опробован на практике при работе т/х «PLATO» в районах Северной Европы и Норвегии, в бассейнах Норвежского, Северного и Балтийского морей.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Технологические особенности погрузки и перевозки металлолома на судах типа «коастер» были представлены в работах [1, 2]. Смещение центра тяжести навалочного груза при загрузке судна, которое имеет начальный дифферент, и расчет высоты штабеля такого груза находящегося в трюме отражены в публикациях [3, 4].

Целью статьи является рассмотрение задач, которые решает грузовой помощник капитана при составлении плана загрузки судов типа «коастер» отдельными насыпями при одновременной перевозке нескольких видов или фракций навалочных грузов.

Изложение материала исследования. При выполнении перевозки навалочных грузов на судах типа «коастер» по условиям чартера возникает необходимость загружать на судно одновременно несколько его фракций так, чтобы не допустить их смешения. В этом случае используется метод размещения груза в трюме с «естественной» сепарацией.

Такие суждения приводят к тому, что отдельные насыпи в трюм не смешиваются, если их количество, форма насыпи и физические свойства удовлетворяют определённым условиям. Если использовать такой способ укладки и сепарирования груза, то будут расширены возможности «коастера», как типа судна для одновременной перевозки нескольких разных грузов, а также предполагается возможность делать это без дополнительных сепарационных материалов, лишь за счёт «естественной» сепарации самих грузов.

Автору на практике приходилось выполнять загрузку судна т/х «PLATO» с применением метода «естественной» сепарации. В одном из рейсов к перевозке был принят щебень трёх фракций с размером частиц 8–12мм, 18–25мм и 30–40мм. Фрахтователем было поставлено условия загрузки щебня тремя штабелями с обязательным разделением каждой партии. Фракции не могли быть смешанными, вся ответственность за качество этой перевозки было возложено на судовую администрацию (рис. 1).

Условия таких погрузок не редкость, и в любом случае, они являются экономически выгодными для перевозчика, так как позволяют расширить фрахтовую деятельность. Рейсовые наблюдения показали, что технология перегрузочного процесса сводиться к принципу погрузки «на глаз». Поскольку на судне нет ни рекомендаций, ни какой-либо документации, а максимальная масса груза разделяется на равные части или же длина трюма делиться на необходимое количество равных частей, после чего производится загрузка.

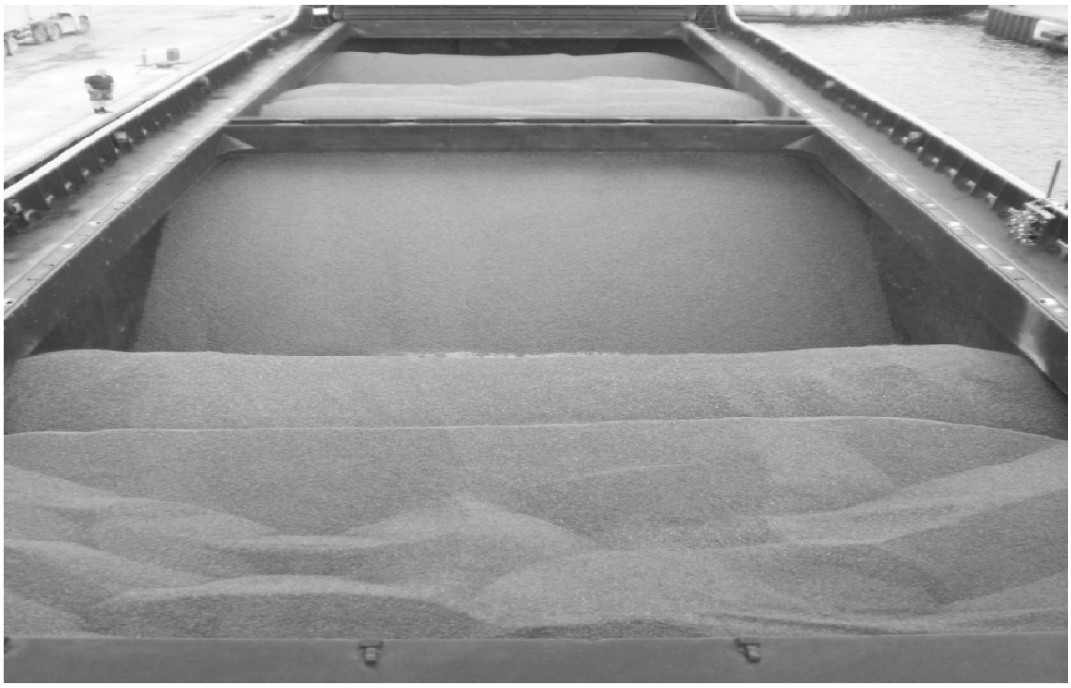


Рисунок 1 – Загрузка т/х «PLATO» тремя партиями щебня с использованием «естественной» сепарации

В таком случае грузовой помощник капитана, по визуальным оценкам, заканчивает погрузку одной партии и начинает погрузку другой партии груза. Перед администрацией судна стоит вопрос об организации и целесообразности упорядочить методику расчётов грузовых планов с применением метода «естественной» сепарации отдельных партий навалочных грузов. Варианты грузового плана судна представлены на рис. 2.

При составлении грузового плана главный вопрос, который необходимо решить грузовому помощнику капитана – это возможно ли вообще погрузить «N» партий груза с массой каждой «M_i» тонн.

Для решения задач загрузки судна типа «коастер», с использованием метода «естественной» сепарации, предлагается диаграмма, для трюма: L=30 м, B=5 м,

H=4 м (рис. 3 а, б, в).

Диаграмма содержит метрические шкалы слева, вверху и внизу. Левая шкала – высота трюма, наклонные линии – значения углов естественного откоса груза, верхняя шкала – длина малого основания штабеля, нижняя – длина подножья штабеля.

Критерием сепарации выступает длина больших оснований фигур (штабелей). Если сумма количеств подножий штабелей «N» будет больше чем длина самого трюма, то груз погрузить можно, однако так навалочные массы будут засыпаться друг на друга и перемешиваться, что в нашем случае не допустимо, и тогда критерий должен быть изменён.

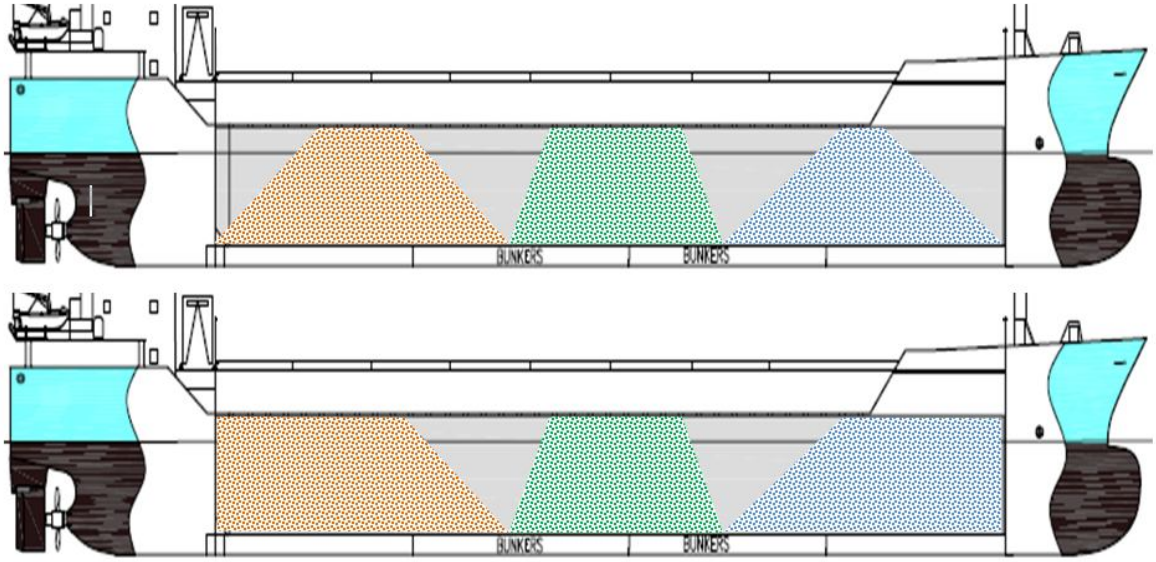


Рисунок 2 – Варианты грузового плана т/х «PLATO» при перевозке щебня с использованием «естественной» сепарации грузовых партий

Поэтому критерий чётко даёт однозначный ответ на базе линейной длины трюма. Кроме того мы сами можем усложнять решение, задаваясь нужным критерием. Другими словами, меняя критерий, мы меняем условия планирования погрузки и меняем внешние составляющие факторы, влияющие на ответ. Теоретически диапазон изменения критерия может быть равным линейной длине трюма, но практически его реальные задаваемые значения лежат в более узких рамках.

Теперь продемонстрируем несколько основных задач, которые на практике без диаграммы решить крайне затруднительно с примером вышеуказанного модуля линейных размеров трюма. Для разборчивости, построения решений для каждой задачи отобразим на отдельном рисунке.

Пример 1. Планируется выполнить загрузку судна тремя штабелями различных партий груза с «естественной» сепарацией погрузить так, как показывает верхнее изображение рис. 2. Объемы партий груза: V_1 = 80 м^3, $\alpha = 60^o$ (красный); V_2=105 м^3, $\alpha=50^o$ (зелёный); V_3=120 м^3, $\alpha=45^o$ (синий). Необходимо определить возможность такой погрузки.

Для решения такой задачи используем диаграмму (рис. 3а). Для каждой партии груза, выбрав наклонную соответствующего угла естественного откоса, проводим её до верхней линии (высота трюма 4м.). С точек пересечения проводим вертикали на верхнюю и нижнюю шкалы.

На нижней шкале снимаем значения 6,6; 9,5; 11,2. Из линии объема груза поднимаем вертикали до верхней шкалы. Замеряем расстояние между вертикалями объемов и вертикалями углов (0,7; 1,6; 0,4). По верхней и нижней шкале определяем суммы чисел, складываем их, получаем результат 29. Это означает, что длина 3-х насыпей равна 29 м, т.е. меньше длины трюма. Иными словами, погрузка заданных

партий груза с использованием метода «естественной» сепарации возможна.

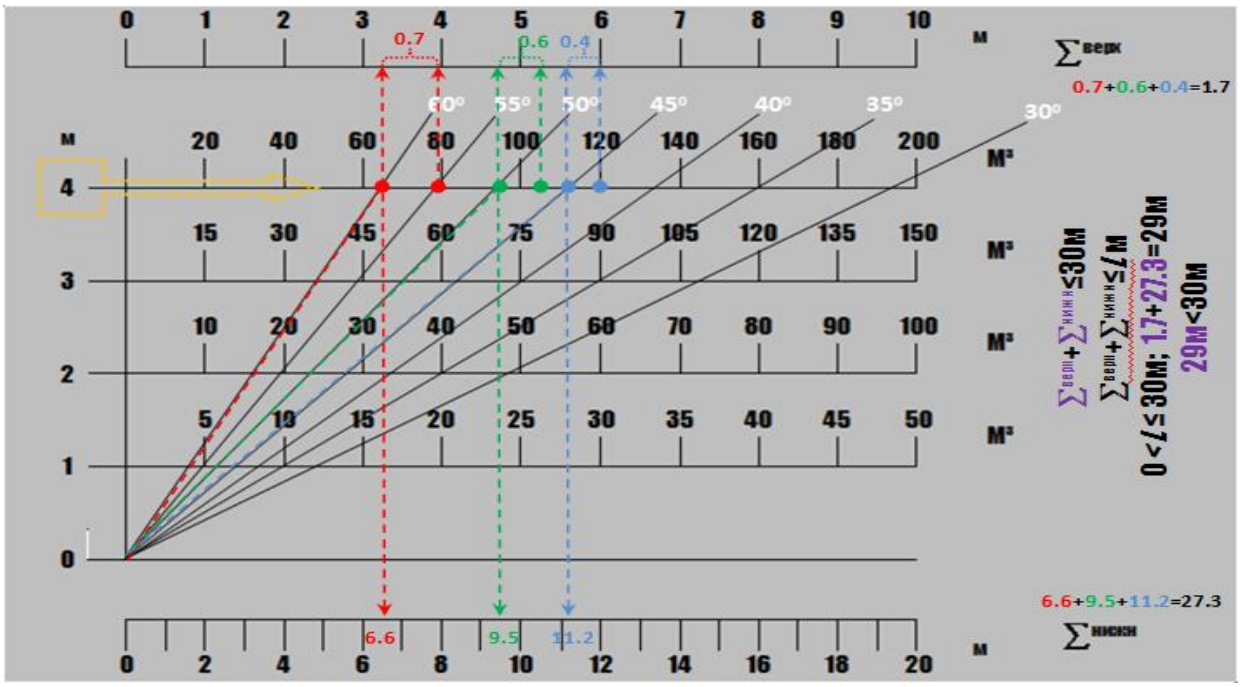


Рисунок 3а – Графический расчёт грузового плана при «естественной» сепарации (пример 1)

Пример 2. Решения для варианта погрузки различных партий груза с естественной сепарацией при разных высотах навала (рис. 3б). Рассмотрим условие аналогично предыдущему, но с небольшими изменениями. Имеем три партии груза: V_1 = 90 м^3, $\alpha = 60^o$ и высотой штабеля не более 2 м. (красный); V_2 =105 м^3, $\alpha = 50^o$ и высотой штабеля не более 3 м. (зеленый); V_3 =120 м^3, $\alpha = 45^o$ и максимальной высотой заполнения трюма (синий). Необходимо определить возможность загрузить заданные партии в указанный трюм? Решение аналогично рассмотренному ранее, но при этом все вертикали подымаются с той горизонтальной линии, которая соответствует высоте каждого штабеля. После всех построений имеем 32,5 м, что больше допустимого критерия – это означает, что погрузка невозможна.

Пример 3. Необходимо рассчитывать возможность погрузки трех штабелей (рис. 2). Центральную насыпь груза рассчитаем по уже понятной выше схеме. Необходимо рассчитать параметры насыпей, которые будут загружены в оконечности трюма.

И так, есть несколько партий груза, одна из которых имеет V_1 = 140 м^3, $\alpha = 55^o$, которую планируем загрузить к кормовой переборке трюма (рис. 2). Рассчитаем параметры этой насыпи на диаграмме (рис. 3в), исходя из условия загрузки трюма на полную высоту. Для получения результата проводим прямую, которая соответствует углу наклона до горизонтали необходимой высоты (красный). Из полученной засечки проведем вертикали на верхнюю и нижнюю шкалы. Значение на нижней шкале делим на два и получаем окончательный ответ (зеленый). Точка пересечения прямой угла наклона с горизонталью высоты отсекает значение объёма V = 78 м^3. Поделим это значение еще раз на два и получим V = 39 м^3 (синий). На этом этапе построений диаграмма «показывает», что 39 м^3 из 140 м^3 уже «погружено».

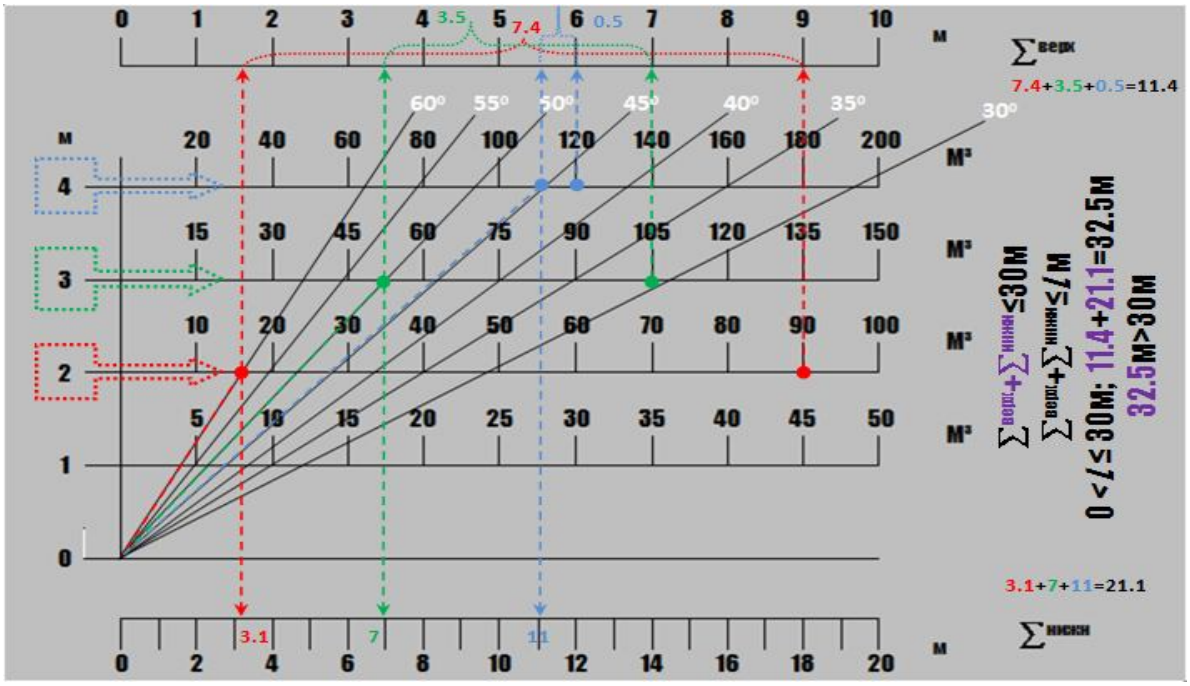


Рисунок 3б – Графический расчёт грузового плана при «естественной» сепарации (пример 2)

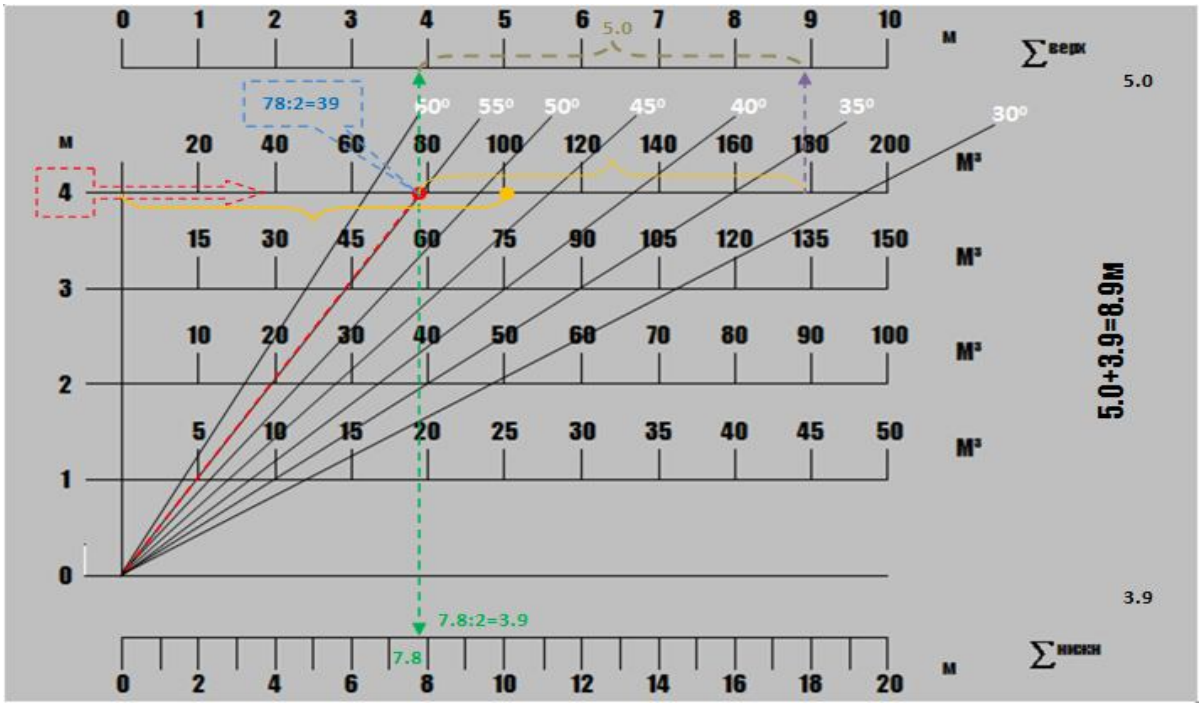


Рисунок 3в – Графический расчёт грузового плана при «естественной» сепарации (пример 3)

Теперь нужно провести вертикаль оставшейся части (140 – 39 = 101 м^3) объёма. Эту часть груза нужно погрузить до высоты трюма (красная точка). Приняв ее за ноль, откладываем 101 м^3 вправо от этой точки (желтая точка). Раствором циркуля, как показывают желтые скобки, отмеряем 101 м^3 от истинного нуля и переносим замер на линию высоты так, чтобы одна игла была в красной точке, а вторая – справа от нее. С этой точки поднимаем вертикаль до верхней шкалы (сиреневая). Замеряем расстояние между двумя вертикалями (зеленая и сиреневая) для получения верхнего параметра, он равен 5 м (коричневая пунктирная скобка). Складывая параметры верхней и нижней шкалы, получаем длину подножья штабеля груза 8,9 м. Все остальные определения параметров насыпей выполняются на диаграмме аналогично.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

1. Для расчета плана загрузки судна отдельными насыпями, которые могут быть получены двумя способами организации технологического процесса с использованием «естественной» сепарации необходимо решить комплексную задачу – расчёт количества насыпей, их объемов и высоты, а также шагов перестановки перегружателя.

2. Показанная методика расчёта полностью исключает сложные математические вычисления и является универсальной для планирования грузового плана, и получения ответов на возможности осуществления погрузок различных партий грузов с «естественной» сепарацией насыпей.

3. При проектировании судов типа «коастер», будет целесообразно, чтобы инженерные и конструкторские бюро разрабатывали такую техническую документацию, которая могла бы быть практически использована при планировании грузовых операций.

4. Рейсовые наблюдения на т/х «PLATO» (типа «коастер») подтвердили, что наличие на судне диаграммы (рис. 2) дает возможность грузовому помощнику капитана сократить затраты времени на расчет технологического процесса погрузки и грузового плана в целом до 8–10%.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савчук В. Д. Технология погрузки металлолома на судно типа «коастер» / В. Д. Савчук, В. Ю. Хомяков // Судовождение : Сб. научн. трудов / ОНМА. – Вып. 22. – Одесса : «ИздатИнформ», 2013. – С. 202-210.

2. Хомяков В. Ю. Перевозка металлолома на судах типа «коастер» / В. Ю. Хомяков, В. Д. Савчук // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції «Інновації в суднобудуванні та океанотехніці» (9–11 жовтня 2013 року, м. Миколаїв). – Миколаїв : НУК імені адмірала Макарова, 2013. – С. 384-386.

3. Хомяков В. Ю. Расчет высоты штабеля навалочного груза при загрузке судов типа «коастер» / В. Ю. Хомяков, В. Д. Савчук // Матеріали науково-теоретичної конференції «Судноплавство: перевезення, технічні засоби, безпека», 19-20 листопада 2013 року. – Одеса : ОНМА, 2014. – С. 136-139.

4. Хомяков В. Ю. Смещение центра тяжести штабеля навалочного груза при загрузке судов типа «коастер» / В. Ю. Хомяков, В. Д. Савчук // Матеріали VIII Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих вчених і студентів «Удосконалювання проектування та експлуатації морських суден і споруд» 2–6 грудня 2013 р. – Севастополь : СевНТУ, 2014. – С. 159-164.

Хомяков В.Ю., Савчук В.Д. ЗАВАНТАЖЕННЯ СУДНА ТИПУ «КОАСТЕР» НАВАЛОЧНИМ ВАНТАЖЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДУ «ПРИРОДНОЇ» СЕПАРАЦІЇ

При експлуатації судна типу «коастер» не завжди є можливість рівномірно завантажити його трюм. Судно необхідно перетягувати повздовж терміналу, що приводить до формування в трюмі окремих насипів. У зв'язку з таким завантаженням, для розрахунку морехідних якостей судна пропонується вважати, що кожен окремий насип є окремим вантажем та має свою масу, своє плече, свій момент та інш. Такий спосіб був опробований на практиці при роботі т/х «PLATO» в районах Північної Європи та Норвегії, в басейнах Норвезького, Північного та Балтійського морів.

У статті розглянуті задачі, які вирішує вантажний помічник капітана при складанні плану завантаження судна типу «коастер» окремими насипами при одночасному перевезенні декількох видів або фракцій навалочних вантажів. Щоб не допустити їх змішування, пропонується використовувати метод розміщення вантажів в трюмі з використанням «природної» сепарації.

Завантаження судна окремими насипами, які можуть бути отриманими двома способами організації технологічного процесу з використанням «природної» сепарації досягається при розв'язанні комплексної задачі – розрахунку кількості насипів, їх обсягів та висоти, а також кроків перестановки перевантажувача. Для визначення розмірів та кількості насипів навалочних вантажів в трюмі «коастера» при одночасному перевезенні декількох видів цих вантажів та завантаженні окремими насипами запропонована діаграма.

Діаграма дозволяє виконати розрахунки кількості штабелів різних партій навалочних вантажів, визначити висоту та обсяг кожної партії з урахуванням значення кута природного укосу, а також

кроків перестановки портового перевантажувача.
Рейсові спостереження на т/х «PLATO» (типу «коастер») підтвердили, що наявність на судні діаграми дає можливість вантажному помічнику капітана скоротити затрати часу на розрахунки технологічного процесу завантаження та вантажного плану в цілому до 8–10%.
Ключові слова: судно типу «коастер», навалочні вантажі, технологія завантаження.

Khomyakov V.Yu., Savchuk V.D. LOADING OF «COASTER» TYPE VESSEL BY BULK CARGO WITH USING THE METHOD OF «NATURAL» SEPARATION

During the operation of «coaster» type vessels, it is not always possible to load the hold evenly. It is necessary to move a vessel along terminal that leads to the individual mounds in a hold. In according with such loading, for the calculation of the seaworthiness of the vessel, it is suggested that each individual mound is a separate cargo and has own mass, arm, moment etc. This method was tested in a practice during the work of the m/v «PLATO» in the area of Northern Europe and Norway, and basins of the Norwegian, North and Baltic seas.
The tasks that solved by cargo mate during preparation of the cargo plan of loading of the «coaster» type vessel by separate mounds, with simultaneous transportation of several types or fractions of bulk cargo are considered in the article. To prevent mixing, it is proposed to use the method of placing of cargo in the hold with the «natural» separation.
Loading of the vessel by separate mounds, which can be obtained in two ways organization of technological process with the using of «natural» separation is achieved by solving the complex task – calculation of the number of mounds, their volume and height, and shifting steps of port loader. To determine the size and number of mounds of bulk cargo in the hold of «coaster», with simultaneous transportation of several types of cargo and loading individual mounds the diagram is proposed.
Diagram allows you to perform calculations of the number of stacks of various parties of bulk cargo, determine the height and the volume of each party, taking into account the values of the angle of repose, and steps of shifting of port loader.
Voyage observations on m/v «PLATO» (type: «coaster») confirmed that the presence on board of the diagram allows to cargo mate to reduce the time spent on calculation of the technological process of loading and cargo plan in general up to 8–10%.
Keywords: coaster vessel, balk cargo, loading procedures and technologies.

Статтю прийнято
до редакції 8.04.14.

УДК 338.36.001.7

ПРОЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ПОДХОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ НА ПРИМЕРЕ НАУКОЕМКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Чернова Л.С.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, г. Николаев

В статье рассмотрены проектно-ориентированные подходы повышения конкурентоспособности промышленного предприятия, позволяющие сформировать оптимальные структуры управления предприятием. Конкурентоспособность газотурбостроительного предприятия НПКГ «Зоря»-«Машпроект», деятельность которого рассматривается в данной статье в качестве примера, обеспечивается эффективной динамической связью между инновационной и производственной составляющими. Наличие таких связей возможно лишь в рамках предприятий с проектно-ориентированными либо проектно-управляемыми структурами. Параллельно с анализом обстановки на мировом рынке и изучением производственных стратегий мощных зарубежных конкурентов были проведены актуальные исследования в вопросах модернизации номенклатуры, увеличивающей ее потребительские свойства, а также снижения себестоимости за счет увеличения серийности выпускаемых изделий. В результате была доказана экономическая эффективность серийного производства двигателей, а также пропорциональная связь затрат директоров по направлениям деятельности, идущих на осуществление их функций. Иными словами, показана зависимость рангов функций от количества двигателей, запущенных в серию, что позволяет в результате сделать выводы о направлениях совершенствования управленческой структуры предприятия.

Ключевые слова: конкурентоспособность, наукоемкие проектно-ориентированные предприятия, себестоимость, производственные затраты, ранги функций.

Постановка задачи. Конкурентоспособность предприятия – способность предприятия создавать и реализовывать продукцию, ценовые и неценовые качества которой более привлекательные, чем у аналогичной продукции конкурентов на внешнем рынке. Устойчивую конкурентоспособность приобретает страна, имеющая конкурентоспособные субъекты предпринимательской деятельности, эффективно функционирующие и развивающиеся в интенсивно-изменяющейся внешней среде. Поэтому вопросы конкурентоспособности отечественных промышленных предприятий не теряют своей актуальности и в настоящее время требуют поиска новых подходов и аспектов ее изучения.

Разработка концепции повышения конкурентоспособности предприятия – задача непростая. В зависимости от воздействия внешней среды, внутренних факторов, стратегических задач, индивидуальных особенностей предприятия концепция повышения конкурентоспособности может включать в себя множество различных элементов: организационно-управленческих, технологических, маркетинговых, финансовых, инвестиционных [1].

Проанализировав последние исследования по данной тематике, можно выделить то, что определяющим фактором конкурентоспособности, является повышение общей производительности предприятия и среди путей повышения конкурентоспособности основными будут следующие: рост объемов реализации продукта; улучшение качества выпускаемого продукта; уменьшение расходов.

Одно из направлений повышения конкурентоспособности – рост объемов реализации продукции. Следует учитывать, что повышение объемов реализации само по себе не принесет желаемых результатов, поскольку при этом не учитываются такие важные показатели, как величина расходов предприятия, его прибыль и т.д. При организации производственного процесса и планировании объемов в соответствии с данным методом необходимо решить ряд задач, одной из важнейших из которых является определение объема реализации продукта, при котором будет обеспечена безубыточная производственная деятельность.

Еще одно направление – это улучшение качества выпускаемого продукта, что окажет влияние на: ускорение НТП, освоение новых рынков, увеличение экспорта, процветание. Решение проблемы качества продукта поднимет имидж предприятия у покупателей, станет залогом выхода на внешний рынок, а также будет являться основой для получения максимальной прибыли.

Уменьшение расходов – это традиционный метод повышения конкурентных преимуществ. В данном случае в выигрышном положении будет находиться то предприятие, которое проведя определенный комплекс мер достигло меньших затрат, чем конкуренты. Однако в современных условиях удержать такое преимущество достаточно трудно, т.е. реализация этого метода требует четкой, скоординированной работы сотрудников по совершенствованию технологий производства, логистики и НИОКР, менеджмента персонала и организационной культуры. Предприятия, выбирающие путь усиления конкурентных затрат, постоянно анализируют затраты на всех стадиях проектирования, выпуска и реализации продукта. Важную роль здесь играют маркетологи, непрерывно занимающиеся мониторингом рынка, проводящие функционально-стоимостной анализ, отслеживающие новейшие технологии и расходы предприятий-конкурентов.

Решение задачи Целью данной статьи является изучение методов повышения конкурентоспособности на примере промышленного наукоемкого предприятия, выпускающего газотурбинные установки (НПКГ «Зоря»-«Машпроект»).

НПКГ «Зоря»-«Машпроект» является основным в Украине и одним из немногих в мире производителем газотурбинных установок различного назначения. Среди основных его конкурентов такие компании как Rolls-Royse, Solar, General Electric, Siemens, Pratt&Whitney, Пермские моторы в области энергетики; Solar, НПО «Сатурн», Rolls-Royse, Siemens, Мотор Сич, General Electric, Пермские моторы, ОАО «Кузнецов» для газотранспортных систем; General Electric, ОАО «Кузнецов», Rolls-Royse, Vericor для корабельных газотурбинных двигателей. Трудно соревноваться с поставщиками такого уровня, но на их фоне у «Зори»-«Машпроекта» есть и свои преимущества, ряд из которых, следующие :

– в области энергетики, например, двигатели, конвертируемые из морских, более привлекательны для заказчиков благодаря большей надежности (по сравнению с авиационными большей компактности легкости (по сравнению со стационарными турбинами);

– в области газотранспортных систем – это масштабный поставщик, приоритетный для ОАО «Газпром» и Ближнего Востока, имеющий уникальную базу для натурных испытаний агрегатов;

– для корабельных двигателей – это монопольный поставщик ГТУ на территории бывшего СССР.

Конкурентоспособность газотурбинного двигателя (ГТД) во многом определяется его себестоимостью и временем изготовления. Очевидно, что изготовление единичного экземпляра двигателя, производство которого состоит из девяти этапов экономически неэффективно. Одним из направлений снижения себестоимости является направленный маркетинг поиска заказчиков не на единичные экземпляры, а на серийные поставки. Схема жизненного цикла (ЖЦ) изготовления 10-ти двигателей и сравнительный анализ стоимости этапов при создании единичного двигателя с увеличением серии до 10 двигателей, приведены в табл. 1, а также на рис. 1 и 2.

Таблица 1 – Ориентировочная стоимость этапов ЖЦ создания ГТД мощностью 25 МВт

№ этапа	*Наименование этапа*	*Ориентировочная стоимость этапов создания ГТД, тыс.грн.*			
		единичный экземпляр	*серия из 3-х ГТД*	*серия из 5-ти ГТД*	*серия из 10-ти ГТД*
1	Предконтрактные исследования	30	30	37	42
2	Технологическая подготовка производства	1465	1509	1568	2034
3	Приобретение материалов, полуфабрикатов, комплектующих	19080	57240	92100	185490
4	Изготовление и сборка двигателя	8439	24920	41012	80950
5	Испытания в боксе	300	850	1025	2400
6	Приемка, упаковка и отправка Заказчику	20	50	95	185
7	Монтажные и пусконаладочные испытания	750	2120	3430	6430
8	Гарантийное и послегарантийное обслуживание согласно договору	370	520	720	1270
9	Конструкторское сопровождение проекта и авторский надзор	535	552	674	876
10	Общезаводской менеджмент (администрирование, финансовый менеджмент, управление персоналом, охрана труда, внедрение и сопровождение информационных технологий)	1100	1210	1305	1580
Стоимость проекта		32089	89001	141966	281257
Полная себестоимость одного ГТД		32089	29667	28393	28126

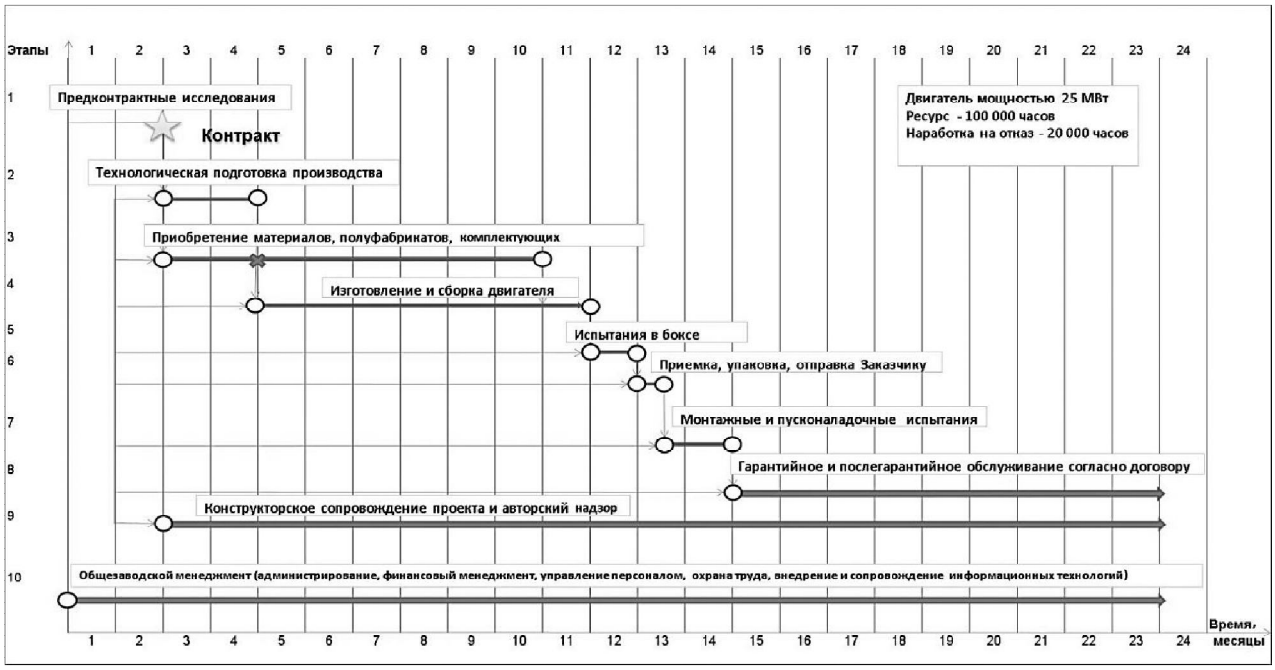


Рисунок 1 – Схема производства единичного экземпляра ГТД мощностью 25 МВт

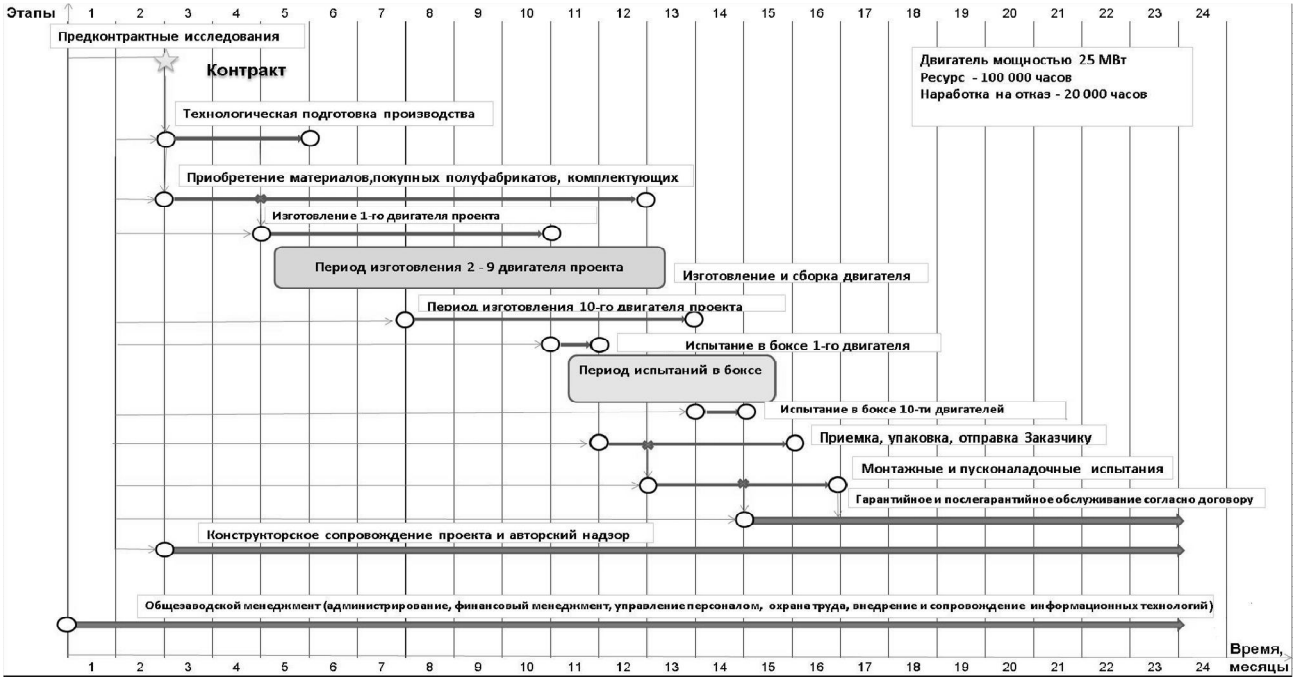


Рисунок 2 – Схема производства 10-ти ГТД мощностью 25 МВт

Значительно большее количество и мощность установленных ГТД такая корпорация, как «General Electric» реализовала за счет меньшего количества типов двигателей (в основном за счет LM2500). Необходимая мощность силовых установок кораблей различных типов обеспечивается в этой компании не за счет разработки новых или модификации существующих двигателей, а за счет профильной конфигурации нескольких базовых двигателей (в данном случае LM2500).

Необходимость создания нового двигателя, который должен иметь лучшие потребительские качества в сравнении с предыдущим аналогом диктуется условиями рынка. Главный критерий – востребованность новых потребительских свойств. Новые потребительские свойства могут иметь как вновь создаваемые двигатели, так и уже созданные (например, новая сфера применения, новые технологические процессы).

Оценка стоимости разработки определяется количеством и качеством новых потребительских свойств, т.е. создаваемый двигатель занимает новую мощностную нишу или имеет повышенные технико-экономические параметры в уже существующей мощностной нише, или использует новые виды топлива, или вследствие каких-то новых технических решений получает новые стоимостные параметры и т.д. Очень важными параметрами целесообразности создания нового двигателя являются прогнозируемый жизненный цикл, серийность и способность двигателя к модернизации.

Как правило, создание нового двигателя проходит несколько достаточно затратных стадий:

1-я – определение целесообразности создания (маркетинговые исследования);

2-я – проектирование, разработка конструкторской и технологической документации;

3-я – изготовление опытного образца или необходимого количества опытных образцов;

4-я – разносторонние испытания и доводка опытного образца до заданных параметров;

5-я – подготовка к серийному производству.

По оценке зарубежных специалистов разработка и создание нового двигателя мощностью 20–40 МВт оценивается в миллиард долларов США. При рыночной стоимости такого двигателя в 7–10 млн. долларов, разработка окупится при серийном производстве более 100 единиц. Это если не считать затраты на материалы.

Ни одна из крупных газотурбостроительных компаний не может себе позволить такие затраты, а поэтому пользуется государственной помощью. Например, в США, министерство энергетики и ресурсов США вложило почти 3 млрд. долларов в разработку специальных передовых технологий и технических решений по созданию газотурбинного двигателя 21 века. Эти технологии разрабатывались в США в исследовательских институтах и лабораториях совместно с компаниями «General Electric», «Gerrit» (США), «Rolls-Royce» (Англия) и «Mitsubishi» (Япония) и др. В результате были разработаны технологии, которые использованы при создании новых двигателей 5-го поколения LM6000 («General Electric») и Trent («Rolls-Royce»), которые имеют КПД 40 – 41% в простом цикле и почти 60 % – в комбинированном цикле.

В настоящее время НПКГ «Зоря»-«Машпроект» для использования на кораблях различных классов предлагает 15 модификаций 8-ми типов двигателей в диапазоне 4500–33 500 л.с.

Такая большая номенклатура двигателей, производимых небольшими сериями, не способствует минимизации производственных затрат и ведет к увеличению себестоимости производства двигателей. Низкая заработная плата производственного персонала (в сравнении с аналогичными зарубежными производствами) уже не перекрывает рост цен на материалы, и отечественные двигатели постоянно растут в цене, что негативно сказывается на конкурентоспособности и потере даже своих постоянных заказчиков. Для снижения себестоимости производства необходимо постоянно вести работу по унификации производства и уменьшению номенклатуры изготовляемых деталей и узлов.

Таблица 2 – Затраты подразделений директоров по направлениям и ранги функций при изготовлении единичного двигателя

№	*Наименование*	*Единичный екземпляр / затраты, тыс. грн.*	*Относительные затраты на функцию (относительно затрат директора по производству)*	*Ранг функций*
1	Директор по производству	3368,8	1	0,28
2	Технический директор	1785,5	0,53	0,13
3	Директор по маркетингу	166,5	0,35	0,1
4	Главный инженер	802,2	0,22	0,08
5	Директор по качеству	238,0	0,15	0,05
6	Финансовый директор	103,9	0,1	0,048
7	Директор по информационным технологиям	95,6	0,08	0,046
8	Директор по персоналу	162,0	0,06	0,045
9	Директор по закупкам	262,2	0,04	0,042
10	Директор по охране труда	27,1	0,03	0,04
11	Директор по экономике	16,1	0,02	0,038
12	Директор по социальным вопросам	521,2	0,02	0,035
13	Директор по безопасности и режиму	152,0	0,016	0,032
Затраты подразделений директоров по направлениям на осуществление функций		7701		
Удельный вес затрат подразделений директоров по направлениям на осуществление функций в стоимости проекта		24 %		
Стоимость проекта		32089		
Полная себестоимость одного ГТД		32089		

Для этого в первую очередь необходимо определиться, какие двигатели наиболее затратные в производстве. Затем необходимо решить, каким образом передать их качества другим, менее затратным в производстве. И в заключении необходимо разработать унифицированные стандартные модули как основных узлов, так и вспомогательных систем.

В итоге уменьшение типоряда двигателей с 8 до 3–4 при сохранении той же серийности приведет к снижению себестоимости производства двигателей.

Проектно-ориентированный подход к организации производства подразумевает и формирование соответствующей структуры управления [2]. Результат проекта во многом зависит от его подготовки и организации. В настоящее время в НПКГ «Зоря»-«Машпроект» существуют 13 подразделений директоров по направлениям, для которых методом функционально-стоимостного анализа определены относительные затраты и ранги функций.

Таблица 3 – Затраты подразделений директоров по направлениям и ранги функций при изготовлении серии из 10-ти двигателей

№	*Наименование*	*Серия из 10-и ГТД/ затраты тыс. грн.*	*Относительные затраты на функцию (относительно затрат директора по производству)*	*Ранг функций*
1	Директор по производству	20750,4	1	0,28
2	Технический директор	10997,7	0,53	0,13
3	Главный инженер	7262,6	0,35	0,1
4	Финансовый директор	4565,1	0,22	0,08
5	Директор по маркетингу	3112,6	0,15	0,05
6	Директор по качеству	2075	0,1	0,048
7	Директор по закупкам	1660	0,08	0,046
8	Директор по персоналу	1245	0,06	0,045
9	Директор по информационным технологиям	830	0,04	0,042
10	Директор по охране труда	622,5	0,03	0,04
11	Директор по безопасности и режиму	415	0,02	0,038
12	Директор по экономике	415	0,02	0,035
13	Директор по социальным вопросам	332	0,016	0,032
Затраты подразделений директоров по направлениям на осуществление функций		54283		
Удельный вес затрат подразделений директоров по направлениям на осуществление функций в стоимости проекта		19, 3 %		
Стоимость проекта		281257		
Полная себестоимость одного ГТД		28126		

В табл. 2 и 3 и на диаграммах представлены затраты подразделений директоров по направлениям, а также ранги функций, реализуемые в процессе жизненного цикла изготовления 1-го и 10-ти двигателей, составленные на основе субъективной экспертной оценки.

В затраты подразделений директоров на осуществление своих функций включены расходы на заработную плату как системный определяющий фактор для определения

ранга функции при построении функционально-стоимостной диаграммы затрат подразделений директоров по направлениям.

Следует отметить, что с ростом серии изготавливаемых двигателей изменяется экспертная оценка рангов функций [3]. Так, например, с ростом партии двигателей ранг функции директора по маркетингу снижается, а ранги функций главного инженера и технического директора, отвечающих за технологическую подготовку производства, ремонт оборудования и обеспечение систем жизнеобеспечения, повышаются.

Также увеличивается ранг функции директора по информационным технологиям, из-за увеличения роли корпоративных систем управления в организации бизнес процессов на предприятии при реализации проекта.

Ранг и затраты по функции директора по социальным вопросам являются относительно постоянными, так как затраты предприятия в рамках программы социального партнерства зависят от доходов предприятия в целом.

Таким образом выявлена взаимосвязь экономии при увеличении серийности производства и перераспределением затрат подразделений директоров по направлениям.

Выводы. В статье были определены основные направления повышения конкурентоспособности наукоемкого промышленного предприятия на примере НКПГ «Зоря-Машпроект», перспективные исследования в области которых продолжаются. На основании предложенного механизма оценки работы организационных структур, изучаются методы, позволяющие на научной основе сформировать оптимальные структуры управления предприятием при реализации проектов, а также позволяющий провести анализ эффективности использования ресурсов предприятия. При рассмотрении соотношений затрат подразделений директоров по направлениям в структуре управления предприятием при увеличении партий изготавливаемых двигателей, проанализированы выгодные комбинации, однако пути оптимизации в этом направлении изучаются и далее. Усовершенствование управленческой структуры – задача, не теряющая своей актуальности для развивающегося промышленного проектно-ориентированного наукоемкого предприятия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Создание и развитие конкурентоспособных проектно-ориентированных наукоемких предприятий : монография / [В. Н. Бурков, С. Д. Бушуев, А. М. Возный, К. В. Кошкин, С. С. Рыжков, Х. Танака, Л. С. Чернова, А. Н. Шамрай]. – Николаев : Издательство Торубары Е. С., 2011. – 260 с.

2. Модели, методы и алгоритмичемкое обеспечение проектов и программ развития наукоемких производств : монография / [А. М. Возный, В. В. Драгомиров, А. Я. Казарезов, К. В. Кошкин, Н. В. Фатеев, Ю. Н. Харитонов, С. К. Чернов]. – Николаев : НУК, 2009. – 194 с.

3. Функционально-стоимостной анализ в управлении проектами наукоемких предприятий : монография / [Е. Б. Данченко, Л. С. Чернова, Д. И. Бедрий, Е. В. Погорелова, А. И. Мазуркевич]. – Днепропетровск : Издательство «IMA-Press», 2011. – 236 с.

Чернова Л.С. ПРОЕКТНО-ОРІЄНТОВАНІ ПІДХОДИ ПІДВИЩЕННЯ КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ НА ПРИКЛАДІ НАУКОМІСТКОГО ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

У статті розглянуті проектно-орієнтовані підходи підвищення конкурентоспроможності промислового підприємства, які дозволяють сформувати оптимальні структури управління підприємством. Конкурентоспроможність газотурбобудівельного підприємства НПКГ «Зоря»-«Машпроект», діяльність якого розглядається в цій статті як приклад, забезпечується ефективним динамічним зв'язком між інноваційною і виробничою складовими. Наявність таких зв'язків можлива лише в рамках підприємств з проектно-орієнтованими або проектно-керованими структурами. Паралельно з аналізом обстановки на світовому ринку і вивченням виробничих стратегій потужних зарубіжних конкурентів були проведені актуальні дослідження в питаннях модернізації номенклатури, яка збільшує її споживчі властивості, а також зниження

собівартості за рахунок збільшення серійності виробів. У результаті була доведена економічна ефективність виготовлення серії великої кількості двигунів, а також пропорційний зв'язок витрат директорів по напрямах діяльності, що йдуть на здійснення їх функцій. Іншими словами, наведена залежність рангів функцій від кількості двигунів, запущених в серію, що дозволяє в результаті зробити висновки про напрями вдосконалення управлінської структури підприємства.
Ключові слова: конкурентоспроможність, наукомісткі підприємства, собівартість, виробничі витрати, ранги функцій.

Chernova L.S. PROJECT-ORIENTED APPROACH TO INCREASE COMPETITIVENESS BY EXAMPLE INTENSIVE INDUSTRY COMPANIES

The article deals with the project-oriented methods for the enterprise's competitive ability increase. Using these methods the optimal structure of enterprise management has been formed. A business activity of Zorya-Mashproekt gas turbine research and production complex is held up here as an example. A competitive ability of Zorya-Mashproekt is supported by the dynamic links between innovation and production components. Only project-oriented or project-managed structures of enterprise can provide these links. Global market analysis and production strategies survey of the main foreign competitors have been conducted. Besides, up-to-date research of nomenclature revision aimed to increase the usability is performed. Cost reduction is assigned to increase the batch production of the several products. As a result of research an economic benefits of batch production, proportional links between batch production and area directors' expenses are presented. In other words the article deals with the dependence of function ranks on the quantity of engine from the one batch. The article concludes with the ways of management structure improvement.
Keywords: competitive ability, knowledge-intensive enterprise, cost of goods sold, cost of production, ranks of function.

Статтю прийнято
до редакції 19.12.13.



ПРОБЛЕМИ ВИЩОЇ ШКОЛИ

УДК 338.242:656.61.(075.8)

«МЕНЕДЖМЕНТ МОРСЬКИХ РЕСУРСІВ» ЯК СКЛАДОВА ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ МОРСЬКИХ ОФІЦЕРІВ

Безлуцька О.П., Лещенко А.М.
Херсонська державна морська академія

У статті актуалізується увага на особливостях упровадження дисципліни «Менеджмент морських ресурсів» у процес професійної підготовки майбутніх офіцерів морського флоту. Визначається роль та вплив «людського фактору» у реалізації професійної діяльності моряка. Зроблено акценти на основних завданнях, які ставить дисципліна «Менеджмент морських ресурсів».
Ключові слова: менеджмент морських ресурсів, «людський фактор», офіцер-керівник.

Постановка проблеми. Незаперечним фактом сьогодні є те, що вдосконалення техніки та впровадження новітніх технологій сприяє максимально безпечній експлуатації суден, але проблемою номер один залишається вплив «людського фактору», який завжди є актуальним у будь-яких умовах професійної діяльності моряка. «Людський фактор» категорія досить складна та багатогранна, а тому вимагає всебічного аналізу. Враховуючи той факт, що судновий екіпаж це перш за все люди, які мають свої психоемоційні особливості і кожен з яких є неповторною індивідуальністю, можна говорити про широку палітру стосунків та взаємин у середині суднової команди, які впливають на якість та безаварійність функціонування судна.

Дослідження проведені різними морськими організаціями показали, що найбільша кількість аварійних ситуацій спричиняється не технічними помилками, а помилками людини. Тому, саме людському фактору останнім часом присвячується все більша кількість досліджень і наукових робіт, директив і резолюцій Міжнародної морської організації (ІМО) і відповідних органів держав, що володіють морським флотом. Від людського фактору, як причини аварійності, слід відрізняти прояви особистісного характеру: порушення правил пов'язаних з недисциплінованістю, халатністю, безпечністю, невіглаством конкретних людей. Один із шляхів вирішення проблеми впливу людського фактору на морські аварії та інциденти – належна підготовка та дипломування екіпажів суден.

У відповідності до вимог Міжнародної конвенції ПДНВ (1978/1995) та поправок прийнятих до неї у Манілі (Філліпіни, червень 2010 р.), суднові спеціалісти (капітан, помічники капітана, старші механіки) повинні не лише володіти відповідними професійними знаннями і практичними навиками, але і вміти забезпечувати виконання членами екіпажу діючих дисциплінарних правил, підтримувати у судновому колективі позитивний психологічний клімат, турбуватися про безпеку та здоров'я членів екіпажу.

Аналіз останніх досліджень. Питання безпечного управління судновими екіпажами у науковій літературі набуває все більшої актуальності. Так, зокрема роботи В. Торського [6] та праця колективу авторів Є. Костирі, В. Топалов, Л. Позолотіна [3] тощо, актуалізували важливість означеної проблеми; В. Васильєв [1] акцентував свою увагу на аналізі термінології; В. Кривощеков [2] проаналізував «манільські поправки» та впровадження курсу «Менеджмент морських ресурсів» в Україні.

Мета статті – аналіз «Менеджменту морських ресурсів» як складової професійної підготовки майбутніх фахівців морського та річкового транспорту.

Основна частина. Як вже зазначалося, у червні 2010 року у Манілі відбулася Міжнародна конференція країн-учасниць Міжнародної конвенції ПДНВ (1978/1995) зміст 19 Резолюцій, її Заключного акту є основою для подальшого обов'язкового стратегічного системного забезпечення з боку країн-учасниць Конвенції безпеки міжнародного судноплавства [5]. Україна приєдналася до цього міжурядового договору під егідою ІМО і зобов'язалася впровадити в українське законодавство усі вимоги нових Манільських

поправок 2010 р. З 1 січня 2012 року Манільські поправки вступили у дію і повинні бути в основному реалізовані в національній системі освіти, підготовки та сертифікації моряків України. З 1 липня 2013 р. усі схвалені в Україні програми навчання і підготовки моряків повинні у всьому відповідати обов'язковим вимогам конвенції та кодексу STCW-2010.

Сьогодні логічним стало впровадження дисципліни «Менеджмент морських ресурсів» до навчального процесу морських навчальних закладів. 25.10.2010 р. Міністерством освіти та науки України було видано Наказ № 1001 щодо розробки нового навчального курсу «Менеджмент морських ресурсів» та відповідного комплексу його навчально-методичного забезпечення. Розробка та впровадження відповідної програми у навчальний процес, на підставі звернення до інноваційних педагогічних технологій, була покладена на науково-педагогічний колектив Херсонської державної морської академії.

Вперше дисципліна «Менеджмент морських ресурсів» в ХДМА почала викладатися у 2011/2012 навчальному році з метою формування нового типу керівника суднового екіпажу.

Суднові офіцери повинні здійснювати ефективне управління екіпажем, тому «Менеджмент морських ресурсів» можна визначити саме як узагальнений курс щодо формування певних управлінських навичок командним складом суден у процесі їх взаємодії в умовах рейсу. Ф. В. Шапіров підкреслює, що «Менеджмент як наука управління організацією та людьми – це система знань про принципи, методи та форми управління, стилі управління, про вимоги до особистості керівника, мотивацію працівників тощо» [7]. «Менеджмент морських ресурсів» (ММР) – це нова та мало розроблена дисципліна. Крім того, треба враховувати, що менеджмент на судні відбувається у більш складних умовах, аніж у будь-якій іншій організації, тому керівника треба заздалегідь готувати до труднощів управлінського процесу, які будуть детермінуватися замкненістю колективу, його багатонаціональним складом, культурними особливостями кожного із членів екіпажу тощо.

Однією із найважливіших складових змісту курсу ММР є попередження виникнення наступної можливої аварії на основі аналізу ланцюга помилок, які призвели до неї. Отже, важливо, після аварійної ситуації, детально проаналізувати приховані помилки, що складають потенційну загрозу виникнення нових, можливо більш серйозних, аварій.

Мета дисципліни – вдосконалення знань стосовно можливостей і обмежень людини при прийнятті управлінських рішень в умовах роботи на морі, особливо в екстремальних умовах; розвиток та закріплення позитивного ставлення до безпечних методів управління судном і успішних командних дій у кризових ситуаціях.

З вище викладеного випливає, що «Менеджмент морських ресурсів» має виконувати цілий ряд важливих завдань у процесі підготовки майбутніх офіцерів-керівників, а саме:

– визначати та аналізувати основні характеристики та принципи управлінського процесу взагалі та виокремлювати специфічні характеристики управлінського процесу на судні, що надає можливість курсанту визначитися у розумінні основних понять та категорій менеджменту, які стануть пріоритетними у подальшій професійній діяльності;

– детермінувати культурні пріоритети у діалозі «схід–захід», удосконалювати знання щодо культурних особливостей різних національностей та специфіки їх впливу на формування стосунків у середині колективу;

– аналізувати основні стилі управління та визначати їх особливості у практичному використані, а також закцентувати увагу на можливостях використання різних стилів управління у судновому екіпажі та результатах, які можна отримати, використовуючи той чи інший стиль;

– виокремлювати основні характеристики поняття лідерства та визначати якості, якими має володіти керівник, аби досягти поставленої мети, не втрачаючи власного

авторитету та гідності і разом з тим не принижуючи підлеглого. Розкривати можливі наслідки лідерства у критичних ситуаціях;

– розкривати соціально-психологічні основи управління у судновому екіпажі, на основі формування знань про процеси самоконтролю, депривації, стресу та інших факторів, які можуть впливати на поведінку людини на судні;

– визначати особливості комунікації у судновому екіпажі, аналізувати роль брифінгу та дебрифінгу у цьому процесі та їх вплив на виконання професійних обов'язків кожним із членів екіпажа;

– аналізувати сутність категорії «людський фактор» як основної причини аварійності суден та показувати причини виникнення та послідовність помилкових дій тощо.

Після вивчення курсу, за умови повної реалізації поставлених завдань, майбутній офіцер має оволодіти наступними вміннями:

– формувати позитивні стосунки між усіма членами екіпажа;

– вміння щодо оволодіння власними психічними станами та кореляції психоемоційних станів підлеглих;

– контролювати свої реакції у різних ситуаціях: від буденної нудьги до кризових станів;

– відповідального ставлення до виконання професійних обов'язків та усвідомленої відповідальності за прийняте рішення від якого залежатиме власне життя та життя інших членів екіпажа;

– вміння та навички забезпечення комфортних психологічних умов у середині екіпажа та відстеження поглиблення кризових явищ у стосунках між членами екіпажа;

– вміння щодо аналізу власних помилок у процесі спілкування та взаємодії з іншими членами команди;

– толерантного ставлення до підлеглих, до їх ментальних особливостей, культурних, людських проявів тощо.

Цей список можна подовжити, але достатньо, аби зрозуміти, що формування усіх перерахованих умінь та навичок забезпечать наступне:

– знівелюють більшість проявів так званого «людського фактору»;

– забезпечать стабільну та безаварійну роботу суден;

– об'єднають команду не тільки на суто професійному рівні, але й на емоційно-психологічному рівні, який забезпечить поглиблення згуртування команди.

Тому, сьогодні, у процесі підготовки майбутніх морських офіцерів, виникає цілий ряд завдань щодо вдосконалення змісту дисципліни ММР, збільшення теоретичної насиченості новітніми досягненнями психології, соціології, менеджменту тощо, а разом з тим і удосконалення практичної частини шляхом збільшення кількості ситуативних прикладів, які більше відповідатимуть реальній ситуації на судні, а не будуть ідеальними моделями, які майже є не виправданими у реаліях суднового життя. Крім того, ММР є своєрідним курсом, який у повній мірі реалізовує міжпредметні зв'язки і знаходиться на межі цілого ряду дисциплін, зокрема психології, соціології, суто менеджменту, релігієзнавства, культурології тощо, що створює умови для формування керівника-стратега, що досконало володітиме не тільки професійними знаннями, але й знаннями щодо організації та провадження діяльності екіпажу та зведе до мінімуму вияви «людського фактору».

Усі вище згадані завдання та міжпредметні зв'язки було враховано авторським колективом під час розробки навчального посібника з дисципліни «Менеджмент морських ресурсів» [4].

Навчальний посібник з ММР складається з дев'яти тем:

1. Методологічні основи управління людськими ресурсами на морі.
2. Значення культурних відмінностей в багатонаціональному екіпажі.
3. Лідерство та управління на судні.

4. Соціально-психологічні основи керівництва судновим екіпажем.
5. Зворотний комунікативний зв'язок: обґрунтований сумнів та відповідь.
6. Процес прийняття рішень.
7. Вплив «людського фактору» на аварійність суден.
8. Вплив рівня автоматизації на безпеку управління судном.
9. Шляхи запобігання впливу «людського фактора» на морі.

Впроваджуючи у навчальний процес ХДМА дисципліну «Менеджмент морських ресурсів» було враховано той факт, що на відміну від діючих моряків, курсант ще не володіє значним досвідом роботи, а також має мінімальний життєвий досвід, а тому курс розділено на теоретичну та практичну частини.

У процесі вивчення дисципліни ММР, такий підхід до викладання курсу, неодноразово отримав підтвердження правильності обраного методичного підходу у викладанні, оскільки більшість курсантів не володіють досконало сутністю проблем, що розглядаються у межах курсу, а тому не можуть приймати участь в обговорені більшості питань. Отримавши ґрунтовну теоретичну базу курсанти мають можливість поглибити, вдосконалити та отримати практичні навички на практичних заняттях щодо вдосконалення та акумуляції знань і вмінь.

Практична частина курсу ММР спрямована на реалізацію таких завдань:

– закріплення отриманих теоретичних знання шляхом ситуативного підходу у ході заняття;

– формування та закріплення основних лідерських якостей та управлінських навичок курсантів з метою їх адекватного застосування у кризових ситуаціях під час роботи на судні;

– формування умінь та навичок щодо розпізнавання і стабілізації власного кризового психологічного стану і його нормалізації в екіпажі;

– формування вмінь та навичок щодо використання відповідного стилю спілкування, яке побудоване на принципах толерантності та професіоналізму;

– формування навичок логічної побудови процесу прийняття рішень, які мають базуватися на принципах раціональності та ефективності;

– закріплення навичок оперування власними думками, почуттями та емоціями, що у подальшій професійній діяльності детермінуватиме зменшення кількості помилок у професійній діяльності працівника морського та річкового транспорту;

– забезпечувати розуміння функціональних відмінностей між людиною і автоматизованими технічними засобами та відпрацювання практичних навичок взаємодії з АТЗ.

Разом з тим, не дивлячись на позитивні результати отриманні у ході першого року викладання дисципліни, є ще цілий ряд питань щодо вдосконалення змістовної якості курсу. У процесі викладання та навчання виникає ряд питань, які знаходяться поза межами дисципліни, але вони викликають не аби яку зацікавленість серед аудиторії:

– мотивація діяльності підлеглого;
– типи і причини конфліктів та методи їх розв'язання;
– вияви мобінгу у команді;
– особливості брендінгу;
– соціально-психологічний клімат та його вплив на ефективність діяльності команди;
– проблеми емоційного інтелекту;
– стратегії управління та методи його реалізації тощо.

Висновки. Отже, дисципліна «Менеджмент морських ресурсів» – це необхідна складова професійної підготовки майбутніх морських офіцерів-керівників. Результатом її впровадження у навчальний процес має стати виховання фахівців здатних створити таке комунікативне середовище на борту судна, яке дозволить мінімізувати усі ризики аврального та аварійних ситуацій, знівелювати більшість причин нещасних випадків

і максимально виключити вплив людських помилок у ході реалізації професійної діяльності працівника морського та річкового транспорту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Васильев В. Элементы человеческого фактора в мореплавании в епоху глобализации / Владимир Васильев // Морской флот. – 2012. – № 1. – С. 40-44.

2. Кривощеков В. Менеджмент морских ресурсов» (Об учебном курсе для моряков Украины) / Владимир Кривощеков. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://moryakukrainy.livejournal.com/127430.html.

3. Лидерство в судовом экипаже [Е. В. Костыря, В. П. Топалов, Л. А. Позолотин, В. Г. Торский]. – Одесса : Астропринт, 2011. – 128 с.

4. Менеджмент морських ресурсів : навчальний посібник / [О. П. Безлуцька, А. П. Бень, М. О. Колегаєв, Л. А. Кошелик, Л. Б. Кулікова, А. М. Лещенко та ін.]. – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2012. – 100 с.

5. Міжнародна Конвенція про підготовку та дипломування моряків та несення вахти 1978 р. (Конвенція ПДНВ 78/95) з поправками 2010 р.

6. Торский В. Г. Управление судовыми экипажами / В. Г. Торский. – Одесса : Астропринт, 2011. – 244 с.

7. Шапиро Ф. В. Психологические основы менеджмента / Ф. В. Шапиро. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://21545.letitbit.net/download/34123.387b72808f76989e237811106a09/Psihologic_osnowy_menedgmenta.rar.html

Безлуцкая Е.П., Лещенко А.М. «МЕНЕДЖМЕНТ МОРСКИХ РЕСУРСОВ» КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ БУДУЩИХ МОРСКИХ ОФИЦЕРОВ

В статье актуализируется внимание на особенностях внедрения дисциплины «Менеджмент морских ресурсов» в процесс профессиональной подготовки будущих офицеров морского флота. Определяется роль и влияние «человеческого фактора» в реализации профессиональной деятельности моряка. Сделаны акценты на основных задачах, которые ставит дисциплина «Менеджмент морских ресурсов».

Ключевые слова: менеджмент морских ресурсов, «человеческий фактор», офицер-руководитель.

Bezlutska O.P., Leshchenko A.M. MARITIME RESOURCE MANAGEMENT IS THE MAIN PROFESSIONAL TRAINING OF FUTURE MARITIME OFFICERS

The attention to the peculiarities of discipline implementation «Maritime Resource Management» into professional training of future officers of the Sea Fleet has been actualized in the article. The role of the and influence of a «human factor» in realization of professional activities of the sailor are specified. The key learning objectives of the discipline «Maritime Resource Management» have been defined.

Key words: management of maritime resources, human factor, officer-manager.

Статтю прийнято
до редакції 11.06.14.

УДК 629.5.07

СРЕДСТВА ПОЭТАПНОЙ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Дорогань О.И., Рябенький В.М., Ушкаренко А.О.
Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова (г. Николаев)

Рассмотрены трехуровневые распределенные системы управления судовыми электроэнергетическими установками с дизель-генераторными агрегатами, в которых нижний уровень системы управления представлен локальными системами управления дизелями с автоматическими регуляторами частоты, системами плавного пуска и регуляторами частоты вращения асинхронных двигателей и автоматическими регуляторами напряжения генераторов; средний уровень содержит средства автоматизации, служащие для обеспечения взаимодействия силовых агрегатов и оптимизации их использования; верхний уровень представлен компьютеризированным рабочим местом оператора, позволяющим осуществлять дистанционный мониторинг параметров и управление энергосистемой. Предложено проведение обучения специалистов по эксплуатации судового электрооборудования в два этапа: изучение алгоритмов пуска и остановки дизель-генераторных агрегатов, синхронизации дизель-генератора с судовой сетью, распределения нагрузок между параллельно работающими силовыми агрегатами, алгоритмов проверки и настройки защит дизель-генераторов и закрепление изученного материала на основе взаимодействия с программным обеспечением автоматизированного рабочего места оператора и информационными моделями средств и объектов автоматизации на первом этапе обучения; изучение схем подключения и алгоритмов настройки аппаратных средств автоматизации (систем управления дизелями и генераторами, систем синхронизации и распределения нагрузок, защит и др.) и закрепление знаний посредством управления физической моделью системы управления судовой электроэнергетической установкой. Определены функциональные возможности аппаратно-программных средств, используемых на каждом из этапов: для первого этапа разработаны наборы «мнемосхема – набор информационных моделей средств и объектов автоматизации – модель электроэнергетической установки» с соответствующими множествами состояний энергосистемы и средствами автоматизированного моделирования смены состояний и протоколирования действий обучаемого при их возникновении; для второго этапа разработаны стенды для автономного изучения средств автоматизации и физическая модель автоматизированной системы управления судовой электроэнергетической установкой.

Ключевые слова: судовая автоматизированная электроэнергетическая установка, имитационное моделирование, тренажер.

Введение. Характерной особенностью современного судового энергомашиностроения является повышение степени автоматизации энергетических установок на базе распределенных многоуровневых систем с применением микропроцессорной техники [1]. Современный подход к проектированию и разработке автоматизированных систем управления (АСУ) состоит в компьютеризации и использовании SCADA-программ в качестве подсистем верхнего уровня. Для эффективного управления электроэнергетической системой используемые программные средства должны соответствовать нормам качества программного обеспечения, определенных в стандартах серии ISO/IEC (25000-25099); удовлетворять требованиям к человеко-машинным интерфейсам, определенных в стандартах серии ISO/IEC 9241 и иметь средства для дистанционного контроля и управления электроэнергетическими процессами, регламентируемые Правилами классификации и построения морских судов [2]. Однако для безопасного использования современных АСУ судовые механики и электромеханики также должны иметь соответствующие профессиональные знания и навыки, обеспечивая как вахтенное, так и безвахтенное обслуживание судового оборудования и средств автоматики. Требования к оператору управления судовой электроэнергетической установкой определены в ПДНВ [3]. Согласно этим же требованиям судовой механик должен пройти курс практической подготовки длительностью не менее 12 месяцев (6 из которых – на судне), причем обучение должно проходить в специально оборудованных лабораторных и тренажерных комплексах морских учебных заведений.

В работах [4, 5] приведено описание тренажера судовой автоматизированной электроэнергетической системы, реализованного на базе SCADA-программы M-Vision, главного распределительного щита со средствами автоматизации фирмы Selco, трех основных и одного аварийного генераторных агрегатов и судовых потребителей электроэнергии. Описанный тренажер обеспечивает адекватное воспроизведение эксплуатационных ситуаций по техническому обслуживанию реального судового оборудования и предназначен для специальной подготовки судовых электромехаников [4, 5]. В данной работе предлагается использование двухступенчатого обучения студентов морских учебных заведений: первичного – с использованием реального программного обеспечения верхнего уровня системы управления и виртуальных моделей средств и объектов автоматизации всех остальных уровней; и вторичного – на основе реально функционирующего и максимально приближенного к современной конфигурации судового оборудования.

Цель работы. Целью работы является обоснование разделения обучения специалистов по эксплуатации судового электрооборудования на два этапа – на основе информационной и на основе физической моделей АСУ судовой электроэнергетической установкой; определение требований к составляющим моделей и разработка их структурных схем в соответствии с предложенной методикой обучения.

Основной материал. Целевыми функциями человеко-машинной системы при обучении оператора с помощью аппаратно-программной модели автоматизированной системы управления судовой электроэнергетической установкой являются: обеспечение оператора адекватной информацией о режимах работы электрооборудования; формирование навыков и закрепление знаний у оператора, связанных с его действиями как в штатном режиме работы электроэнергетической установки, так и при возникновении аварийных ситуаций.

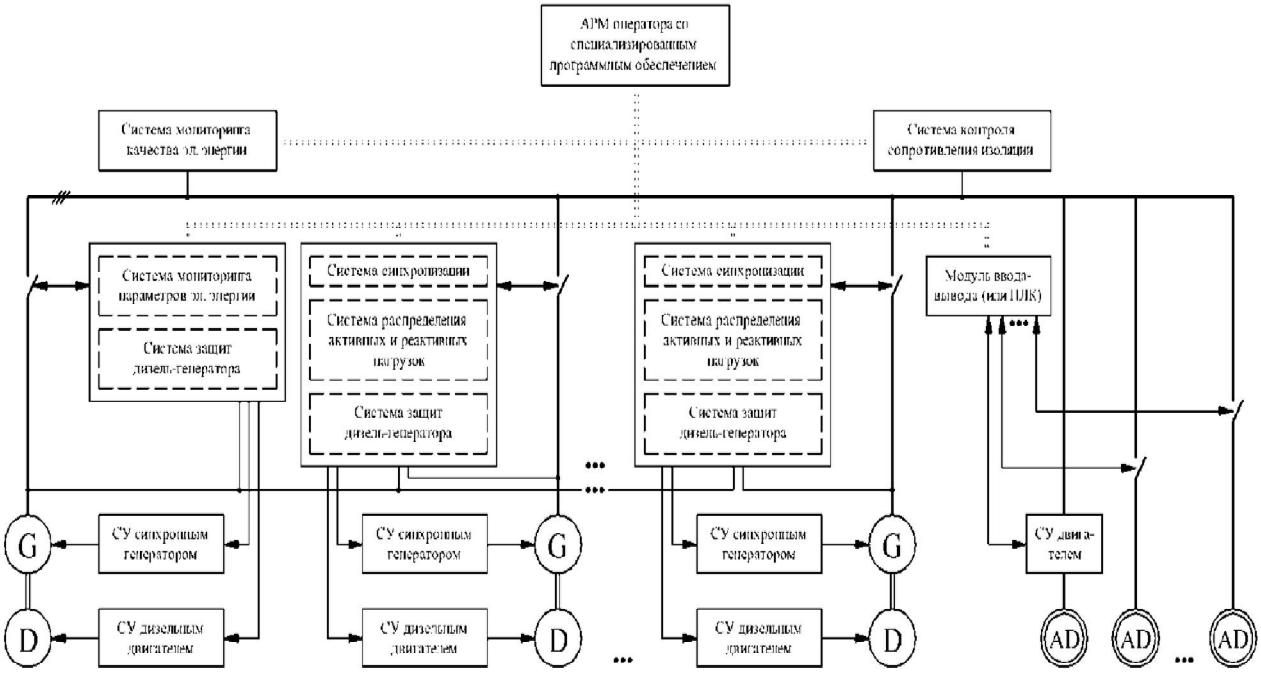


Рисунок 1 – Архитектура АСУ судовой электроэнергетической установкой

В работе рассмотрены трехуровневые распределенные системы управления электроэнергетическими установками (рис. 1), в которых нижний уровень АСУ представлен локальными системами управления двигателями и генераторами, в состав которых входят автоматические регуляторы частоты вращения вала двигателя и напряжения возбуждения генератора, средства реализации алгоритмов пуска и останова



двигателей в соответствии с их заводскими инструкциями и средства обеспечения наиболее быстродействующих защит генератора; к среднему уровню отнесены средства автоматизации, служащие для обеспечения взаимодействия силовых агрегатов и оптимизации их использования посредством коррекции отдаваемой и потребляемой ими электроэнергии, что осуществляется передачей команд с помощью дискретных сигналов соответствующим локальным системам управления; в качестве элемента верхнего уровня определена компьютеризированная система управления, которая с помощью информационного обмена со средствами автоматизации среднего уровня (по протоколу Modbus RTU, интерфейс RS-485) позволяет осуществить дистанционный мониторинг и управление электростанцией [6].

Поскольку управление электроэнергетической установкой согласно приведенной архитектуре АСУ связано с использованием специализированного программного обеспечения верхнего уровня, предлагается его использование на обоих этапах обучения.

Задачей первичного обучения студентов морских учебных заведений является изучение алгоритмов пуска и останова дизель-генераторных агрегатов (ДГА), синхронизации ДГА с сетью, распределения активной и реактивной нагрузки между параллельно работающими генераторными агрегатами; алгоритмов проверки и регулировки систем защит дизель-генератора от перегрузки по мощности, потери возбуждения, обратной мощности и др. После изучения теоретического материала (в первую очередь соответствующих нормативных документов [2, 7]) необходима его проверка и закрепление. С этими целями предлагается формирование классов неэквивалентных состояний энергосистемы (ввод в действие генераторного агрегата для автономной работы, ручное и автоматизированное управление параллельной работой дизель-генераторов, возникновение условий срабатывания систем защит дизель-генераторов и др.) и далее создание нескольких наборов пар «мнемосхема электроэнергетической установки для программного обеспечения со всеми необходимыми настройками – имитационная модель электроэнергетической установки», содержащих по одной ситуации из каждого класса для первого набора, по две – для второго и т.д. Для обеспечения эффективного обучения имитационная модель электроэнергетической установки должна воспроизводить внешние и внутренние связи, соответствующие исходному объекту с максимальной точностью. Рассматриваемая АСУ является многоуровневой и пространственно распределенной. Поэтому необходимо создать имитационные модели объектов управления совместно с их системами управления нижнего и среднего уровней как единого целого, которые на уровне интерфейса связи с программным обеспечением автоматизированного рабочего места оператора будут полностью соответствовать аппаратным средствам автоматизации среднего уровня. Воспроизведение внутренних связей электроэнергетической установки моделью должно быть выражено в виде адекватного математического моделирования электроэнергетических процессов в системе, возникающих при изменении ее структуры: бросков тока при несоблюдении условий подключений генераторного агрегата к судовой сети, провалов напряжения и частоты при подключении мощных потребителей электроэнергии, рассогласовании в распределении нагрузки между параллельно работающими генераторными агрегатами при изменении нагрузки энергосистемы и др. Поскольку математическое моделирование электроэнергетических процессов достаточно ресурсоемкий процесс, а имитационные модели должны осуществлять информационный обмен с программным обеспечением верхнего уровня с адекватными, соответствующими реальным средствам, временными задержками, в работе предлагается создание мультикомпьютерной модели электроэнергетической установки, управление работой которой будет выполняться от инструкторской станции. Тогда мультикомпьютерная модель электроэнергетической установки будет состоять из информационных моделей, соответствующих контроллеру автоматизации, системе синхронизации и распределения нагрузок, системе мониторинга качества электроэнергии и связанных с ними объектов

автоматизации с автоматическими регуляторами частоты и напряжения. Требованием ко всем имитационным моделям является наличие интерфейса для работы в информационной сети (поддержка интерфейса RS-485 и протокола Modbus RTU с возможностью изменения адреса устройства) и интерфейса для связи с инструкторской станцией (интерфейса RS-485 и специального протокола). Остальные требования к моделям, соответствующим различным средствам автоматизации, различны и далее рассмотрены отдельно.

Характеристики модели контроллера автоматизации: имитация наличия дискретных входов и выходов с возможностью изменения соответствующего каждому из них адресу регистра; наличие блока установки основных параметров силового агрегата (коэффициента мощности, частоты, действующих значений напряжения и тока) и моделирование в соответствии с установленными значениями быстротекущих процессов для получения осциллограмм напряжения и тока генератора.

Характеристики модели системы синхронизации и распределения нагрузок: имитация включения ДГА на параллельную работу с сетью: модель должна иметь средства для эмуляции дискретных выходов или для изменения содержимого регистров, соответствующих запуску или останову дизель-генератора, инициированию процесса его синхронизации с сетью, изменению параметров управляющих сигналов для имитации воздействий на регуляторы частоты и напряжения в процессе синхронизации; имитация подключения/отключения нагрузки к параллельно работающим ДГА с помощью изменения состояний дискретных выходов; имитация распределения активной и реактивной нагрузки, для управления процессом которого используется содержимое регистров, задающих период и скважность сигналов, поступающих на регуляторы частоты и напряжения; имитация выражается в автоматическом изменении моделируемых действующего значения тока и значения коэффициента мощности; имитация возникновения аварийных ситуаций: перехода дизель-генератора в двигательный режим или потеря им возбуждения; на уровне модели это должно быть выражено наличием переключателей для изменения направлений потоков активной и реактивной мощностей, отдаваемых генераторным агрегатом в сеть.

Характеристики модели системы мониторинга качества электроэнергии: наличие блока установки действующих значений всех фазных напряжений сети и значений углов сдвига между векторами напряжений; отображение осциллограмм напряжений трехфазной сети, выполнение расчета коэффициентов несимметрии и их отображение.

Задачами инструкторской станции являются моделирование изменения нагрузки энергосистемы и максимально точное воспроизведение параметров соответствующих электроэнергетических процессов. Для решения последней задачи необходимо наличие математической модели и средств для расчета системы дифференциальных уравнений, которые описывают текущую конфигурацию судовой электроэнергетической установки. Поскольку выполнение расчетов предполагает использование численных методов, которые уже реализованы в программных комплексах Matlab Simulink и Scilab Scicos, в работе предлагается к каждой паре «мнемосхема электроэнергетической установки – набор имитационных моделей объектов и аппаратных средств автоматизации» добавить имитационную модель всей электроэнергетической системы в виде графической блок-диаграммы, созданной в одном из перечисленных программных средств. В состав этой модели должны войти блоки силовых агрегатов, средств автоматизации (регуляторов частоты и напряжения, устройств синхронизации и распределения нагрузок), эквивалентных активно-индуктивной текущей и подключаемой нагрузок электростанции. Для возможности управления конфигурацией модели также необходим соответствующий блок, который будет управлять средствами автоматизации и состояниями автоматических выключателей. Структурная схема предлагаемой модели приведена на рис. 2.

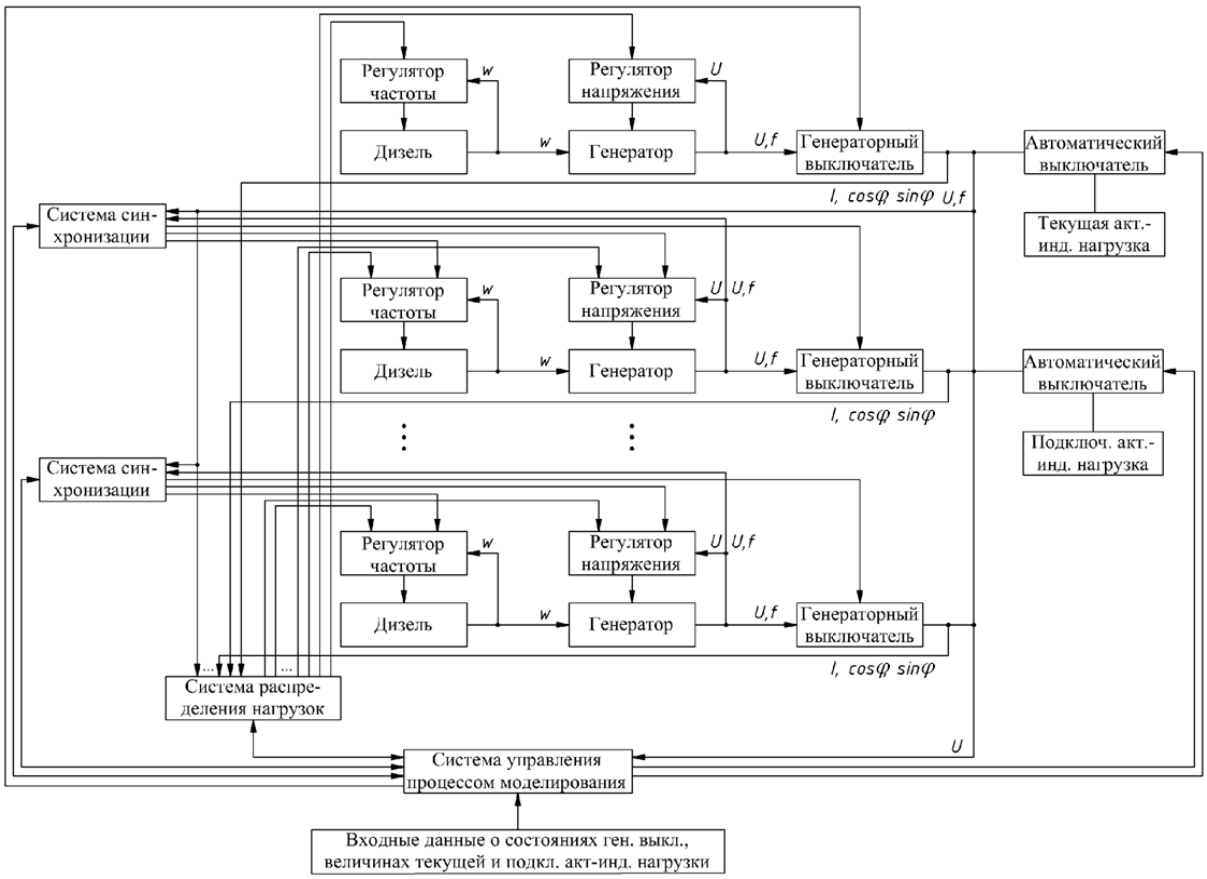


Рисунок 2 – Структурная схема имитационной модели электроэнергетической установки

Для автоматизации процесса обучения предлагается для каждой связки «мнемосхема – набор информационных моделей средств и объектов автоматизации – модель электроэнергетической установки» составить множество состояний системы (автономная работа дизель-генератора, необходимость подключения дополнительного дизель-генератора, переход генераторного агрегата в двигательный режим и др.) и создать файл, каждая строка которого будет содержать соответствующие определенному состоянию энергосистемы данные о ее конфигурации: состояния автоматических выключателей и мощности подключенных к судовой сети потребителей электроэнергии. Тогда, используя принцип особых моментов в качестве схемы моделирования, можно в определенные моменты времени генерировать номер состояния энергосистемы. Затем, используя информацию о соответствующей этому состоянию конфигурации энергосистемы, можно выполнять запуск имитационной модели электроэнергетической установки и возвращаемые в результате моделирования данные (действующие значения напряжений и токов, величины активных и реактивных мощностей, частоты токов генераторных агрегатов) передавать далее имитационным моделям объектов и средств автоматизации. Таким образом, изучение и закрепление основных алгоритмов управления судовой электроэнергетической установкой на первичном этапе подготовки оператора будет проходить в соответствии со схемой, приведенной на рис. 3.

Задачами вторичного этапа подготовки специалистов по эксплуатации судового электрооборудования являются:

– изучение схем подключения и алгоритмов настройки автоматических регуляторов частоты дизельных двигателей и напряжения синхронных генераторов; систем синхронизации дизель-генераторов с сетью и распределения нагрузок между параллельно работающими генераторными агрегатами;

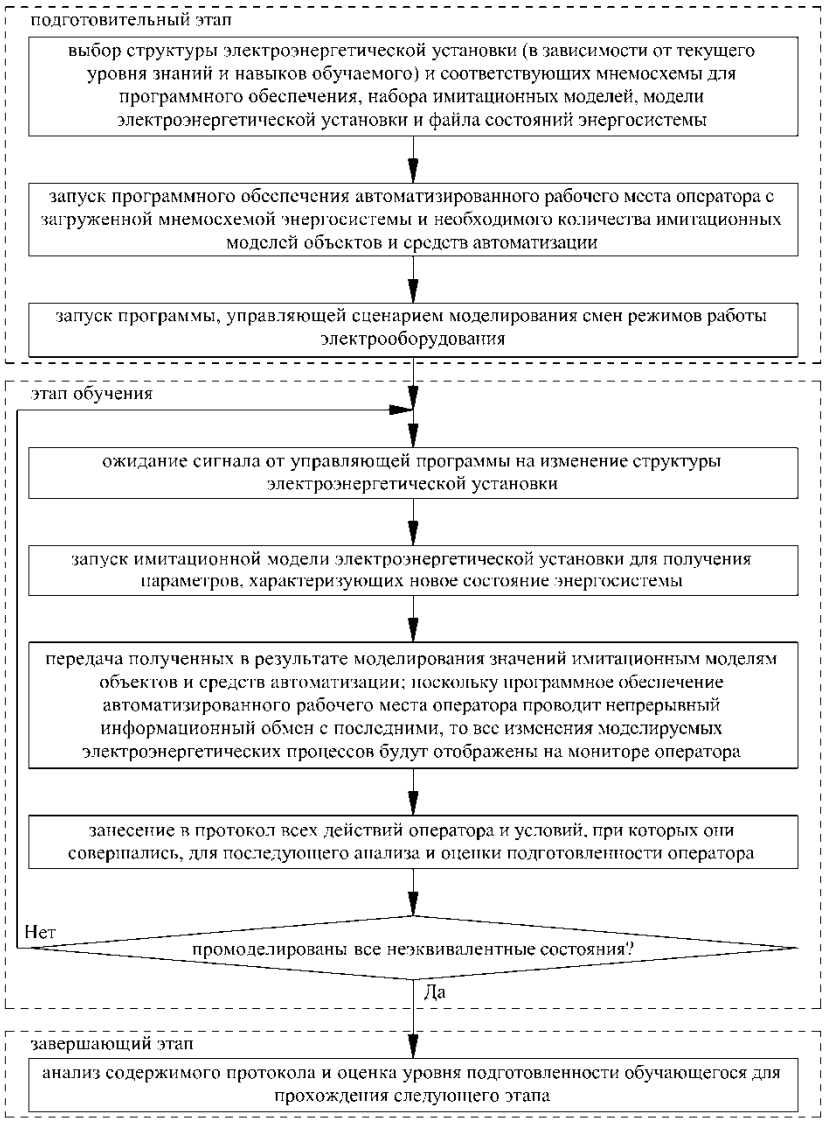


Рисунок 3 – Алгоритм обучения специалистов по судовому электрооборудованию на первичном этапе

– исследование систем плавного пуска и торможения, частотно-регулируемых электроприводов асинхронных двигателей: изучение структуры и принципа работы, схем подключения двигателей и управляющих сигналов, особенностей управления системами с помощью аппаратных средств и аналоговых или дискретных сигналов;

– исследование контроллеров автоматизации и систем мониторинга параметров дизельных двигателей: изучение структурных схем и принципов работы, схемотехники устройств и типовых схем подключения, особенностей настройки устройств для работы в единой информационно-управляющей сети распределенной системы управления; изучение типов и интерфейсов подключения промышленных датчиков температуры, уровня и др.;

– ознакомление со схемами подключения и принципами работы программируемых логических контроллеров (ПЛК) и модулей расширения; изучение языков программирования ПЛК и принципов объединения приведенных устройств в подсистемы для реализации сложных локальных алгоритмов управления оборудованием;

– использование знаний и навыков, полученных в результате изучения основ работы выше приведенных систем автоматизации, а также специализированного программного обеспечения, для исследования распределенной системы управления физической моделью судовой электроэнергетической установки.

Для решения поставленных задач при обучении студентов в работе предлагается использование соответствующим образом укомплектованных стендов. Для исследования системы возбуждения синхронного генератора и синхронизации генераторного агрегата с сетью, а также принципов работы с частотно-регулируемыми электроприводами, возможно использование стенда, содержащего синхронный генератор и приводной асинхронный двигатель мощностью 2 кВт, частотный электропривод Altivar 38, перечисленные системы с выведенными контрольными точками для возможности регулировки их настроек, универсальным измерительным прибором Lovato DMK32 и компьютера со специализированным программным обеспечением для связи с микропроцессорными системами. Изучение систем плавного пуска и торможения асинхронных двигателей можно проводить на основе стендов, укомплектованных двигателями, устройствами Altistart 01 и Altistart 48, тумблерами для изменения режимов работы этих устройств (включение/отключение функции BOOST, аварийная остановка двигателя), кнопками изменения и индикаторами отображения текущих состояний систем, измерительными приборами для анализа влияния изменения настроек систем плавного пуска на величины пусковых токов и всплески мощности, персональными компьютерами с необходимыми программными средствами (программой PowerSuite, средствами для связи с осциллографами). Для исследования интерфейсов и схем подключения промышленных датчиков в лаборатории использованы термопреобразователи ТСМ фирмы Овен и, поскольку интерфейсы всех промышленных датчиков стандартизированы, для изучения принципов реализации сложных алгоритмов управления объектами автоматизации в зависимости от внешних условий реализована имитация датчиков различных физических величин с помощью переменных сопротивлений. Для имитации датчиков с выходом типа «сухой контакт» использованы тумблеры и импульсные кнопки; отображение состояний дискретных выходов устройств реализовано с помощью светодиодных индикаторов. Изучение языков реализации алгоритмов для ПЛК и принципов построения подсистем, в которых ПЛК является ведущим, может происходить с помощью стендов, укомплектованных средствами имитации датчиков и устройствами фирм Shneider Electric (TWDLMDA40DTK, TM2DRA8RT, TM2AMI8HT, TWBNOZ485D), Zelio Logic (SR2B201BD) и Овен (ПЛК100, МВА8, МДВВ, СП270, ЕКОН131). После исследования систем автоматизации на отдельных стендах обучение переходит в завершающую стадию – отработка навыков создания, настройки и использования распределенной системы управления, состоящей из пульта управления с автоматизированным рабочим местом оператора (компьютерами со специализированным программным обеспечением, сенсорными панелями и аварийными выключателями) на верхнем уровне; ПЛК, систем мониторинга параметров сети и синхронизации на среднем уровне; систем возбуждения генераторов и преобразователей частоты на нижнем уровне. Все приведенные стенды реализованы в лаборатории кафедры Теоретической электротехники и электронных систем Национального университета кораблестроения им. адм. Макарова и ознакомиться с их комплектацией более детально можно в [8].

Выводы. Разделение процесса обучения специалистов по эксплуатации судового оборудования на два последовательных этапа позволит повысить его эффективность путем инкрементального повторения алгоритмов управления судовой электроэнергетической установкой. Для предотвращения возникновения аварийных ситуаций возможно использование на первом этап обучения информационных моделей аппаратных средств и объектов автоматизации совместно со средствами автоматизированного рабочего места оператора. Второй этап обучения предполагает пошаговое изучение аппаратных средств автоматизации на локальных стендах и далее – в составе распределенной системы управления физической моделью судовой электроэнергетической установки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осовский Д. И. Системы автоматического управления судовыми электроэнергетическими установками. Конспект лекций / Д. И. Осовский. – Керчь, 2012. – 144 с.

2. Правила классификации и постройки морских судов. Том 2. – Санкт-Петербург : Российский морской регистр судоходства, 2013. – 721 с.

3. International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers, 1978 (STCW 1978), as amended (consolidated text) – Санкт-Петербург : ЗАО «ЦНИИМФ», 2010. – 806 с.

4. Муха Н. И. Тренажер судовой автоматизированной электроэнергетической системы / [Н. И. Муха, А. О. Дранкова, В. Н. Волошин, А. Р. Миська, С. А. Дудко] // Авиационно-космическая техника и технология. – Харьков, 2011. – № 9 (86). – С. 207-210.

5. Дайнеко В. И. Тренажерная подготовка судовой машинной команды / В. И. Дайнеко // Материалы 15-й Международной Крымской конференции. Том 2. – Севастополь : Вебер, 2005. – С. 127-128.

6. Дорогань О. І. Комп'ютерна програма для розробки та забезпечення роботи в режимі реального часу систем моніторингу параметрів та керування автономними електроенергетичними установками «ElectronScada» // Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 49935 – Державна служба інтелектуальної власності України, 2013.

7. Правила технической эксплуатации морских и речных судов. Электрооборудование. – К. : Министерство транспорта Украины, Государственный департамент морского и речного транспорта, 1996 – 111 с.

8. Официальный сайт кафедры Теоретической электротехники и электронных систем [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://tees.org.ua/.

Дорогань О.І., Рябенький В.М., Ушкаренко О.О. ЗАСОБИ ПОЕТАПНОЇ ПІДГОТОВКИ СПЕЦІАЛІСТІВ З СУДНОВОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

Розглянуто трирівневі розподілені системи управління судновими електроенергетичними установками з дизель-генераторними агрегатами, в яких нижній рівень системи управління представлений локальними системами управління дизелями з автоматичними регуляторами частоти, системами плавного пуску і регуляторами частоти обертання асинхронних двигунів і автоматичними регуляторами напруги генераторів; середній рівень містить засоби автоматизації, що слугують для забезпечення взаємодії силових агрегатів і оптимізації їх використання; верхній рівень представлений комп'ютеризованим робочим місцем оператора, яке дозволяє здійснювати дистанційний моніторинг параметрів і керування енергосистемою. Запропоновано проведення навчання фахівців з експлуатації суднового електрообладнання в два етапи: вивчення алгоритмів пуску і зупинки дизель-генераторних агрегатів, синхронізації дизель-генератора з судновою мережею, розподілу навантажень між паралельно працюючими силовими агрегатами, алгоритмів перевірки і налаштування захистів дизель-генераторів і закріплення вивченого матеріалу на основі взаємодії з програмним забезпеченням автоматизованого робочого місця оператора та інформаційними моделями засобів та об'єктів автоматизації на першому етапі навчання; вивчення схем підключення і алгоритмів налаштування апаратних засобів автоматизації (систем управління дизелями і генераторами, систем синхронізації і розподілу навантажень, захистів тощо) і закріплення знань за допомогою управління фізичною моделлю автоматизованої системи управління судновою електроенергетичною установкою. Визначено функціональні можливості апаратно-програмних засобів, що використовуються на кожному з етапів: для першого етапу розроблені набори «мнемосхема – набір інформаційних моделей засобів та об'єктів автоматизації – модель електроенергетичної установки» з відповідними множинами станів енергосистеми і засобами автоматизованого моделювання зміни станів і протоколювання дій оператора при їх виникненні; для другого етапу розроблені стенди для автономного вивчення засобів автоматизації і фізична модель автоматизованої системи управління судновою електроенергетичною установкою.

Ключові слова: суднова автоматизована електроенергетична установка, імітаційне моделювання, тренажер.

Dorogan O.I., Ryabenkiy V.M., Ushkarenko O.O. THE TRAINER FOR MARINE ELECTRICAL MECHANICS

Distributed control systems for marine power systems, in which the lower level consists of governor controls for diesels and local data acquisition and control systems for induction motors and synchronous generators; the middle level includes remote terminal units, which are used to interconnect the power units and to optimize their work and the upper level is represented by a computerized operator workstation that allows remote monitoring and control of power system parameters, are discussed. The educational process for marine electrical mechanics is proposed to be separated into two phases: the first is dedicated to the theoretical study of the algorithms and the principles of diesels control, generators synchronizing and load control, generators protection from reverse power, excitation loss, overcurrent and short circuit; the phase finishes with the validation of knowledge using the software of the operator workstation and the information models of the hardware and the power units. The second phase is connected with the study of the schemes of the hardware connection and the algorithms of their tuning; reinforcement of the phases knowledge occurs by controlling the physical model of the automated marine power station. The requirements for the functionality of the hardware and the software are defined: the sets «the mnemonic scheme of the marine power system – the set of the information models of the hardware and the power units of this power system – the simulation model of the power system» with the variety of power system states and the tools for automated simulation of changing these states and logging of operators reactions are developed for the first phase of the study and the stands for autonomous study of the hardware and the physical model of automated marine power system are developed for the second phase.

Key words: autonated marine power system, simulation, trainer.

Статтю прийнято
до редакції 29.04.14.

УДК 378.147

ЩОДО ПРОБЛЕМИ З УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОФЕСІЙНОЇ ПСИХОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ СУЧАСНОГО МОРЯКА

Зайцева Т.Г.
Херсонська державна морська академія

Об'єктом дослідження в статті виступає процес психологічної підготовки сучасного моряка. В якості предмету розглядається самоменеджмент психофізичних станів як продуктивна педагогічна технологія. Доводиться доцільність та можливість формування у майбутніх моряків умінь свідомого психологічного самоуправління без активізації вольових зусиль та додаткового напруження ЦНС. Розкривається специфіка методів тренінгової спрямованості, пояснюється їх значення та доцільність використання в процесі професійної психологічної підготовки курсантів вищих навчальних морських закладів.
Розглянуто сутність та значення самоменеджменту психофізичних станів моряка як дієвої педагогічної технології свідомого психологічного самоуправління. Звернення курсантів та студентів ВНМЗ до цієї технології на підставі цілеспрямованої актуалізації складових їх людського ресурсу сприятиме підвищенню рівня індивідуальної психоемоційної стійкості та протистоянню явищу «людський фактор».
Ключові слова: самоменеджмент, інноваційні педагогічні технології, «людський фактор», психоемоційна стійкість, свідомий психологічний самовплив.

Введення. У наш час значно актуалізується проблема підвищення рівня професійної психологічної підготовки сучасного моряка до дій в умовах морського середовища, оскільки її вирішення сприятиме підвищенню рівня надійності морського судноплавства. Проблема аварійності в межах міжнародного морського середовища зумовлюється комплексом об'єктивних та суб'єктивних обставин, що провокують досвідчених морських фахівців на професійні помилки та, відповідно, в значній мірі сприяють підвищенню рівня небезпеки на флоті. В якості головної обставини, що об'єднує практично усі фактори такого походження, виступає специфіка самої роботи моряків на борту судна. Вона розкривається у тривалому та цілодобовому перебуванні працівників морського та річкового транспорту в полі постійного впливу на них значної кількості психотравмуючих подразників. Ця специфіка зумовлює об'єктивне протиріччя між високим рівнем вимог з боку морської професії до актуальних можливостей психіки кожного професіонального моряка. Наслідками психофізичного та емоційного перевантаження є інтелектуальне та психофізичне перевантаження моряків, зниження якості їх здоров'я, погіршення якості професійної комунікації, лідерських якостей та, зокрема, культури безпеки, поява в структурі особистості працівника морського транспорту елементів професійної психологічної деформації. Об'єктивними проблемами виступають інтенсифікація психофізичного стану моряків внаслідок тривалого та цілодобового перебування їх на борту судна в умовах постійного впливу психотравмуючих факторів; збільшення нормативів робочого часу при недостатній тривалості повноцінного відпочинку та появи на цій підставі хронічної втоми; невисокий рівень соціально-психологічної адаптації моряків до роботи в багатонаціональних екіпажах; невідповідний рівень індивідуальної стресостійкості; невисокий рівень культури безпеки морських фахівців, що зумовлюється невиправданими ризиками, халатністю, у деяких випадках вживанням алкогольних напоїв; знижений рівень контролю діяльності членів екіпажу завдяки ознак його формалізації; наявність постійно діючих факторів психотравмуючого характеру, що діють за медитативними принципами, зокрема шуми різного походження, випромінювання, вібрації, зміна часових зон тощо.

З метою подолання проблеми аварійності на флоті країнам-учасницям Міжнародної Конвенції було запропоновано в максимально короткий час визначити та впровадити в дійсність додаткові дієві ресурси. Фактично перед вищими навчальними морськими закладами були поставлені завдання пошуку певних ресурсів та розробки нових програм і педагогічних технологій для забезпечення більш досконалої підготовки

морських фахівців, зокрема забезпечення високого рівня їх працездатності і психофізичної стійкості. Тим зумовлюється доцільність звернення до наявних елементів людського ресурсу сучасного моряка, а також розробка нових науково обґрунтованих педагогічних технологій актуалізації цих ресурсних складових. Актуальність проблеми значного поліпшення професійної психологічної підготовки сучасного моряка висвітлюється і в змісті 19-тої Резолюцій та Заключному акті Міжнародної (Манільської) конференції країн-учасниць Міжнародної Конвенції ПДНВ (1978/1995) від червня 2010р., що спрямовувалась на вирішення проблеми безпеки морського судноплавства, зокрема шляхом дієвого протистояння явищу «людський фактор» [1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблему психологічної підготовки майбутніх моряків до роботи в морі вивчають різні автори, які, в першу чергу, акцентують увагу на причинах хронічної втоми морських фахівців, що спонукають їх до професійних помилок та аварійних ситуацій [2, 3]. Вчені звертають увагу на психологічні аспекти управлінської діяльності на борту судна, яке являє собою специфічну морську соціотехнічну систему, зокрема в екстремальних ситуаціях. Вони ставлять завдання з метою підвищення якості професійного реагування моряків забезпечувати умови для зниження рівня їх психологічного напруження, поліпшення якості уваги, пам'яті, сприйняття та інших пізнавальних процесів. Науковці звертають увагу на сутність та значення «людського фактору», який виступає основною причиною аварійних ситуацій та безпосередніх аварій на морі [4]. Вченими пропонується комплексний підхід щодо професійної психологічної підготовки сучасного моряка [2], а також стимулювання емоційно-вольової стійкості моряка, мотивації його на бездоганну працю, професійну спрямованість, формування умінь щодо виживання у відкритому морі тощо. Ставляться питання щодо забезпечення якості професійної взаємодії моряків на борту судна, формування у представників офіцерського складу лідерських якостей тощо [5, 6, 7].

Але при цьому науково не пояснюються та, відповідно, не обґрунтовуються механізми, що сприятимуть високому рівню психоемоційної стійкості моряка, його безпомилковому професійному реагуванню [8, 9].

Постановка питання. Оскільки змінити специфіку професії моряка не можливо, ми пропонуємо звертатися до самоменеджменту психофізичних станів моряка на підставі формування у майбутніх мореплавців умінь свідомого психологічного самоуправління природними резервними психофізичними механізмами [3, 10, 11, 12].

Об'єктом дослідження визначеної проблеми виступатиме процес поліпшення професійної психологічної підготовки сучасного моряка, а в якості предмета – умови, що сприятимуть цьому процесу. Відповідно, метою статті є висвітлення сутності та значення самоменеджменту психофізичного стану моряка як інноваційної педагогічної технології, звернення до якої в умовах вищого навчального морського закладу сприятиме підвищенню якості психологічної професійної підготовки працівників морського транспорту. В якості класичних методів наукового дослідження використовуються теоретичні та практичні, зокрема аналіз, синтез, класифікація, моделювання, індукція та дедукція, експеримент, тестування, співбесіди тощо.

Виклад основного матеріалу. Ми виходимо з наукової позиції про наявність у психічно здорової людини ресурсних складових, зокрема саморегулятивних психічних механізмів, та розроблених і апробованих педагогічних технологій свідомого психологічного самовпливу [11, 12].

Це відкриває перспективу цілеспрямованої актуалізації у курсантів ВНМЗ елементів людського ресурсу ще на етапі їх професійної підготовки з тим, щоб на підставі сформованих умінь свідомого психологічного самоуправління вони могли самостійно впливати на характер свого психофізичного стану, зокрема забезпечувати необхідний рівень індивідуальної стресостійкості та на цій підставі реально протистояти людському фактору. Але специфіка педагогічної технології свідомого стимулювання морськими фахівцями елементів свого людського ресурсу зумовлюється нестандартністю

інструменту свідомого психологічного самовпливу. В якості такого інструменту вчені визначають образи уяви і смислові мовні конструкції, які особа самостійно формує у відповідності з визначеної метою самоудосконалення [10, 11, 12].

Така технологія повинна забезпечити умови, «щоб людина періодично активно та цілеспрямовано концентрувала свою увагу на відповідному образі, намагаючись сприймати його як об'єктивну реальність. Саме в цьому розкривається сутність самостійної програмуючої функції суб'єктивних образів, програмуючої ролі уявлень. Уявленням в психології називається процес відображення в центральній нервовій системі предметів та явищ у час, коли вони вже не впливають на органи почуттів. Уявлення – діючий важіль цілеспрямованого впливу на стан фізіологічних систем організму, на психологічні установки, а таким чином і на особливості характеру, поведінки, на взаємовідносини з окремими людьми, з колективом, з природою. Зовнішність, здоров'я та інші фізичні особливості людини в певній мірі обумовлені випадковими обставинами. Однак при необхідності й ці якості підлягають цілеспрямованій корекції не лише фізичними, але і психічними методами впливу, заснованими, як вже відмічалось, на активній ролі уявлень» [11, С. 277]. У своїх роботах автор доводить доцільність та можливість формування в людині умінь та навичок свідомого психологічного самоуправління. Відповідно, в межах професійної підготовки морських фахівців ця система повинна бути науково обгрунтованою, достатньо зручною в процесі її використання та, головне, дієвою щодо сприяння активізації резервних психічних механізмів представників плавскладу.

Проблема дієвих педагогічних технологій в наукової літературі є актуальною. Так, вчені вивчають сутність явищ «інноваційні процеси», «інновації», розглядають питання щодо управління педагогічними інноваційними процесами (В. Ф. Паламарчук, О. Я. Савченко, О. В. Киричук, Л. І. Даниленко). Під явищем «інноваційні педагогічні технології» розуміють принципово нову сукупність педагогічного інструментарію (зокрема форм, методів, прийомів, засобів навчання, виховання та розвитку), впровадження якої забезпечуватиме цілісний педагогічний вплив та дозволяє формувати особистість морського фахівця комплексно [13].

Різновидом технологій цього виду вчені вважають самоменеджмент [14], звернення до якого дозволяє особі максимально повно актуалізувати особисту енергію, стимулювати творчу ініціативу, інше [15]. Ми погоджуємось з науковцями в визначенні самоменеджменту як сучасної педагогічної технології та обгрунтовуємо доцільність використання в процесі професійної підготовки морських фахівців його різновиду – самоменеджменту психофізичних станів моряка.

Обґрунтування нами цієї позиції спирається на дослідження вчених, які розкривають теоретичні засади самоменеджменту, доводять його специфіку та пояснюють основні функції, пропонують науково-обгрунтовані методи, практикуми, що використовуються в його межах. Зокрема В. М. Колпаков розглядає самоменеджмент в якості педагогічного інструменту самоуправління з актуалізації внутрішніх ресурсів особи з врахуванням зовнішніх факторів, а саме: «Самоменеджмент – це самоуправління людиною своєю життєдіяльністю і діями по досягненню поставлених цілей. Під самоуправлінням розуміють системну діяльність з самоорганізації людиною своїх життєвих функцій, що забезпечують реалізацію внутрішніх потенцій, спрямованих на досягнення певного результату за оптимального використання її внутрішніх ресурсів з урахуванням зовнішніх чинників» [16, 3].

Л. М. Хижняк обґрунтовує управлінську функцію самоменеджменту в якості основної та визначає такі його складові:

- постановка мети;
- планування; прийняття рішення; реалізація;
- організація особистих дій;
- самоконтроль [17].

Ми звертаємо увагу на доцільність звернення до елементів людського ресурсу морських фахівців, зокрема до резервних механізмів їх психіки, актуалізація яких становиться можливою в процесі удосконалення психічної культури моряка на підставі звернення до методів свідомого психічного самовпливу [10].

Усвідомлення сутності та специфіки самоменеджменту дозволяє нам визначити його різновид, зокрема самоменеджмент психофізичних станів, який за специфікою усіх його ознак дорівнює зручній, гнучкій та продуктивній технології свідомого психологічного самовпливу, що має використовуватися у процесі професійної підготовки сучасного моряка [11, С. 55-59]. Головним функціональним призначенням самоменеджменту психофізичних станів є сприяння виваженості професійних дій та рішень морських фахівців, зменшенню рівня їх психологічної напруги протягом тривалого перебування в межах функціонуючої соціотехнічної системи (СТС), підвищенню стресостійкості і загальної професійної працездатності на підставі свідомого психологічного самоуправління психофізичними станами. Системність самоменеджменту психофізичних станів моряка як педагогічної технології зумовлюється органічною єдністю принципів, засобів, форм, методів, прийомів та науково обґрунтованої організацією дій курсантів ВМНЗ, а також дипломованих морських фахівців. Основними його етапами виступають такі: визначення мети психофізичного самовдосконалення та формування морським фахівцем на цій підставі образної моделі бажаного психофізичного стану; забезпечення умов для реалізації цієї моделі на основі аналізу та врахування відповідних факторів свого особистого організаційного середовища, які можуть мати безпосередній вплив на характер особистого взаємозв'язку в системі «я–індивідуальне – моє організаційне середовище»; розробка програми свідомого психологічного самоуправління, складовими якої виступають засоби, форми та методи, зокрема самотренінги, методи мовно-образних кодів, образно-вольових настроїв тощо; аналіз та боротьба мотивів, результатом чого є прийняття рішення щодо реалізації визначеної програми психологічного самоуправління; управління своїми особистими діями на підставі актуалізації складових свого людського ресурсу по реалізації в дійсність моделі бажаного результату, яка визначена самостійно, на підставі звернення до методів свідомого психічного самовпливу [11, С. 55-59]. Кінцевим результатом процесу свідомого психологічного самоуправління може бути значне підвищення рівня працездатності, емоційно-вольової стійкості, позитивний психологічний настрій, забезпечення оптимістичного ставлення до умов професійної дійсності, інше. Ми також доводимо, що саме на підставі звернення до самоменеджменту психофізичних станів моряка можна значно збільшувати рівень його культури безпеки та, у відповідності вимог Манільської конференції, забезпечувати необхідний рівень їх стресостійкості.

Основним елементом цієї технології доцільно розглядати методи свідомого психічного самовпливу, які, за нашим обґрунтуванням, доцільно відносити групи тренінгової спрямованості. Дієвість цих методів зумовлюється їх специфікою та розкривається в синтетичності. У межах самоменеджменту психофізичних станів моряка ця специфіка проявляється в сукупності ознак та їх функціональному призначенні, зокрема:

а) самоспрямованість дій, що зобов'язує морського фахівця діяти самостійно та цілеспрямовано в напрямку упорядкування конкретних взаємозв'язків в межах його особистого організаційного середовища;

б) процесуальність, яка вимагає забезпечення певного часу для реалізації процесу формування та закріплення нових реакцій психосоматичного характеру як принципово нових алгоритмів психофізичного реагування на зміст мовних та образних формул самонавіювання, а також необхідних реакцій, умінь і навичок;

в) сприяння активізації в структурі психіки усіх її структурних елементів, зокрема психічних явищ, фаз та рівнів, індивідуального «я»;

г) органічна єдність структури, змісту та етапів самотренінгу, що передбачає поєднання в ньому різноманіття інших звичайних педагогічних методів та прийомів.

Специфіка тренінгу як складової самоменеджменту психофізичних станів моряка зумовлюється тим, що функціонально він являє собою синтез усіх інших класичних педагогічних методів – самонавчання, самовиховання та саморозвитку, чим і забезпечується його результативність в процесі підготовки професійних кадрів для морського флоту.

Висновки. Упровадження самоменеджменту психофізичних станів моряка у процес його професійної підготовки ставить за необхідне знайомство майбутніх моряків з сутністю та технологічними аспектами самоменеджменту їх психофізичних станів. Звернення до самоменеджменту психофізичних станів відповідатиме вимогам комплексу нормативно-правових положень з протидії «людському фактору», зокрема змісту Міжнародної Конвенції по охороні людського життя на морі 1974 року, СОЛАС-74 (International Convention for the Safety of Life at Sea, SOLAS-74), Міжнародної Конвенції по підготовці, дипломуванню моряків та несенню вахти, 1978/95 рр. (з Манільськими поправками 2010 р.) тощо. Вважаємо перспективним у подальшому впровадження у процес психологічної підготовки курсантів ВНМЗ України спецкурсу «Самоменеджмент психофізичних станів моряка», що розроблений в Херсонській державній морській академії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Міжнародна Конвенція про підготовку та дипломування моряків та несення вахти 1978 р. (Конвенція ПДНВ 78/95) з поправками 2010 р.
2. Торский В. Г. Усталость на судне убивает: Продолжительность рабочего времени и времени отдыха моряков / В. Г. Торский, Л. А. Позолотин // Порты Украины. – Одесса, 1998. – 32 с.
3. Торский В. Г. Управление судовыми экипажами : навчально-практичний посібник / В. Г. Торский, В. П. Топалав. – Одеса : Астропринт, 2000. – 212 с.
4. Даниленко А. А. Психологические основы управления на морском транспорте : учебник. – СПб. : Издательство Санкт-Петербургского института истории РАН «Нестор-История», 2004. – 395 с.
5. Выживание и безопасность на море в вопросах и ответах : учебное пособие. – ЦПАП, 1997. – 84 с.
6. Пономарев В. Е. Человек и безопасность судовождения. – М. : Транспорт, 1976. – 152 с.
7. Снопков В. И. Безопасность мореплавания: учеб.для вузов / В. И. Снопков, Т. И. Конопелько, В. Б. Васильева ; под ред. В. И. Снопкова. – М. : Транспорт, 1994. – 247 с.
8. Алексишин В. Г. Международные и национальные стандарты безопасности мореплавания / В. Г. Алексишин, Л. А. Козырь, Т. Р. Короткий. – Одесса : Латстар, 2002. – 257 с.
9. Броневицкий Г. Психическая устойчивость – залог надежности профессиональной деятельности моряка / Г. Броневицкий, С. Ладнов. // Морской сборник. – 2006. – № 4. – С. 70-74.
10. Зайцева Т. Г. Психічна культура працівника ОВС як чинник попередження професійної психологічної деформації : науково-методичний посібник / Т. Г. Зайцева. – Херсон : ХЮІ ХНУВС, 2006. – 64 с.
11. Зайцева Т. Г. Теорія і практика самоменеджменту психофізичних станів моряка з активізації людського ресурсу та подолання проблеми аварійності на флоті : монографія / Т. Г. Зайцева, В. Ф. Ходаковський ; за ред. Т. Г. Зайцевої. – Херсон : ХДМА, 2012. − 170 с.

12. Гримак Л. П. Резервы человеческой психики. Введение в психологию активности / Л. П. Гримак – М. : Политиздат, 1987. – 284 с.

13. Дичківська І. М. Інноваційні педагогічні технології : навчальний посібник / І. М. Дичківська. – К. : Академвидав, 2004. – 352 с.

14. Добровольский И. Л. Самоменеджмент: эффективные технологии : практическое руководство для решения повседневных проблем / И. Л. Добровольский. – М. : Приор-издат, 2003. – 272 с.

15. Вудкок М. Раскрепощенный менеджер: Для руководителя-практика / М. Вудкок, Д. Френсис. – М. : Дело, 1991. – 220 с.

16. Колпаков В. М. Навчальна програма дисципліни «Теорія і практика самоменеджменту (для спеціалістів, магістрів іншого напрямку) / В. М. Колпаков. – МАУП, 2005. – 30 с.

17. Хижняк Л. М. Роль самоменеджменту в сучасних освітніх технологіях у вищій школі / Л. М. Хижняк // Сучасні освітні технології у вищій школі : матеріали міжнародної наук.-метод. конф. (1-2 лютого, 2007 р.) – К., 2007. – С. 118-120.

Зайцева Т.Г. К ВОПРОСУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ СОВРЕМЕННОГО МОРЯКА

Объектом исследования в статье выступает процесс психологической подготовки современного моряка. В качестве предмета рассматривается самоменеджмент психофизических состояний как продуктивная педагогическая технология. Поясняется целесообразность и возможность формирования у будущих моряков умений сознательного психологического самоуправления без активизации волевых усилий и дополнительного напряжения ЦНС. Раскрывается специфика методов тренинговой направленности, поясняется их значение и целесообразность использования в процессе профессиональной психологической подготовки курсантов высших учебных морских заведений.

Рассматривается сущность и значение самоменеджмента психофизических состояний моряка как действенной педагогической технологии сознательного психологического самоуправления. Обращение курсантов и студентов ВМУЗ к этой технологии на основе целенаправленной актуализации элементов человеческого ресурса способствует повышению уровня индивидуальной психоэмоциональной стойкости и противостоянию явлению «человеческий фактор».

Ключевые слова: самоменеджмент, инновационные педагогические технологии, «человеческий фактор», психоэмоциональная стойкость, сознательное психологическое самовоздействие

Zaitseva T.G. ON THE PROBLEM WITH IMPROVEMENT OF PROFESSIONAL PSYCHOLOGICAL PREPARATION OF MODERN SAILORS

The subject of research of the article is the process of psychological training of sailors. The author considers self-management of psychophysical states to be an effective pedagogical method in this process. Expediency and possibility of developing sailor's conscious psychological self-management without their activation of volitional efforts and extra tension of cns are explained. The author reveals specific character of training methods and shows their role in the process of psychological training of cadets and students of Maritime Higher Education Institutions.

The essence and importance of sailors' psychophysical state self-management is grounded as an effective educational technology of conscious psychological self-influence. The appeal of cadets and students from Maritime Higher Education Institutions to this technology based on a focused update elements of the human resource contributes to individual psychological and emotional stability and confront the phenomenon of human factor.

Keywords: self-management, innovative pedagogical technology, «human factor», psychological and emotional stability, conscious psychological self-influence.

Статтю прийнято
до редакції 13.06.14.

УДК 004.81

ПОСТРОЕНИЕ ПРЕДМЕТНОЙ МОДЕЛИ ОБУЧАЕМОГО НА ОСНОВЕ УЧЕБНОГО ТЕКСТА МЕТОДОМ ОСТРОВНОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ

Соколова Н.А.
Херсонский национальный технический университет,
Щеголькова В.А.
Шосткинский институт Сумского государственного университета

Наиболее известным способом представления знаний об обучаемом является оверлейная модель, структура которой строится на основе предметной области. Такую модель называют предметной моделью обучаемого. Построение модели обычно выполняется вручную, т.к. она не является универсальной. Целью данной статьи является описание метода автоматизированного построения предметной модели обучаемого, используя размеченный учебный текст и ключевые слова, а также выделение логически связанных фрагментов предметной области с целью индивидуализации изложения материала, а также для тематического оценивания. Для выявления фрагментов применяется идея островной кластеризации, которая используется для тематической группировки больших корпусов текстов и сведения их в иерархическую структуру. Суть метода состоит в том, что сначала находятся области, называемые центрами островов, а затем на основании выбранной меры близости к центрам добавляются другие области, образуя тематический фрагмент.
Ключевые слова: оверлейная модель обучаемого, предметная модель обучаемого, островная кластеризация, автоматизированные системы обучения.

Введение. На сегодняшний день наиболее известным способом представления знаний об обучаемом является оверлейная модель. Она основывается на структуре предметной области, которая разбивается на элементарные единицы знаний – концепты, и хранит числовые характеристики, являясь, по сути, «функцией усвояемости». Построение оверлейной модели на практике осуществляется вручную. Зависимость от учебного материала не позволяет сделать ее универсальной.

Целью данной статьи является описание метода автоматизированного построения структуры предметной модели обучаемого (оверлейной модели) и выявление на ней логически связанных фрагментов.

В основе большинства курсов лежит учебный текст. Можно воспользоваться результатами исследований в области автоматического структурирования массивов текста. Однако обзор литературы [1, 2, 3] показал, что в общем случае эта проблема пока не имеет однозначного и эффективного решения. Существует лингвистический и статистический подходы. Первый является довольно трудоемким и выдает «зашумленные» результаты, второй не учитывает синтаксические отношения и может выдавать слишком грубое приближение к действительности.

Решение нашей задачи по сравнению с общей облегчено тем, что для обучения обычно предоставляется логически упорядоченный размеченный тематический текст, т.е. определено ограниченное количество связей и функциональное назначение отдельных фрагментов. Эти преимущества позволяют воспользоваться идеей островной кластеризации, предложенной в работе [3]. Модифицируем метод по нашу задачу.

Формализация задачи. Рассмотрим предметный материал, разделенный последовательно на небольшие области, имеющие самостоятельное функциональное значение. В начале каждой области обозначено название рубрики из предопределенного множества V_f. Например, «определение», «теорема», «доказательство», «пример», «алгоритм» и т.д. Для технических текстов такая рубрикация вполне естественна. Пусть задана нормативная модель обучаемого в виде множества $tr_j, (j = \overline{1..n})$ ключевых слов, соответствующих требованиям к знаниям и умениям.



Концептом K назовем неделимую область предметного материала, предназначенную для изучения обучаемым и оцениваемую системой. Формально концепт можно представить в виде кортежа $K = (id, tr, skeys, func)$, где id – уникальный идентификатор, tr – ключевое слово, определяемое концептом (может отсутствовать), $skeys$ – список «неопределяемых» этим концептом ключевых слов, $func$ – функциональная рубрика. Некоторые концепты могут быть не обязательными для изучения или поясняющими, например, доказательство теоремы. Тогда у них может не быть определяемого ключевого слова tr. «Неопределяемые» ключевые слова концепта $skeys$ – это слова, которые определены как ключевые в других концептах, а в данном используются как изученные ранее.

Пусть учебный текст состоит из множества концептов $K_i, (i = \overline{1..m})$. Воспользуемся логической упорядоченностью текста и пронумеруем концепты в порядке следования. На основе связи по ключевым словам можно построить ориентированный граф $G(K, E)$ концептов предметной области. Пусть множество связей E состоит из единственного отношения: концепты K_p и K_q находятся в отношении $K_p \Rightarrow K_q$ («для изучения K_q необходимо знать K_p»), если ключевое слово key_p концепта K_p находится в списке ключевых слов $skeys_q$ концепта K_q. Таким образом получим упрощенную семантическую сеть связанных концептов.

Предметная модель обучаемого может быть представлена как функция на множестве связанных концептов. Предоставление индивидуальных фрагментов материала для изучения является одной из главных ее задач. При этом сформированный фрагмент должен быть тематически связан с некоторым понятием или группой понятий.

Формирование логических фрагментов. Для выявления фрагментов воспользуемся идеей островной кластеризации, предложенной в работе [3] для тематической группировки больших корпусов текстов и сведения их в иерархическую структуру. Сначала находятся области, называемые центрами островов, а затем на основании выбранной меры близости к центрам добавляются другие области, образуя тематический кластер (фрагмент).

Модифицируем метод под решаемую задачу. На первом этапе в качестве центров выберем концепты, которые определяют ключевые слова. Вычисление меры близости основано на связности и упорядоченности концептов. На втором этапе объединим малые острова с более крупными. Определим размер острова как количество составляющих его концептов. Ограничим минимальное количество концептов острова величиной T.

В приведенном ниже алгоритме используются множества: C – множество центров; Pro – множество свободных концептов (не входящих ни в один из кластеров); Inc_i – множество концептов, инцидентных i-ому концепту; Rod_j – множество концептов-«родителей» для концепта j. Также используется понятие расстояния между концептами. Эта величина вспомогательная и обоснована последовательным построением учебного текста. Расстоянием между концептами K_i и K_j будем называть величину $|i - j|$, где i, j – номера концептов.

Входные данные: $G(K, E), \{tr_j\}$ // Граф концептов и множество ключевых слов.

Выходные результаты: $\{G_{id}(K', E')\}$ // Множество подграфов-островов.

1. Назначить концепты, определяющие ключевые слова, центрами островов.
$\forall j = 1..n$

{ $G_{id} \leftarrow K_{id}$ // Назначить концепт центром острова.

$Count_{id} = 1$ // Посчитать количество концептов острова.

$C \leftarrow id$ // Занести идентификатор конепта во множество центров.

$Pr\,o \rightarrow K_{id}\}$ // Исключить концепт из множества свободных концептов.

2. Составим рекурсивную функцию формирования подграфа центра. Для этого выделим множество инцидентных центру концептов. Если концепт имеет единственного родителя в виде центра, то свяжем их. Если существуют еще и другие родители, то выберем последний по номеру, и привяжем блок к нему. Выбор последнего обусловлен тем, что материал располагается последовательно и, зачастую, чтобы понять следующую часть, нужно знать предыдущую. Привязка к последнему гарантирует, что предыдущие области материала изучены ранее.

Входные данные: Rod – центр острова

Функция *Add(Rod)*

Inc_{Rod} // Сформировать множество инцидентных центру концептов из множества свободных

Если $Inc_{Rod} \neq \varnothing$, то // Если такие имеются, то для каждого выполнить

$\{\forall K_i \in Inc_{Rod}$

Если связь $Rod \Rightarrow K_i$ единственна для K_i, то

$\{G_{idRod} \leftarrow K_i$ // Занести K_i в остров родителя Rod

$Count_{idRod} = Count_{idRod} + 1$ // Увеличить количество концептов острова

$Pr\,o \rightarrow K_i$ // Удалить K_i из множества свободных концептов

$Add(K_i)\}$ // Применить функцию Add к K_i

Если связь $Rod \Rightarrow K_i$ не единственна для K_i, то

$\{Rod_{Ki}$ // Определить множество концептов-родителей для K_i

$idmax(Rod_{Ki})$ // Найти максимальное id для этого множества

$G_{idmax} \leftarrow K_i$ // Занести K_i в остров с идентификатором $idmax$

$Count_{idmax} = Count_{idmax} + 1$ // Увеличить счетчик количества концептов

$Pr\,o \rightarrow K_i\}$ // Удалить K_i из множества свободных концептов

} // Конец функции

3. Отнесем свободные концепты к островам (вызов рекурсивной функции).

$\forall id \in C$

$\{Add(K_{id})\}$

4. Может оказаться так, что некоторые острова будут маленькими. В этом случае следует склеить их с более крупным и подходящим по смыслу островом. Ограничим минимальное количество концептов острова величиной T.

$\forall id \in C$, где $Count_{id} < T$ // Для всех островов, размеры которых меньше T

// Присоединим их к ближайшему острову среди родителей и потомков

$\{id\,min = \min_{l \in Inc_{Kid}, Rod_{Kid}} (id_l - id)$ // Вычислить номер ближайшего острова

$G_{idmin} \leftarrow G_{id}$ // Присоединить текущий остров к найденному соседу

$Count_{idmin} = Count_{idmin} + Count_{id}$ // Изменить количество концептов

$C \rightarrow id\}$ // Удалить id маленького острова из списка концептов

В результате получим множество тематических островов, каждый из которых можно считать смысловым фрагментом.

Результаты. Для иллюстрации выбран структурированный фрагмент лекции по дискретной математике «Дизъюнктивные нормальные формы», разделенный на концепты.

К 0. Определение Логическая функция.

К 1. Определение

Логическое произведение нескольких переменных, взятых с отрицанием или без него, называется **элементарным произведением** или **элементарной конъюнкцией**.

К 2. *Пример*

$x_1\overline{x_2}$, $x_1\overline{x_2}x_3$ – это *элементарная конъюнкция*, $\overline{x_1x_2}$ – не *элементарная конъюнкция*.

К 3. Определение

Логическая функция, представленная дизъюнкцией *элементарных конъюнкций*, называется **ДНФ**.

К 4. Теорема 1

Элементарное произведение равно 1 тогда и только тогда, когда переменным с отрицанием присвоен нуль, а переменным без отрицания – 1.

К 5. Д-во: Если переменным с отрицанием в *элементарной конъюнкции* присвоен 0, то.

К 6. Следствие

Каждому *элементарному произведению* соответствует один и только один набор значений, входящих в него переменных, на котором оно равно 1.

К 10. Определение

Логическая функция n переменных, принимающая значение, равное единице, только на одном их наборе, называется **конституэнтой 1**.

К 11. Правило записи *конституэнты 1.*

К 14. Определение

Дизъюнкция *конституэнт 1*, равная единице на тех же наборах, что и заданная функция, называется **совершенной дизъюнктивной нормальной формой** (**СДНФ**).

К 15. Теорема

Любая *логическая функция* F, за исключением константы нуля, единственным образом представима в *СДНФ*.

К 16. Правило построения *СДНФ* (запись *логической функции* по единицам).

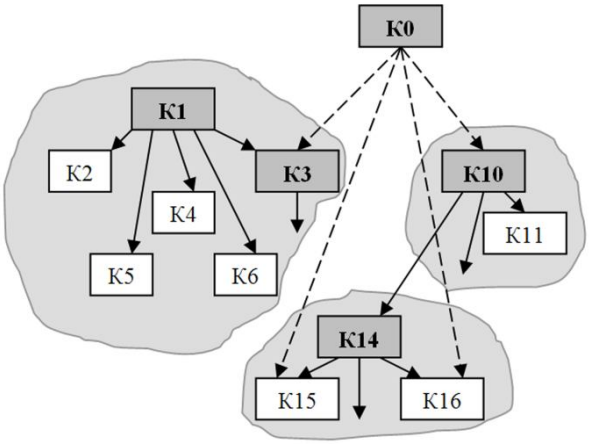


Рисунок 1 – Структура предметной модели обучаемого с выделенными тематическими фрагментами

Рубрики: «определение», «пример», «теорема», «доказательство», «следствие», «правило». Определяемые ключевые слова: элементарное произведение (элементарная конъюнкция), ДНФ, конституэнта 1, СДНФ. Курсивом показаны «неопределяемые» в текущем концепте ключевые слова, используемые для связи концептов. На рис. 1 представлен подграф предметной области и тематические фрагменты, полученные

с помощью метода островной кластеризации. К0, К1, К3, К10, К14 – центры островов. К1 и К3 образуют укрупненный остров. К0 – концепт из предыдущей лекции, являющийся обеспечивающим материалом для данной лекции.

Индивидуализацию обучения можно обеспечить за счет коррекции фрагментов на основании таких параметров модели обучаемого, как уровень знаний, список ошибок, способности к обучению и т.д. Фрагменты можно использовать при формировании уроков, на них можно определять уровень усвоения материала, а также применять для обнаружения пробелов в знаниях.

Выводы. В результате использования предложенного метода можно получить множество тематических фрагментов предметной области, которые составят основу предметной модели обучаемого. Полученная графовая структура является картой знаний обучаемого. В дальнейших исследованиях можно расширить метод для получения фрагментов, находящихся в зоне ближайшего развития обучаемого, выявления и подбора корректирующих фрагментов, ввести функцию оценивания отдельных концептов и островов. Нужно отметить, что метод хорош для технических дисциплин, однако проблематичен для гуманитарных из-за слабой структуризации учебного текста. Кроме того актуальна проблема выявления синонимов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виноградова Н. В. Автоматическая классификация терминов в русскоязычном корпусе текстов по корпусной лингвистике / Н. В. Виноградова, О. А. Митрофанова, П. В. Паничева // Труды девятой Всероссийской научной конференции «Электронные библиотеки : Перспективные методы и технологии, электронные коллекции» (RCDL–2007). Переславль-Залесский, 2007 : [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.rcdl.ru//papers/2007/paper_31_v1.pdf

2. Ермаков А. Е. Автоматизация онтологического инжиниринга в системах извлечения знаний из текста / А. Е Ермаков //Материалы международной конференции «Диалог 2008». – М. – С. 154-159.

3. Киселев М. В. Метод кластеризации текстов, учитывающий совместную встречаемость ключевых терминов, и его применение к анализу тематической структуры новостного потока, а также ее динамики / М. В. Киселев, В. С. Пивоваров, М. М. Шмулевич // Интернет-математика. Автоматическая обработка веб-данных. – М., 2005. – С. 412-435.

Соколова Н.А., Щеголькова В.О. ПОБУДОВА ПРЕДМЕТНОЇ МОДЕЛІ УЧНЯ НА ОСНОВІ УЧБОВОГО ТЕКСТУ МЕТОДОМ ОСТРІВНОЇ КЛАСТЕРИЗАЦІЇ

Оверлейна модель є найбільш відомим способом представлення знань про учня в автоматизованих системах навчання. Її структура будується на основі предметної області. Таку модель називають предметною моделлю особи, що навчається. У даній статті пропонується автоматизувати процес побудови предметної моделі особи, що навчається, використовуючи розмічений учбовий текст і ключові слова. Крім того, вирішується завдання виділення логічно зв'язаних фрагментів предметної моделі з метою індивідуалізації подання матеріалу, а також для тематичного оцінювання. Для виявлення фрагментів застосовується ідея острівної кластеризації, яка використовується для тематичного групування великих корпусів текстів і зведення їх в ієрархічну структуру. Метод полягає в тому, що спочатку знаходяться області – центри островів, а потім на підставі обраної міри схожості до центрів додаються інші області, утворюючи тематичний фрагмент.

Ключові слова: оверлейная модель учня, предметна модель особи, що навчається, острівна кластеризація, автоматизовані системи навчання.



Sokolova N.A., Shegolkova V.A. STUDENT MODELING BASED ON THE TRAINING TEXT CLUSTERING METHOD ISLAND

The most famous way of representing knowledge about the student is the overlay model, the structure of which is based on the domain. Such a model is called the subject student model. Building a model is usually done by hand, as it is not universal. In this paper we propose to automate the process of constructing the subject of the student model using labeled training text and keywords. In addition, the allocation problem is solved logically related fragments subject the model to customize the presentation of the material, as well as the thematic evaluation. Fragments used to identify clustering idea island, which is used for the thematic grouping of larger corpus and information in their hierarchical structure. The method works with the subject area, broken into disjoint text area. The method consists in the fact that the first field are called centers of the islands, and then selected based on a measure of proximity to the centers of other areas are added to form a thematic fragment.

Keywords: overlay student model, object model trainee island clustering, automated learning systems.

Статтю прийнято
до редакції 11.06.14.

УДК 004.382.7 (076.5)

НОВЫЙ МЕТОД ОРГАНИЗАЦИИ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ СУДОВЫМ СИСТЕМАМ

Тищенко А.Ю.
Херсонская государственная морская академия

В статье рассматривается проблема организации лабораторного практикума по курсу микропроцессорных приборов и систем. Приводится ряд известных решений, которые однако основаны на морально устаревшем оборудовании или требуют значительных затрат.
Представлена возможность использования демонстрационных плат, выпускаемых производителями однокристальных микроконтроллеров и систем на кристалле, в качестве лабораторных стендов при проведении лабораторного практикума по микропроцессорным судовым системам. Целесообразность использования описанного оборудования и програмного обеспечения подтверждают приведенные примеры лабораторных работ. Показана возможность для курсантов, как глубоко изучить предмет «Микропроцессорные устройства и системы» так и закрепить межпредметные связи с другими изучаемыми курсами. Делается вывод, что на невысокую стоимость рабочего места (до 200 гривень), возможно обеспечить ознакомление курсантов с особенностями применения реального оборудования и фирменного (легального) программного обеспечения, которые используются при разработке и эксплуатации новейших микроконтроллерных систем автоматики.
Ключевые слова: лабораторный практикум, микроконтроллер, демонстрационная плата, ТАУ, терморегулятор.

Постановка проблемы. За последние годы бурное развитие получило направление, связанное с выпуском однокристальных микроконтроллеров, которые предназначены для улучшения технических характеристик и реализации более удобного взаимодействия с обслуживающим персоналом оборудования различного назначения, в том числе средств судовой автоматики. Использование микроконтроллеров в системах управления позволяет, за счёт реализации достаточно сложных алгоритмов достигнуть исключительно высоких показателей эффективности при низкой стоимости систем. Во многих применениях система может состоять только из одной БИС микроконтроллера. Поэтому микроконтроллерам, видимо, нет разумной альтернативной элементной базы для построения управляющих и/или регулирующих систем. Следовательно, одной из проблем подготовки специалистов в сфере проектирования, производства и эксплуатации транспортных систем является усвоение учащимися основ теории и приобретение практических навыков работы с системами управления, построенными на базе однокристальных микроконтроллеров.

Лабораторный практикум является важнейшей составляющей курса по микропроцессорным приборам и системам. В то-же время анализ учебников и интернет публикаций (на русском языке) показывает, что большая часть лабораторных работ выполняемых в ВУЗах бывшего СНГ основана на использовании стендов на базе разрядно-модульных микропроцессоров (серия К1804) [1] или микропроцессоров серии К580 [2]. Такая ситуация, по-видимому, сложилась вследствии наличия оборудования доставшегося в наследство со времён СССР. При использовании этого оборудования основное внимание при выполнении лабораторных работ уделяется изучению структуры микропроцессорного ядра и его связей с периферийным оборудованием (блоки памяти, регистры ввода/вывода, интерфейсы связи, таймеры). С появлением однокристальных микроконтроллеров и систем на кристалле этот вопрос решается разработчиками таких микроэлектронных приборов, и перестал быть актуальным для разработчиков и тем более специалистов по эксплуатации микропроцессорных средств автоматики используемых на транспорте. Переоснащение учебных заведений современным лабораторным оборудованием сдерживается его высокой ценой, составляющей несколько тысяч гривень за одно рабочее место. Заметим, что высокая цена вполне обоснована крайне малым тиражом выпуска таких изделий.

Актуальной проблемой является организация лабораторного практикума отражающего современный подход к применению микропроцессоров при жёстких ограничениях на стоимость оборудования рабочего места.

Постановка задачи. Известные решения при организации лабораторного практикума. Рассмотрим основные подходы к реализации современного лабораторного практикума.

Одним из подходов, практикуемым в ряде учебных заведений, является замена лабораторных работ выполняемых на реальном оборудовании моделированием устройств и систем на персональных компьютерах [3]. Так работе [4] говорится «Для сокращения затрат времени студентов на выполнение работ в учебный процесс внедрен эмулятор emКР580, который представляет собой программу-приложение, имитирующую все основные действия, выполняемые микропроцессором КР580ВМ80А при отработке им некоторой управляющей программы, составляемой студентом на языке Ассемблер». В другой работе [5] читаем «Занятия проводятся в компьютерном классе, с применением специального программного комплекса Electronics Workbench (EWB).

Недостатком такого решения являются совершенно справедливое сомнение учащихся в том, что игры с персональным компьютером достаточно полно отражают поведение реального судового оборудования и высокая стоимость серьёзных программ моделирования, таких как LabVIEW, MatLab.

Другой подход состоит в использовании специализированных учебных стендов, выполненных на базе современных микроконтроллеров. С рядом таких стендов можно познакомиться по работе [6].



Учебный лабораторный стенд SDK-1.1 | Стенд инженера-проектировщика MlabSTK500 | Универсальный лабораторный стенд (лабораторный практикум МИФИ)

Рисунок 1 – Учебно-лабораторные стенды

На рис. 1 показаны некоторые из этих стендов:

– используемый в ряде ВУЗов России учебный лабораторный стенд SDK-1.1 на базе микроконтроллера ADuC812 и ПЛИС (программируемая логическая интегральная схема) [7];

– стенд инженера-проектировщика MlabSTK500 в состав, которого входят: STK500 – оценочная плата и STK501 – плата расширения [8];

– универсальный лабораторный стенд, включающий ПЛИС и встроенную современную однокристальную микроЭВМ PCF80C552 семейства MCS-51 [9].

Следует отметить, что общим недостатком упомянутых стендов является их высокая стоимость (свыше 5000 гривень за одно рабочее место).

Наибольший интерес представляет последний стенд, при разработке которого специалисты Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» (г. Москва, Россия) исходили из следующих соображений [10]:

– учебные методики и средства должны разрабатывать специалисты, имеющие большой опыт разработки систем проектирования и целевых систем управления;

– в качестве учебных средств должны использоваться версии профессиональных систем проектирования, поскольку использование чисто учебных средств искажает методику проектирования и приводит к необходимости последующего переучивания;

– ввиду большого объема информации по элементной базе и сложности систем проектирования основным принципом лабораторного практикума должен быть «делай как я», то есть в каждой работе должно быть обязательное задание, процесс выполнения которого подробно описан.

Целью данной статьи является представление результатов иследований автора, направленых на поиск возможности реализации перечисленных выше требований к современному лабораторному практикуму с использованием максимально дешёвого оборудования.

Результаты исследования. Для решения описанной проблемы *предлагается использовать в качестве лабораторных стендов демонстрационные платы, выпускаемые самими производителями однокристальных микроконтроллеров и систем на кристалле* доукомплектованные незначительным количеством доступных внешних компонент. Далее показана возможность такого подхода к организации рабочего места лабораторного практикума по микропроцессорным судовым системам на базе стандартного компьютерного класса.

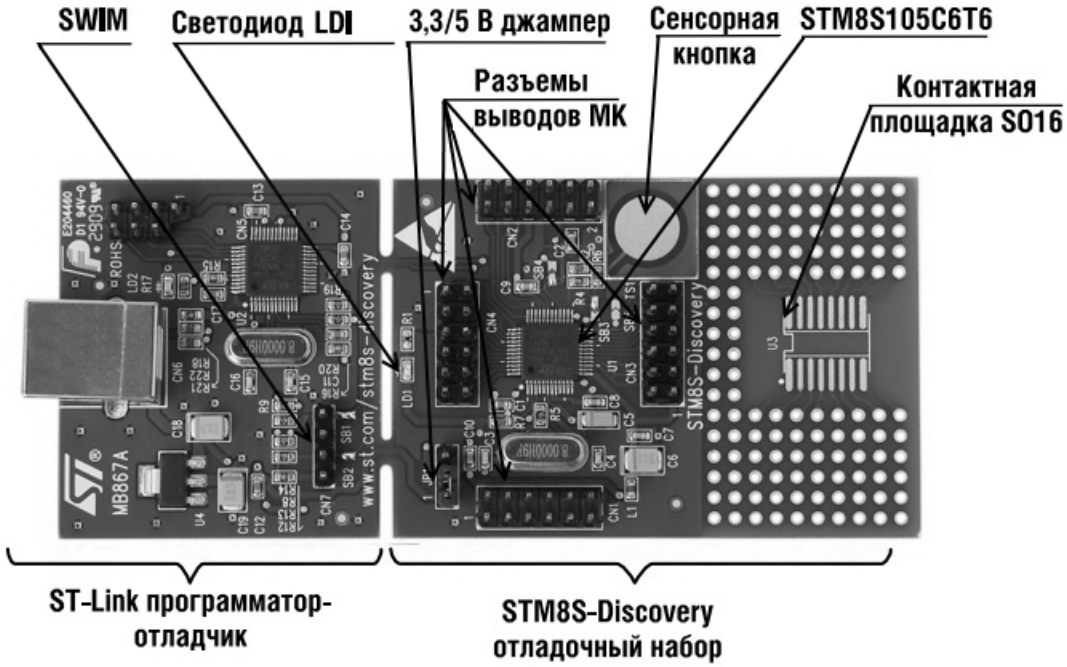


Рисунок 2 – Демонстрационная плата

Поскольку демонстрационные платы изготавливаются с целью ознакомления разработчиков с возможностями перспективных видов продукции и формирования, таким образом, спроса на неё, эти платы включают новейшие компоненты, укомплектованы бесплатным математическим обеспечением и описаниями примеров применения, выпускаются значительным тиражом и распространяются по минимально возможной цене.

Для организации лабораторных работ была выбрана демонстрационная плата STM8S-Discovery [11] (рис. 2), имеющая следующие основные характеристики и функциональные возможности:

– микроконтроллер STM8S105C6T6, имеющий 32 КБ Flash ПЗУ, 2 кБ ОЗУ, 1 кБ EEPROM ПЗУ;

– питание от USB, через соединительный кабель между персональным компьютером и платой;

– USB-интерфейс для отладки и программирования;

– наличие сенсорной кнопки и пользовательсккого светодиода;
– разъемы расширения, в которые выведены все доступные линии ввода/вывода микроконтроллера;
– монтажное поле для макетирования пользовательских схем;
– возможность выбора напряжения питания между 5 и 3,3 В;
– встроенный внутрисхемный отладчик/программатор ST-LINK;
– поддержка режима отладки SWIM.

Данный выбор обусловлен, в первую очередь, очень низкой стоимостью комплекта (меньше 10 доларов США), его доступностью и возможностью использовать эти платы при разработке оригинального оборудования в ходе дипломного проектирования курсантов и научной работы. Плата состоит из двух частей: контроллера STM8S105C6 со светодиодом, сенсорной кнопкой и разъемами, на которые выведены все свободные порты ввода/вывода и программатора-отладчика ST-Link с USB-интерфейсом. Последний можно отделить от основной платы после окончания отладки програмного обеспечения.

Программным обеспечением для этой демонстрационной платы является бесплатный пакет ST Toolset [12], который включает в себя среду разработки ST Visual Develop. Среда разработки ST Visual Develop (рис. 3) позволяет разрабатывать программное обеспечение на языке ассемблер, но у нее также имеется возможность подключения и использования компиляторы с языка Си разработанные фирмами Raisonance и Cosmic software. Все бесплатные среды с Си-компиляторами предоставляют возможность использования с некоторыми ограничениями, а именно – по загружаемому коду во flash-память. У Cosmic software оно составляет 32 Кбайт, что вполне достаточно для учебных целей. В состав пакета входит так же редактор ориентированный на синтаксис языков программирования STM-ассемблер и Си. Такой редактор выделяет выбранным цветом различные конструкции языка, что значительно облегчает анализ программ. В составе пакета есть также бесплатная библиотека стандартной периферии, которая содержит набор функций, структур данных и макросов, использующихся при написании подпрограмм работы с периферийными устройствами микроконтроллеров STM8S. Использование библиотеки обычно позволяет написать собственое программное обеспечение даже не изучая документацию с именами регистров и описания их функционального назначения. Бесплатно распространяется и программа STM Studio [13].

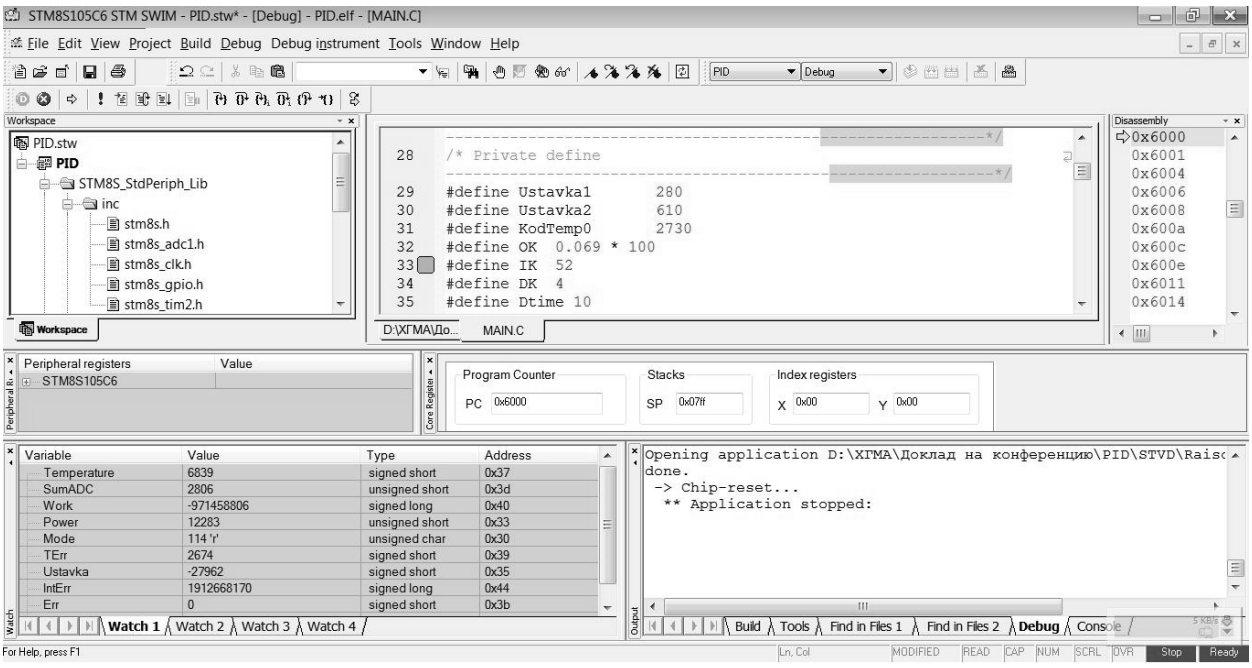


Рисунок 3 – Экран среды разработки ST Visual Develop в режиме отладки

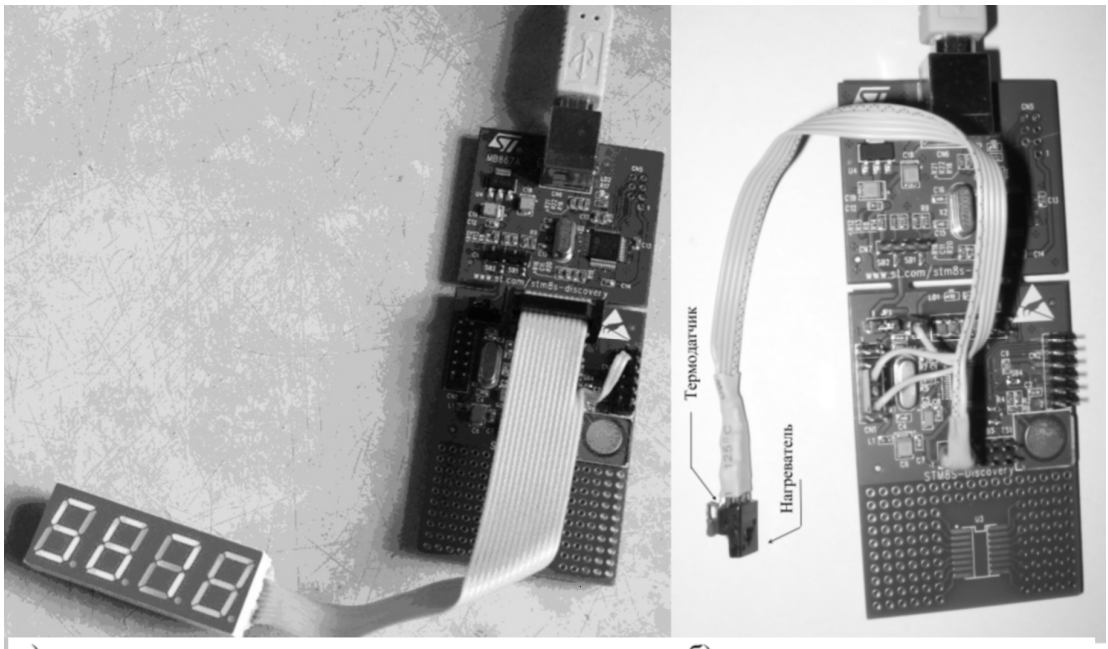
Эта программа позволяет считывать и отображать информацию во время исполнения программы, загруженной в микроконтроллер, в реальном времени и совершенно не влияет на исполнение этой программы, что очень полезно для отладки и диагностирования приложений, реализованных на микроконтроллерах STM8. Для отладки и работы с STM Studio необходимы стандартные средства отладки, одно из них (программаторы-отладчики ST-Link) входит в состав демонстрационной платы. Программа STM Studio является дополнением к стандартным средствам отладки и особенно актуальна для приложений, где критичен останов работающего программного обеспечения микроконтроллера, например в управлении двигателями.

С использованием одной только демонстрационной платы можно провести лабораторные работы по изучению:

– применения интегральной среды разработки (редактирование текстов, трансляция отдельных частей программы, связывание отдельных частей, загрузка программ в микроконтроллер и отладка с анализом состояния в заданных точках останова);

– состава команд микропроцессорного ядра и особенностей их выполнения;

– программирование и особенностей работы дополнительных блоков системы на кристалле, а именно таймеров (включая генерацию ШИМ сигналов), АЦП, цифровых интерфейсов обмена (асинхронный последовательный канал, SPI, I^2C и др.).



а) подключение семисегментного индикатора б) подключение нагревателя

Рисунок 4 – Лабораторные стенды

Для выполнения более сложных работ, демонстрирующих особенности построения, программирования и отладки микроконтроллерных систем управления и межпредметные связи в соответствии с курсом теории автоматического управления (ТАУ), к платам подключались несложные дополнительные узлы, например сборка семисегментных светодиодных индикаторов и нагреватель с датчиком температуры (рис. 4).

Рассмотрим подробнее лабораторную работу по изучению терморегуляторов, которая выполняется на стенде, показанном на рис. 4б. Нагревателем служит транзистор с небольшим ограничивающим резистором в коллекторной цепи. На базу транзистора поступает (через резистор) ШИМ сигнал с вывода микроконтроллера.

Сигнал с термодатчика LM35 (запитан как и нагреватель напряжением +5В от канала USB) поступает непосредственно на вход внутреннего АЦП микроконтроллера. В ходе работы изучаются:

– программная реализация ПИД регулирования на микроконтроллере;
– исследование характеристик объекта терморегулирования;
– методика расчёта коэффициентов ПИД регулятора;
– сравнение качества разных алгоритмов регулирования.

В соответствии с заданной программой прикосновение к сенсорной кнопке последовательно включает режимы: нагреватель выключен, нагреватель включен на полную мощность, регулирование с уставкой 28ºС и регулирование с уставкой 61ºС.

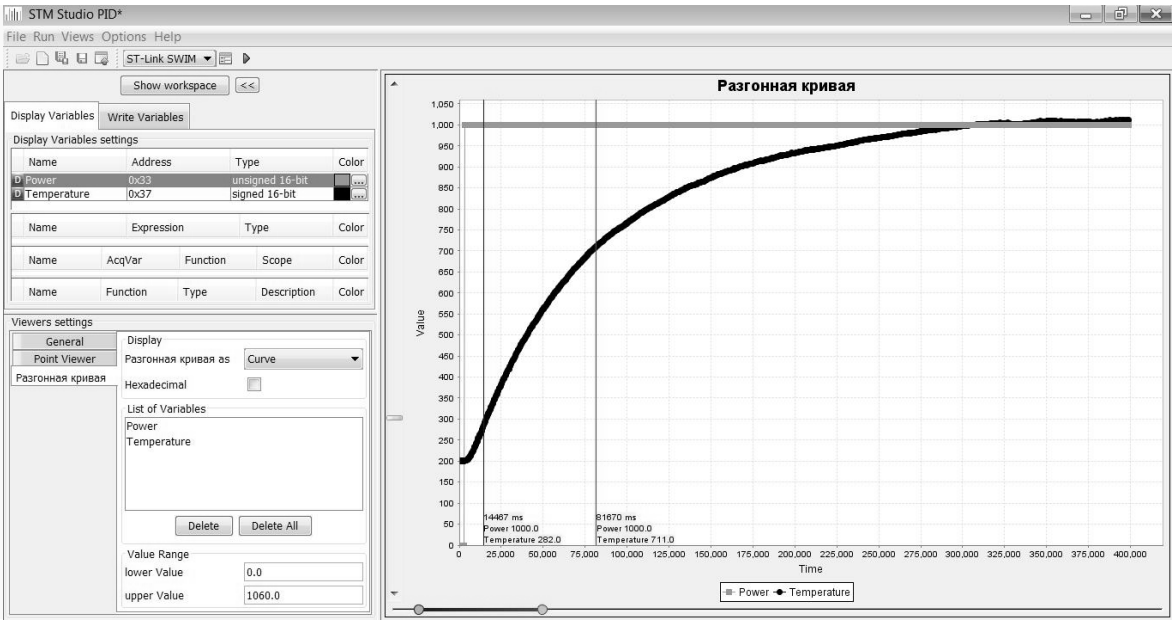


Рисунок 5 – Получение разгонной кривой

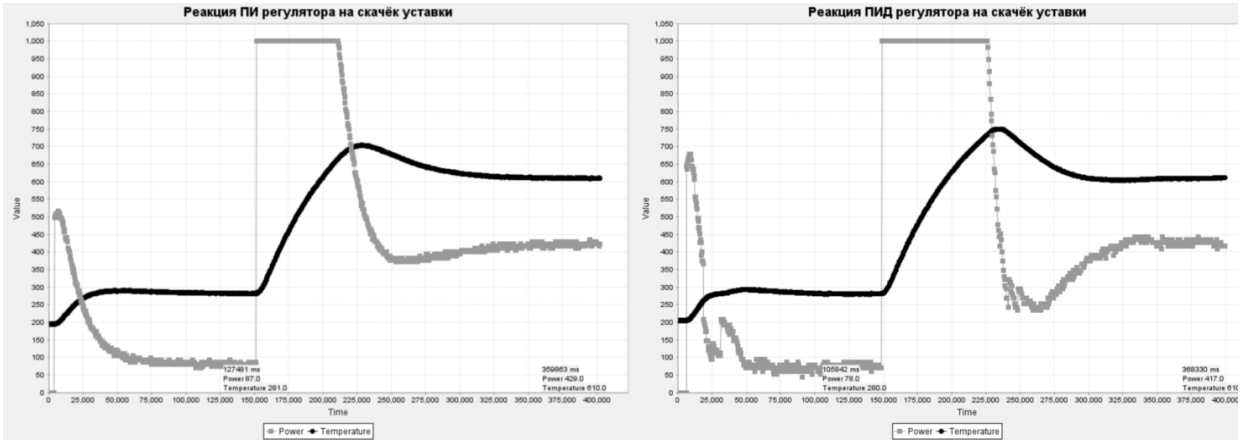


Рисунок 6 – Экспериментальные результаты реакции терморегуляторов на скачёк уставки

Сначала получаем разгонную кривую включив нагреватель на полную мощность и записывая с помощью программы STM Studio график изменения мощности и температуры со временем (рис. 5). По методике, изложенной в [14], рассчитываем коэффициенты ПИ и ПИД регуляторов и, вводя их последовательно в программу регулирования, получаем реакции на скачки уставки, которые показаны на рис. 6. Полученные результаты позволяют сравнить качество регулирования по различным алгоритмам известным из ТАУ.

Вывод. Использование демонстрационных плат позволяет в ходе лабораторных работ изучить на реальном оборудовании новейшие микроконтроллеры и системы на кристалле. Глубина работ обеспечивает освоение курса «Микропроцессорные устройства и системы» и понимание его связи с другими изучаемыми курсами, например курсом теории автоматического управления. Стоимость оборудования одного рабочего места не превышает 200 гривень (не включая стоимость стандартного компьютерного класса), что

в десятки раз меньше, чем при использовании традиционных лабораторных стендов. В дальнейшем представляет интерес исследовать возможность реализации на данном оборудовании лабораторных работ по изучению самонастраивающихся ПИД-регуляторов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бормонтов Е. Н. Лабораторный практикум по программированию микропроцессоров на базе схем серии К1804 : учебно-методическое пособие / Е. Н. Бормонтов, Г. В. Быкадорова, Ю. К. Николаенков. – Воронеж : Издание Воронежского Государственного Университета, 2005. – 43 с.

2. Майоров В. Г. Практический курс программирования микропроцессорных систем / В. Г. Майоров, А. П. Гаврилов. – М. : Машиностроение, 1989. – 272 с.

3. Батоврин В. К. LabVIEW практикум по электронике и микропроцессорной технике : учебное пособие для вузов / В. К. Батоврин, А. С. Бессонов, В. В. Мошкин. – М. : ДМК Пресс, 2005. – 182 с.

4. Кондусов В. А. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Цифровые интегральные схемы и микропроцессоры». – Воронеж : Издание Воронежского Государственного Технического Университета, 2008. – 40 с.

5. Карлащук В. И. Электронная лаборатория на IBM PC. Программа Electronics Workbench и ее применение / В. И. Карлащук. – М. : Солон-Р, 1999. – 506 с.

6. Мониторинг учебного оборудования для проведения лабораторных работ при освоении различных модулей [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://morc.kai.ru/?page_id=154.

7. Комплекс лабораторных работ для учебного лабораторного стенда SDK-1.1 (Версия 1.1.0) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://embedded.ifmo.ru/sdk/sdk11/labs/2010/SDK-1.1_labs_r110.pdf.

8. Микропроцессорные системы : лаб. практикум / [О. В. Непомнящий, В. А. Хабаров, В. И. Иванов, М. В. Савицкая]. – Красноярск : Вздание Сибирского Федерального Университета, 2009. – 62 с.

9. Гуров В. В. Проектирование микропроцессорных систем : лабораторный практикум : учебное пособие / В. В. Гуров, И. А. Егорова, В. Г. Тышкевич. – М. : Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2010. – 64 с.

10. Бродин В. Б. Системы на микроконтроллерах и БИС программируемой логики / В. Б. Бродин, А. В. Калинин. – М. : Издательство ЭКОМ, 2002. – 400 с.

11. Демонстрационная плата STM8S-DISCOVERY. Руководство пользователя. (Авторский перевод STM UM0817) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://mcu.ucoz.ru/STM8S-Discovery/User_manual/um0817_rus.pdf.

12. Попов Р. Микроконтроллеры STM8 «с нуля» / Роман Попов // Новости электроники. – 2010. – № 6. – С. 8-14.

13. STM Studio for STM32 and STM8 devices datasheets фирмы STMicroelectronics April 2011 Doc ID 18244 Rev 3

14. Ерков А. Измерители-регуляторы температуры / А. Ерков, А. Хорошавцев [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://icm-tec.com/main1_110.htm.

Тіщенко О.Ю. НОВИЙ МЕТОД ОРГАНІЗАЦІЇ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМУ З МІКРОПРОЦЕСОРНИХ СУДНОВИХ СИСТЕМ

У статті розглядається проблема організації лабораторного практикуму за курсом мікропроцесорних приладів і систем. Приводиться ряд відомих розв'язків, які однак засновані на морально застарілому обладнанні або вимагають значних витрат. Представлена можливість використання демонстраційних плат, що випускаються виробниками однокристальних мікроконтролерів і систем на кристалі, у якості лабораторних стендів при проведенні лабораторного практикуму по мікропроцесорних суднових системах. Доцільність використання описаного встаткування й програмного забезпечення підтверджують наведені приклади лабораторних робіт. Показана можливість для курсантів, як глибоко вивчити предмет «Мікропроцесорні обладнання й системи» так і закріпити міжпредметні зв'язки з іншими

досліджуваними курсами. Робиться висновок, що на невисоку вартість робочого місця (до 200 гривень), можливо забезпечити ознайомлення курсантів з особливостями застосування реального встаткування й фірмового (легального) програмного забезпечення, які використовуються при розробці й експлуатації новітніх мікроконтролерных систем автоматики.
Ключові слова: лабораторний практикум, мікроконтролер, демонстраційна плата, ТАУ, терморегулятор.

Tishchenko O. Ju. NEW METHOD IN THE ORGANISATION OF A LABORATORY PRACTICAL WORK ON MICROPROCESSOR SHIP SYSTEMS

In paper the problem of the organisation of a laboratory practical work at the rate of microprocessor devices and systems is observed. A row of known solutions which however are based on the obsolete equipment is resulted or demand considerable expenses. Possibility of use of the discovery kits released by producers of single-crystal microcontrollers and systems on a crystal, in the capacity of laboratory stands is presented at conducting of a laboratory practical work on microprocessor ship systems. Expediency of use of the presented equipment and software confirms the resulted instances of laboratory works. Possibility for cadets is shown how deeply to study a subject «Microprocessor devices and systems» and to fix intersubject communications with other studied headings. The leading-out that becomes, on low cost of a work station (to 200 UA), was possiblly to provide acquaintance of cadets with features of application of the real equipment and the firm (legal) software which are used by working out and maintenance of the newest microcontroller automatics systems.
Keywords: a laboratory practical work, the microcontroller, the discovery, the temperature control.

Статтю прийнято
до редакції 16.04.14.



РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА



УДК 622.685: 531.8

ЗМЕНШЕННЯ ГІДРОАБРАЗИВНОГО ЗНОСУ НАПІРНИХ СТАЛЕВИХ ПУЛЬПОПРОВОДІВ ЗА РАХУНОК МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНОЇ ОБРОБКИ

Котило О.В., Малигін Б.В.,
Херсонська державна морська академія,
Шкільнюк А.О.
Херсонський державний університет

У статті розглянуто розрахунок гідроабразивного зношення сталевих пульпопроводів систем гідротранспорту на гірничо-збагачувальних комбінатах залежно від умов роботи, механічних та фізичних властивостей деталей. Приведено формули для розрахунку зносу пульпопроводів. Аргументовано метод підвищення довговічності та працездатності роботи систем гідротранспорту в результаті зменшення гідроабразизного зносу за рахунок використання магнітно-імпульсної обробки. Наведено результати випробувань зносостійкості металів після магнітно-імпульсної обробки (МІО) та описано методику розрахунку гідроабразивного зношення. Випробування проводились на різних сплавах як фрикційних так і не фрикційних. Як результат доказано ефективність магнітно-імпульсної обробки в підвищенні надійності систем гідротранспорту та наведено методику використання МІО для гідротранспорту.
Ключові слова: гідроабразивний, магнітно-імпульсна обробка, гідротранспорт, зносостійкість, працездатність.

Постановка проблеми. У зв'язку з тим, що найбільше виробництво в Україні зосереджено на видобуваючій промисловості, актуальною є проблема підвищення працездатності та довговічності обладнання працюючого на гірничо-збагачувальних комбінатах. Виникає необхідність визначення характерних параметрів гідравлічного транспорту, на підставі яких буде вибрано насосне устаткування, що відповідає необхідній продуктивності по твердих хвостах збагачення і необхідному тиску для подолання опорів по довжині трубопроводу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Найбільш вагомий внесок у вивчення довговічності та зносостійкості роботи машин внесли: В. Р. Кулінченко [2], Г. П. Дмитриев, Л. И. Махарадзе, Т. Ш. Гочиташвили [3], Ф. М. Канарев та інші. У більшості робіт пов'язаних із підвищенням довговічності та надійності ресурсу базується на покращенні механізму мащення, що неможливо виконати для пульпопроводів та на утворенні цементаційних покриттів, що є досить дорогою процедурою. Ними встановлено, що приблизно від третини до половини енергетичних ресурсів витрачається на тертя, тому проблеми тертя та зношування деталей в сучасному світі важко переоцінити. Оскільки зношування рухомих деталей під впливом сил тертя призводить до передчасного виходу з ладу машин і великих затрат на ремонт, боротьбі з тертям і зношуванням в машинах і механізмах в усіх промислово розвинених країнах світу приділяють підвищену увагу.

Формулювання мети дослідження. Метою даної роботи є дослідження впливу МІО на зносостійкість та довговічність напірних сталевих пульпопроводів та аргументація збільшення їх довговічності за рахунок МІО.

Результати дослідження. Розглядаючи роботу напірного пульпопроводу можна встановити, що час роботи пульпопроводу до зменшення товщини стінок на 1 мм, T_1 визначається як:

$$T_1 = \frac{Q_1}{Q_Г}, \qquad (1)$$

де Q_1 – об'єм включень твердих часток, що викликає зменшення товщини стінок, м^3/мм; Qг – продуктивність гідротранспорту твердого матеріалу м^3/рік.

Величина Q_1 визначається за формулою [4]:

– при транспорті твердого матеріалу з розміром включень до 2 мм

$$Q_1 = A_э K_з K_L D^{1,7} \rho_\pi^{0,25} / K_г K_\beta K_\rho v^{1,5}, \quad (2)$$

– при транспортуванні включень розміром від 2 мм

$$Q_2 = A K_з K_L D^2 \rho_\pi^{0,25} / K_\beta K_\rho v_p \omega, \quad (3)$$

де $A_э$ – коефіцієнт абразивності матеріалу прийнятого за еталон (пісок для випробування цементу по ГОСТ 6139-78, зміст SiO_2>98 %, dcp=0,5-0,9 мм), приймається рівним 8 10^6; $K_г$ – гідравлічна величина для середньозважених часток $d_{ср}$, м/с; Кз – коефіцієнт зносостійкості металу пульпопроводу; K_L – коефіцієнт дальності транспортування (рис. 1); $K_г$, – коефіцієнт відносного значення; K_β – коефіцієнт нахилу труб, знос стінок, що враховує, залежно від кута нахилу пульпопроводу; K_ρ – коефіцієнт приведеної щільності, що враховує вплив щільності пульпи для часток розміром величиною до 2 мм, приймається залежно від ρ_o (табл. 1).

Таблиця 1 – Залежність коефіцієнту приведеної щільності від густини

№ з/п	*Густина ρ_o, кг/м^3*	*K_p*
1	< 1100	0,7
2	1100 – 1300	1
3	> 1300	$[(\rho_т - \rho_o)\rho_в/(\rho_т - \rho_в)\rho_o]^{0,8}$

Для часток розміром 2 - 100 мм при будь-якій щільності пульпи визначається за формулою [4]:

$$K_\rho = 1/(1 + n), \quad (4)$$

де n – вміст в пульпі часток розміру 0–1 мм.

Розрахунковий зносу пульпопроводу визначається за формулою:

$$\delta_\rho = T_\rho / (T_1 n \psi K \delta), \quad (5)$$

де Тр – ресурс експлуатації пульпопроводу за термін служби, років; n – число робочих положень труб при здійсненні технічних обслуговувань; ψ – коефіцієнт нерівномірності зношування; K_δ – коефіцієнт використання ресурсів товщини стінок при профілактичному ремонті.

Технічний ресурс пульпопроводу Т визначається по формулі:

$$T = (\delta - \delta_м) T_1 n \psi K_\delta / K_y, \quad (6)$$

Фактичний термін служби пульпопроводу до граничного зносу $T_ф$, років, визначається по формулі:

$$T_ф = T + T_\pi, \quad (7)$$

де tп – сумарний час усіх простоїв пульпопроводу до витікання ресурсу Т, років.

При розрахунках слід враховувати, що знос в стикових з'єднаннях труб, особливо у фланцевих і швидкорознімних, на 25–50 % більше зносу на прямолінійних ділянках [2].

Виходячи з даних розрахунків можна встановити, що довговічність роботи пульпопроводів залежить від коефіцієнту абразивності матеріалу, гідравлічної величини середньозважених часток; коефіцієнт нахилу труб, які в процесі роботи системи не можливо змінювати. Також довговічність роботи залежить від коефіцієнту дальності транспортування та має таку залежність зміни. Як видно з графіку (рис. 1) коефіцієнт зростає при збільшенні довжини транспортування, але ж на підприємстві довжина транспортування залежить від робочої зони об'єкту.

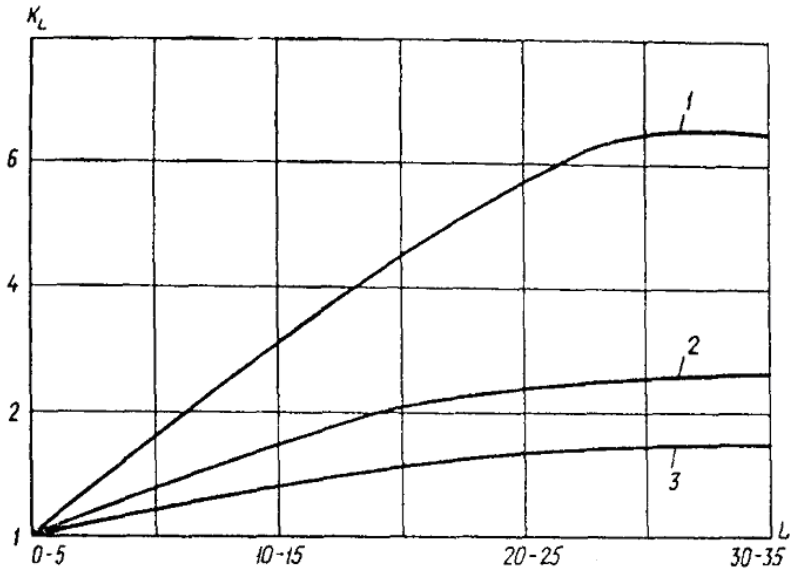


Рисунок 1 – Графік зміни коефіцієнта K_L від відстані транспортування L:
1 – для малоабразивних матеріалів з твердістю Н = 2…2,5 за шкалою Мооса; 2 – для матеріалу середньої абразивності при 2,5 < Н ≤ 4,5; 3 – для високоабразивого матеріалу $H \geq 5…7$

Залежність довговічності роботи системи від коефіцієнту приведеної щільності можна змінювати змінюючи щільність суспензій додаванням води, але при цьому втрачається коефіцієнт корисної дії та ефективність роботи системи. А як наслідок тільки коефіцієнт зносостійкості металу пульпопроводу ми можемо змінювати без втрати ефективності та переобладнання всього виробництва. При зменшенні тертя довговічність роботи трубопроводів значно збільшиться. Для зменшення тертя та як наслідок підвищення довговічності ми вирішили розглянути можливості магнітно-імпульсної обробки деталей для підвищення їх зносостійкості [1].

Дії МІО на довговічність деталей вузла тертя перевірялася на стенді СКПС-200 при роботі підшипників ковзання. Випробовувалося тертя в підшипниках ковзання з сірих і антифрикційних чавунів, бронз, латуні, баббітов і металокераміки масою 1, 2, кг. Для вибору режиму роботи вузла зразки, (призми) матеріалів випробовувалися на знос на машині тертя. Деталі підшипника ковзання при випробуванні на стійкість готувалися так, щоб критерій Фур'є при їх роботі був практично постійним.

У дослідах вивчалося сухе, граничне, напіврідинне і рідинне тертя ковзання. МІО зразків виробів велася на установці «ИМПУЛЬС-ДМ» по режиму: напруженість магнітного поля 300..1000 кА/м, час імпульсу 1,0 з, число імпульсів 1..3 для чавунних деталей і 10..20 по деталей з бронзи, латунь, бабітів, бронзо- і металографіта. Випробовувались маловуглецеві стали 45Х, 45Г; 5СГ2, 40ХС, інструментальні сталі 65, 60С2, ХЗГ, ХВГС, а також нержавіючі стали 12ХН2, 12Х13 та ін. [5].

З антифрикційних сплавів випробовувалися деталі підшипників з чавуну (СЧ15, СЧ18, СЧ24, АЧС-1, АЧС-4, АЧС-6, АЧВ-2, АЧВ-2К, АЧК-2), бронзи (БрОФ 10-1, ОЦС 6-6-3, АШ 10-3-2), латунь (ЛМц ОС 56-2-2-2, МЖМц 66-6-6-3-2, ЛКС 60-ЗЭ, бабіту (Б86С, БН, Б16, БС6), а також бронзо- і металографіта.

Досліди (табл. 2 і табл. 3) показали, що за інших рівних умов за рахунок МІО деталей вузла тертя довговічність як підшипників ковзання з антифрикційних матеріалів, так і валів збільшується в 1,3...2,5 рази. Причому, чим міцніше сталь, чим складніше динаміка тертя і роботи вузла і чим більше рідкого мастила, тим вище ефективність магнітної обробки і ресурс механізму. Режим впливу для таблиці 2 під час обробки як круглої так і призматичної деталі: час дії імпульсу 0,6 с., перерва між імпульсами 0,5 с., напруженість магнітного поля 310 кА/м, число циклів 15.

Таблиця 2 – Стійкість металів при терті

Марка сталі	***Стійкість %***	
	Деталь (призма)	***Деталь (вал)***
45,40Х, 45Х, 45Г, 50Г2	120...150	130...160
ЗОХГТ, 35ХГФ, 40ХС, 40ХН, 40ХМФА	130...160	130...150
ЗОХГСА, 35ХНСА, 38ХГН, 40ХН2МА	130...170	120....160
12Х13,40Х13,36Х18Н225СГ	150...180	140...160
65,70,60С2, 70С2ХА	130...160	120...140
ХВГС, ХВГ	150...180	140...150
12Х13,14Х17Н27	160...180	145...160
15Х18СЮ, 08Х18Т1	140...160	140...170
009Х15Н810, 08Х17Н5М3	145...170	150...185
45Х14Н14В2ВМ, 20Х25Н20С2	150...190	160...180

Для глибшого уявлення про вплив магнітної обробки на працездатність вузла тертя вивчались основні триботехнічні параметри, що характеризують роботу механізму, тобто розглядалися наступні критерії: коефіцієнт теплопереносу КМ, швидкість течії хімічних реакцій в зоні контакту фаз. Випробовувались деталі підшипників з сірих чугунів (СЧ15, СЧ18, СЧ24). Дослідження проводилися на парі тертя сталей. Методом розрахунку і порівняння по стандартних методиках, визначалися відносні значення вищезгаданих параметрів.

Режими МІО: напруженість поля 360 кА/м, час імпульсу 0,6…1,0 з, число циклів 5..25, витримка після обробки 24 години. У якості реакційної (Т) теплової, гідродинамічної і енергетичної, а також коефіцієнти реакції зміщення і перешкоди руйнуванню). З антифрикційних сплавів сталевих зразків і деталей машин початкового еталону (100 %) приймалася величина роботи на тертя пари із сталей 40ХН – ЗОХГСА, без магнітного зміцнення. Діаметр 25...200 мм, довжина від 25 до 250 мм

Таблиця 2 – Довговічність при МІО вузлів тертя ковзання

Матеріал	***Режим 1***	***Режим 2***	***Режим 3***	***Режим 4***
СЧ15, СЧ18, СЧ24	120...140	130...150	140...160	150...200
АЧВ-2, АЧВ-2К, АЧК-2	150...180	150...200	160...180	170...190
Бр. ОФ 10-1, ОЦС	120...180	140...160	150...170	160...200
Б88С, БН, Б16, БС6	130...150	150...200	140...190	150...200
Бронзографіт	140...160	150...180	150...200	160...180
Залізографіт	160...180	160...200	180...220	160...200

Висновки. Проведено дослідження впливу МІО на зносостійкість металів з яких видно, що практично усі показники, якими користуються під час оцінки стійкої роботи вузла тертя і оптимального зносу деталей, в результаті магнітної обробки робочих елементів вузла підвищуються в 1,2...2 рази. За рахунок магнітного поля створюються такі умови для поступового притирання деталей, що обертаються, що вектор магнітного зміщення зерен не зростає. Величина поля тиску і коефіцієнт протидії руйнуванню зменшується в 2–3 рази. Встановлено, що між тертям і магнетизмом існує жорсткий зв’язок, а саме після магнітно-імпульсної обробки зменшується тертя в вузлах. Причому фізичні основи управління тріодинамікою тертя і зниженням коефіцієнта тертя базується на можливостях прикладного магнетизму виробів конкретної маси, розмірів і властивостей. Довговічність роботи пульпопроводів можна збільшити в 1,5–2 рази.

У подальших дослідженнях можна розглянути автоматичні системи для використання прикладного магнетизму в підвищенні надійності роботи системи гідротранспорту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Грачев В. В. Динаміка трубопровідних систем / В. В. Грачев, С. Г. Щербаков, Е.І. Яковлєв. – М. : Наука, 1987. – 438 с.
2. Кулінченко В. Р. Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривід : підручник / В. Р. Кулінченко. – Донецьк : Фірма «Инкос», центр навчальної літератури, 2006. – 616 с.
3. Дмітрієв Г. П. Напірні гідротранспортні системи / Г. П. Дмітрієв, Л. І. Махарадзе, Т. Ш. Гочіташвілі. – М. : Надра, 1991. – 304 с.
4. Посібник з проектування гідравлічного транспорту (до СНиП 2.05.07-85). – М. : Стройиздат, 1988. – 40 с.
5. Малигін Б. В. Магнітне зміцнення інструмента і деталей машин / Б. В. Малигін. – М. : Машиностроение, 1989. – 112 с.

Котыло О.В., Малыгин Б.В., Шкильнюк А.О. УМЕНЬШЕНИЕ ГИДРОАБРАЗИВНОГО ИЗНОСА НАПОРНЫХ СТАЛЬНЫХ ПУЛЬПОПРОВОДОВ ЗА СЧЕТ МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ

В статье рассмотрен расчет гидроабразивного износа стальных пульпопроводов систем гидротранспорта на горно-обогатительных комбинатах в зависимости от условий работы, механических и физических свойств деталей. Приведены формулы для расчета износа пульпопроводов. Аргументировано метод повышения долговечности и работоспособности работы систем гидротранспорта в результате уменьшения гидроабразивного износа за счет использования магнитно-импульсной обработки. Приведены результаты испытаний износостойкости металлов после магнитно-импульсной обработки (МИО) и описана методика расчета гидроабразивного износа. Испытания проводились на различных сплавах как фрикционных, так и не фрикционных. Как результат доказано эффективность магнитно-импульсной обработки в повышении надежности систем гидротранспорта и приведена методика использования МИО для гидротранспорта.

Ключевые слова: гидроабразивный, магнитно-импульсная обработка, гидротранспорт, износостойкость, работоспособность.

Kotylo O.V., Malygin B.V., Shkilnuk A.O. DIMINISHING OF HYDROABRASIVE WEAR OF PRESSURE STEEL PULP WIRES IS FOR ACCOUNT OF MAGNETICALLY-IMPULSIVE TREATMENT

The article deals with the calculation of waterjet wear steel hydraulic conveying systems pulpoprovodiv in mining enterprises, depending on the operating conditions, mechanical and physical properties of the components. Some formulas to calculate depreciation pulpoprovodiv. Argued the method of increasing the durability and performance of systems by reducing the hydraulic conveying hidroabrazyznoho wear through the use of magnetic-pulse treatment. The results of testing the wear resistance of metals after magnetic-pulse treatment (M & E) and describes the methodology for calculating waterjet wear. Vyproduvannya held at various alloys as friction and no friction . The result proved the effectiveness of magnetic-pulse treatment in improving the reliability and hydraulic conveying systems are the use of M & E methodology for hydraulic conveying .

Keywords: hydroabrasive, magnetically-impulsive treatment, hydraulic conveying, wearproofness, capacity.

Статтю прийнято
до редакції 6.05.14.

УДК 536.4:622.6

САМОВОСПЛАМЕНЕНИЕ, ГОРЕНИЕ И САМОПРОИЗВОЛЬНОЕ ПОГАСАНИЕ ПОРИСТОЙ САЖИСТОЙ ЧАСТИЦЫ ПРИ ПОГЛОЩЕНИИ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Селиванов С.Е., Тригуб С.Н.
Херсонская государственная морская академия,
Калинчак В.В., Черненко А.С., Кузьмин А.А.
Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова

В работе проводится сравнительный анализ закономерностей временных зависимостей температуры, диаметра и плотности частицы сажи при её воспламенении в воздухе комнатной температуры в результате поглощения теплового излучения и при её воспламенении нагретым воздухом выше температуры воспламенения. Установлено явление самопроизвольного погасания, в результате уменьшения диаметра частицы в процессе горения и роста теплоотдачи. Доказано, что продуктами горения являются угарный газ и двуокись углерода. Определены критические мощности поглощённого теплового излучения при воспламенении, зажигании и погасании частицы сажи в воздухе комнатной температуры. Установлено, что с ростом диаметра частицы сажи происходит вырождение поглощённых мощностей воспламенения и погасания, в результате чего переход к горению осуществляется без скачка через точку перегиба. При различном поглощении теплового излучения определены диаметры частиц сажи, при которых происходит самовоспламенение, зажигание и самопроизвольное погасание. Изучено влияние теплового излучения и размера сажистой частицы на температуру её горения в воздухе комнатной температуры.

Ключевые слова: пористая сажистая частица, самовоспламенение, горение, погасание, тепловое излучение.

Введение. Данная работа является продолжением исследований, начатых в работе [1], и посвящена малоизученному вопросу о механизмах воспламенения, зажигания, горения и самопроизвольного погасания углеродной частицы с учетом стефановского течения и внутрипористого реагирования при различных мощностях поглощенного теплового излучения и размерах частицы.

Именно поглощённое тепловое излучение и определяет критические диаметры самовоспламенения и зажигания углеродных частиц, выше которых в воздухе комнатной температуры происходит их квазистационарное горение, а затем самопроизвольное погасание [2]. Следует отметить, что влияние пористости на критические условия воспламенения и характеристики горения сажистых частиц в воздухе в результате поглощения теплового излучения, в настоящее время практически не изучено.

Для учета реагирования внутри пор в работе [1] коэффициент внутренней диффузии кислорода внутри пористой частицы сажи и удельная поверхность пор были взяты постоянными и не зависящими от плотности частицы. На самом деле с уменьшением плотности частицы данные величины могут значительно изменяться.

Цель работы. С учетом зависимости коэффициента внутренней диффузии и удельной поверхности пор от плотности частицы изучить механизм влияния мощности поглощённого теплового излучения на температуру горения, диаметры воспламенения и погасания пористой частицы сажи. Провести сравнительный анализ закономерностей временных зависимостей температуры, диаметра и плотности частицы сажи при её воспламенении в воздухе комнатной температуры в результате поглощения теплового излучения и при её воспламенении нагретым воздухом выше температуры воспламенения. Исследовать явление самопроизвольного погасания, в результате уменьшения диаметра частицы сажи в процессе её горения и роста теплоотдачи.

Постановка задачи. Диаметр d и плотность ρ_C пористой углеродной частицы (сажи) уменьшаются с течением времени за счёт параллельных экзотермических реакций на внешней поверхности частицы и в результате реагирования внутри неё на поверхности пор [1]:

$$C + O_2 = CO_2, \qquad \{1\}$$

$$2C + O_2 = 2CO. \qquad \{2\}$$

Также как в [1] дифференциальные уравнения для диаметра и плотности частицы сажи представим в виде:

$$\frac{\partial d}{\partial t} = -\frac{2M_C}{M_{O_2}}\left(k_1 + 2k_2\right)\frac{\rho_{gs}}{\rho_c} Z_{O_2 s},\ d(t=0) = d_b \qquad (1)$$

$$\rho_{gs} = \rho_{go}\frac{T_o}{T}.$$

$$\frac{1}{6} d \frac{\partial \rho_C}{\partial t} = -\frac{M_C}{M_{O_2}}\left(k_1 + 2k_2\right)\frac{k_v}{k_1 + k_2}\rho_{gs} Z_{O_2 s},\ \rho_c(t=0) = \rho_{cb}, \qquad (2)$$

где M_C, M_{O_2} – молярные массы углерода и кислорода; k_1, k_2 – константы химических реакций {1} и {2}, м/с; $Z_{O_2 s}$ – относительная массовая концентрация окислителя на поверхности частицы; d_b – начальный диаметр частицы, м; ρ_{gs} – плотность газа у поверхности частицы, кг/м^3; ρ_{cb} – начальная плотность частицы, кг/м^3.

Учет реагирования внутри пор осуществляется за счет введения константы внутреннего реагирования k_v, м/с:

$$k_v = \frac{2D_v}{d}\left(Se_v cth Se_v - 1\right),$$

где D_v – коэффициент внутренней диффузии кислорода внутри пор, м^2/с; Se_v – число Семенова, определяющее относительную роль химического реагирования на поверхности пор к массопереносу кислорода внутри пор частицы.

$$Se_v = \sqrt{\frac{F_v d^2\left(k_1 + k_2\right)}{4D_v}},$$

где F_v – удельная поверхность пор, м$^{-1}$.

$$k_1 = k_{o1}\exp\left(-\frac{E_1}{RT}\right),\ k_2 = k_{o2}\exp\left(-\frac{E_2}{RT}\right).$$

Предэкспоненциальные множители и энергии активации реакций {1} – {2} связаны соотношениями [3]:

$$k_{oi} = k_* \exp(E_i / RT_*),\ E_2 = 1{,}1E_1,$$

где k_* = 100 м/с и T_* = 2600 К.

В технической литературе пользуются понятием пористость и синонимом – порозность (англ. porosity).

В практической теории горения [2, 3] пористость вещества описывается удельной поверхностью пор F_v (отношение поверхности пор к объёму частицы), а порозностью m – отношение объёма пор к объёму частицы:

$$m = 1 - \frac{\rho_C}{\rho_{real}},$$



где ρ_{real} – плотность сплошного вещества частицы.

Текущее значение удельной поверхности пор F_v определяется через m и текущее значение плотности частицы

$$\frac{F_v}{F_{vo}} = \frac{m(1-m)}{m_b(1-m_b)} = \left(\frac{1-\rho_C/\rho_{real}}{1-\rho_{Cb}/\rho_{real}}\right)\cdot\frac{\rho_C}{\rho_{Cb}},$$

где F_{vo} и m_o – начальная удельная поверхность пор и порозность.

Учёт влияния плотности частицы на коэффициент внутренней диффузии проводится через порозность частицы.

$$D_v = m^2\cdot D_g\ ,\ D_g = D_{go}\left(\frac{T}{T_o}\right)^{n+1}\frac{P_o}{P},$$

где D_g – коэффициент диффузии кислорода в газе, м^2/с.

Увеличение температуры пористой углеродной частицы за единицу времени определяется тепловыделением в результате протекания химических реакций q_{ch} и поглощённым тепловым излучением $q_{h,ads}$. При этом стационарный низкотемпературный или высокотемпературный режим осуществляется в результате теплообмена частицы молекулярно-конвективным путём с холодным газом q_g и излучением со стенками реакционной установки q_w:

$$\frac{c_C\rho_C d}{6}\cdot\frac{\partial T}{\partial t} = q_{eff}\ ,\ T(t=0) = T_b\ , \qquad (3)$$

$$q_{eff} = q_{ch} - q_g - q_w + q_{h,ads},$$

где c_C – удельная теплоёмкость частицы; T_b – начальная температура частицы.

Здесь, как в [1] плотность химического тепловыделения и плотности тепловых потоков определяются согласно выражениям:

$$q_{ch} = (Q_1k_1 + Q_2k_2)\left(1+\frac{k_v}{k_1+k_2}\right)\rho_g Z_{O_2 s}\ ,\ q_{h,ads} = \frac{1}{4}K_\alpha I\ ,\ q_w = \varepsilon\,\sigma\,(T^4 - T_w^4)\ ,$$

$$q_g = \alpha(T - T_g) + U_s\rho_g c_g T_*\ ,\ U_s = \frac{M_C}{M_{O_2}}(k_1+2k_2)\left(\frac{k_v}{k_1+k_2}+1\right)Z_{O_2 s}\ ,$$

$$\alpha = \frac{\lambda_g Nu}{d}\ ,\ \lambda_g = \lambda_{go}\left(\frac{T_*}{T_o}\right)^n\ ,\ T_* = \frac{T+T_g}{2}\ ,\ Nu = 2 + 0{,}16\,\mathrm{Re}^{2/3}\ ,$$

где Q_1, Q_2 – тепловые эффекты химических реакций {1} – {2}, рассчитанные на единицу массы кислорода, Дж/кгО^2, I – интенсивность поглощенного излучения, K_α – коэффициент поглощения поверхностью частицы; ε – коэффициент черноты частицы; σ – постоянная Стефана-Больцмана; T_w – температура стенок, К; T_g – температура окружающего газа, К; α – коэффициент теплообмена частицы с газом, Вт/(м^2·К); λ_g – коэффициент теплопро- водности газа, Вт/(м·К); Nu – число Нуссельта; U_s – скорость стефановского течения вблизи поверхности частицы, м/с.

Для определения концентраций кислорода, углекислого и угарного газов на поверхности частицы используются законы сохранения массы отдельного газообразного компонента у поверхности частицы:

– кислорода

$$\beta\rho_g\left(Z_{O_2,o}-Z_{O_2,s}\right)-U_s\rho_g Z_{O_2,s}=\left(k_1+k_2+k_v\right)\rho_{gs}Z_{O_2,s},$$

– углекислого газа

$$\beta\rho_g\left(Z_{CO_2,s}-Z_{CO_2,\infty}\right)+U_s\rho_g Z_{CO_2,s}=\frac{M_{CO_2}}{M_{O_2}}k_1\left(1+\frac{k_v}{k_1+k_2}\right)\rho_g Z_{O_2s},$$

– угарного газа

$$\beta\rho_g\left(Z_{CO,s}-Z_{CO,\infty}\right)+U_s\rho_g Z_{CO,s}=\frac{2M_{CO}}{M_{O_2}}k_2\left(1+\frac{k_v}{k_1+k_2}\right)\rho_{gs}Z_{O_2s}.$$

Концентрация кислорода у поверхности частицы с учетом стефановского течения приближенно определяется согласно выражению:

$$Z_{O_2s}=Z_{O_2\infty}\frac{1}{1+Se}, \tag{4}$$

$$Se=Se_1+Se_2+Se_{sv}+Se_{sf},$$

$$Se_{s1}=\frac{k_1}{\beta},\ Se_{s2}=\frac{k_2}{\beta},\ Se_{sv}=\frac{k_v}{\beta},\ Se_{sf}=\frac{U_{sk}}{\beta}$$

$$U_{sk}=\frac{M_C}{M_{O_2}}\left(k_1+2k_2\right)\left(\frac{k_v}{k_1+k_2}+1\right)Z_{O_2\infty},\ \beta=\frac{D_g Nu}{d}=\frac{\alpha}{\rho_g c_g},\ D_g=a_g,$$

$$a_g=\frac{\lambda_g}{c_g\rho_g},\ c_g=c_{go}+\Omega\left(T_*-T_o\right).$$

Здесь U_{sk} – скорость стефановского течения на поверхности углеродной частицы при протекании химических реакций в кинетической области; $Z_{O_2\infty}$ – относительная массовая концентрация кислорода в газе на удалении от частицы; β – коэффициент массопереноса кислорода в газе, м/с; c_g – удельная теплоёмкость внутри приведенной пленки.

Концентрации углекислого и угарного газов у поверхности частицы $Z_{CO_2,s}$ и $Z_{CO,s}$, соответственно, определяются через концентрации кислорода, углекислого и угарного газов в окружающем газе:

$$Z_{CO_2,s}=\frac{M_{CO_2}}{M_{O_2}}\frac{k_1}{\left(\beta+U_{sk}\right)}\left(1+\frac{k_v}{k_1+k_2}\right)Z_{O_2,s}+\frac{\beta}{\beta+U_{sk}}Z_{CO_2,\infty}, \tag{5}$$

$$Z_{CO,s}=\frac{2M_{CO}}{M_{O_2}}\frac{k_2}{\left(\beta+U_{sk}\right)}\left(1+\frac{k_v}{k_1+k_2}\right)Z_{O_2,s}+\frac{\beta}{\beta+U_{sk}}Z_{CO,\infty}. \tag{6}$$

Для случая горизонтального движения углеродной частицы в газовой смеси изменение ее скорости определяется:

$$\frac{dU}{dt} = -18\frac{\rho_g}{\rho}\frac{\nu_g^{\,2}}{d^3}\mathrm{Re}\left(1+\frac{\mathrm{Re}^{2/3}}{6}\right),\ U(t=0)=U_b, \qquad (7)$$

где ν_g – кинематическая вязкость газа, $\mathrm{Re}=Ud/\nu_g$ – число Рейнольдса.

Результаты исследований. Рассмотрим одиночную пористую углеродную частицу, которая поглощает тепловое излучение. Расчеты проводились для частицы сажи: Q_1 = 12,343 МДж/кгO_2, O_2 = 6,844 МДж/кгO_2; E_1 = 167000 Дж/моль [3]; $F_{vo} = 2\cdot10^5$ м$^{-1}$, ρ_{real} = 1600 кг/м^3. Постоянные: ρ_{go} = 0,277 кг/м^3; $\lambda_{go} = 8{,}19\cdot10^{-2}$ Вт/(м·К); c_{go} = 1110 Дж/(кг·К); T_o = 1273 К; c_C = 780 Дж/(кг·К); ρ_{Cb} = 525 кг/м^3; U_b = 0 м/с, ε = 0.78; n = 0,75.

На рис. 1 (кривая 1) представлены результаты решения системы (1)–(7) в виде временных зависимостей температуры, диаметра и плотности пористой частицы для случая ее вынужденного воспламенения при поглощении теплового излучения. В воздухе комнатной температуры для самовоспламенения частицы необходимо направить на нее излучение с интенсивностью выше некоторого критического значения [1].

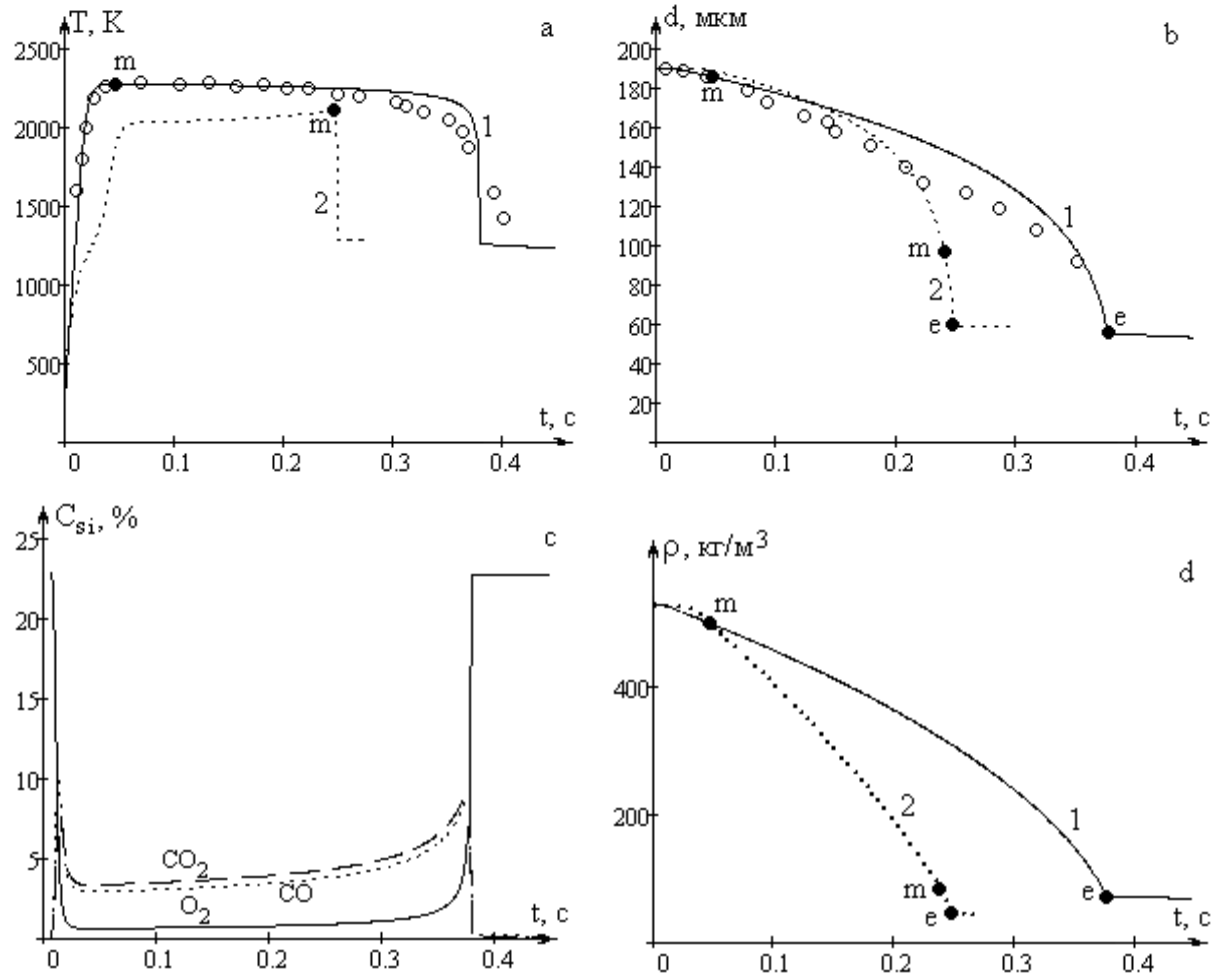


Рисунок 1 – Временные зависимости температуры, диаметра и плотности частицы сажи, концентраций газообразных компонент: a) T(t); b) d(t); c) Zsi(t); d) ρ(t).

Используемые параметры: d_b = 190 мкм, $Z_{O_2\infty}$ = 0,23, U_b = 0 м/с, T_b = 293 К:

1) $q_{h,ads}$ = 1,52·106 Вт/м^2, $T_g = T_w$ = 293 К, о – эксперимент Букатого и Суторихина [5];

2) $q_{h,ads}$ = 0 Вт/м^2, $T_g = T_w$ = 1273 К.

Время выхода на высокотемпературный режим окисления достаточно мал по сравнению со временем горения частицы. Для рассматриваемого случая поглощения теплового излучения этот момент совпадает с достижением максимальной температуры горения углеродной частицы (т. m). В дальнейшем в процессе горения с уменьшением диаметра и плотности частицы наблюдается медленное падение квазистационарной температуры горения. Это объясняется возрастанием молекулярно-конвективного теплообмена единицы поверхности за счет увеличения коэффициента теплообмена с уменьшением диаметра углеродной частицы. В тоже время химическое тепловыделение за счет увеличения коэффициента массопереноса кислорода к единице поверхности частицы возрастает в меньшей степени.

Качественно другой ход температурной зависимости наблюдается при воспламенении сажистой частицы (рис. 1, кривая 2) в предварительно нагретом газе [4]. После воспламенения частицы ее квазистационарная температура возрастает с уменьшением диаметра частицы. В этом случае с уменьшением диаметра частицы химическое тепловыделение на единице поверхности возрастает сильнее, чем теплоотдача к нагретому газу в связи с меньшей разностью температур частицы и газа. Поэтому максимальная температура частицы достигается значительно позже.

После достижения критических значений d_e и ρ_e в каждом рассматриваемом случае резко уменьшалась температура частицы, и пористая углеродная частица самопроизвольно погасала – горение частицы прекращалось и начиналось её окисление. Доля несгоревшего углерода, называемым недожогом, определяется как:

$$\varphi = m_{Ce}/m_{Cb},\ m_{Ce} = \frac{\pi}{6}\rho_e d_e^3,$$

где ρ_e, d_e, m_{Ce} – плотность, диаметр и масса погаснувшей частицы, m_{Cb} – начальная масса частицы. Для рассматриваемого случая (рис. 1, кривая 1) она составляет 1,2 %, которая, несмотря на существенный диаметр погасания частицы, объясняется малой плотностью погасания частицы в результате реагирования внутри пор.

Горение и критические условия воспламенения, зажигания и погасания удобно анализировать с помощью зависимостей диаметра и мощности поглощённого теплового излучения от стационарной температуры частицы.

В процессе горения константу внутреннего реагирования k_v можно представить не зависящую от диаметра частицы (для $Se_v > 5$):

$$k_v \approx \sqrt{F_v D_v (k_1 + k_2)}, \tag{8}$$

где D_v и F_v рассчитаны для начальной плотности частицы.

Зависимость диаметра d углеродной частицы от стационарной температуры с учетом стефановского течения и внутрипористого реагирования представим в виде:

$$d = \frac{\lambda_g Nu \cdot q_{ch,k}\left(\sqrt{A^2 + A_g A_w} - A\right)}{c_g \rho_g \left(q_{h,ads} - \varepsilon\sigma\left(T^4 - T_w^4\right)\right)(k_1 + k_2 + k_v + U_{sk})}, \tag{9}$$

$$q_{ch,k} = \left(Q_1 k_1 + Q_2 k_2\right)\left(1 + \frac{k_v}{k_1 + k_2}\right)\rho_{gs} Z_{O_2\infty},$$

$$A = \frac{1}{2}\left(1 - A_g + A_w - A_{st}\right);\ A_g = \frac{c_g \rho_{gs}\left(k_1 + k_2 + k_v + U_{sk}\right)\left(T - T_g\right)}{q_{ch,k}} \tag{9}$$

$$A_w = \frac{q_{h,ads} - \varepsilon\sigma\left(T^4 - T_w^4\right)}{q_{ch,k}},\ A_{st} = \frac{U_{sk}\rho_g c_g T_*}{q_{ch,k}}.$$

Из формулы (9) видно, что с увеличением диаметра частицы температура высокотемпературного окисления стремиться к эффективной температуре:

$$T_{eff} = \sqrt[4]{\varepsilon\sigma T_w^4 + q_{h,ads}}.$$

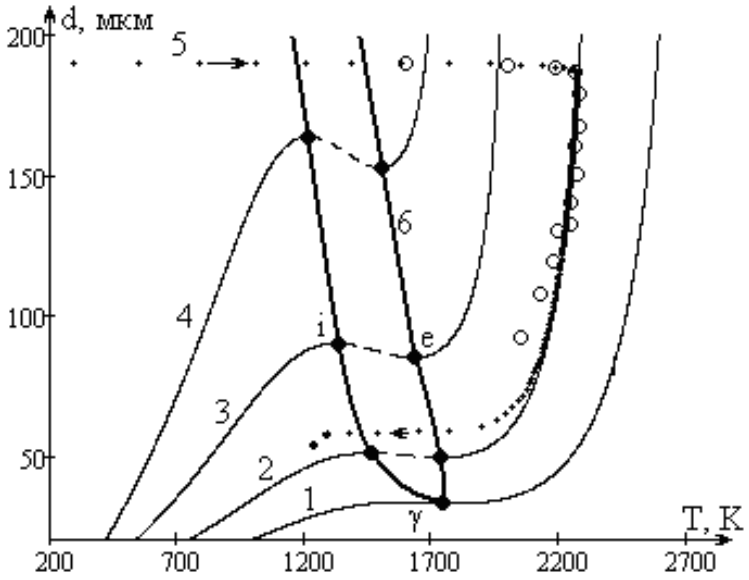


Рисунок 2 – Зависимости диаметра частицы от стационарной температуры

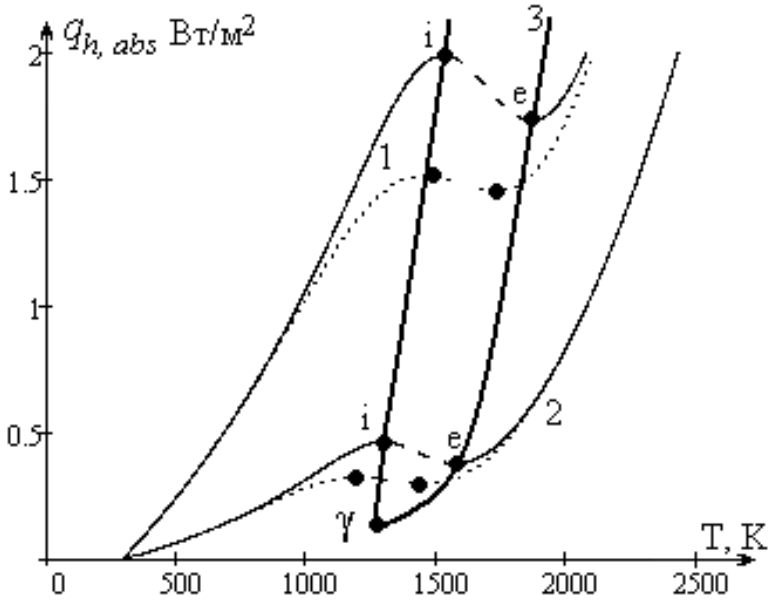


Рисунок 3 – Зависимость мощности поглощённого теплового излучения от стационарной температуры

Рассмотрим зависимость диаметра частицы от её стационарной температуры (рис. 2) в воздухе: $T_g = T_w = 293$ К, $Z_{O_{2\infty}} = 0{,}23$. Сплошная кривая 1 соответствует значениям: $q_{h,ads} = 2{,}58 \cdot 10^6$ Вт/м^2: $d_\gamma = 33$ мкм, $T_\gamma = 1750$ К; сплошная кривая 2 – $q_{h,ads} = 1{,}52 \cdot 10^6$ Вт/м^2: $d_i = 51$ мкм, $T_i = 1460$ К, $d_e = 49$ мкм, $T_e = 1740$ К; сплошная кривая 3 – $q_{h,ads} = 0{,}76 \cdot 10^6$ Вт/м^2: $d_i = 90$ мкм, $T_i = 1325$ К; $d_e = 85$ мкм, $T_e = 1630$ К;

сплошная кривая 4 – $q_{h,ads}$ = 0,38·106 Вт/м^2: d_i = 164 мкм, T_i = 1225 К; d_e = 153 мкм, T_e = 1500 К; пунктирная кривая 5 – фазовая зависимость, получена из решения системы нестационарных уравнений (1) и (2), при $q_{h,ads}$ = 1,52·106 Вт/м2, d_b = 190 мкм. Точки – это эксперимент Букатого и Суторихина [5], при I = 1,6·107 Вт/м^2, K_α = 0,38, $q_{h,ads} = K_\alpha I / 4$. Сплошная толстая кривая – геометрическое место точек воспламенения и погасания – спинодаль (спинодаль – кривая, проходящая через экстремумы (максимумы и минимумы) на зависимостях мощности поглощенного излучения и диаметра частицы от температуры).

Точка *i* характеризует диаметр и температуру самовоспламенения (d_i, T_i). Точка e характеризует диаметр и температуру погасания (d_e, T_e). Кривая, соединяющая точки *i* и *e* определяет зависимость диаметра зажигания от начальной температуры частицы. В интервале (T_i, T_e) с увеличением начальной температуры углеродной частицы уменьшается диаметр зажигания, потому что при большей начальной температуре можно уменьшить диаметр частицы, при котором произойдет ее зажигание. Сравнение нестационарных и стационарных зависимостей диаметра частицы от ее температуры даёт возможность для заданной интенсивности теплового излучения объяснить и определить критическое значение диаметра при самопроизвольном воспламенении и погасании частицы, которое соответствует максимуму и минимум на зависимости (1). Самовоспламенение углеродной частицы при данных условиях возможно при диаметре частицы $d > d_i$. Точка e на стационарной зависимости служит для определения диаметра и температуры частицы при ее самопроизвольном погасании.

С увеличением мощности поглощенного теплового излучения происходит вырождение критических условий воспламенения и погасания (точка γ) (рис. 2).

Для определения мощностей воспламенения и погасания представим зависимость поглощённого теплового излучения от стационарной температуры частицы в виде:

$$q_{h,abs} = \varepsilon\sigma\left(T^4 - T_w^4\right) + \frac{\lambda_g Nu}{d}\left(T - T_g\right) + U_s \rho_{gs} c_g T_* - \left(Q_1 k_1 + Q_2 k_2\right)\left(1 + \frac{k_v}{k_1 + k_2}\right)\rho_{gs} Z_{O_2\infty}. \qquad (10)$$

На рис. 3 представлена зависимость мощности поглощённого теплового излучения от температуры частицы в воздухе T_g = T_w = 293 К, $Z_{O_2\infty} = 0{,}23$. Сплошная кривая 1 соответствует d = 51 мкм, сплошная кривая 2 – d = 190 мкм, пунктирные кривые 1 и 2 – учет пористости по формуле (8), точка i – воспламенение, точка e – погасание, кривая 3 сплошная кривая – геометрическое место точек воспламенения и погасания – спинодаль.

Для выбранного диаметра частицы температура горения практически линейно возрастает с увеличением мощности поглощенного излучения. Чем меньше начальный размер частицы, тем, естественно, при большем значении $q_{h,ads}$ возможно воспламенить частицу по причине возрастания теплоотдачи к холодному газу.

Уменьшение мощности поглощённого излучения существенно отражается на температурах горения. Так ее уменьшение в два раза дает понижение температуры горения около 300 К. Понижается и температура низкотемпературного окисления (часть кривой, левее точки i). При этом происходит возрастание минимального размера частицы, при котором она может самопроизвольно воспламениться, а также диаметра погасания. Различие между ними с уменьшением поглощенного излучения уменьшается. В итоге при некотором значении поглощённого теплового излучения q_{h,ads_γ} происходит вырождение критических условий (рис. 3, точка γ).

Как видно из сравнения кривых 1 и 2 (рис. 3), учет пористости согласно формуле (8) для оценки критических условий самовоспламенения частицы дает существенную

ошибку. В качестве примера представим значения диаметра и мощности теплового излучения, соответствующих вырождению критических условий воспламенения и погасания. При использовании зависимости (8) d_γ = 33 мкм и q_{h,abs_γ} = 2,58·106 Вт/м^2, а по точной модели (рис. 3) эти значения соответственно равны 14 мкм и 9,3·106 Вт/м^2.

Выводы. Поглощение теплового излучения способно привести к устойчивому горению углеродной частицы в газовой смеси комнатной температуры, содержащей кислород. Использование зависимостей диаметра частицы и мощности поглощенного теплового излучения от стационарной температуры частицы удобно для прогнозирования устойчивых режимов горения, а также критических условий самопроизвольного воспламенения и погасания углеродных частиц. Учет пористости сажистой частицы необходим для оценки условий её самовоспламенения и зажигания.

Дальнейшие задачи исследования сводяться к определению мощностей воспламенения и погасания при различных температурах газа, диаметрах и относительных скоростях движения углеродных частиц различной пористости, сажи.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Калинчак В. В. Влияние поглощенного теплового излучения углеродной частицы на пожарную опасность в рабочей зоне судна / В. В. Калинчак, С. Е. Селиванов, С. Н. Тригуб, А. С. Черненко // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – 2013. – № 2. – С. 102-110.

2. Высокотемпературное горение и газификация углерода / под ред. Е. С. Головиной. – М. : Энергоатомиздат, 1983. – 176 с.

3. Основы практической теории горения : учебное пособие для вузов / В. В. Померанцев. – Л. : Энергоатомиздат. Ленинградское отд-ние, 1986. – 312 с.

4. Калинчак В. В. Горение и самопроизвольное погасание пористых углеродных частиц в азотно-кислородных смесях комнатной температуры / В. В. Калинчак, А. С. Черненко // Физика горения и взрыва. – 2013. – Т. 49, № 2. – С. 80-88.

5. Букатый В. И. Высокотемпературное горение углеродных частиц в поле интенсивного лазерного излучения / В. И. Букатый, И. А. Суторихин // Физика горения и взрыва. – 1988. – Т. 24, № 3. – С. 9-11.

Селіванов С.Є., Тригуб С.М., Калінчак В.В., Черненко О.С., Кузьмін О.А. САМОЗАПАЛЮВАННЯ, ГОРІННЯ І МИМОВІЛЬНЕ ЗГАСАННЯ ПОРИСТОЇ САЖИСТОЇ ЧАСТИНКИ ПІД ЧАС ПОГЛИНАННЯ ТЕПЛОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

У роботі проводиться порівняльний аналіз закономірностей тимчасових залежностей температури, діаметру і щільності частинки сажі під час її займання в повітрі кімнатної температури в результаті поглинання теплового випромінювання і під її займанні нагрітим повітрям вище температури займання. Встановлено явище самовільного згасання, в результаті зменшення діаметра частинки в процесі горіння і зростання тепловіддачі. Доведено, що продуктами горіння є чадний газ і двоокис вуглецю. Визначено критичні потужності поглиненого теплового випромінювання при займанні, запаленні і згасанні частинки сажі в повітрі кімнатної температури. Встановлено, що з ростом діаметра частинки сажі відбувається вироджения поглинених потужностей займання і згасання, в результаті чого перехід до горіння здійснюється без стрибка через точку перегину. При різному поглинанні теплового випромінювання визначені діаметри частинок сажі, при яких відбувається самозаймання, запалювання і мимовільне згасання. Вивчено вплив теплового випромінювання та розміру сажистої частинки на температуру її горіння у повітрі кімнатної температури.

Ключові слова: пориста сажиста частинка, самозаймання, горіння, згасання, теплове випромінення.

Selivanov S.E., Trigub S.N., Kalinchak V.V., Chernenko A.S., Kuzmin O.A. SPONTANEOUS IGNITION, COMBUSTION AND SUDDEN EXTINCTION OF POROUS SOOT PARTICLE DURING THE ABSORBING OF THERMAL RADIATION

The paper presents a comparative analysis of the laws of the time dependences of temperature, diameter and density of soot particles when it ignited in air at room temperature as a result of the absorption of thermal radiation and when it ignited heated air above the ignition temperature. It is established the phenomenon of spontaneous extinction as a result of reducing the diameter of the particles in the combustion process and increase transfer of heat. It is proved that the combustion products are carbon monoxide gas and carbon dioxide. The critical power of absorbed heat radiation in the ignition, combustion and extinction soot particles in air at room temperature is defined. It was found that with increasing of diameter of the soot particles there is a degeneration of the absorbed power of ignition and extinction, as result of transition to combustion is carried out without a jump through the point of inflection. During different absorption of thermal radiation it is determined soot particle diameter during which the self-ignition, spontaneous ignition and extinction occur. The effect of thermal radiation and the size of smoke particles on the temperature of its combustion in air ambient temperature are studied.

Keywords: porous soot particle, spontaneous ignition, combustion, extinction, thermal radiation.

Статтю прийнято
до редакції 16.05.14.



ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ



УДК 629.06

МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ТА ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ПЕРЕДПУСКОВІЙ ПІДГОТОВЦІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ

Аппазов Е.С., Клюєв О.І., Русанов С.А.
Херсонський національний технічний університет

У статті розглядається моделювання гідродинамічних і теплових процесів при передпусковій підготовці автомобільних двигунів. Розглянута проблема передпускової підготовки. Визначені позитивні та негативні аспекти існуючих методів передпускової підготовки. Визначені основні вимоги до передпускового прогріву двигуна.

Проведено чисельне моделювання гідродинаміки й теплообміну у внутрішніх каналах двигуна для визначення температурних показників прогріву з урахуванням теплообміну з оточуючим середовищем. Для моделювання використано k-ε модель турбулентності з рівнянням енергії для замкнення системи. Розрахункове дослідження проведено в системі CFX з розрахунковою сіткою в 3 млн. елементів з перевіркою сіткової незалежності в стаціонарній постановці.

У результаті моделювання визначена нерівномірність прогріву елементів двигуна, особливо на внутрішніх поверхнях циліндрів. Показано складний характер течії в каналах двигуна з наявністю значної кількості застійних зон. Визначені перспективи подальших розрахункових досліджень з можливості використання теплоакумуляторів для забезпечення передпускової підготовки двигунів.

Ключові слова: передпусковий підігрів, чисельне моделювання, гідродинаміка, теплообмін.

Вступ. Підтримка оптимальної робочої температури двигуна автомобіля є досить складним технічним завданням. Пов'язане це із значними коливаннями температур навколишнього середовища й режимів роботи двигуна внутрішнього згоряння. Від цього фактора напряму залежать екологічні характеристики автомобіля, економічність, комфорт експлуатації. Окремою проблемою є проблема холодного пуску машин у несприятливих умовах холодного періоду року. У багатьох роботах, наприклад [1], вказується, що передпускова теплова підготовка двигунів перебуває на незадовільному рівні, особливо це стосується промислового парку двигунів. Холодний пуск характеризується зниженням ресурсу двигуна, підвищенням питомої витрати палива, складністю забезпечення пускової частоти обертання колінчатого вала, погіршенням умов сумішоутворення й запалення горючої суміші. Обумовлене це зниженням температури моторного мастила, палива, акумуляторної батареї, деталей двигуна й особливостями його пускових властивостей.

Одним із рішень, що дозволяють мінімізувати негативні наслідки холодного пуску, є передпускова теплова підготовка двигуна [1, 2]. Зазначена підготовка реалізується за допомогою передпускових підігрівачів, які залежно від принципу роботи підрозділяються на електричні (220 В и 12 В), автономні, виконані у вигляді окремого бензинового або дизельного модуля, і теплові акумулятори, що представляють собою пристрої для акумулювання паразитного тепла, що виділяється при роботі двигуна у вигляді нагрітої рідини в контурі охолодження або теплової енергії вихлопних газів.

Ефективність роботи передпускового підігрівника визначається швидкістю й рівномірністю нагрівання двигуна автомобіля. При проектуванні або виборі передпускових підігрівників необхідно враховувати особливості теплообміну циркуляційної рідини в контурі охолодження із двигуном і зовнішньої поверхні блоку циліндрів і головки блоку циліндрів з навколишнім середовищем. Зайва висока потужність трубчастого нагрівача приводить до локального перегріву рідини в близькій до нагрівача області, і, як наслідок, розкладанню рідини, що приводить до скорочення строку її служби. Крім того, перегрів нагрівача також негативно впливає на його ресурс. Тому потужність нагрівача повинна бути погоджена зі швидкістю руху рідини усередині контуру.

Постановка завдання. Зазначене попереднє узгодження може бути проведене шляхом розрахункових досліджень гідродинаміки й теплообміну для основних типів двигунів з визначенням нерівномірності прогріву блоку циліндрів і головки блоку



циліндрів, необхідним часом прогріву за рахунок подачі у двигун нагрітої рідини з температурою, яка забезпечить достатню ефективність системи для заданих параметрів навколишнього середовища. На зазначену нерівномірність будуть значно впливати велика кількість факторів, у тому числі геометрія внутрішніх каналів і умови циркуляції рідини в сорочці, стан внутрішньої поверхні каналів, властивості циркулюючої рідини і її витрата, габарити елементів двигуна і їх теплофізичні параметри, температура навколишнього середовища й тепловіддача від поверхні двигуна для відповідної пори року. Наближений розв'язок подібної задачі з використанням, наприклад, середньої теплоємності і маси двигуна, усереднених гідравлічних і теплових опорів тощо [3] дозволяє розглянути процес лише на якісному рівні. У роботі представлені результати чисельного моделювання течії з теплообміном у каналах сорочки двигуна.

Мета статті. Метою статті є визначення температурних показників прогріву двигуна при проведенні передпускової підготовки з аналізом нерівномірності прогріву елементів двигуна та особливостей гідродинаміки рідини в каналах з урахуванням теплообміну з навколишнім середовищем за допомогою сучасних засобів чисельного моделювання.

Виклад основного матеріалу. У цей час у багатьох технічних сферах активно впроваджуються в процес проектування методи обчислювальної гідродинаміки (CFD). Список задач, що вирішуються методами CFD, постійно розширюється. Відбувається постійне відновлення моделей, зокрема, моделей турбулентності, удосконалюються чисельні методи розрахунків, росте продуктивність комп'ютерної техніки. У переважній більшості програмних CFD продуктів для опису турбулентних течій використовують методи, що базуються на розв'язку рівнянь Нав'є – Стоксу.

Стосовно до стаціонарного процесу рівняння складаються як завжди з рівнянь нерозривності та руху (1,2 – проводиться підсумовування за повторюваними індексами):

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0; \tag{1}$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(u_i u_j) = -\frac{1}{\rho}\frac{\partial}{\partial x_i}p^* + \frac{\partial}{\partial x_j}(\nu_e \tau_{ij}) + f_i, \tag{2}$$

де

$$p^* = p + \frac{2}{3}\rho k,\ \tau_{ij} = \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i},\ \nu_e = \nu + \nu_t,$$

k – питома кінетична енергія турбулентності, м^2/с^2, ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості рідини, м^2/с, ν_t – турбулентна в'язкість, м^2/с, p – осереднений тиск, Па, u_i – осереднені компоненти вектора швидкості в декартовій системі координат, м/с, f_i – вектор масових сил, м/с^2.

Для замкнення (1, 2) останнім часом набула поширення двопараметрична k-ε модель турбулентності завдяки доброму збігу отримуваних чисельних результатів з експериментальними даними (3–5), а також значній швидкості збіжності базового алгоритму. У цій моделі параметри турбулентності підраховуються з рівнянь:

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(ku_j - \nu_k \frac{\partial k}{\partial x_j}) = H_k, \tag{3}$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\varepsilon u_j - \nu_\varepsilon \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}) = H_\varepsilon, \tag{4}$$

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}, \qquad (5)$$

де ε – швидкість дисипації турбулентної енергії, м^2/с^3,

$$H_k = G - \varepsilon,\ H_\varepsilon = C^*_{\varepsilon 1}\frac{\varepsilon}{k}G - C_{\varepsilon 2}\frac{\varepsilon^2}{k}, G = \nu_t \tau_{ij}\frac{\partial u_i}{\partial x_j},$$

$$C^*_{\varepsilon 1} = C_{\varepsilon 1} - \eta\frac{1-\eta/\eta_0}{1+\beta\eta^3},\ \eta = \sqrt{\frac{G}{C_\mu \varepsilon}},$$

$$\nu_k = \nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k},\ \nu_\varepsilon = \nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon}.$$

Емпіричні константи в наведених рівняннях дорівнюють:

$C_\mu = 0.0845$, $C_{\varepsilon 1} = 1.42$, $C_{\varepsilon 2} = 1.68$, $\sigma_k = \sigma_\varepsilon = 0.72$, $\eta_0 = 4.38$, $\beta = 0.015$.

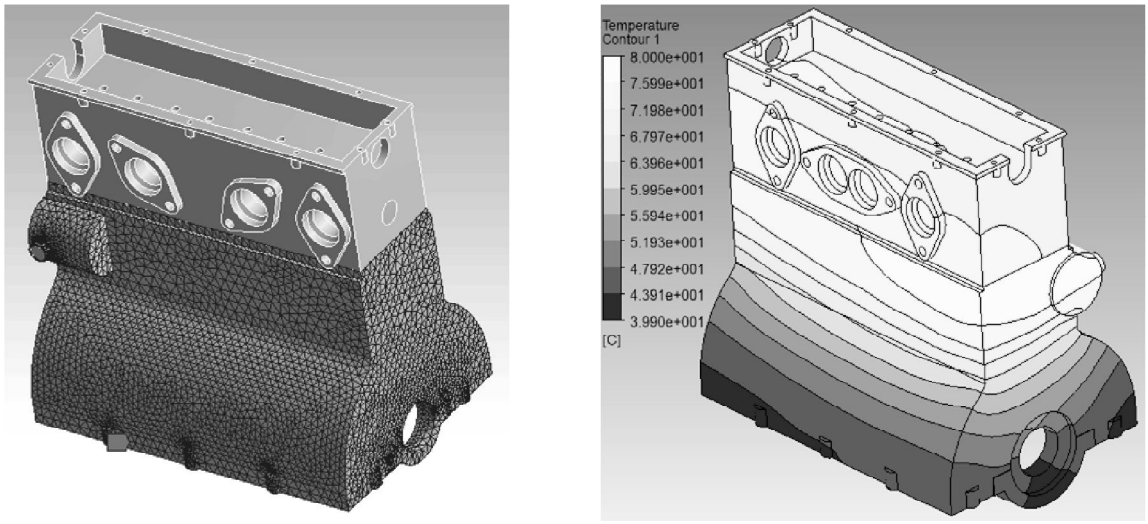
Відомо, що подібна модель дає прийнятні результати для областей з розвиненою турбулентністю, тобто при $\nu_t >> \nu$. Звичайно, що це не виконується біля твердої стінки. У зв'язку з цим для визначення параметрів турбулентності біля стінки додатково задаються емпірично отримані закони поведінки рідини, що задаються додатково у вигляді пристінних функцій. Детально це питання розглядається в роботах [4]. Для замкнення системи використовується стандартне рівняння енергії [5, 6].

Розрахункове дослідження було виконано за допомогою пакета CFX-5.7 [5]. Розрахункова область із розрахунковою сіткою представлені на рис. 1а. Розрахункова ділянка складалася з 4 підобластей: зона, відповідна до блоку циліндрів (solid), зона головки блоку циліндрів (solid), проточна зона у блоці циліндрів (fluid), проточна зона у головці блоку циліндрів (fluid). Побудова розрахункової сітки виконувалася за допомогою модуля CFX-Mesh. Розрахункова сітка нараховувала 3 млн. елементів (рис. 1), сіткова незалежність була перевірена шляхом виконання розрахунків для одного з режимів на більш густий і більш розріджених сітках з урахуванням контролю за необхідними значеннями параметра y+ на стінці [5].

На вході у всіх випадках задавалася витрата, що відповідає наявним натурним даним з температурою 80^{0}С, на виході – статичний тиск. Була задана умова Conservative Interface Flux для інтерфейсів тверде – рідина, General Connection для інтерфейсу рідина – рідина, і тепловіддача для зовнішніх стінок solid доменів. Середній коефіцієнт тепловіддачі α для природньої конвекції відповідно до [6] розраховувався з рівняння:

$$Nu = 0.75\left(\mathrm{Gr}\cdot\mathrm{Pr}\right)^{0.25},$$

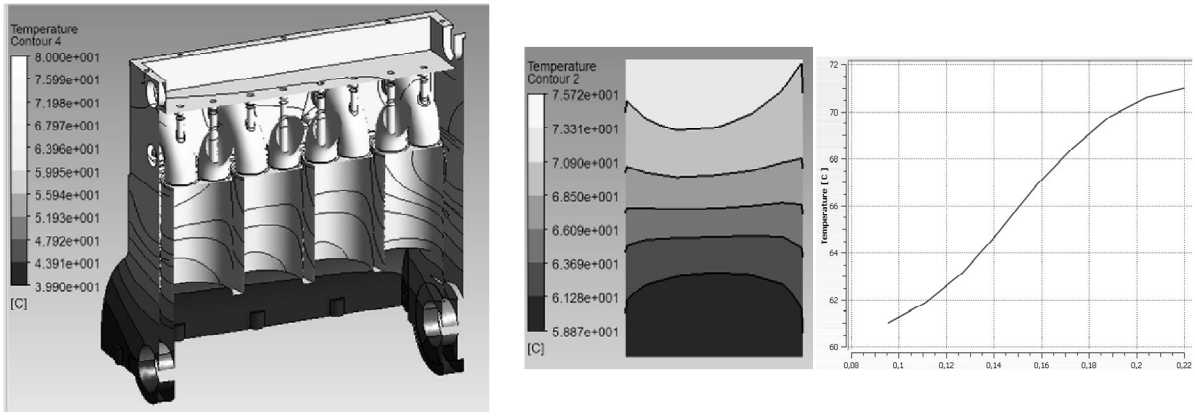
де $Nu = \alpha L/\lambda$ – критерій Нусельту, $Gr = g\beta(\bar{t}_c - t_o)L/\upsilon^2$ – критерій Грасгофу, L – характерний розмір стінки для задачі (висота двигуна), м, λ – теплопровідність повітря, Вт/(м·К); g – прискорення вільного падіння, м/с^2; β – коефіцієнт об'ємного розширення середовища, К$^{-1}$; ν – кінематична в'язкість повітря, м^2/с; $\Delta t = \bar{t}_\mathrm{c} - t_\mathrm{o}$ – температурний напір, ^{0}С, $t_\mathrm{o} = 0\,^0$С – модельна температура навколишнього середовища. Послідовними розрахунками тепловіддача була визначена як α ≈ 10 Вт/(м^2· К).



а) б)

Рисунок 1 – Розрахункова сітка (а) і картина прогріву зовнішніх поверхонь двигуна (б)

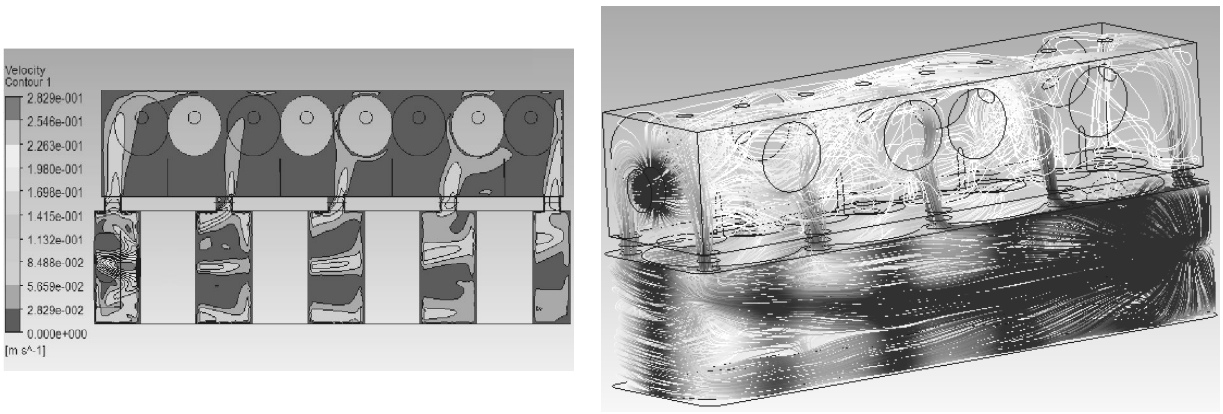
Розрахунки течії виконувалися у стаціонарній постановці. На низьких витратах збіжність розрахунків була ускладнена, що вимагає детального зіставлення з експериментальними даними. У результаті розрахунків отримана картина прогріву блоків двигуна (рис. 1б), відповідно до якої відзначена помітна нерівномірність прогріву циліндрів у блоці з одного боку (рис. 2а, б), однак і достатня температура, що забезпечує комфортний пуск в області головки блоку циліндрів для даного стану навколишнього середовища з іншого.



а) б)

Рисунок 2 – Прогрів внутрішніх поверхонь двигуна (*а*) і картина прогріву поверхні циліндра (*б*)

Відзначена значна нерівномірність витрат рідини по каналах двигуна й складна гідродинамічна картина в цілому з наявністю великої кількості застійних зон (рис. 3а, б). Необхідно вказати окрім того, що зазначена картина може значно варіюватися в залежності від виконання каналів у сорочці двигуна й від конкретної моделі двигуна в цілому.



а) б)

Рисунок 3 – Розподіл швидкостей у повздовжньому перерізі (а) і лінії течії (б)

Висновки. Накопичення бази по твердотільним моделям двигунів і проточним частинам сорочки з урахуванням залежностей параметрів середовища від температури дозволяють у короткий термін здійснити розрахунок прогріву двигуна. Моделі нагрівальних елементів з урахуванням циркуляції в замкненому контурі дозволяють дати рекомендації з використання тих або інших типів передпускових підігрівників та теплоакумуляторів, а для нестаціонарної постановки задачі з'являється можливість визначити час прогріву до прийнятної пускової температури, при цьому правильний вибір і експлуатація передпускового підігрівника дозволяє значно мінімізувати негативні наслідки холодного пуску двигуна й підвищити комфорт початку руху.

Перспективою подальшого дослідження є накопичення бази по твердотільним моделям двигунів і проточним частинам з урахуванням залежностей параметрів середовища від температури, що дозволить у короткий термін здійснити розрахунок прогріву двигуна. Моделі нагрівальних елементів з урахуванням циркуляції в замкненому контурі дозволять дати рекомендації з використання тих або інших типів тепло-акумуляторів, для нестаціонарної постановки задачі з'являється можливість визначити час прогріву до прийнятної пускової температури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Косенков И. А. Требования к системам предпусковой подготовки ДВС транспортных средств / П. В. Дружинин, А. А. Коричев, И. А. Косенков // Двигателестроение. – СПб, 2009. – № 4. – С. 15-19.

2. Вашуркин И. О. Тепловая подготовка и пуск ДВС мобильных транспортных и строительных машин зимой / И. О. Вашуркин. – СПб. : Наука, 2002. – 145 с.

3. Пыхтя В. А. Экспериментальные исследования системы предпускового разогрева двигателя с тепловым аккумулятором / В. А. Пыхтя // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля. – 2010. – № 6 (148). – С. 246-251.

4. Черный С. Г. Численное моделирование пространственных турбулентных течений несжимаемой жидкости на основе k-e моделей / С. Г. Черный, Ю. А. Грязин, П. А. Шашкин // Вычислительные технологии. – 1999. – Т. 4, № 2. – С. 74-94.

5. CFX-5 Solver Theory. – 2004. – 261 p.

6. Исаченко В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – М. : Энергоиздат, 1981. – 486 с.

Аппазов Э.С., Клюев О.И., Русанов С.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ПРЕДПУСКОВОЙ ПОДГОТОВКЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В статье рассматривается моделирование гидродинамических и тепловых процессов при предпусковой подготовке автомобильных двигателей. Рассмотрена проблема предпусковой подготовки. Указаны позитивные и негативные аспекты существующих методов предпусковой подготовки. Определены основные требования к предпусковому прогреву двигателя.

Проведено численное моделирование гидродинамики и теплообмена во внутренних каналах двигателя для определения температурных показателей прогрева с учетом теплообмена с окружающей средой. Для моделирования использована k-ε модель турбулентности с уравнением энергии для замыкания системы. Расчетное исследование проведено в системе CFX с расчетной сеткой в 3 млн. элементов с проверкой сеточной независимости в стационарной постановке.

В результате моделирования определена неравномерность прогрева элементов двигателя, особенно на внутренних поверхностях цилиндров. Показан сложный характер течения в каналах двигателя с наличием значительного количества застойных зон. Определены перспективы дальнейших расчетных исследований по возможностям применения теплоаккумуляторов для обеспечения предпусковой подготовки двигателей.

Ключевые слова: предпусковой подогрев, численное моделирование, гидродинамика, теплообмен.

Appazov E., Kluev O., Rusanov S. MODELING OF HYDRODYNAMIC AND THERMAL PROCESSES FOR PRE-PREPARATION ENGINE

The article deals with modeling of the hydrodynamic and thermal processes in pre-launch preparation of automobile engines. The problem of pre-launch preparations are consider. Listed positive and negative aspects of existing methods pre-launch preparations. The basic requirements for engine preheating .

A numerical simulation of fluid flow and heat transfer in the internal channels of the engine to determine the warm-up temperature indicators, taking into account the heat exchange with the environment. Used for modeling k-ε turbulence model with the energy equation for close the system. Computational study conducted in the system CFX computational grid with 3 million members with checking grid independence in the fixed statement.

The simulation is defined uneven warming of engine components, especially on the inner surfaces of the cylinders. Shows the complex nature of the flow in the channels of the engine with the presence of significant amounts of stagnant zones. The prospects for further computational studies on application of heat storage capabilities for pre-launch preparations engines.

Keywords: preheating , numerical simulation, fluid dynamics, heat transfer.

Статтю прийнято
до редакції 10.06.14.

УДК 621.43:621.34

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ СУДОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Богдан Ю.А.
Киевская государственная академия водного транспорта имени гетмана Петра Конашевича-Сагайдачного

Разработка методики расчета тепловой и электрической мощности когенерационной установки на базе судового двигателя внутреннего сгорания с помощью теплобалансовых расчетов последовательно, начиная с цилиндров двигателя и заканчивая утилизационными теплообменными аппаратами.
При расчете тепловой мощности, установка делится на модули, и определяются составляющие подведенной и отведенной теплоты к каждому из них на основе уравнений теплового баланса. Электрическая мощность установки определяется как разница подводимой от дизеля к генератору эффективной мощности и суммарной мощности всех потерь в генераторе.
Приведенная методика позволяет производить оценку эффективности установки и дает возможность решения проблем, связанных с экономией и рациональным использованием первичных энергетических ресурсов.
Получены основные критерии эффективности (суммарный коэффициент полезного действия с учетом теплогидравлической эффективности теплообменной поверхности теплообменных аппаратов, коэффициент использования топлива) позволяющие оценить энергоэффективность когенерационной установки при различных схемах утилизации теплоты и разных конструкциях теплообменных аппаратов.
Ключевые слова: тепловая мощность, электрическая мощность, когенерационная установка, двигатель внутреннего сгорания.

Постановка проблемы. Среди существующих энергетических установок (ЭУ), используемых на водном транспорте дизельные установки занимают ведущее место исходя из следующих основных достоинств: высокой экономичности, надежности в работе, значительного моторесурса. Даже с учетом преимуществ дизельных ЭУ проблемы, связанные с повышением их эффективности и обеспечением максимальной экономии первичных энергетических ресурсов остаются нерешенными. Основные пути решения указанных проблем состоят в использовании тепловых потерь энергии сжигаемого топлива. Таким образом, дополнительно к генерированию основной механической (электрической) энергии (механической – дизель, электрической – дизель-генератор) одновременно можно производить тепловую энергию (утилизация вторичных энергетических ресурсов дизеля), что существенно повысит коэффициент полезного действия (КПД) установки. Установки с комбинированной выработкой нескольких видов энергии получили название когенерационных установок (КГУ).

Широкое распространение способа комбинированной генерации энергии вызывает необходимость в создании методик расчета тепловой и электрической мощности КГУ на базе ДВС, использование которых позволит выполнить оценку эффективности КГУ.

Анализ последних исследований и публикаций. Существуют упрощенные методики для оценки вырабатываемой механической (электрической) энергии. При этом отсутствуют методики для определения количества полезной тепловой энергии, которая вырабатывается в утилизационном контуре КГУ. В основу существующих методик положены результаты теплобалансовых испытаний с последующим составлением внешнего теплового баланса двигателя, где определяются его тепловые потери. Такой подход к определению тепловой мощности является недостаточным, поскольку не дает детального расчета полезной тепловой энергии, вырабатываемой в утилизационном тепловом контуре и тепловых потерь, которые им сопутствуют [1]. Имеются в виду

потери во внешнюю среду в теплообменном оборудовании и дополнительные потери энергии, затрачиваемые на прокачку охлаждающей жидкости.

В теории двигателей внутреннего сгорания (ДВС) имеются обширное количество работ, где приведены сведения о тепловом балансе ДВС и его отдельных составляющих, которые определяются в основном экспериментальным путем [2, 3, 4].

Анализ энергетического баланса ДВС различных типов и данные о возможных температурных уровнях и величинах потоков сбросной теплоты для газопоршневых двигателей когенерационных установок приведены в [1]. Но как уже отмечалось выше [1], отсутствует обобщенная методика расчета КГУ на базе ДВС в целом.

В статье [5] изложена методика расчета КПД судового синхронного генератора (СГ) в диапазоне мощностей от холостого хода до номинального значения и выше с учетом коэффициента мощности. Методика позволяет определить оптимальное значение мощности нагрузки генератора при заданном коэффициенте мощности, соответствующее максимальному КПД. Основываясь на методике разработанной С. Е. Кузнецовым можно определить электрическую мощность судового синхронного генератора.

Цель работы. Целью работы является разработка методики тепловой и электрической мощности КГУ на базе судового ДВС с помощью теплобалансовых расчетов последовательно начиная с цилиндров двигателя и заканчивая утилизационными теплообменными аппаратами (ТА).

Постановка задачи. Расчет тепловой мощности двигателя основывается на определение количества теплоты, которая теряется при сгорании топлива в цилиндре с последующим учетом числа цилиндров двигателя. При этом необходимо учитывать сложность процессов теплоотдачи как со стороны образовавшихся в процессе сгорания газов, так и со стороны охлаждающей жидкости. В первом приближении можно принять, что детали двигателя являются неподвижными, а сложный по своей природе нестационарный тепловой поток из камеры сгорания, от поршневых колец и тарелок клапанов к окружающим деталям можно заменить на эквивалентный ему квазистационарный тепловой поток.

Примем, что процессы теплоотдачи от газов к стенкам цилиндров для всех двигателей подобны, следовательно, подобными также будут соотношения между тепловыми потоками различных деталей ДВС и соответствующими режимными параметрами. В качестве расчетного принят номинальный режим двигателя, при котором деталями воспринимается наибольшее количество теплоты сгораемого топлива. Исходными данными для расчетов тепловой и электрической мощности будет техническая характеристика базового двигателя внутреннего сгорания.

Материалы исследований. Для расчета тепловой мощности КГУ на базе ДВС необходимо разделить установку на модули, условно очерченные граничной поверхностью. Далее необходимо определить составляющие подведенной теплоты в каждом из них на основе уравнений теплового баланса. КГУ на основе ДВС можно разделить на следующие модули: цилиндр двигателя (с учетом их количества), зарубашечное пространство двигателя, контур смазки двигателя, теплообменный аппарат охлаждения пресной воды внутреннего контура, теплообменный аппарат охлаждения масла системы смазки и устройство утилизационного контура (утилизационный паровой/водогрейный котел или утилизатор теплоты отработанных газов). В том случае, если двигатель комбинированный, то есть при наличии газотурбинного наддува и системы охлаждения наддувочного воздуха необходимо учитывать газовую турбину, компрессор и теплообменный аппарат охлаждения наддувочного воздуха.

Определяем распределение теплоты, выделяющейся при сгорании топлива, которое поступает в цилиндр ДВС путем составления внутреннего теплового баланса [4]. В качестве граничной поверхности принята поверхность стенок надпоршневой полости цилиндра.

Уравнение теплового баланса во внутреннем контуре надпоршневой полости представляющее собой равенство подведенных и отведенных потоков теплоты через граничную поверхность за 1 час работы двигателя имеет вид:

$$Q_{ch1} + Q_{ph1} + Q_{ph2} = Q_i + Q_l + Q_{ph3} \quad (1)$$

или

$$Q_{ch1} = Q_i + Q_l + \left(Q_{ph3} - Q_{ph1} - Q_{ph2}\right), \quad (2)$$

где $Q_{ch1} = B_ч Q_н^p$ – теплота сгорания топлива, подведенного в цилиндр двигателя за 1 час, кДж/ч; $Q_{ph1} = B_ч c_1 t_1$ – физическая теплота топлива, кДж/ч; c_1, t_1 – теплоемкость топлива и температура топлива на входе в надпоршневую полость ($c_1 \approx 2$ кДж/(кг·град); $t_1 = 40 - 60$ °С); $Q_{ph2} = G_2 c_2 t_2$ – теплота воздуха, поступившего в цилиндр за 1 час, кДж/ч; G_2 – часовой расход воздуха через цилиндр, кг/ч; c_2 – средняя удельная массовая теплоемкость воздуха при постоянном давлении, кДж/(кг·К); t_2 – температура воздуха на входе в надпоршневую полость, °С; $Q_i = 3600 N_i$ – индикаторная работа газов в одном цилиндре двигателя за 1 час, кДж/ч; $Q_l = L B_ч Q_н^p$ – потери теплоты от рабочего тела к стенкам надпоршневой полости за 1 час, кДж/ч; L – относительные потери теплоты от рабочего тела к стенкам надпоршневой полости (0,09 – 0,25); $Q_{ph3} = \left(G_2 + B_ч\right) c_3 t_3$ – теплота отработанных газов, уходящих из надпоршневой полости за 1 час, кДж/ч; c_3 – средняя удельная массовая теплоемкость отработанных газов при постоянном давлении, кДж/(кг·К); t_3 – температура отработанных газов на выходе из надпоршневой полости, °С.

Базовым для расчета тепловых балансов является тепловой расчет рабочего процесса поршневого двигателя, который разработан В. И. Гриневецким [2]. Дальнейшее развитие расчетного метода В. И. Гриневецкого получено в трудах Н. Р. Брилинга, Е. К. Мазинга, Б. С. Стечкина. С целью упрощения реализации указанных методов, тепловой расчет для двигателей небольшой мощности с достаточно высокой точностью можно осуществить с помощью термодинамической программы ДВС «Diesel-RK» [6]. В результате расчетов определяются значения индикаторных и эффективных показателей, внутрицилиндровых параметров, параметров теплообмена цилиндра, впускного и выпускного коллектора и др.

Величину средних тепловых потоков в пределах граничной поверхности можно определить, основываясь на результаты исследований А. К. Костина [7] (для класса двигателей с $n = 125 \div 2100$ об/мин и $D = 0{,}085 \div 0{,}9$ м).

С помощью теплобалансовых расчетов определяем теплоту, которая передается через стенки надпоршневой полости цилиндра. Для таких расчетов необходимо знать, как распределяется суммарное количество теплоты Q_l, воспринятое средой, охлаждающей цилиндр, по отдельным поверхностям, которое определяется по формуле:

$$Q_l = Q_l' + Q_l'', \quad (3)$$

где Q_l' – количество теплоты, переданное газами в охлаждаемую среду за 1 час, кДж/ч; Q_l'' – количество теплоты, которое выделяется при трении поршневых колец и передается в систему охлаждения $Q_l'' = x_l 465 \cdot 3600 N_e \left(1 - \eta_{мех}\right) / i \eta_{мех}$ (x_l – доля суммарной теплоты, которая выделяется при трении и передается в систему охлаждения цилиндровых втулок, x_l = 0,50÷0,55), *кДж/ч*; N_e – эффективная мощность двигателя, кВт; $\eta_{мех}$ – механический КПД; i – количество цилиндров).



Количество теплоты Q_l', которое передается в охлаждающую среду (охлаждающую воду и масло) через поверхность крышки цилиндра, днища поршня, цилиндровую втулку и выпускной патрубок определяется выражением

$$Q_l' = B_{\text{ч}}(Q_{\Sigma Г} + Q_{\Sigma П} + Q_{\Sigma Ц}' + Q_{ВП}), \quad (4)$$

где $Q_{\Sigma Г}$, $Q_{\Sigma П}$, $Q_{\Sigma Ц}'$ и $Q_{ВП}$ – теплота, которая передается газами, соответственно поверхностям – крышке цилиндра, поршня, цилиндровой втулки и выпускного патрубка.

Перейдя к относительным величинам имеем:

$$1 = (Q_{\Sigma Г}/Q_l') + (Q_{\Sigma П}/Q_l') + (Q_{\Sigma Ц}'/Q_l') + (Q_{ВП}/Q_l') = \xi_Г + \xi_П + \xi_Ц + \xi_{ВП}, \quad (5)$$

где $\xi_Г$, $\xi_П$, $\xi_Ц$, $\xi_{ВП}$ – доли теплоты, которые передаются газами соответственно поверхностям крышки цилиндра, поршня, втулки цилиндра и выпускного патрубка ($\xi_{ВП} = 0{,}15 \div 0{,}2$, в ориентировочных расчетах принимается $\xi_Ц \approx 0$, $\xi_Г \approx \xi_П = (1 - \xi_{ВП})/2 = 0{,}40 \div 0{,}43$).

Таким образом, имеем:

$$Q_{ВП} \approx (0{,}15 \div 0{,}2)Q_l', \quad (6)$$

$$Q_{\Sigma Г} \approx Q_{\Sigma П} \approx (0{,}40 \div 0{,}43)Q_l'. \quad (7)$$

Количество теплоты, отданное поверхности втулки цилиндра в общем случае состоит из теплоты $Q_{\Sigma Ц}'$, воспринятой втулкой цилиндра непосредственно от газов, и теплоты $Q_{\Sigma Ц}''$, равной сумме теплоты, прошедшей через поршень и воспринятой поршневыми кольцами и юбкой, а также теплоты, выделяющейся при трении поршневых колец и поршня:

$$Q_{\Sigma Ц} = Q_{\Sigma Ц}' + Q_{\Sigma Ц}'' \approx Q_{\Sigma Ц}'' = (1 - y_l)Q_{\Sigma П} + Q_l''. \quad (8)$$

Для неохлаждаемого поршня $y_l = 0$, для охлаждаемого значение y_l зависит от конструкции системы охлаждения.

Количество теплоты, Q_l', отданное газами к стенкам цилиндра за 1 час, определяется по формуле:

$$Q_l' = Q_{lц}' 60nz, \quad (9)$$

где $Q_{lц}'$ – количество тепла, воспринимаемое стенками цилиндра от газов за один рабочий цикл, кДж; n – частота вращения коленчатого вала, об/мин; z – коэффициент тактности ($z = 1$ для двухтактных и $z = 0{,}5$ для четырехтактных).

Величина $Q_{lц}'$ определяется по формуле:

$$Q_{lц}' = \alpha_Г F_{СТ}(T_{ст} - T_Г)\tau_Q, \quad (10)$$

где $\alpha_Г$ – коэффициент теплоотдачи от газов к стенке, кВт/(м^2·К); $F_{СТ}$ – площадь тепловоспринимающей поверхности при наибольшей интенсивности теплообмена в надпоршневой полости, м^2; $T_{ст}$ – средняя условная температура стенок цилиндра, К; $T_Г$ – температура газов в цилиндре, К; τ_Q – время протекания процесса теплообмена.

Величина τ_Q определяется по формуле:

$$\tau_Q = \varphi_Q/(3600 \cdot 6n), \quad (11)$$

где φ_Q – угол поворота кривошипа соответствует интервалу времени, в течении которого стенки цилиндра воспринимают основное количество теплоты (практически это продолжительность сгорания топлива соответствующее углу поворота коленчатого вала $\varphi_Q \approx \varphi_Z$).

Коэффициент теплоотдачи от газов к стенке надпоршневой полости цилиндра определяют по полуэмпирическим формулам, в основе которых лежат степенные функция от средней скорости поршня, давления и температуры газов в цилиндре: $\alpha_\Gamma = ac_m^x p^y T^z$ (c_m – средняя скорость поршня м/с; p_Γ – давление газов в цилиндре, кПа; а, х, у, z – эмпирические коэффициенты; T_Γ – температура газов в цилиндре, К). Наиболее простой из подобных формул является формула Эйхельберга, кВт/(м^2·К) [3]:

$$\alpha_\Gamma = 0{,}247 \cdot 10^{-3} \sqrt[3]{c_m} \sqrt{p_\Gamma T_\Gamma} \,. \tag{12}$$

Средняя скорость поршня равна $c_m = Sn/30$.

Следовательно имеем:

$$\alpha_\Gamma = 0{,}247 \cdot 10^{-3} \sqrt[3]{Sn/30} \sqrt{p_\Gamma T_\Gamma} \,. \tag{13}$$

В расчетах теплообмена между газом и стенками цилиндра коэффициент теплоотдачи от газов к стенке полагаем одинаковым для всех участков поверхности теплообмена.

Поверхность теплообмена представляет собой соприкасающиеся с газами поверхности крышки цилиндра, днища поршня и втулки цилиндра при наибольшей интенсивности теплообмена, когда поршень находится около верхней мертвой точки и ее площадь определяется выражением:

$$F_{CT} = \frac{\pi D^2}{2} + \pi D\left(\frac{S}{\varepsilon - 1}\right), \tag{14}$$

где D – диаметр цилиндра, *м*; S – ход поршня, *м*; ε – степень сжатия.

Средняя температура внутренних стенок цилиндра T_{cm1} представляет собой постоянную, осредненную по поверхности и времени температуру. Температура T_{cm1} выбирается из известных экспериментальных данных.

Количество теплоты Q_{l2}, которое передается через твердую стенку, образующую полость цилиндра двигателя, определяется по формуле:

$$Q_{l2} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} F_{CT} \left(T_{cm1} - T_{cm2}\right), \tag{15}$$

где T_{cm1} – температура стенки со стороны охлаждения, К; $T_{охл}$ – температура охлаждающей среды, К, $\delta_1, \delta_2, ..., \delta_n$ – толщина слоев стенки (чугун, накипь, нагар и т. п.); $\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_n$ – теплопроводность материала слоев стенки.

Количество теплоты, отводимой от наружной поверхности стенки, образующей полость цилиндра к охлаждающей среде (пресной воде внутреннего контура), определяется по формуле:

$$Q'_{охл} = \alpha_{охл} F_{CT} (T_{cm2} - T_{охл}), \tag{16}$$



где $\alpha_{охл}$ – коэффициент теплоотдачи от стенок к охлаждающей жидкости, кВт/(м^2·К); F_{CT} – площадь поверхности, которая омывается охлаждающей средой, м^2; $T_{ст2}$ – температура стенки со стороны охлаждения, К; $T_{охл}$ – температура охлаждающей среды, К.

Коэффициент теплоотдачи от внешней стенки надпоршневой полости цилиндра к охлаждающей жидкости определяется с помощью выражения:

$$\alpha_{охл} = \frac{Nu_{ж} \cdot \lambda_{ж}}{d_{экв}}, \qquad (17)$$

где $Nu_{ж}$ – число Нуссельта для охлаждающей жидкости; $\lambda_{ж}$ – коэффициент теплопроводности охлаждающей жидкости, $кДж/м \cdot ч \cdot град$; $d_{экв}$ – эквивалентный диаметр канала, *м*.

Количество теплоты $Q_{охл}$, которое передается от внешних стенок цилиндра к охлаждающей среде за 1 час определяется по формуле:

$$Q_{охл} = Q'_{охл} 60nz. \qquad (18)$$

Для определения основных элементов циркуляционной системы смазки основной величиной служит количество масла, прокачиваемого через систему в единицу времени, или т. н. проток масла. В первом приближении эта величина может быть определена исходя из количества теплоты Q_M, которое отводится маслом от смазываемых деталей в охладитель, которая составляет 3,5-6 % от количества теплоты, которое выделяется в цилиндре при сгорании топлива [2].

Необходимая производительность насоса для прокачки охлаждающей среды рассчитывается исходя из количества теплоты, которое необходимо отвести от деталей двигателя и перепада температур охлаждающей среды $\Delta T = T_2 - T_1$.

$$G_{охл.ср} = \frac{Q_{охл.ср}}{c\Delta T} = \frac{Q_{охл.ср}}{c(T_2 - T_1)}, \qquad (19)$$

где c – удельная теплоемкость охлаждающей среды, кДж/(кг·К); T_1 и T_2 – температура охлаждающей среды при входе и выходе из двигателя или теплообменного аппарата, *К*.

Мощность, потребляемая насосом для прокачки охлаждающей среды, определяется по формуле:

$$N_{н} = \frac{G_V \Delta p}{\eta_{н}}, \qquad (20)$$

где G_V – объемный расход, $м^3/ч$; Δp – гидравлический напор для прокачиваемого участка, $Н/м^2$; $\eta_{н}$ – КПД насоса (КПД центробежного водяного насоса находится в пределах 0,5 – 0,7; КПД масляного шестеренчатого насоса находится в пределах 0,7–0,9).

Для охлаждения пресной воды внутреннего контура, циркуляционного масла, наддувочного воздуха и утилизации отработанных газов применяются теплообменные аппараты, от эффективности которых зависит количество полезно используемой (утилизируемой) теплоты. Расчет, теплообменных аппаратов сводится в основном к определению необходимой площади поверхности теплообмена. В случае использования уже имеющихся теплообменных (штатных) аппаратов площадь теплообменной поверхности известна и определяется техническими характеристиками аппарата.

Исходя из уравнения теплового баланса, определяются также расход холодного теплоносителя и мощность, потребляемая насосом на его прокачку (20).

Уравнение теплового баланса для двух теплоносителей можно записать в виде равенства:

$$Q = G_1 c_{p1}(t_1' - t_1'')\eta = G_2 c_{p2}(t_2' - t_2''), \quad (21)$$

где G_1 и G_2 – соответственно, массовые расходы горячего и холодного теплоносителя; c_{p1} и c_{p2} – средние теплоемкости теплоносителей; $t_1' - t_1''$ и $t_2' - t_2''$ – изменение температур теплоносителей; η – коэффициент, учитывающий потери теплоты в окружающую среду.

Площадь теплообменной поверхности рассчитывается по формуле:

$$F_{ПОВ} = \frac{Q}{K \cdot \Delta\overline{T}}, \quad (22)$$

где Q – количество тепла которое необходимо отвести охлаждающей средой (утилизировать), *кДж*; K – коэффициент теплопередачи $K = 1 \Big/ \frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}$, $кВт/м \cdot К$; $\Delta\overline{T}$ – среднелогарифмический температурный напор между теплоносителем и охлаждающей средой $\Delta\overline{T} = \Delta T_\delta - \Delta T_M \Big/ \ln \frac{\Delta T_\delta}{\Delta T_M}$, К.

Исходя из выше изложенного, тепловая мощность КГУ на базе ДВС Q_m будет равна сумме теплоты, которая отводится в каждом из теплообменных аппаратов $Q_m = \sum_{i=1}^{n} Q_i$.

Расчет электрической мощности КГУ на базе ДВС выполняется на основе расчетов, приведенных в статье [5]. Фактическая активная электрическая мощность P_e определяется как разница подводимой от дизеля к генератору эффективной мощности N_e и суммарной мощности всех потерь P_Σ в синхронном генераторе, т. е. имеем:

$$P_\Sigma = P_{мех} + P_c + P_м + P_в, \quad (23)$$

В СГ выделяют следующие составляющие потерь [5]:

$$P_e = N_e - P_\Sigma. \quad (24)$$

где $P_{мех}$ – механические потери в генераторе на трение всех видов; P_c – потери в стали магнитопроводов; $P_м$ – основные электрические потери в цепях обмоток (потери в меди); $P_в$ – потери на возбуждение.

$$P_{мех} = P_п + P_{вн} + P_{тщ}, \quad (25)$$

где $P_п$ – потери на трение в подшипниках ($P_п = K_п f$, где $K_п$ – постоянная; f – частота электрического тока); $P_{вн}$ – потери на вентиляцию и на трение вращающихся частей о воздух ($P_{вн} = 1{,}1 V u_в^2$, где V – количество охлаждающего воздуха, $м^3/с$; $u_в^2$ – скорость на внешней окружности вентилятора, $м/с$; или $P_{вн} = K_{вн} f^3$, где $K_{вн}$ – постоянный коэффициент); $P_{тщ}$ – потери в скользящих щеточных контактах (в бесщеточных СГ отсутствуют) ($P_{тщ} = C_щ F_щ u_к$, где $C_щ$ – коэффициент трения (по опытным данным в среднем для угольных щеток $C_щ \approx 2$); $F_щ$ – давление на щетки, $кгс/см^2$; $u_к$ – скорость на окружности проведенной через точки скользящего контакта, м/с; или $P_{тщ} = K_{тщ} f$, где $K_{тщ}$ – постоянный коэффициент, зависящий от $F_щ$ и $C_щ$).

Потери в стали рассчитываются по формуле:

$$P_c = \frac{P_{сн}}{U_{\text{н}}^2} U^2 = K_c U^2 , \tag{26}$$

где $K_c = P_{сн} / U_{\text{н}}^2$ – постоянный коэффициент.

Расчет потерь в стали представляет большие трудности, поэтому они часто определяются приближенно как 0,5–2 % от номинальной мощности электрической машины.

Полные электрические потери в рабочих обмотках генератора вычисляются по формуле:

$$P_м = \frac{P_{мн}}{I_{\text{н}}^2} I^2 = K_м I^2 , \tag{27}$$

где $K_м = P_{мн} / I_{\text{н}}^2$ – постоянный коэффициент.

Потери на возбуждение для электрических машин, возбуждаемых постоянным током, определяются следующим образом:

$$P_в = I_в^2 R_в = U_в I_в . \tag{28}$$

При известном КПД генератора (на номинальной мощности 0,9÷0,95) его электрическая мощность равна произведению КПД на эффективную мощность, подведенную от дизеля к генератору $P_e = \eta_{СГ} N_e$.

На основе полученных значений тепловой и электрической мощности можно сделать выводы по величине энергоэффективности КГУ.

Главным показателем энергоэффективности когенерационных установок есть суммарный коэффициент полезного действия, который отображает эффективность использования топлива.

Суммарный КПД КГУ на базе ДВС определяется отношением производимой установкой механической или электрической и тепловой энергии к энергии затраченного топлива, что видно из следующих выражений:

1) при производстве механической и тепловой энергии

$$\eta_\Sigma = \left(N_e + Q_m\right) / B_ч Q_н^p , \tag{29}$$

где N_e – эффективная мощность, передаваемая от фланца коленчатого вала двигателя к потребителю механической энергии без учета мощности, затрачиваемой на привод различных навешанных на двигатель механизмов; Q_m – полезная тепловая мощность, которая передается пользователю за 1 час; $B_ч Q_н^p$ – количество теплоты, которое выделяется при сжигании топлива в когенерационной установке за 1 час.

2) при производстве электрической и тепловой энергии

$$\eta_\Sigma = \left(P_e + Q_m\right) / B_ч Q_н^p , \tag{30}$$

где P_e – фактическая активная электрическая мощность на клеммах синхронного генератора вырабатываемая за 1 час.

Еще одним показателем энергоэффективности когенерационной установки является коэффициент экономии топлива ε_m, который характеризует снижение затрат топлива на производство тепловой и электрической энергии при когенерации по отношению к потерям топлива при отдельном производстве тех же самых энергий.

$$\varepsilon_m = \left(Q_{отд} - Q_{ког}\right) / Q_{отд} , \tag{31}$$

где $Q_{ког}$ и $Q_{отд}$ – тепловая энергия затраченного топлива при производстве тепловой и электрической энергии за когенерационной схемой и при отдельном производстве тех же самых энергий, соответственно.

Важной также является оценка эффективности теплообменных поверхностей, используемых в КГУ, теплообменных аппаратов с энергетической точки зрения. Теплогидравлическая эффективность теплообменной поверхности ТА [8] определяется как отношение передаваемого количества теплоты Q через поверхность теплообмена к величине мощности насоса $N_{\text{н}}$ (20), которая необходимая для прокачки охлаждающей среды через тракт теплообменника:

$$E = Q / N_{\text{н}} . \tag{32}$$

Таким образом, если учесть теплогидравлическую эффективность в формуле (29) получим:

$$\eta_{\Sigma} = \left(N_e - \sum_{i=1}^{n} N_{\text{н}} + \sum_{i=1}^{n} Q \right) \Big/ B_{ч} Q_{н}^{p} . \tag{33}$$

Аналогичное выражение можно получить и для формулы (30).

В случае использования газотурбонагнетателя воздуха формула (33) примет следующий вид:

$$\eta_{\Sigma} = \left(N_e + N_{гтн} - \sum_{i=1}^{n} N_{\text{н}} + \sum_{i=1}^{n} Q - Q_{гтн} \right) \Big/ B_{ч} Q_{н}^{p} , \tag{34}$$

где $N_{гтн}$ – прирост мощности двигателя за счет газотурбинного наддува воздуха в ДВС; $Q_{гтн}$ – количество теплоты затрачиваемое на привод газотурбонагнетателя.

Выводы. Разработанная методика определения тепловой и электрической мощности КГУ на базе ДВС позволяет производить оценку эффективности КГУ и дает возможность решения проблем, связанных с экономией и рациональным использованием первичных энергетических ресурсов.

Кроме того, получен суммарный КПД КГУ на базе ДВС с учетом теплогидравлической эффективности теплообменной поверхности ТА, который позволяет оценить энергоэффективность КГУ при различных схемах утилизации теплоты и разных конструкциях ТА.

Дальнейшие исследования в данном направлении будут связаны с определением оптимальной схемы утилизационного контура КГУ на базе ДВС и более эффективной эксергетической оценкой КГУ в целом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жовнір М. М. Тепловий баланс та температурні рівні скидної теплоти газопоршневих двигунів внутрішнього згоряння / М. М. Жовнір // Промышленная теплотехника. – 2008. – Т. 30, №1. – С. 50-59.

2. Лебедев О. Н. Двигатели внутреннего сгорания речных судов : учеб. для вузов / О. Н. Лебедев, В. А. Сомов, С. А. Калашников. – М. : Транспорт, 1990. – 328 с.

3. Самсонов В. И. Двигатели внутреннего сгорания морских судов / В. И. Самсонов, Н. И. Худов. – М. : Транспорт, 1990 – 368 с.

4. Дьяченко В. Г. Теория двигателей внутреннего сгорания / В. Г. Дьяченко. – Харьков : ХНАДУ, 2009. – 500 с.

5. Кузнецов С. Е. Влияние нагрузки и коэффициента мощности на коэффициент полезного действия судового синхронного генератора / С. В. Кузнецов // Судостроение. – СПб., 2011. – № 5. – С. 29-32.

6. Программный комплекс ДИЗЕЛЬ РК [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.diesel-rk.bmstu.ru

7. Стефановский Б. С. Теплонапряженность деталей быстроходных поршневых двигателей / Б. С. Стефановский. – М. : Машиностроение, 1978. – 128 с.

8. Горобець В. Г. Теплогідравлічна ефективність поверхонь з інтенсифікаторами теплообміну та оребренням / В. Г. Горобець // Науковий вісник НУБіП України. – 2010. – № 148. – С. 46-56.

Богдан Ю.О. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОВОЇ І ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПОТУЖНОСТІ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ УСТАНОВКИ НА БАЗІ СУДНОВОГО ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Розробка методики розрахунку теплової та електричної потужності когенераційної установки на базі суднового двигуна внутрішнього згоряння за допомогою теплобалансових розрахунків послідовно, починаючи з циліндрів двигуна і закінчуючи утилізаційними теплообмінними апаратами.

При розрахунку теплової потужності, установка ділиться на модулі, і визначаються складові підведеної і відведеної теплоти до кожного з них на основі рівнянь теплового балансу. Електрична потужність установки визначається, як різниця ефективної потужності, що підводиться від дизеля до генератору і сумарної потужності всіх втрат в генераторі.

Приведена методика дозволяє здійснювати оцінку ефективності установки та дає можливість вирішення проблем, пов'язаних з економією та раціональним використанням первинних енергетичних ресурсів.

Отримані основні критерії ефективності (сумарний коефіцієнт корисної дії з урахуванням теплогідравлічної ефективності теплообмінної поверхні теплообмінних апаратів, коефіцієнт використання палива), що дозволяють оцінити енергоефективність когенераційної установки при різних схемах утилізації теплоти і різних конструкціях теплообмінних апаратів.

Ключові слова: теплова потужність, електрична потужність, когенераційна установка, двигун внутрішнього згоряння.

Bogdan Y. A. DEVELOPMENT OF METHOD OF CALCULATION OF THERMAL AND ELECTRIC POWER OF THE CO-GENERATION PLANT BASED ON SHIP INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Development of method of calculation of thermal and electric power of the co-generation plant based on ship internal combustion engine by heat-balance calculations consistently, since the cylinders of engine concluding utilization in heat-exchangers.

At the calculation of thermal power, co-generation plant is divided on the modules, and the components of the brought and taken heat are determined to each of them on the basis of equations of thermal balance. Electric power of co-generation plant is determined, as a difference of effective power which is supply from a diesel to the generator and total power of all losses in a generator.

The resulted method allows to produce the estimation of efficiency of power-plant and enables decision of problems, related to the economy and rational use of primary power resources.

The basic criteria of efficiency (total output-input ratio taking into account heat-hydraulic efficiency of heat-exchange surface of the heat-exchangers, coefficient of the use of fuel) are got and these allow to estimate energy efficiency of the co-generation plant with the different schemes of utilization of heat and the different constructions of the heat-exchangers.

Keywords: thermal power, electric power, co-generation plant, internal combustion engine.

Статтю прийнято
до редакції 14.05.14.

УДК 667.64:678.026

ДОСЛІДЖЕННЯ УДАРНОЇ В'ЯЗКОСТІ ЕПОКСИКОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Браїло М.В.
Херсонська державна морська академія

Проаналізовано динаміку ударної в'язкості композитних матеріалів при введенні різних за природою та дисперсністю часток наповнювачів. Обґрунтовано, що у композитах, при наповнені частками з розмірами 63…80 мкм за критичного вмісту, показники ударної в'язкості є достатньо великими (а = 3,2…5,6 кДж/м^2). Проте, встановлено, що серед усіх досліджуваних у роботі матеріалів максимальними показниками ударної в'язкості відзначаються композити, які містять наповнювачі з дисперсністю 5…10 мкм (а = 4,0…7,6 кДж/м^2). Доведено, що при формуванні епоксидних матеріалів з поліпшеними властивостями щодо експлуатації в умовах динамічних та ударних навантажень необхідно у зв'язувач вводити 40…50 мас.ч. часток перліту з дисперсністю 5…10 мкм на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20. Ударна в'язкість такого композиту становить – а = 7,6 кДж/м^2. Отримані результати механічних випробувань підтверджено дослідженнями методом оптичної мікроскопії.
Ключові слова: епоксидний композит, ударна в'язкість, наповнювач.

Постановка проблеми. Відомо, що сучасна промисловість широко використовує полімерні композитні матеріали у різних галузях [1]. Проте, питання підвищення експлуатаційних характеристик і економічності матеріалів завжди є актуальним. Одним із методів поліпшення властивостей та зменшення собівартості композитних матеріалів (КМ) є додавання до їх складу часток наповнювачів різної природи та дисперсності, які легкодоступні та економічно вигідні для виробника [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Попередньо нами було розроблено матрицю для КМ шляхом поєднання твердників ПЕПА (5 мас.ч.) і Telalit 410 (5 мас.ч.) в епоксидному оліґомері CHS-Epoxy 525 [3, 4]. Доведено поліпшення властивостей розробленої матриці порівняно з показниками властивостей адгезиву на основі олігомеру ЕД-20 та твердника ПЕПА. Крім того, проаналізовано вплив наповнювачів різної природи та дисперсності на фізико-механічні, адгезійні та теплофізичні властивості матеріалів. Проте, при використанні матеріалів в умовах тертя додатково виникають ударні навантаження [5]. Тому цікавим і водночас актуальним є створення КМ, які будуть мати підвищену тріщиностійкість при динамічних та ударних навантаженнях.

Мета роботи – дослідити вплив дисперсних наповнювачів різної природи на ударну в'язкість епоксикомпозитних матеріалів.

Матеріали та методика дослідження. Як основний компонент для зв'язувача вибрано низькомолекулярний епоксидний оліґомер марки CHS-Epoxy 525, який немає модифікаторів і є аналогом епоксидного діанового оліґомера ЕД-20. Слід зазначити, що молекули епоксидних оліґомерів містять гліцидилові та епоксидні групи, які здатні, взаємодіючи з твердником, формувати зшиту структуру матеріалу у вигляді сітки [1, 2]. Для зшивання епоксидних композицій використано у поєднані вітчизняний твердник ПЕПА (ТУ 6-05-241-202-78) та модифікований аміноаддуктовий твердник на основі аліфатичного поліаміну марки Telalit 410 у визначених пропорціях, мас.ч. [4]: ЕД-20: ПЕПА : Telalit 410 – 100 : 5 : 5.

При дослідженні використовували наповнювачі різної дисперсності (5…10 мкм та 63…80 мкм). Як дисперсні наповнювачі (5…10 мкм) використовували наступні хімічні порошки.

1. Перліт – матеріал, отриманий в результаті термічної обробки водовмісної алюмосилікатної перлітової породи вулканічного походження. Хімічний склад, згідно ГОСТ 25226-96, є наступним: оксид кремнію (SiO_2) – 65…77 %, оксид алюмінію (Al_2O_3) – 11…16 %, оксид заліза ($FeO + Fe_2O_3$) – 0,5…6,0 %, оксид кальцію (CaO) – 0,1…3,5 %, оксид калію і натрію ($K_2O + Na_2O$) – 3…10 %.

2. Охра (жовта) – природна мінеральна композиція наступного складу: гігроскопічна вода – 7…8 %, глина – 20…50 %, крейда – 2…3 %, пісок – до 45 %, окис заліза – 5…40 % .

3. Деревне вугілля (ГОСТ 7657-84) – макропористий високовуглецевий продукт, який отримують піролізом деревини без доступу повітря. Даний аморфний високомолекулярний продукт містить аліфатичні й ароматичні структури. Хімічний склад деревного вугілля є наступним: С – 80…92 %, Н – 4,0…4,8 %, О – 5…15 %. Вугілля додатково містить 1…3 % мінеральних домішок, головним чином, карбонатів та оксидів: K, Na, Ca, Mg, Si, Al, Fe.

Як дисперсні наповнювачі (63…80 мкм) використовували наступні хімічні порошки.

1. Перліт (хімічний склад наповнювача описано вище).

2. Графіт антифрикційний марки АГ-1500 (ТУ 48-20-4-87) – виготовлений з непрокаленого нафтового коксу, кам'яновугільного пеку з добавкою природного графіту. Використовують для виготовлення деталей і вузлів, які працюють в умовах сухого, напівсухого і рідинного тертя.

3. Сірий шлам (СШ) – тверда або пастоподібна суміш відходів (шлам) процесу Байєра – технології видалення та очищення оксиду алюмінію (сировини для видобутку алюмінію) з бокситів. Складається з суміші оксидів (мас. ч.): заліза – 32…35, алюмінію – 6…9, кремнію – 13…14, кальцію – 14…16, титану – 5…6, ванадію –1,0…2,0, олова – 1,0…1,3 та інші оксиди – до 100 мас.ч.

Додатково досліджували властивості КМ, наповненого гранулами поліаміду 6 (ПА-6 первинний) (ОСТ 6-06-С9-93), який є полімером на основі синтетичних високомолекулярних сполук, що містять в основному ланцюгу амідні групи -CONH-. Розміри гранул: діаметр $d = 3{,}2 \pm 0{,}1$ мм, довжина $l = 3{,}5 \pm 0{,}1$ мм.

Вміст наповнювачів змінювали у межах: $q = 0…100$ мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру CHS-Epoxy 525.

Ударну в'язкість визначали за допомогою маятникового копра згідно методу Шарпі (ГОСТ 4647-80). Визначали робочий кут відхилення маятника після руйнування зразка при наперед заданому початковому куті підйому робочого тіла установки. Дослідження проводили за температури $T = 298 \pm 2$ К і відносній вологості $d = 50 \pm 5$ %. Використовували зразки з розміром: $l \times b \times h = (65 \times 12 \times 12) \pm 0{,}5$ мм.

Структуру зламу КМ досліджували на металографічному мікроскопі моделі XJL-17AT, який обладнаний камерою Levenhuk C310 NG (3,2 Mega Pixels). Діапазон збільшення зображення від ×100 до ×1600 разів. У роботі зразки досліджували при збільшенні у ×100, ×200 та ×400 разів. Для обробки цифрових зображень використовували програмне забезпечення «Levenhuk ToupView».

Затверджували матеріали за експериментально встановленим режимом: формування зразків та їх витримування впродовж часу $t = 12{,}0 \pm 0{,}1$ год за температури $T = 293 \pm 2$ К, нагрівання зі швидкістю $\upsilon = 3$ К/хв до температури $T = 433 \pm 2$ К, витримування зразків за даної температури впродовж часу $t = 2{,}0 \pm 0{,}05$ год, повільне охолодження до температури $T = 293 \pm 2$ К. З метою стабілізації структурних процесів у матриці зразки витримували впродовж часу $t = 24$ год на повітрі за температури $T = 293 \pm 2$ К з наступним проведенням експериментальних випробувань.

Результати досліджень та їх обговорення. Як було зазначено вище, згідно результатів попередніх досліджень встановлено оптимальну концентрацію твердників ПЕПА (5 мас.ч.) і Telalit 410 (5 мас.ч.) у епоксидному олігомері CHS-Epoxy 525 (100 мас.ч.) для формування КМ з поліпшеними когезійними властивостями [3, 4]. Також досліджено вплив наповнювачів різної природи і дисперсності на фізико-механічні властивості та теплостійкість (за Мартенсом) КМ. Проте відомо [1, 5], що важливою характеристикою матеріалів в умовах експлуатації при знакозмінних навантаженнях є показники їх ударної в'язкості. Тому нами було

досліджено ударну в'язкість КМ за різного вмісту наповнювачів з дисперсністю 5…10 мкм (рис. 1).

Відповідно до отриманих результатів можна констатувати, що показники ударної в'язкості матеріалів (рис. 1) при додаванні дрібнодисперсних наповнювачів різної природи зростають (рис. 1). Причому значення ударної в'язкості матеріалів з частками наповнювачів перліту (рис. 1, крива 1) та охри (рис. 1, крива 2) зростають за незначного вмісту добавок (q = 10 мас.ч. наповнювача на 100 мас.ч. оліґомеру) (тут і далі за текстом вміст твердника і наповнювача наведено у мас.ч. на 100 мас.ч. оліґомеру). Для КМ, наповненого частками перліту (за наведеного вище вмісту добавки), показники збільшуються від a = 1,8 кДж/м^2 (для епоксидної матриці) до a = 7,6 кДж/м^2, а для КМ, наповненого частками охри, – до a = 4,5 кДж/м^2. Далі збільшення вмісту часток, призводить до погіршення показників ударної в'язкості. Виходячи з цього можна констатувати, що за вмістом перліту у КМ q = 10 мас.ч. матеріал характеризується найвищими показниками ударної в'язкості. Отриманий результат можна пояснити тим, що при даному вмісті частки дрібнодисперсного наповнювача максимально рівномірно розташовуються у об'ємі КМ. При цьому навколо часток наповнювача утворюються зовнішні поверхневі шари максимального об'єму [6]. Це зумовлено не лише рівномірним розташуванням наповнювача в об'єму композиції, але й формуванням кінетичної та термодинамічної рівноваги у системі. У результаті підвищується ступінь гелеоутворення у матриці, що приводить, відповідно, до підвищення показників ударної в'язкості таких КМ [7]. Збільшення вмісту наповнювача призводить до перенасичення композиту наповнювачем, погіршення його змочування макромолекулами зв'язувача, в результаті чого вони стають концентраторами напружень у КМ. У свою чергу це призводить до інтенсивного поширення тріщин у матеріалі під час удару і, як наслідок, зменшуються показники їх ударної в'язкості.

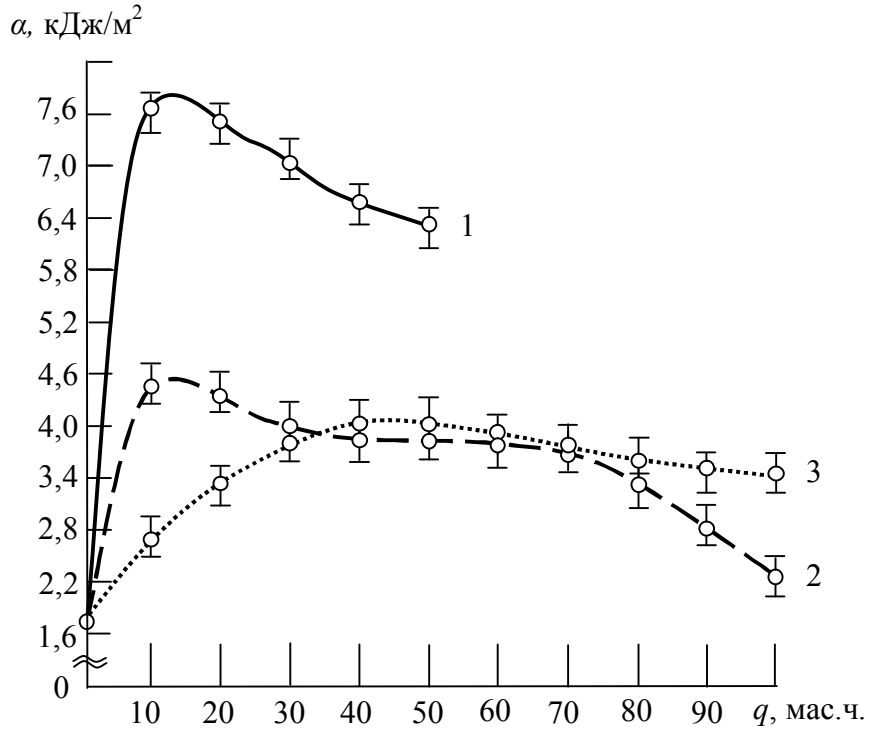
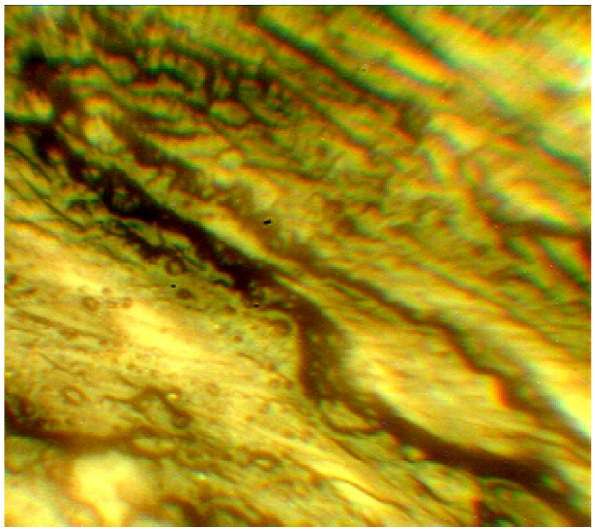


Рисунок 1 – Залежність ударної в'язкості КМ від вмісту наповнювачів (5…10 мкм), мас.ч:
1 – перліт; 2 – охра; 3 – деревне вугілля

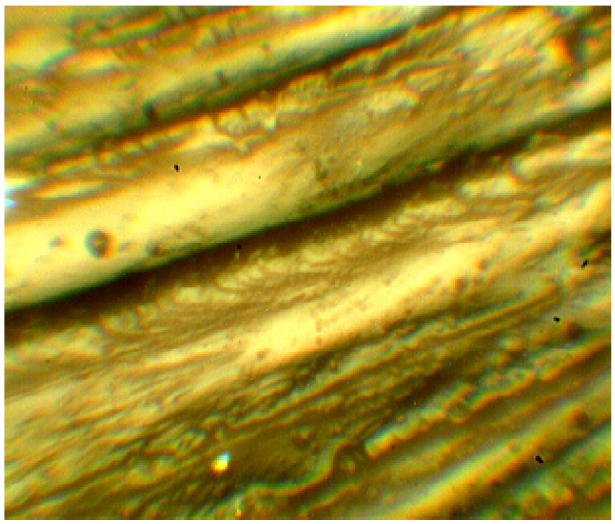
Показники ударної в'язкості КМ, наповненого частками деревного вугілля (рис. 1, крива 3), також монотонно зростають при збільшенні вмісту добавки. Максимальні значення ударної в'язкості (a = 4,0 кДж/м^2) матеріалів з частками деревного вугілля спостерігали за вмісту останніх – q = 40…50 мас. ч. Це пояснюють тим, що

деревне вугілля є продуктом згорання і завдяки значній кількості атомів вуглецю частки даної добавки є активними до взаємодії з групами та сегментами макромолекул епоксидного олігомеру. Слід зазначити, що поліпшення властивості КМ спостерігали за підвищення вмісту часток до q = 50 мас. ч. Надалі збільшення вмісту часток призводить до погіршення міцності при ударі КМ з даним наповнювачем, що, у свою чергу, зумовлено підвищенням крихкості матеріалів.

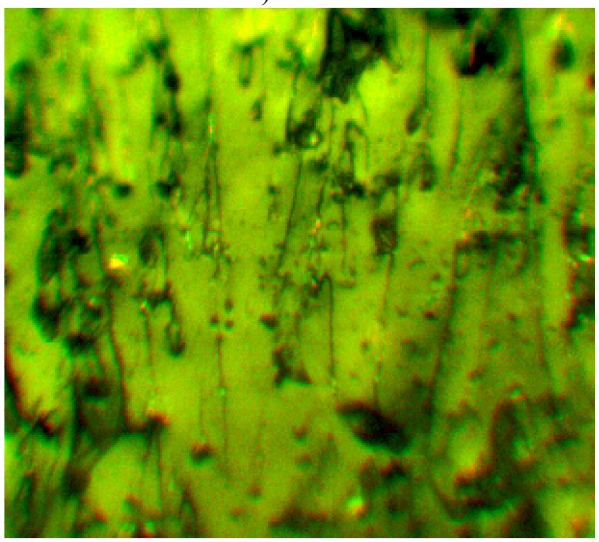
Для підтвердження отриманих результатів додатково досліджували поверхню зламу зразків з наповнювачами різної природи та безпосередньо матриці (рис. 2). Аналізуючи отримані фрактограми зламу, встановили, що поверхня матриці відзначається лініями сколювання, які загалом характеризують її напружений стан (рис. 2, а, б). Причому, лінії сколювання матриці чіткі і яскраво виражені. Це дозволяє стверджувати про утворення в матеріалі підвищених залишкових напружень, які призводять до збільшення крихкості і, як наслідок, до підвищення швидкості поширення тріщин. Тобто, аналіз фрактограм зламу додатково підтверджує результати випробувань ударної в'язкості епоксидної матриці, показники якої є незначними (рис. 1).



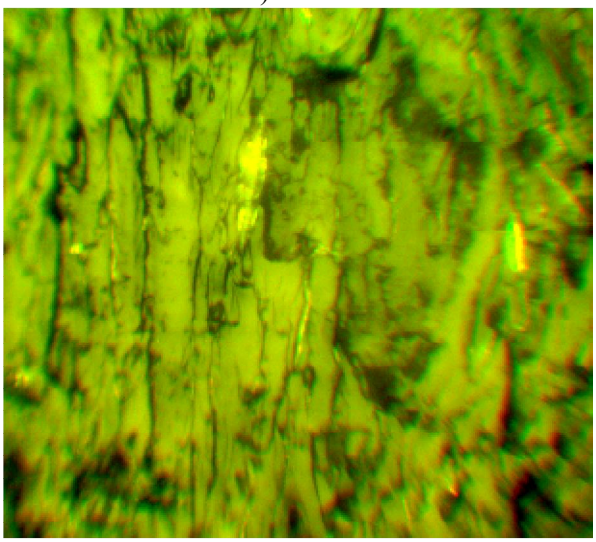
а) × 100



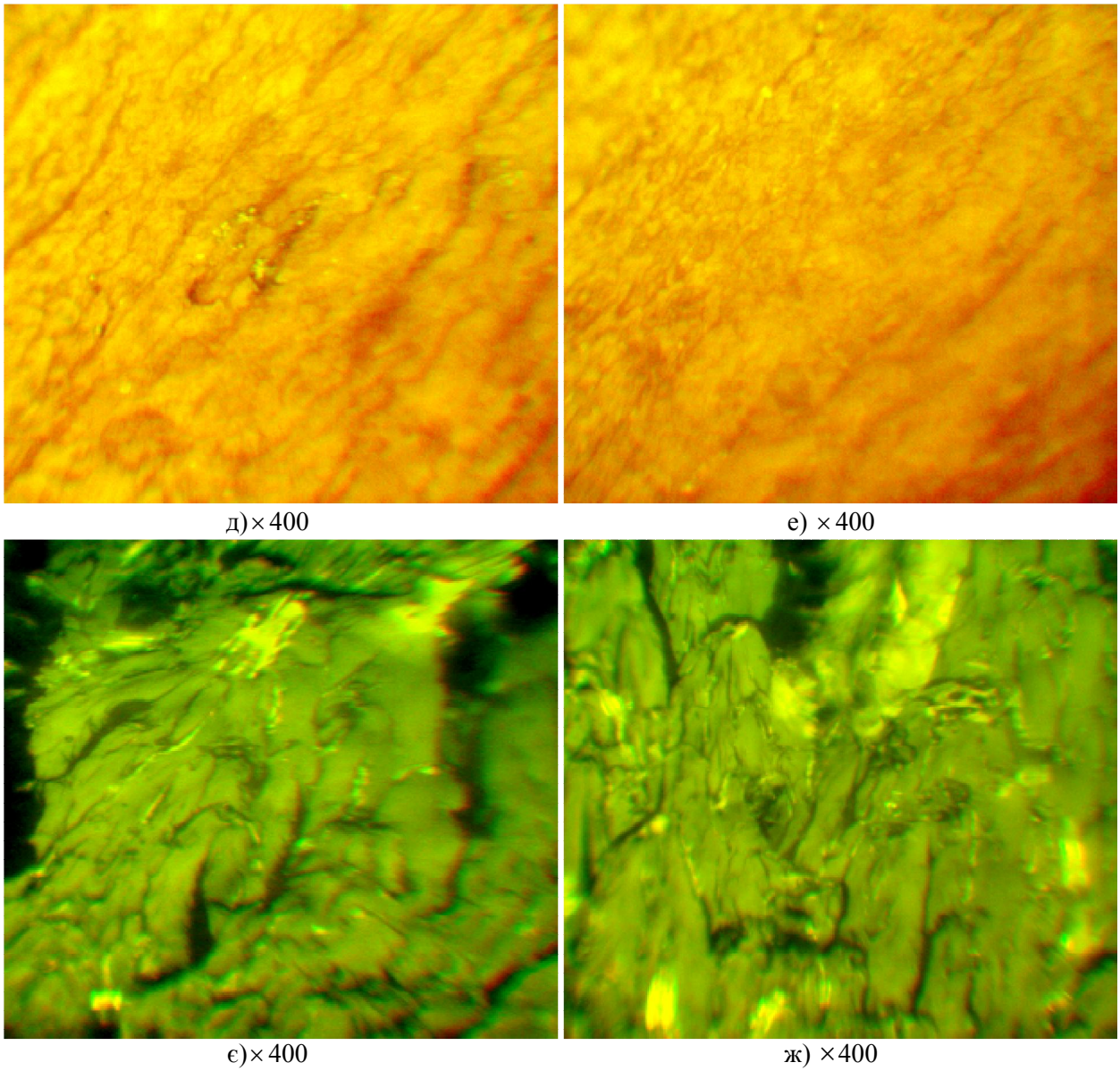
б) × 200



в)× 400



г) × 400



д)×400 е) ×400

є)×400 ж) ×400

Рисунок 2 – Фрактограми зламу КМ (дисперсність часток – 5…10 мкм, q = 10 мас. ч.): а), б) матриця (контрольний зразок); в), г) КМ з часками перліту; д), е) КМ з частками охри; є) ж) КМ з частками деревного вугілля

Встановлено, що поверхня зламу матеріалів з частками перліту характеризується вираженими плавними лініями переходу і неглибокими утвореннями (рис. 2в, г). Можна констатувати про формування матеріалу з незначним напруженим станом, що зумовлює підвищення його в'язкості. Відповідно такі КМ характеризуються підвищеним ступенем зшивання на межі поділу фаз «полімер-наповнювач». Тобто, зі збільшенням в'язкості матеріалу швидкість поширення тріщини зменшується, а, отже, й збільшуються показники його ударної в'язкості (рис. 1).

Аналогічні висновки можна зробити при аналізі фрактограм зламу КМ з частками охри (рис. 2д, е). Однак, на поверхні зламу таких зразків спостерігали лінії, які мають розгалужений характер. Помітні мікротріщини, що свідчить про наявність локальних і залишкових напружень у матеріалі.

На фрактограмах зламу КМ, наповненого частками деревного вугілля (рис. 2є, ж), відмічено лінії сколювання хаотичного розташування. Це дозволяє стверджувати про значний напружений стан такого матеріалу і, відповідно, про високу швидкість поширення тріщин під час впливу ударних навантажень. Відповідно, такі КМ відзначаються не достатньо високими показниками ударної в'язкості (рис. 1, крива 3).

Отже, можна констатувати, що наповнювачі з дисперсністю 5…10 мкм є активними до взаємодії з епоксидними та гідроксильними групами епоксидного зв'язувача. Показники ударної в'язкості КМ при введені у зв'язувач наповнювачів за оптимального вмісту збільшуються, порівняно з епоксидною матрицею, у 2,0…3,5 разів. Проте максимальною здатністю протидіяти ударним навантаженням і його тріщиностійкості відзначається епоксидний матеріал з частками перліту (q = 10 мас.ч.). Ударна в'язкість такого композиту становить – a = 7,6 кДж/м^2.

На наступному етапі досліджували ударну в'язкість КМ за різного вмісту наповнювачів з дисперсністю 63…80 мкм та гранул поліаміду ($d = 3{,}2 \pm 0{,}1$ мм, $l = 3{,}5 \pm 0{,}1$ мм). Встановлено (рис. 2), що при введенні у зв'язувач часток з дисперсністю 63…80 мкм показники ударної в'язкості КМ монотонно зростають до критичних значень наповнювача. Крім того, максимуми на кривих залежності ударної в'язкості КМ від вмісту часток з дисперсністю 63…80 мкм зміщені праворуч, порівняно з аналогічними піками залежності $a – q$ для часток з дисперсністю 5…10 мкм. Доведено (рис. 1), що при введенні у зв'язувач дрібнодисперсних (5…10 мкм) часток максимальні значення ударної в'язкості КМ спостерігали за критичного вмісту наповнювача q = 10 мас.ч. Водночас при введенні у зв'язувач часток з дисперсністю 63…80 мкм максимальні значення ударної в'язкості КМ спостерігали за критичного вмісту наповнювача q = 30…50 мас.ч. (рис. 3). Виняток становлять лише КМ з частками графіту марки АГ-1500, ударна в'язкість якого збільшується до максимального можливого наповнення (q = 80 мас.ч.) при гідродинамічному суміщенні компонентів без застосування допоміжних засобів і становить a = 4,4 кДж/м^2 (рис. 3, крива 2). Це пояснюють тим, що питома площа поверхні наповнювачів при збільшенні розмірів часток зменшується. Відповідно, для поліпшення міжфазової взаємодії при зшиванні КМ необхідно збільшити критичний вміст часток. Отже, для поліпшення когезійної міцності КМ, а, отже, й підвищення показників їх ударної в'язкості необхідним є формування структури композитів із щільним розташуванням макромолекул. Цього досягають збільшенням вмісту наповнювачів у КМ до критичних значень.

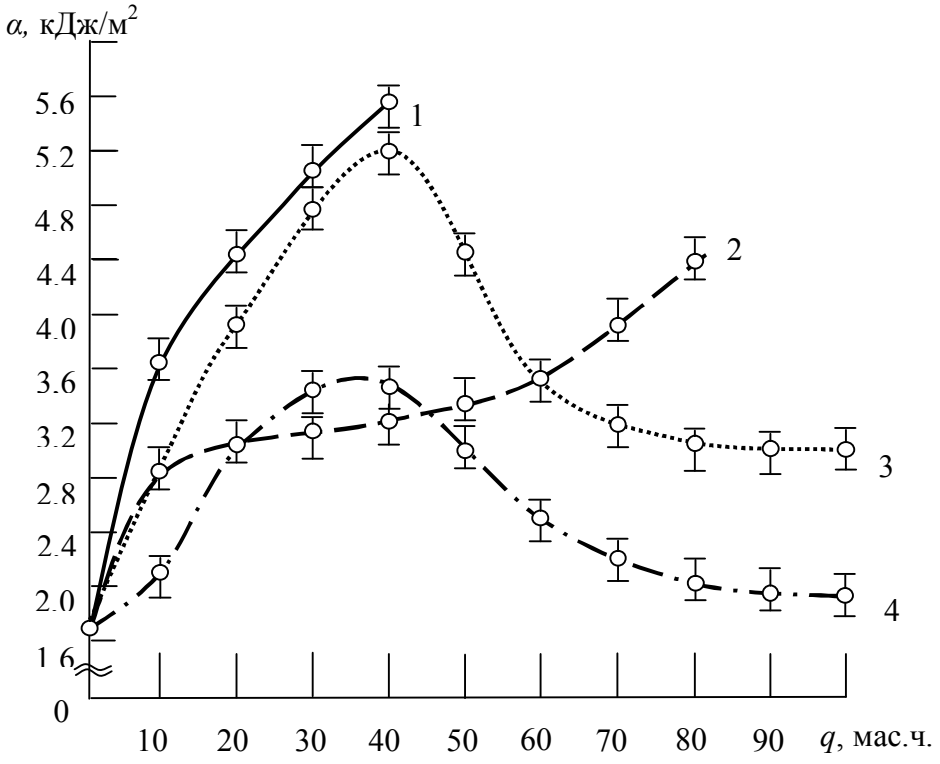


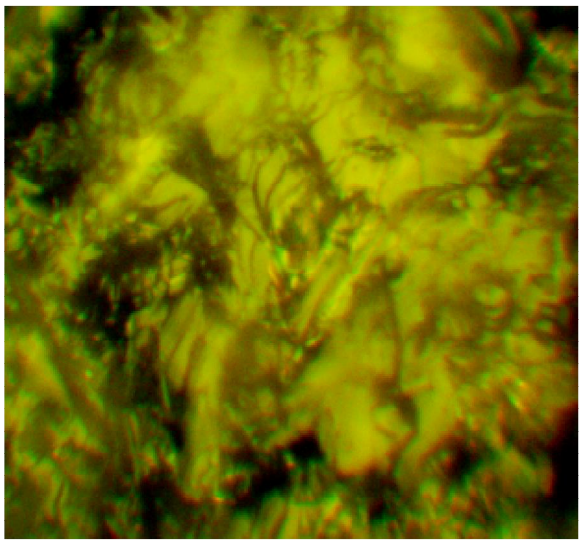
Рисунок 3 – Залежність ударної в'язкості КМ від вмісту наповнювачів (63…80 мкм), мас.ч:
1 – перліт; 2 – графіт АГ-1500; 3 – СШ; 4 – поліамід
(гранули: $d = 3{,}2 \pm 0{,}1$ мм, $l = 3{,}5 \pm 0{,}1$ мм)

Додатково встановлено, що найвищими показниками ударної в'язкості відзначається композит, наповнений частками перліту (рис. 3, крива 1). Максимум на кривій залежності ударної в'язкості від кількості часток перліту (63…80 мкм) спостерігали за вмістом останніх $-q = 40$ мас.ч. У такому випадку формується матеріал із значеннями ударної в'язкості $a = 5{,}5$ кДж/м^2. Слід зазначити, що гідродинамічне розмішування композицій з частками перліту (63…80 мкм) без застосування допоміжного обладнання (аналогічно, як і сумішей з частками перліту з дисперсністю 5…10 мкм) можливе за максимального наповнення зв'язувала даними добавками за вмістом $q = 40…50$ мас.ч. Це зумовлено високою адсорбційною здатністю наповнювача щодо епоксидного оліґомеру.

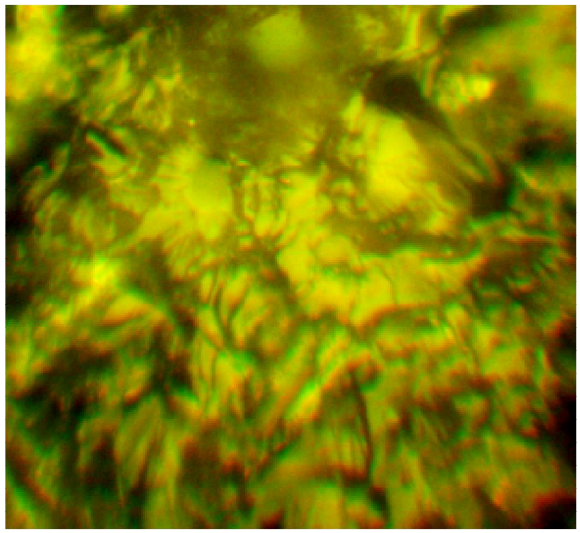
Максимальні значення ударної в'язкості КМ, наповненого частками СШ (рис. 3, крива 3), майже не відрізняються від показників КМ з перлітом і становлять $a = 5{,}2$ кДж/м^2 (за вмістом наповнювача $q = 40$ мас.ч.).

Додатково досліджували ударну в'язкість КМ, що містять гранули поліаміду (рис. 3, крива 4). Встановлено несуттєве поліпшення показників міцності при ударі композитів з даними добавками. Максимум ударної в'язкості спостерігали для КМ, наповнених поламідом, за вмісту гранул $q = 30…40$ мас.ч. У цьому випадку показники зростають від $a = 1{,}8$ кДж/м^2 (для епоксидної матриці) до $a = 3{,}4$ кДж/м^2. Гранули такого наповнювача, порівняно з іншими досліджуваними у роботі частками, мають достатньо значний розмір. При структуроутворенні вони армують епоксидні композити і є бар'єром для поширення тріщин у матеріалах, що зумовлює, хоч і не суттєве, підвищення показників ударної в'язкості КМ. На наш погляд, це зумовлено тим, що при структуроутворенні композитів не відбувається міжфазової хімічної взаємодії (лише фізична) поліаміду з епоксидним оліґомером. При цьому формуються матеріали з незначною ударною в'язкістю. Можливо, такі матеріали відзначатимуться підвищеними показниками зносостійкості, що буде досліджено у майбутньому і в рамках даної роботи не розглядається.

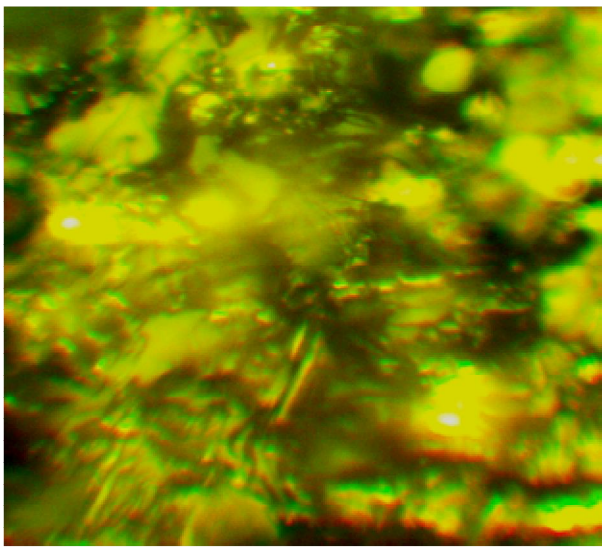
Для підтвердження наведених вище теоретичних положень і результатів експерименту надалі досліджували поверхню зламу композитів методом оптичної мікроскопії. Показано (рис. 4), що топологія поверхні композитів з частками перліту (рис. 4а, б) і СШ (рис. 4д, е) має подібний і, водночас, в'язкий характер. Це свідчить про те, що такі матеріали відзначаються рівномірним розподілом наповнювача й, відповідно, структура таких КМ характеризується термодинамічною рівновагою. Слід зазначити, що показники ударної в'язкості матеріалів з частками перліту та СШ (за вмісту $q = 40$ мас.ч.) практично не відрізняються (різниця становить $\Delta a = 0{,}3$ кДж/м^2).



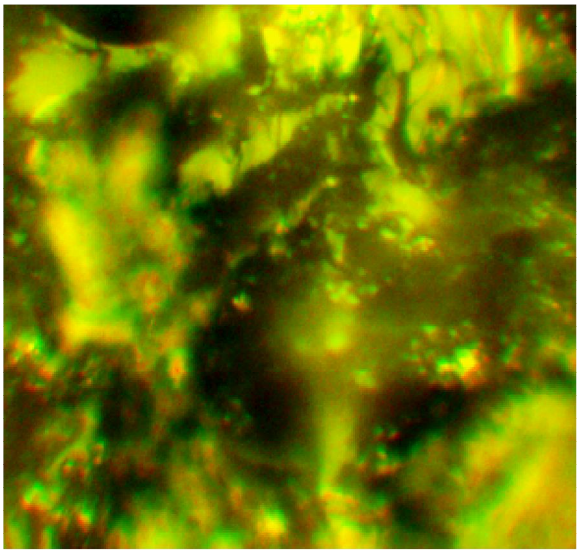
а) ×400



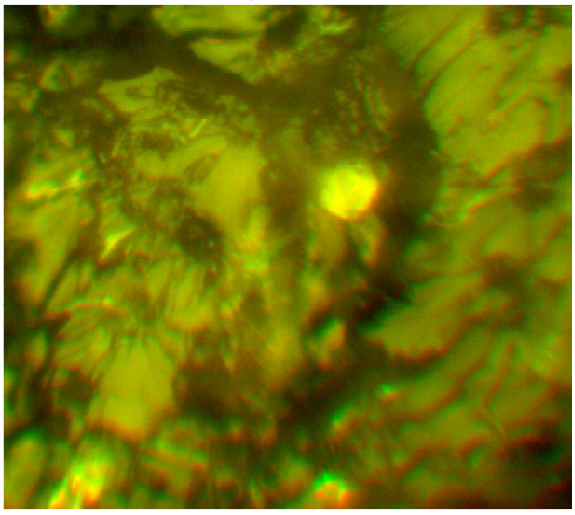
б) ×400



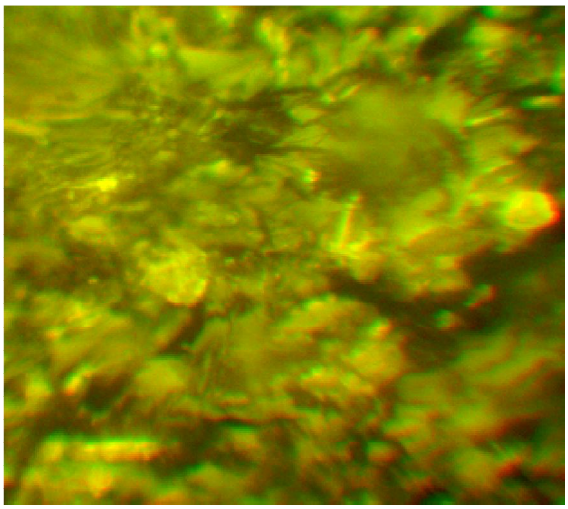
в) ×400



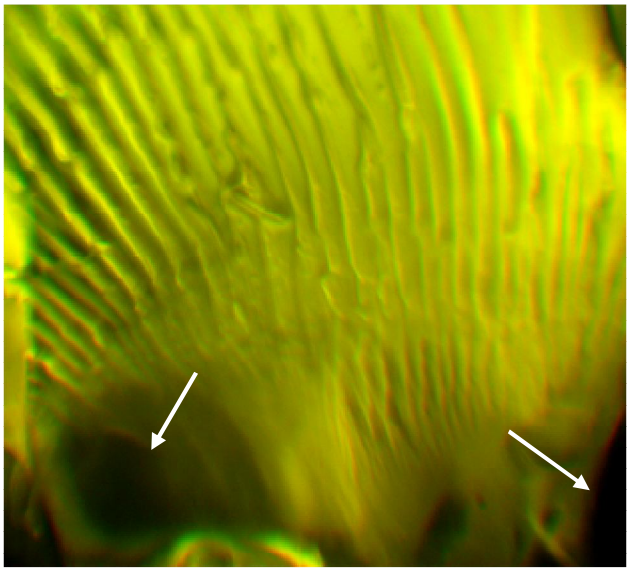
г) ×400



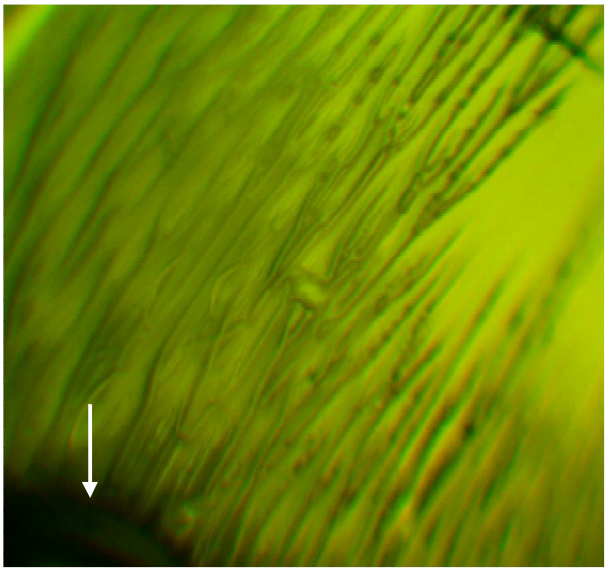
д) ×400



е) ×400



є) ×400



ж) ×400

Рисунок 4 – Фрактограми зламу КМ (дисперсність часток – 63…80 мкм, q = 40 мас.ч.):
а), б) КМ з часками перліту в), г) КМ з часками графіту АГ-1500; д), е) КМ з частками СШ;
є) ж) КМ з гранулами поліаміду ($d = 3{,}2 \pm 0{,}1$ мм, $l = 3{,}5 \pm 0{,}1$ мм)

Поверхня зламу КМ з частками графіту АГ-1500 (рис. 4, в, г) характеризується наявністю кратерів значної глибини та хаотичністю ліній сколювання. Це дозволяє стверджувати про активацію процесів полімеризації за наявності часток графіту, що поліпшує когезійну міцність матеріалів. Водночас матеріали характеризуються градієнтом напружень, що призводить до погіршення показників ударної в'язкості.

Результати аналізу поверхні зразків на основі епоксидної матриці і поліаміду дозволяють констатувати про те, що гранули є концентраторами напружень. З рис. 4є, ж помітно, що лінії сколювання мають направлений характер і беруть початок у міжфазовій області «наповнювач–епоксидна матриця» (показано стрілками). Тріщини мають глибокі, яскраво виражені лінії, що характерно для КМ зі значним напруженим станом. Відповідно, швидкість поширення тріщин у таких композитах при ударних навантаженнях є високою.

Отже, можна констатувати, що у КМ, при наповнені частками з розмірами 63…80 мкм за критичного вмісту, показники ударної в'язкості є достатньо великими. Проте, слід зазначити, що серед усіх досліджуваних у роботі матеріалів максимальними показниками ударної в'язкості відзначаються композити, які містять наповнювачі з дисперсністю 5…10 мкм. Це, у першу чергу, зумовлено тим, що такі частки при введенні у зв'язувач за критичного вмісту рівномірно розподіляються у об'ємі композиту. Відповідно, матеріали характеризуються поліпшеною когезійною міцністю, а, отже, й ударною в'язкістю.

Виходячи з цього, цікавим для подальших досліджень є створення матеріалів з комплексним двокомпонентним наповнювачем (частки різної природи і дисперсності). Введення такого наповнювача за критичного вмісту, на наш погляд, забезпечить не лише рівномірний розподіл часток у об'ємі композиту, але й сприятиме утворенню навколо часток повеневих шарів з поліпшеними властивостями максимальної товщини.

Висновки. На основі результатів експериментальних досліджень можна констатувати наступне:

1. Доведено, що наповнювачі з дисперсністю 5…10 мкм є активними до взаємодії з епоксидними та гідроксильними групами епоксидного зв'язувача. Показники ударної в'язкості композитів при введені у зв'язувач наповнювачів за оптимального вмісту збільшуються, порівняно з епоксидною матрицею, у 2,0…3,5 разів. Проте максимальною здатністю протидіяти ударним навантаженням і його тріщиностійкості відзначається епоксидний матеріал з частками перліту (q = 10 мас.ч.). Ударна в'язкість такого композиту становить – a = 7,6 кДж/м^2.

2. Встановлено, що у композитах, при наповнені частками з розмірами 63…80 мкм за критичного вмісту, показники ударної в'язкості є достатньо великими (a = 3,2…5,6 кДж/м^2). Проте, слід зазначити, що серед усіх досліджуваних у роботі матеріалів максимальними показниками ударної в'язкості відзначаються композити, які містять наповнювачі з дисперсністю 5…10 мкм. Це, у першу чергу, зумовлено тим, що такі частки при введенні у зв'язувач за критичного вмісту рівномірно розподіляються у об'ємі композиту. Відповідно, матеріали характеризуються поліпшеною когезійною міцністю, а, отже, й ударною в'язкістю.

3. Обґрунтовано, що для стабілізації термодинамічного стану систем після їх зшивання та підвищення показників ударної в'язкості композитів доцільно у епоксидний зв'язувач вводити комплексний двокомпонентний наповнювач (частки різної природи і дисперсності). Введення такого наповнювача за критичного вмісту, на наш погляд, забезпечить не лише рівномірний розподіл часток у об'ємі композиту, але й сприятиме утворенню навколо часток повеневих шарів з поліпшеним властивостями максимальної товщини.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Полимерные композиционные материалы : структура, свойства, технология : учеб. пособие / [М. Л. Кербер, В. М. Виноградов, Г. С. Головкин и др.] ; под ред. А. А. Берлина. – СПб. : Профессия, 2008. – 560 с.

2. Тхір І. Г. Фізико-хімія полімерів : навч. посібник / І. Г. Тхір, Т. В. Гуменецький. – Львів : вид. Нац. універ. «Львівська політехніка», 2005. – 240 с.

3. Браїло М. В. Дослідження впливу твердників у комплексі на фізико-механічні властивості епоксидної матриці / М. В. Браїло, В. М. Красненький // Матеріали 4-ї Всеукр. наук.-практ. конф. «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування». – Херсон : Херсонська державна морська академія, 2013. – С. 83-86.

4. Браїло М. В. Дослідження впливу вмісту твердника і температури зшивання на властивості епоксидних зв'язувачів / М. В. Браїло // Вісн. Житом. держ. технол. універ. Серія : Технічні науки. – 2013. – № 2 (65). – С. 3-12.

5. Марущак П. О. Масштабные уровни деформации и разрушения теплостойких сталей / П. О. Марущак, С. В. Панин, А. З. Студент, Б. Б. Овечкин ; отв. ред. В. Ф. Пичугин. – Томск : Изд-во национального исследовательского Томского политехнического университета, 2013. – 236 с.

6. Букетов А. В. Вплив ультразвукової обробки на фізико-механічні і теплофізичні властивості епоксидних нанокомпозитів / А. В. Букетов, О. О. Сапронов, М. В. Браїло, В. Л. Алексенко // Фізико-хімічна механіка матеріалів. – 2013. – № 5. – С. 126-132.

7. Курта С. А. Наповнювачі – синтез, властивості та використання : навч. посіб / С. А. Курта – Івано-Франківськ : Вид-во Прикарпат. нац. ун-ту ім. В. Стефаника, 2012. – 296 с.

Браило М.В. ИССЛЕДОВАНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ ЭПОКСИКОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Проанализирована динамика ударной вязкости композитных материалов при введении различных по природе и дисперсности частиц наполнителей. Обосновано, что в композитах, наполненных частицами с размерами 63…80 мкм при критическом содержании, показатели ударной вязкости являются достаточно большими (*а *= 3,2…5,6 кДж/м^2). Однако, установлено, что среди всех исследуемых в работе материалов максимальными показателями ударной вязкости отличаются композиты, которые содержат наполнители с дисперсностью 5…10 мкм (*а *= 4,0…7,6 кДж/м^2). Доказано, что при формировании эпоксидных материалов с улучшенными свойствами при эксплуатации в условиях динамических и ударных нагрузок необходимо в связующее вводить 40...50 мас.ч. частиц перлита дисперсностью 5...10 мкм на 100 мас.ч. эпоксидного олигомера ЭД-20. Ударная вязкость такого композита составляет –* а *= 7,6 кДж/м^2. Полученные результаты механических испытаний подтверждены исследованиями методом оптической микроскопии.*

Ключевые слова: эпоксидный композит, ударная вязкость, наполнитель.

Brailo M.V. STUDY TOUGHNESS OF EPOXY COMPOSITE MATERIALS

The dynamics of the toughness of the composite material with the introduction of various nature and particulate fillers. It is proved that in composites filled with particles of size 63...80 microns at the critical content, toughness indices are large enough (a = 3.2...5.6 kJ/m^2). However, it was found that among all study materials in the maximum rates observed toughness composites which contain fillers dispersion 5...10 microns (a = 4.0...7.6 kJ/m^2). It is proved that the formation of epoxy materials with improved properties in operation and under dynamic impact loads must be administered in a binder 40...50 parts perlite particle dispersion 5...10 microns by weight per 100 parts epoxy oligomer ED-20. Toughness of the composite is a = 7,6 kJ/m^2 The obtained results of mechanical tests confirmed by studies by optical microscopy.

Keywords: epoxy composite, the toughness, the filler.

Статтю прийнято
до редакції 19.04.14.

УДК 667.64:678.026

ОПТИМІЗАЦІЯ ЧАСУ ОБРОБКИ ФЕРОМАГНІТНИХ НАПОВНЮВАЧІВ ТА ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИЦІЙ У ВИСОКОЧАСТОТНОМУ МАГНІТНОМУ ПОЛІ З УРАХУВАННЯМ ЯВИЩА МАГНІТНОЇ В'ЯЗКОСТІ

Букетов А.В., Скирденко В.О.
Херсонська державна морська академія

Аналіз проведених досліджень впливу параметрів високочастотної магнітної обробки та отримане рівняння регресії другого порядку дозволили встановити, що домінуючий вплив на фізико-механічні властивості епоксикомпозитів з частками сталі 45 та залізного сурику має час обробки як композиції, так і наповнювача в індукторі установки. Додатково з метою з'ясування впливу часу обробки на адгезійну міцність епоксикомпозитів, наповнених феромагнітними матеріалами, була проведена серія однофакторних досліджень, яка дала можливість встановити наступне. Внаслідок явища магнітної в'язкості намагніченість встановлюється після зміни напруженості поля лише через деякий час. У нашому випадку для зазначених феромагнітних наповнювачів намагніченість матеріалів спостерігали в межах від 5-ти до 10-ти хв обробки і надалі вона майже не змінюється.

Ключові слова: епоксидний композит, феромагнітні наповнювачі, адгезійна міцність, магнітна в'язкість.

Постановка проблеми. Епоксидні смоли, завдяки своїй універсальності та спрощеній технології полімеризації, знайшли широке застосування при виробництві полімерних композитних матеріалів для захисних покриттів різного функціонального призначення. Це, в першу чергу, відноситься до формування виробів і покриттів у машинобудуванні, суднобудуванні, електрорадіотехніці, будівництві та ін. Переважно епоксидні композити використовують в промисловості у вигляді полімерних компаундів, клеїв, захисних покриттів чи полімербетонів. Завдяки унікальному поєднанню комплексу експлуатаційних характеристик, таких як поліпшені когезійні властивості, добра адгезія до різного роду матеріалів (субстратів), висока стійкість до дії агресивних середовищ, порівняно висока теплостійкість та відмінні діелектричні характеристики, епоксидні КМ значно переважають існуючі традиційні матеріали, в яких застосовують мінеральні зв'язувачі на основі інших синтетичних смол. При цьому міцність епоксидних полімерів, що містять пластифікатори, наповнювачі і модифікатори, а також поверхнево-активні речовини може досягати при розтягу 100…150 МПа, при стисканні 300…400 МПа, при згинанні 200…220 МПа, а модуль пружності, в деяких випадках, може досягати 5 ГПа [1]. У цьому сенсі однією з найважливіших переваг застосування епоксидних композитів у промисловості, будівництві, ремонті автотранспортної техніки та виробництві продукції електрорадіопідприємств є можливість у широких межах модифікувати структуру і, як наслідок, підвищувати експлуатаційні характеристики епоксиполімерів і композитів на їх основі.

Найбільш широко застосовують фізико-хімічні методи модифікації структури епоксиполімерів шляхом регулювання складу епоксикомпозитів, введенням, в першу чергу, в епоксидний зв'язувач різних за своєю природою та дисперсністю наповнювачів, а також пластифікаторів, поверхнево-активних речовин та інших модифікаторів [2]. У результаті варіювання зазначених речовин можливо отримати полімерні матеріали з наперед заданим комплексом фізико-механічних та експлуатаційних характеристик.

У процесі експлуатації епоксидні композитні матеріали (ЕКМ) піддаються комплексу зовнішніх впливів, а саме: статичному і динамічному навантаженню, високим і низьким температурам в доволі широкому діапазоні, а також дії агресивного середовища, що може призвести до різкого зниження початкових експлуатаційних характеристик, а у деяких випадках – до руйнування матеріалу. Тому, з практичного погляду, важливим питанням під час проектування і дослідження деталей машин у комплексі із захисними



епоксидними покриттями виникає необхідність визначати допустиму область їх використання, що, у свою чергу, надасть можливість надійного прогнозування їх працездатності і довговічності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Обробка ЕКМ енергетичними полями (магнітним, ультразвуковим, електростатичним, ультрафіолетовим, радіаційним) дає можливість в широкому діапазоні регулювати параметри структури і властивості композитів, не змінюючи їх хімічного складу. Наявність при цьому в епоксидній матриці активних дисперсних часток, як правило, буде створювати умови для отримання ЕКМ із заданою структурою, що зумовлює формування матеріалів з поліпшеними властивостями. У працях [3–6] доведено, що обробка зовнішніми полями у процесі формування матеріалів підвищує їх експлуатаційні характеристики. Це зумовлено орієнтацією ланцюгів макромолекул навколо часток наповнювача, що передбачає формування структури матеріалів з підвищеним вмістом гель-фракції. Особливу зацікавленість викликають експериментальні дослідження у напрямку впливу як постійного, так і змінного магнітного поля на властивості композитів. У першу чергу це стосується обробки феро- та ферімагнетиків, що вводять у склад епоксидного зв'язувала як наповнювач. У цьому аспекті цікавим є використання високочастотної магнітної обробки (ВЧМО) (1…300 МГц) як безпосередньо епоксидного зв'язувала чи феромагнітних наповнювачів незалежно, так і композицій в цілому. При цьому слід враховувати складні практичні умови експлуатації магнітооброблених матеріалів, які повинні мати комплекс не тільки магнітних, але й інших фізичних властивостей: електричних, механічних, теплових та ін.

Раніше проведені нами дослідження [7] дозволили встановити, що серед основних параметрів ВЧМО домінуючий вплив як на адгезійну міцність при відриві, так і на інші властивості ЕКМ, наповнених частками залізного сурику (Fe_2O_3) та сталі 45, має час обробки у полі індуктора установки для магнітної обробки. Тому важливим на даному етапі досліджень є оптимізація тривалості магнітної обробки незалежно наповнювача та композицій для отримання матеріалів з поліпшеними властивостями.

Мета роботи – встановити залежність властивостей епоксидних композитів від тривалості обробки у високочастотному магнітному полі феромагнітного наповнювача і композицій в цілому.

Матеріали та методика дослідження. Як основний компонент для зв'язувача при формуванні епоксидних КМ вибрано епоксидний діановий олігомер марки ЕД-20 (ГОСТ 10587-84). Для зшивання епоксидних композицій використано твердник поліетиленполіамін (ПЕПА) (ТУ 6-05-241-202-78), що дозволяє затверджувати матеріали при кімнатних температурах. Твердник вводили у епоксидний олігомер при співвідношенні – ЕД-20 : ПЕПА – 10 : 1. Як наповнювач використовували феромагнітні частки таких матеріалів:

1) залізний сурик (8…12 мкм), що складається із суміші мікроелементів і оксиду заліза (Fe_2O_3) (ГОСТ 8135-74);

2) сталь 45 (63 мкм).

Вибір технологічних режимів формування ЕКМ є одним з основних напрямків регулювання їхніх властивостей, тому епоксидні композити формували за такою технологією: попереднє дозування епоксидної діанової смоли ЕД-20 і наповнювача та подальше введення його в епоксидний зв'язувач; гідродинамічне суміщення олігомеру ЕД-20 і дисперсних часток; введення твердника ПЕПА і перемішування композиції впродовж часу $\tau = 5 \pm 0{,}1$ хв. Надалі затверджували ЕКМ за експериментально встановленим режимом: формування зразків та їх витримування впродовж часу $\tau = 12{,}0 \pm 0{,}1$ год при температурі $T = 293 \pm 2$ К, нагрівання зі швидкістю $\upsilon = 3$ К/хв до температури $T = 393 \pm 2$ К, витримування ЕКМ упродовж часу $\tau = 2{,}0 \pm 0{,}05$ год, повільне охолодження до температури $T = 293 \pm 2$ К. З метою стабілізації структурних процесів у матриці зразки витримували впродовж часу $\tau = 24$ год на повітрі при температурі $T = 293 \pm 2$ К з наступним проведенням експериментальних випробувань.

Адгезійну міцність ЕКМ до металевої основи досліджували, вимірюючи руйнівне напруження при рівномірному відриві пари склеєних зразків («метод грибків»). Дослідження проводили згідно ГОСТ 14760-69, вимірюючи силу відривання клейових з'єднань стальних зразків на автоматизованій розривній машині УМ-5 при швидкості навантаження υ = 10 Н/с. Діаметр робочої частини стальних зразків становив d = 25 мм.

Результати досліджень та їх обговорення. Склад і властивості інгредієнтів, як відомо, визначають основні властивості гетерогенних матеріалів [1, 2]. При цьому важливим аспектом поліпшення властивостей ЕКМ є застосування ВЧМО інгредієнтів чи композицій в цілому на попередній стадії формування матеріалів (до введення твердника). Це дозволить прогнозовано здійснити вплив на процеси міжфазової взаємодії і, як результат, забезпечить покращення фізико-механічних властивостей композитів, у тому числі і їх адгезійних властивостей. З метою вибору критично необхідної кількості феромагнітних наповнювачів у ЕКМ попередньо було проведено комплекс експериментів і встановлено, що найбільшу адгезійну міцність мають матеріали із залізним суриком (q = 50 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидної смоли ЕД-20 (тут і далі за текстом вміст наповнювача наведено на 100 мас.ч. епоксидної смоли)) та частками сталі 45 (q = 20 мас.ч.). Вплив ВЧМО на адгезійні властивості ЕКМ з даними частками досліджували, використовуючи метод математичного планування експерименту. Зокрема, застосовували ортогональний центральний композиційний план (ОЦКП) 2^3. При цьому змінні фактори варіювали в наступних межах:

- частота магнітного поля в індукторі (X_1) f = 0,78…4,25 МГц;
- напруженість магнітного поля (X_2) H = 740…1800 А/м;
- час витримки композиції в індукторі до введення твердника (X_3) t = 8…73 с.

На початковому етапі було проведено серію досліджень, яка охоплювала п'ятнадцять експериментів. Дослідження проводили відповідно до рандомізації з наступною математичною обробкою результатів згідно загальноприйнятої методики та алгоритму дій [8]. У результаті отримали наступне рівняння регресії:

$$Y = 46{,}02 + 0{,}55\,X_1 + 2{,}42\,X_2 + 7{,}50\,X_3 - 0{,}61\,X_1X_2 + 0{,}44\,X_1X_3 + 7{,}72\,X_2X_3 - 1{,}78\,X_1^2 + 3{,}47\,X_2^2 - 1{,}17\,X_3^2.$$

Проводили перевірку значущості коефіцієнтів наведеного рівняння за критерієм Стьюдента. При рівні значущості a = 0,05 і числі ступеня вільності f_y = 60 за методикою, наведеною у праці [8], знаходили табличне значення критерію Стьюдента – $t_{таб}$ = 2. Порівнюючи коефіцієнти рівняння регресії з табличним значенням критерію Стьюдента встановили, що коефіцієнти рівняння при X_1, X_1X_2, X_1X_3, X_1^2 та X_3^2 є незначущими. В кінцевому варіанті перетворене рівняння регресії, яке адекватно описує досліджуваний процес має вигляд:

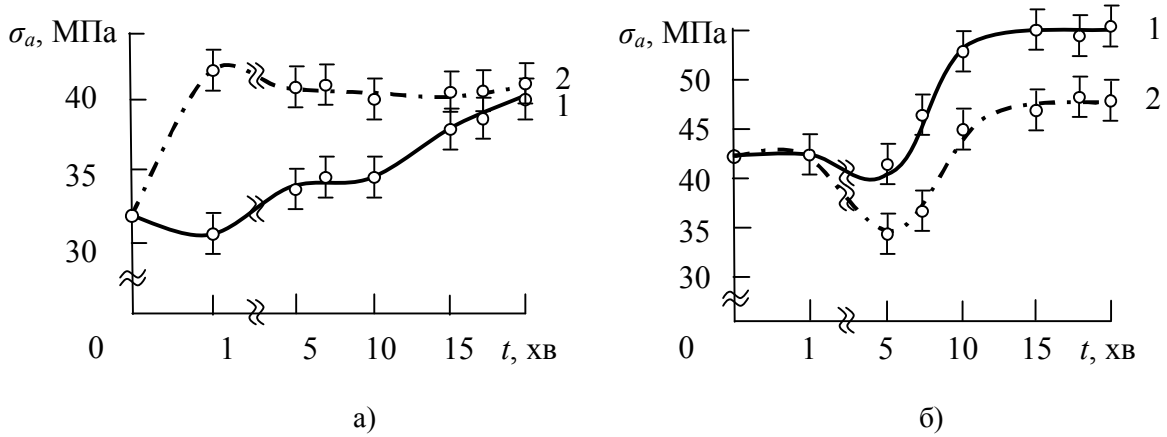
$$Y = 46{,}02 + 2{,}42\,X_2 + 7{,}50\,X_3 + 7{,}72\,X_2X_3 + 3{,}47\,X_2^2.$$

Аналізуючи вплив параметрів ВЧМО на адгезійну міцність ЕКМ з частками залізного сурику (q = 50 мас.ч.) відповідно до отриманого рівняння регресії можна стверджувати, що найбільший вплив на поліпшення властивостей адгезиву має час обробки (X_3) композиції в індукторі. Порівняно з параметром (X_2) – напруженістю магнітного поля, зазначений параметр (X_3) є більше, ніж у три рази, інтенсивнішим.

Аналізуючи отримані результати дослідження припускали, що збільшення адгезійної міцності ЕКМ при відриві можливе при зростанні часу ВЧМО безпосередньо часток феромагнітного наповнювача перед його введенням у епоксидний зв'язувач, а також композицій в цілому. З цією метою і для перевірки висловленого припущення була проведена серія однофакторних експериментів стосовно дослідження впливу часу ВЧМО наповнювача та композицій незалежно на адгезійні властивості ЕКМ. Варіювання діапазону часу проводили в межах Δt = 0…20 хв при стабілізації інших параметрів ВЧМО: частота поля f = 2,25 МГц, напруженість – H = 1265 А/м. На рис. 1 наведено результати

дослідження адгезійної міцності ЕКМ незалежно з частками залізного сурику (q = 50 мас.ч.) та сталі 45 (q = 20 мас.ч.).

Експериментально встановлено (рис. 1,а), що на початковому етапі обробки (у діапазоні часу Δt = 0,1…5 хв) спостерігали зниження адгезійної міцності ЕКМ з σ_a = 42 МПа (для необробленого матеріалу) до σ_a = 40 МПа (при ВЧМО композиції) і з σ_a = 42 МПа до σ_a = 35 МПа (при ВЧМО наповнювача залізного сурику). Надалі збільшення часу обробки з t = 5 хв до t = 10 хв забезпечує збільшення адгезійної міцності ЕКМ до σ_a = 55 МПа (при ВЧМО композиції) і до σ_a = 47 МПа (при ВЧМО наповнювача залізного сурику). Доведено, що збільшення часу ВЧМО композиції і наповнювача понад t = 10 хв приводить до стабілізації адгезійних властивостей ЕКМ (рис. 1а).



а) б)

Рисунок 1 – Залежність адгезійної міцності при відриві (σ_a) ЕКМ, наповнених частками залізного сурику (50 мас.ч.) (а) та сталі 45 (б), від тривалості ВЧМО: 1 – обробка композиції; 2 – обробка наповнювача

Аналогічно досліджували залежність впливу часу ВЧМО композиції та незалежно наповнювача (сталь 45) за вмісту q = 20 мас.ч. на адгезійну міцність ЕКМ. Встановлено монотонне збільшення показників адгезійної міцності ЕКМ при збільшенні часу ВЧМО композиції (рис. 1б). При цьому за тривалості ВЧМО композиції t = 20 хв адгезійна міцність ЕКМ зростає з σ_a = 32 МПа (для необробленого матеріалу) до σ_a = 41 МПа. Іншу картину спостерігали при обробці магнітним полем часток наповнювача. Встановлено, що ВЧМО часток сталі 45 впродовж часу t = 1 хв приводить до максимуму на кривій залежності адгезійної міцності ЕКМ від тривалості обробки (рис. 1,б). За такого часу обробки наповнювача адгезійна міцність ЕКМ зростає від σ_a = 32 МПа до σ_a = 43 МПа. Надалі за збільшення тривалості ВЧМО до t = 20 хв адгезійна міцність матеріалів зменшується до величини σ_a = 41 МПа.

Отримані результати дослідження можна пояснити наступним. Початкове зниження, а потім зростання величини адгезійної міцності ЕКМ з порошками залізного сурику та сталі 45, на наш погляд, можна пояснити затримкою у часі збільшення магнітних характеристик феромагнетиків залежно від зміни напруженості зовнішнього магнітного поля. Внаслідок магнітної в'язкості залишкова намагніченість зразків встановлюється після зміни напруженості поля через певний проміжок часу: від десяти до десятків хвилин чи годин. Залежно від структури феромагнетика і умов його намагніченості, а також температури зовнішнього середовища магнітна в'язкість може мати різну природу. При аперіодичній зміні напруженості поля у інтервалі значень, близьких до коерцитивної сили, намагніченість, зазвичай, зумовлена незворотнім зміщенням меж між доменами. Тоді в'язкістний ефект у матеріалах зумовлений в основному вихровими мікрострумами. Останні, у свою чергу, виникають в результаті перемагнічування доменів. Час встановлення магнітного стану в цьому випадку пропорційний диференціальній магнітній сприйнятності і для чистих феромагнітних металів зворотно пропорційний абсолютній температурі. Саме цим, очевидно, можна пояснити підвищення адгезійної міцності ЕКМ з феромагнітними частками сталі 45.

Водночас різке зниження (у діапазоні часу ВЧМО $\Delta t = 0{,}1\ldots5$ хв), а потім підвищення (у діапазоні часу ВЧМО $\Delta t = 5\ldots10$ хв) адгезійної міцності ЕКМ з частками залізного сурику можна пояснити іншим типом магнітної в'язкості, що зумовлений наявністю домішок у матеріалі наповнювача. Переміщуючись, внаслідок зміни вектора напруженості поля, доменні межі затримуються в місцях концентрації атомів домішок. Тому процес намагнічування сповільнюється. З часом, після дифузії атомів домішок, межі доменів розширюються. Таким чином процес намагнічування продовжується. При цьому надалі перемагнічуються домени, котрі при зміні поля отримали недостатньо енергії для швидкого перемагнічування [6]. На наш погляд, у ЕКМ з частками залізного сурику характерним є прояв дифузійного виду магнітної в'язкості, що визначається дифузією домішок або дефектами кристалічної структури. Вона ґрунтується на теоретичних положеннях про перевагу дифузії домішок у міжатомні проміжки кристалу, котрі певним чином орієнтовані відносно напрямку спонтанної намагніченості. Це створює локальну наведену анізотропію, що призводить до стабілізації доменної структури. Тому в результаті впливу ВЧМО нова доменна структура встановлюється не одразу, а тільки після дифузійного перерозподілу домішок, що і є причиною магнітної в'язкості.

Висновки. Проведені в роботі експериментальні дослідження дозволяють констатувати наступне.

1. Методом математичного планування експерименту встановлено оптимальні параметри високочастотної магнітної обробки незалежно феромагнітного наповнювача та епоксидних композицій в цілому: частота поля $f = 2{,}25$ МГц, напруженість – $H = 1265$ А/м. Доведено, що найбільший вплив на поліпшення адгезійних властивостей матеріалів має час обробки композиції в індукторі установки. Порівняно з напруженістю магнітного поля, зазначений параметр є більше, ніж у три рази, інтенсивнішим.

2. Експериментально встановлено оптимальний час обробки ($t = 10$ хв) магнітним полем композитів, наповнених частками залізного сурику (50 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидної смоли). Така модифікація приводить до збільшення адгезійної міцності матеріалів з $\sigma_a = 42$ МПа (для необробленого матеріалу) до $\sigma_a = 55$ МПа (при обробці композиції) і до $\sigma_a = 47$ МПа (при обробці наповнювача).

3. Доведено, що високочастотна магнітна обробка композиції з частками сталі 45 (20 мас.ч. на 100 мас.ч. епоксидної смоли) впродовж $t = 20$ хв забезпечує зростання показників адгезійної міцності з $\sigma_a = 32$ МПа (для необробленого матеріалу) до $\sigma_a = 41$ МПа. Навпаки, оптимальний час обробки часток сталі 45 становить $t = 1$ хв. За таких умов модифікації формуються матеріали, які відзначаються адгезійною міцністю $\sigma_a = 43$ МПа.

4. Обґрунтовано, що механізм поліпшення адгезійних властивостей матеріалів з феромагнітними наповнювачами зумовлений намагнічуванням інгредієнтів композицій, яке, у свою чергу, залежить від їх магнітної в'язкості. Показано, що намагнічування часток сталі 45 і, як наслідок, їхня активація до міжфазової взаємодії при зшиванні композитів зумовлена намагнічуванням і, відповідно, зміщенням меж доменів. Навпаки, при обробці магнітним полем композитів з частками залізного сурику спостерігали дифузійний вид магнітної в'язкості, що визначається дифузією домішок у матеріалі наповнювача, в результаті чого у часі намагнічування і зміна розмірів доменів подовжується.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Букетов А. В. Фізико-хімічні процеси при формуванні епоксикомпозитних матеріалів / А. В. Букетов, П. Д. Стухляк, Є. М. Кальба. – Тернопіль : Збруч, 2005. – 182 с.

2. Стухляк П. Д. Епоксикомпозитні матеріали, модифіковані енергетичними полями / А. В.Букетов, П. Д.Стухляк, І. Г.Добротвор. – Тернопіль : Збруч, 2008. – 208 с.

3. Білий Л. Дослідження впливу енергетичних полів на властивості епоксидних композитів / Л. Білий, Е. Ісаєв, В. Леонов [та ін.] // Вісник Тернопільського національного технічного університету. – 2011. – Спецвип. Ч. 1. – С. 187-192.

4. Арсланов В. В. Состояние и перспективы развития теории адгезионных соединений / В. В. Арсланов, А. Е. Чалых // Защита металлов. – 1989. – Т. 25. – № 4. – С. 547-554.

5. Новейшие инструментальные методы исследования структуры полимеров / под ред Дж.Кенига. – М. : Мир, 1982. – 420 с.

6. Вонсовский С. В. Магнетизм / С. В. Вонсовский. – М. : Наука,1984. – 214 с.

7. Букетов А. В. Установка для високочастотного електромагнітного опромінювання / А. В. Букетов, В. О. Скирденко // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті і технології та обладнання для їх обслуговування (СЕУТТОО-2012)», 10-12 жовтня. – Херсон : ХДМА, 2012. – С. 226-227.

8. Бондарь А. Г. Планирование эксперимента в химической технологии (основные положения, примеры и задачи): учебн. / А. Г. Бондарь, Г. А. Статюха. – К. : Вища школа, 1976. – 184 с.

Букетов А.В., Скирденко В.О. ОПТИМИЗАЦИЯ ВРЕМЕНИ ОБРАБОТКИ ФЕРРОМАГНИТНЫХ НАПОЛНИТЕЛЕЙ И ЭПОКСИДНИХ КОМПОЗИЦИЙ В ВЫСОКОЧАСТОТНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ С УЧЁТОМ ЯВЛЕНИЯ МАГНИТНОЙ ВЯЗКОСТИ

Анализ проведенных исследований влияния параметров высокочастотной магнитной обработки и полученное уравнение регрессии второго порядка позволили установить, что доминирующее влияние на физико-механические свойства эпоксикомпозитов с частицами стали 45 и железного сурика имеет время обработки как композиции, так и наполнителя в индукторе установки. Дополнительно с целью изучения влияния времени обработки на адгезионную прочность эпоксикомпозитов, наполненных ферромагнитными материалами, была проведена серия однофакторных исследований, которая позволила установить следующее. Вследствие явления магнитной вязкости намагниченность устанавливается после изменения напряженности поля только через некоторое время. В нашем случае для указанных ферромагнитных наполнителей намагниченность материалов наблюдали в пределах от 5-ти до 10-ти мин обработки и в дальнейшем она почти не меняется.

Ключевые слова: эпоксидный композит, ферромагнитные наполнители, адгезионная прочность, магнитная вязкость.

Buketov A.V., Skirdenko V.O. OPTIMIZATION OF PROCESSING TIME FERROMAGNETIC FILLER AND EPOXY COMPOSITIONS OF THE RF MAGNETIC FIELD WITH THE MAGNETIC VISCOSITY PHENOMENA

Analysis of the studies the influence of parameters of high-frequency magnetic treatment and received a second order regression equation revealed that the dominant influence on the physical and mechanical properties of the particles epoxy composites 45 steel and iron oxide has a processing time as the composition and filler in the inductor installation. Additionally, in order to study the influence of the processing time of the adhesion epoxy composites filled with ferromagnetic materials, a series of single-factor studies, which allowed to establish the following. Due to the phenomenon of magnetic viscosity magnetization is set after the change of the field strength only after some time. In this case, the magnetization of said ferromagnetic filler material was observed in the range of 5 to 10 minutes of treatment, and further it is almost unchanged.

Keywords: epoxy composite ferromagnetic fillers, adhesion strength, the magnetic viscosity.

Статтю прийнято
до редакції 27.03.14.

УДК 621.43.052:629.7.064

СИСТЕМА УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛА ВИХЛОПНИХ ГАЗІВ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ З АСИНХРОННИМ ТУРБОГЕНЕРАТОРОМ

Вороненко С.В., Даник В.В.
Херсонська державна морська академія

В статті проведен анализ роботи комбінованого газотурбинного наддуву дизелів. Показана доцільність вживання таких систем на судах. Проте, необхідно ширше провести дослідження їх роботи при перехідних режимах дизеля. Показана актуальність вживання в даних системах асинхронних машин з перетворювачем частоти. При цьому асинхронна машина має бути з масивним ротором, і забезпечувати привід компресора при пуску дизеля і його роботи на малому газі .У останніх режимах, машина повинна працювати генератором з перетворювачем частоти, який повинен забезпечити стабілізацію напруги і частоти при усіх режимах дизеля.
Ключові слова: асинхронний турбогенератор, утилізація тепла на судових дизелях, електроенергетичні системи.

Вступ. Розвиток сучасних морських суден різного призначення характеризується вирішенням питань, спрямованих на удосконалення двигунів і суден у цілому, економії палива, повноти використання його енергії, застосування оптимізованих режимів роботи енергетичних установок, автоматизації виробничих процесів, впровадження сучасних систем навігації й управління.

Успішне вирішення більшості з відзначених завдань неможливо без надійного та безперебійного живлення обладнання суден електроенергією відповідної якості. При цьому зростання рівня автоматизації суднових систем, упровадження сучасних систем управління та навігації, супроводжується зростанням потужності суднових електроенергетичних систем (СЕЕС) [1].

Широке впровадження на суднах електричної енергії обумовлено також її універсальністю, тобто можливість її використання практично в будь яких системах, простота передачі та розподіл між приймачами, можливість 2-х, 3-х кратного й більше дублювання живлення окремих систем. У зв'язку з цим, у сучасній судновій електроенергетиці особливу увагу приділяють удосконаленню систем генеруванню електроенергії, підвищенню якості електроенергії, економічності її виробітки, надійності роботи систем та живлення приймачів електроенергії.

З освоєнням виробництва транзисторів та транзисторних модулів великої потужності одним з основних напрямків удосконалення автономних систем електропостачання та систем електроприводу являється розробка й впровадження систем з напівпровідниковими перетворювачами різного призначення в тому числі й систем з перетворювачами змінного струму змінної частоти в змінний струм постійної частоти.

При впроваджені на суднах перетворювачів частоти змінного струму значно спрощується створення СЕЕС з використанням у якості первинного джерела електроенергії валогенератора змінного струму змінної частоти, гідність яких достатньо відомі. Крім того, на сьогодні розвивається метод використання тепла відпрацьованих газів шляхом установки турбокомпресорних систем (ТКС), у яких енергія відпрацьованих газів використовується безпосередньо для приводу газової турбіни, що передає енергію на привод гребного гвинта, або на привод електрогенератора. У цьому випадку застосування перетворювача значно спрощує вирішення питань утилізації тепла відпрацьованих газів та відповідно підвищення ефективності ГЕУ.

Актуальність досліджень. Аналіз сучасних систем утилізації тепла вихлопних газів показує, що їх режими й умови роботи вибираються без обліку особливостей роботи та режимів СЕУ й СЕЕС. Так, режими роботи турбогенераторів, як правило, вибираються без обліку особливостей і режимів роботи газотурбінного наддування суднових дизелів. У зв’язку із цим, практично у всіх випадках виникають проблеми із забезпеченням наддування при пуску двигунів, їх роботі на режимах малого ходу, а також на режимах

при надлишковій потужності турбіни. Разом з тім, при виконанні системи наддування й утилізації тепла вихлопних газів у відповідності зі схемою, представленої на рис. 1, відзначені проблеми вирішуються відносно просто.

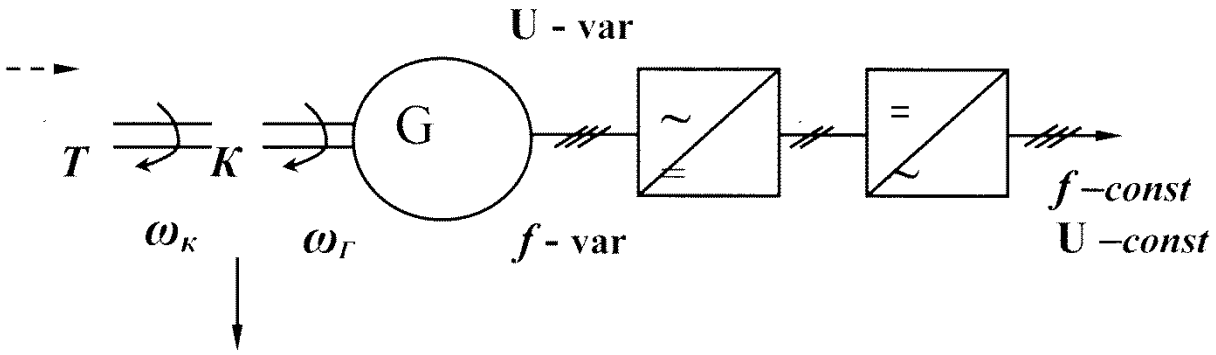


Рисунок 1 – Схема газотурбінного наддування з генератором і перетворювачем частоти

Це може бути досягнуте за рахунок відповідного зміни режиму роботи генератора з перетворювачем частоти. У режимі пуску двигуна й на малому ходу наддування здійснюється перекладом генератора в режим двигуна при його харчуванні від судновий СЕЕС.

Як приклад таких систем можна привести морський гібридний турбокомпресор для виробництва електроенергії розробки «Mitsubishi» (Японія), представлений на рис. 2.

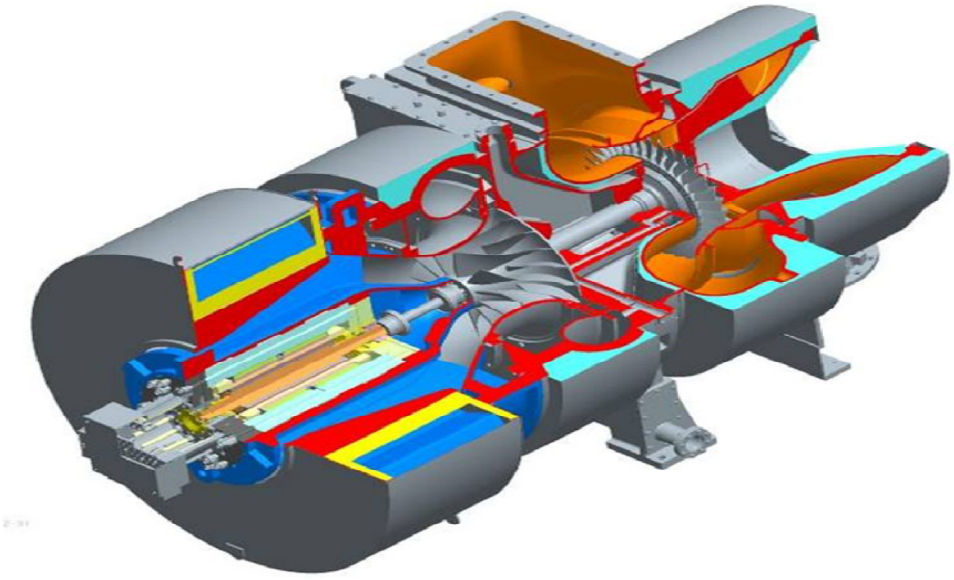


Рисунок 2 – Турбокомпресор наддування з електричним генератором

Слід відмітити, що в таких системах проблемними являються питання забезпечення надійності роботи електричної машини при високих температурах навколишнього середовища й відносно складних системах охолодження. Підвищіти надійність роботи таких систем можна за рахунок застосування тільки електричного генератора з приводом від турбіни.

Представленому на рис. 2 у якості генератора використовується генератор з постійними магнітами. При цьому ротор генератора виконаний на основі магнітів з рідко земельними елементами. При цьому проблемним є забезпечення механічної міцності ротора при високих частотах обертання, а також складність регулювання вихідної напруги. Крім того, до недоліків таких машин варто віднести високу вартість постійних магнітів. Необхідно відзначити також і те, що установка генератора на одному валу з турбіною і компресором призводить до збільшення моменту інерції обертових

максимально збільшення постоянних часу турбокомпресора, і відповідно погіршення його динамічних характеристик, що може призвести до нестійкої роботи дизеля при перехідних режимах.

Мета роботи – провести аналіз впливу генератора комбінованого турбокомпресора наддуву на динамічні характеристики двигуна, а також дати рекомендації з вибору типу генератора зазначеного агрегату.

Результати дослідження. Як відомо, динамічні властивості дизеля з автономним газотурбінним наддувом як об'єкта регулювання описуються наступними рівняннями:

$$T_g \cdot \frac{d\sigma}{dt} + \sigma = K_1 \cdot \mu - K_2 \cdot \varphi + K_3 \cdot \rho ;$$

$$T_k \cdot \frac{d\sigma_k}{dt} + \sigma_k = K_h \cdot \mu - K_\varphi \cdot \varphi + K_\rho \cdot \rho \cdot$$

де T_g, T_k – постійні часу двигуна і турбокомпресора; σ – швидкість зміни частоти часу вала двигуна в перехідному процесі; K_1 – коефіцієнт посилення по керуючому впливу; K_2 – коефіцієнт посилення двигуна за навантаженням; K_3 – коефіцієнт посилення по тиску наддуву; μ – відносний ефективний момент дизеля; φ – відносний кут повороту вала; ρ – відносний тиск наддуву; σ_k – частота обертання компресора; K_h, K_φ, K_ρ – коефіцієнти підсилення турбокомпресора по керуючому впливу, по зміні частоти обертання вала, по зміні тиску повітря.

Постійні часу T_g та T_k і пропорційні моментам інерції обертових мас двигуна і турбокомпресора. Інерційність турбокомпресора при зміні режимів роботи двигуна істотно впливає на стійкість його роботи. Так, наприклад при збільшенні подачі палива відбувається відставання збільшення подачі повітря в двигун в наслідок чого виникає димність, а в окремих випадках і зупинка двигуна. Крім цього , при різкому збільшенні подачі палива природно збільшується температура газів і їх питомий об'єм, що може викликати помпаж компресора.

Помпаж компресора може виникати і при збільшенні навантаження двигуна , коли частота обертання вала зменшується. Тому для поліпшення динамічних характеристик двигуна необхідно вважати інерційність турбокомпресора [1, 2], а керуючі впливу двигуна були узгоджені з характеристиками системи наддуву. Застосування генератора у складі турбокомпресора призводить до збільшення його інерційності, відповідно, погіршує динамічні параметри дизеля. Крім того , як випливає з характеристик, які представлені на рис. 3, зміна потужності генератора призводить до досить значної зміни параметрів компресора.

У зв'язку з цим в даних системах доцільно у якості генератора застосовувати асинхронний генератор з масивним феромагнітним ротором.

До основних достоинств генератора з масивним ротором можна віднести:

- підвищену в порівнянні зі звичайним ротором термічну стійкість;
- простоту конструкції;
- кращі балансувальні й вібро-шумові показники.

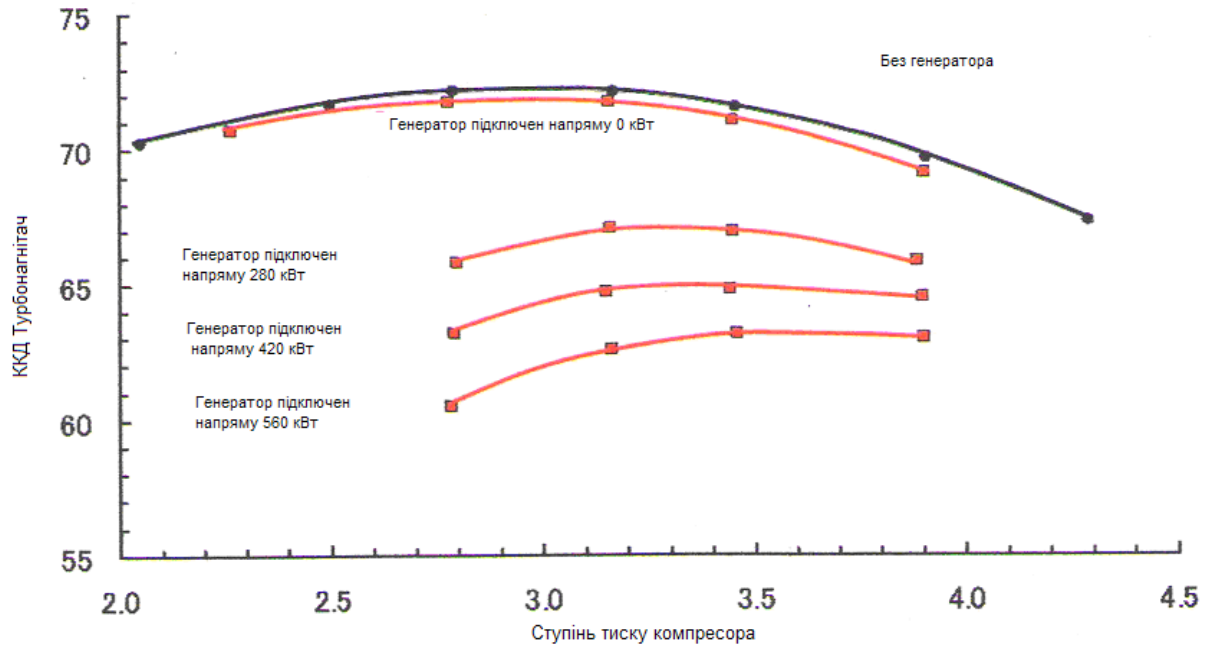


Рисунок 3 – ККД гібридного турбонагнетателя при проведенні незалежних досліджень

Істотним недоліком генератора є низькі енергетичні показники η і $\cos\varphi$, що обумовлене підвищеним значенням параметрів вторинного ланцюга.

Найбільш ефективний спосіб поліпшення параметрів феромагнітного ротора при збереженні його специфічних особливостей – покриття ротора струмопровідним напиленням (звичайно міддю). Обміднення феромагнітного ротора дозволяє зменшити як активний, так і індуктивний опір вторинного ланцюга, а отже, поліпшити пускові й робочі характеристики двигуна. У цей година крім обміднення ротора можна застосовувати нанесення поверхневого шару із застосуванням нанотехнологій, що значно підвищує показники таких машин.

Згідно [3] в даний час створено матеріал з питомим електричним опором матеріалу p, причому межі значень p можуть змінятися від 0 (надпровідність) до $1{,}6\cdot10^{-8}$ Ом·м (срібло), $1{,}7\cdot10^{-8}$ Ом·м (мідь), 10^{-7}Ом·м (залізо), а за наявності нано структур в матеріалі – до $(0{,}4\text{-}1{,}2)\cdot10^{8}$ Ом·м.

Одним із проблемних питань застосування асинхронних генераторів, є забезпечення самозбудження генераторів і власне регулювання їх напруги. Самозбудження автономно працюючих генераторів забезпечується за рахунок конденсаторів включених паралельно обмотці статора.

Враховуючи, що, у розглядаємой системі генератор працює на перетворювач частоти, отже реактивна потужність буде визначаться величиною кута комутації випрямляча. Тобто, при застосуванні не керованого випрямляча можна прийняти величину кута комутації рівній не більше 30 градусів. Відповідно коефіцієнт потужності перетворювача не буде перевищуватиме рівні cos 15градусів тобто близький до 1.

Слід зазначити, що при застосуванні перетворювача частоти, регулювання вихідної напруги може забезпечуватися за рахунок застосування регульованого випрямляча, або інвертора. Враховуючи, що в таких системах електрична машина повинна працювати як в режимі генератора, і в режимі двигуна. Тоді, в якості перетворювача частоти доцільно застосовувати [4] реверсивний транзисторний перетворювач, схема якого надана на рис. 4.

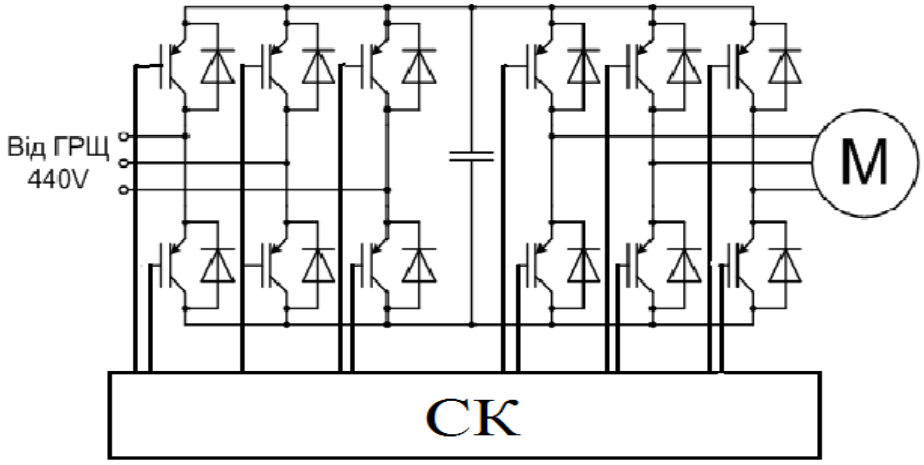


Рисунок 4 – Схема реверсивний транзисторний перетворювач

При зневазі індуктивним опором вторинного ланцюга для розрахунків характеристик генератора можна одержати наступні значення еквівалентних активного й індуктивного опорів обмідненого ротора, наведені до обмотки статора:

$$R_э = \frac{R_м R_c (R_м + R_c) + R_м X_c^2}{(R_м + R_c)^2 + X_c^2};$$

$$X_э = \frac{R_м^2 X_c}{(R_м + R_c)^2 + X_c^2}$$

де *Rc*, *Xc* – активний і індуктивний опору феромагнітного ротора, наведені до обмотки статора; *Rм* – активний опір мідного покриття.

У режимі генератора для порушення необхідно встановити конденсатори, ємність яких визначається з умови роботи на ПЧ. У цьому випадку коефіцієнт потужності навантаження близьке до одиниці і ємність конденсаторів вибирається з умови самозбудження генератора й забезпечення необхідної напруги при максимальному навантаженні. Стабілізація напруги й регулювання потужності, що віддається, у даній системі забезпечується відповідним регулюванням випрямляча й інвертора ПЧ.

Розрахунки асинхронної машини з масивним ротором з урахуванням наведених рівнянь для $R_э$, $X_э$ й $R_м$ ротора показують, що при частоті обертання 12000 про/хв., потужності 550 кВа, частоті 400 Гц і напрузі 440/250 В маса машини становить приблизно 260 кг, номінальний момент – 370 Н·М, максимальний – 1300 Н·М при номінальному струмі 740 *А*. Для порушення генератора й забезпечення необхідної напруги необхідна установка конденсаторів ємністю 530 мкФ.

У даних системах наддування дизеля доцільно забезпечувати компресором з приводом від електродвигуна, що дозволить вирішити проблему наддування на малому ході, при маневрах, а також забезпечити оптимальну роботові системи наддування при усіх режимах роботи двигуна. За рахунок відповідного управління приводом компресора.

Висновки та перспективи подальшого дослідження

1. Застосування на сучасних суднах систем утилізації тепла вихлопних газів дизелів з асинхронними турбогенераторами й електроприводів компресорів дозволить підвищити економічність і надійність суднових енергетичних систем, а також забезпечити оптимальний режим роботи турбіни й компресора наддуванню.

2. В якості електромашини, в комбінованному газотурбинному компресорі наддуву доцільно використовувати асинхронну машину з масивним ротором. Високі енергетичні параметри якої, можуть бути забезпечені із застосуванням виконання ротора напиленням шару нано технологій.



3. Управіння та регулювання електромашин і перетворення частоти в даних системах, може здійснюватися за допомогою застосування батарей конденсаторів, ємність яких, регулюється за допомогою теріcторних комутаторів, керованого дроселя з обертовим магнітним полем на виході генератора, або застосуванням регульованого реверсивного випрямляча перетворювача частоти. Вибір зазначених систем, може бути зроблений на основі відповідних досліджень і розрахунків.

Необхідно провести дослідження роботи комбінованого турбогенератора наддуву в перехідних режимах роботи дизеля, а також розробити методику розрахунку асинхронної машини з двошаровим масивним ротором із застосуванням елементів нано технологій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пахомов Ю. А. Суднові енергетичні установки із двигунами внутрішнього згоряння / Ю. А. Пахомов. – М. : Транслит, 2007 – 528 с.

2. Корнілов Є. В. Системи газотурбінного наддування суднових дизелів / Є. В. Корнілов, П. В. Бойко. – Одеса : Студія «Негоціант», 2006 – 224 с.

3. Могильників В. С. Асинхронні двигуни із двошаровим ротором / В. С. Могильників, А. М. Олейников, А. Н. Стрельников. – М., 1983.

4. Лищенко А. І. Асинхронні машини з масивним феромагнітним ротором / А. І. Лищенко, В. А. Лісник. – К. : Наукова думка, 1984 – 168 с.

Вороненко С.В., Данник В.В. СИСТЕМА УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ С АСИНХРОННЫМ ТУРБОГЕНЕРАТОРОМ

В статье проведен анализ работы комбинированного газотурбинного наддува дизелей. Показана целесообразность применения таких систем на судах. Однако, необходимо более широко провести исследования их работы при переходных режимах дизеля. Показана актуальность применения в данных системах асинхронных машин с преобразователем частоты. При этом асинхронная машина должна быть с массивным ротором, и обеспечивать привод компрессора при пуске дизеля и его работы на малом газе. В остальных режимах, машина должна работать генератором с преобразователем частоты, который должен обеспечить стабилизацию напряжения и частоты при всех режимах дизеля.

Ключевые слова: асинхронный турбогенератор, утилизация тепла на судовых дизелях, электроэнергетические системы.

Voronenko S.V., Danik V.V. RECOVERY SYSTEM HEAT EXHAUST MARINE DIESEL ASYNCHRONOUS TURBOGENERATORS

In the article we analyzed the work of combined gas-turbine-powered diesel supercharger. We showed the practical functionality of these systems' exploitation on the ships. However we should make more deep studies of their work upon transitional diesel engine regimes. The actuality of usage of induction machines with frequency inverter was shown. In such case the induction machine should possess the solid rotor and provide the compressor drive during the engine start, as well as its idling work. In other regimes machine should work as a frequency inverter generator which should provide the voltage and frequency stabilization at every diesel engine regime.

Keywords: asynchronous generators, heat recovery on judicial diesel, electricity system.

Статтю прийнято
до редакції 17.04.14.

УДК 620.1:628.16:669.1

ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОРИСТИХ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПИТНИХ ВОД

Гулієва Н.М.
Луцький національний технічний університет

У статті розглянуто виготовлення пористих фільтрувальних матеріалів (ПФМ) для очищення питних вод. Показано доцільність використання для формування фільтрувальних матеріалів титану та природного матеріалу – сапоніту. Наведено хімічний склад та фізико-механічні властивості порошків титану ПТС-1 і сапоніту. Доведено, що з метою поліпшення властивостей фільтрувальних матеріалів, їх необхідно формувати вводячи порошки за оптимального вмісту при вибраних пропорціях. Визначено раціональний шихтовий склад реакційної суміші сапоніт-титан 60:40. Розроблено технологію отримання ПФМ на основі сапоніт-титану методом сухого радіально-ізостатичного пресування із спіканням в режимі СВС-процесу.
Ключові слова: сапоніт, титан, пористі фільтрувальні матеріали, сухе радіально-ізостатичне пресування, самопоширюювальний високотемпературний синтез.

Постановка задачі. Сучасний стан технологічного і промислового виробництва у сфері матеріалознавства характеризується пошуком нових матеріалів та технологій їх отримання. Одним із конкурентоспроможних та енергоощадних напрямів сучасного матеріалознавства є використання у вигляді вихідних матеріалів природних мінералів. Оскільки для очистки питної води застосовують сорбенти на основі природних мінералів (зокрема, сапоніту) [1], то ефективним методом є виготовлення фільтрів на їх основі з метою здешевлення фільтрувальних елементів із титану з використанням технологій порошкової металургії. Також відомо, що порошки, які отриманні із природних мінералів, застосовують для виготовлення пористих фільтруючих матеріалів (ПФМ) [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні відомі роботи щодо розроблення технологій виготовлення ПФМ методом порошкової металургії [3]. Це є перспективний метод, який розширює технологічні можливості та забезпечує необхідні структурні властивості хімічного і фазового складу матеріалу, що дозволяє у багатьох випадках надавати йому нові структурні властивості. Аналіз літературних джерел свідчить про те, що останнім часом застосування ПФМ для очистки питної води набуває все більшого значення. Про це свідчать роботи вчених: С. В. Белова, П. А. Витязя, А. Е. Галкина, А. А. Гатушкина, О. В. Заболотного, В. М. Капцевича, О. Ю. Повстяного, В. Д. Рудя, В. В. Савича, Л. М. Самчук, В. А. Сичука, А. Н. Сорокина, В. В. Співак, Л. П. Пилиневича, В. К. Шелег та ін. [1–8].

Метою роботи є розробка технології виготовлення пористих фільтрувальних матеріалів для очистки питної води методом сухого радіально-ізостатичного пресуванням із наступним спіканням у режимі СВС-процесу.

Для досягнення вказаної мети поставлені наступні задачі:

1. Розробити методику експериментальних досліджень технології виготовлення порошкових пористих матеріалів на основі природних мінералів в режимі СВС-процесу.
2. Визначити раціональний шихтовий склад реакційної суміші сапоніт-титан.
3. Оптимізувати режими отримання пористих проникливих матеріалів в СВС-процесах.
4. Дослідити структурні, міцнісні та експлуатаційні властивості отриманих матеріалів.
5. Розробити рекомендації з використання фільтруючих матеріалів на основі природних мінералів та визначити галузь їх застосування.

Основні результати дослідження. При виготовленні матеріалів у роботі використано наступні порошки.

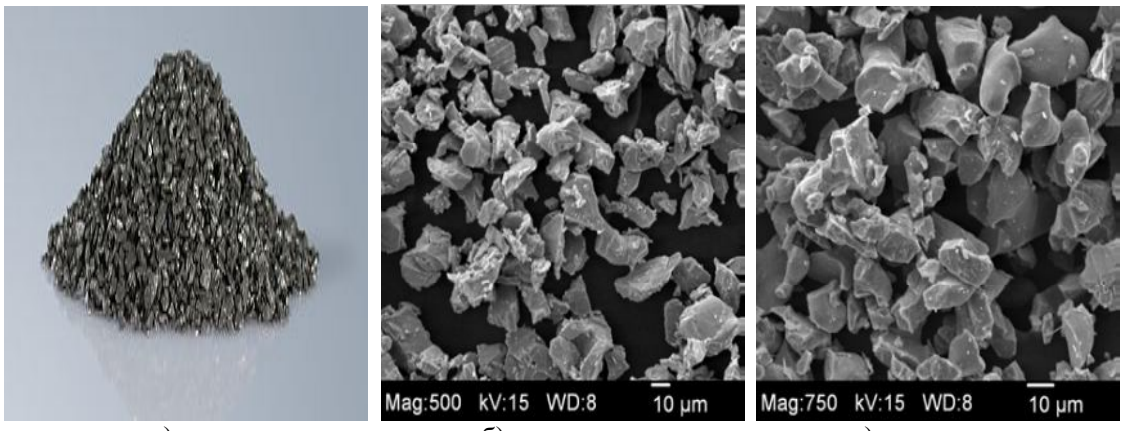
Порошок титану марки ПТС-1 (ГОСТ 17746-79). Порошок титану і сплави на основі титану застосовуються у виробництві корозійностійких фільтрів тонкого очищення

технічних рідин у вигляді пористого прокату, в медицині для виготовлення імплантатів, в харчовій промисловості для виготовлення регенеруючих фільтрів, в технологіях виробництва мінеральної води, соків і напоїв, у виробництві піротехнічних засобів високої надійності, пористих нерозпилюючих геттерів (газовбирачів) з високою сорбційною здатністю і швидкістю фільтрації. Порошок титану також застосовують у водному господарстві для водопідготовки питної води в системах централізованого та децентралізованого водопостачання [6]. При проведенні дослідження використовували титан марки ПТС-1, фізико-механічні властивості якого наведено у табл. 1. Хімічний склад титану марки ПТС-1 є наступним, мас. %: N – 0,08; C – 0,05; H – 0,35; (Fe+Ni) – 0,40; Si 0,10; Cl – 0,004; Ti (основа) – до 100.

Таблиця 1 – Фізико-механічні властивості поршку титану марки ПТС-1

Марка	***Гранулометричний склад, мас.%, фракції, мкм***				***Насипна щільність, г/см^3***	***Ущільнення, г/см^3, при тиску МПа***	
	+280	***+100***	***+45(40)***	***45(40)***		***200***	***600***
ПТС-1	≤ 1,0	Не визначається	≥ 25 (35)	Баланс	1,15	2,60	3,24

Зовнішній вигляд порошку титану марки ПТС-1 показано на рис. 1.



а) б) в)

Рисунок 1 – Зовнішній вигляд порошку титану ПТС-1 фракції (0,1…+0,063): а) зовнішній вигляд порошку, б) металографічний аналіз при ×500, в) металографічний аналіз при ×750

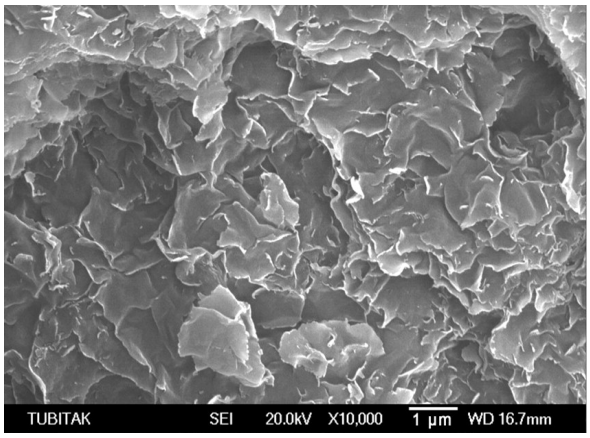
Порошок природного мінералу – сапоніт. Хімічна формула сапоніту (англ. saponite): $Mg[Si_4O_{10}](OH)\times nH_2O$. Сапоніт – це мінерал, водний алюмосилікат магнію шаруватої будови. Назва – від лат. sapo – мило (L.F. Svanberg, 1840) [1]. Інша назва: мило гірське, мильний камінь, каткініт, піотин, расуліт, таліт.

Розрізняють: сапоніт алюмінієвий або алюмосапоніт (різновид сапоніту, який містить понад 10 % Al_2O_3); сапоніт залізний або лембергіт, феросапоніт (різновид сапоніту з незначною кількістю Fe_2O_3 який заміщує MgO); сапоніт калієвий або калійсапоніт (різновид сапоніту, який містить до 6,57 % K_2O); сапоніт мідний або купоросапоніт, мідмонтит (суміш хризоколи та слюди); сапоніт нікелевий або нікельсапоніт (різновид сапоніту з незначною кількістю NiO який заміщує MgO); сапоніт цинковий (те ж саме, що й монтморилоніт цинковий, який містить до 39,33 % ZnO); цебедасит (сапоніт з родовища Цебедассі, Італія). В Україні є чотири родовища сапонітових глин, які розташовані на півночі Хмельницької області: Ташківське (I і II), Радошівське і Варварівське. Їх запаси нараховують 10…20 млн.т. У табл. 2 наведені фізико-механічні властивості сапоніту з Ташківського родовища Хмельницької області.

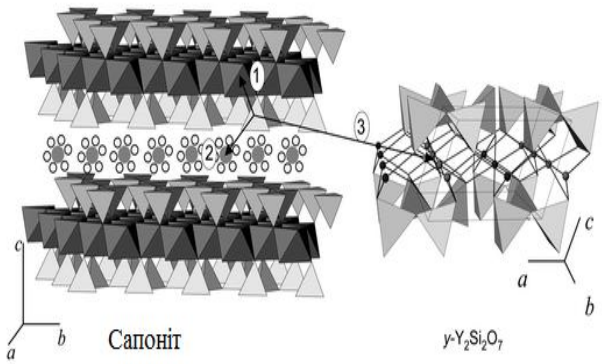
Таблиця 2 – Фізико-механічні властивості сапоніту

Показники властивостей	***Значення***
Густина	3,07…3,13 кг/м^3
Насипна маса	0,97 кг/м^3
Гранулометричний склад	>2 мм – 5 %; 1-2 мм – 32 %; 0,5-1,0 мм – 9 %; 0,25-0,5 мм – 14 %; 0,1-0,25 мм – 11 %; < 0,1 мм – 9 %
Збагачення мінералу шляхом диспергування та відмулювання	не більше 6 %
Колоїдність	11,5…12,1 %
Присутність органічних домішок	< 0,16 %
Пластичність	28,3
Набухання	5,5 %
Загальна вологість повітряно-сухого зразка	11…12 %
Кількість зв'язаної води (по А.В. Думанському)	25,8 %
Швидкість капілярного просочування	0,080 см^{3}сек$^{-1/2}$
Вогнетривкість	1270…1310 ºС
Питома поверхня	По азоту – 34 м^2/г По гексану – 41-52 м^2/г По воді – 120-220 м^2/г
Середній радіус пор	1,6…3,2 нм

На рис. 2а зображено порошок природного мінералу сапоніту (×10000) (а) та його кристалічної решітки (б).



а)



б)

Рисунок 2 – Вигляд порошку природного мінералу сапоніту (×10000) (а) та його кристалічної решітки (б)

Для виготовлення ПФМ використовували порошки сапоніту та титану фракції 0,1…+0,063 мм. Засипання шихти здійснювали в прес-форму діаметром D = 60 мм, висотою h = 254 мм при товщині зразку t = 3 мм. Для забезпечення рівномірної насипної густини по довжині (об'єму) виробу шихту утрушували на барабанному вібромлині. Після засипки шихти проводили процес сухого радіально-ізостатичного пресування при тиску p = 550…800 МПа [5]. Перед проведенням СВС-спікання зразки піддавали сушці при 250…300 °С в сушильній шафі для видалення абсорбованих порошком парів. Процес СВС здійснювали в лабораторній установці СВС-спікання при температурі T = 1200 ºС. Лабораторна установка в режимі СВС-процесу забезпечена

вікнами із кварцового скла та засобами відео- та фотоспостереження. Це дозволяє візуально спостерігати за процесом горіння. На рис. 3а показано спікання ПФМ у режимі СВС-процесу [7]. На рис. 3б показано зовнішній вигляд ПФМ на основі композиту сапоніт-титану виготовлених в режимі СВС-процесу.



а) б)

Рисунок 3 – Метод в режимі СВС-процесу: спікання (а), загальний вигляд ПФМ (б)

На останньому етапі проводили ренгеноструктурний аналіз зразків на дифрактометрі ДРОН-2-13. Принцип роботи дифрактометра заснований на тому, що відображення рентгенівських променів на відміну від паралельних кристалічних площин відбувається тільки при певному значенні кута падіння Q, пов'язаного з довжиною хвилі падаючого випромінювання λ і міжплощинною відстанню d законом Брегга:

$$\lambda = 2d \sin Q \text{ X}. \qquad (1)$$

Діафрагмовий пучок лежить у площині, яка містить падаючий пучок за співвідношенням норми до поверхні, що відбиває. Кут між напрямками падаючого і відбитого пучків дорівнює $2Q$. Запис дифракційної структури записували на діаграмну стрічку самописця.

Зразки досліджували в інтервальному режимі зі швидкістю лічильника $v = 1..2$ °С/хв та із швидкістю стрічки $v = 720$ мм/год в інтервалі кутів $2\theta = 20…100$ °С. Зйомку проводили з обертанням при наявності β-фільтру. На рис. 4 наведено дифрактограму композиційного матеріалу $Mg[Si_4O_{10}](OH)\times nH_2O$-Ti. Вміст матеріалів (сапоніт-титан) взято у співвідношенні 60:40.

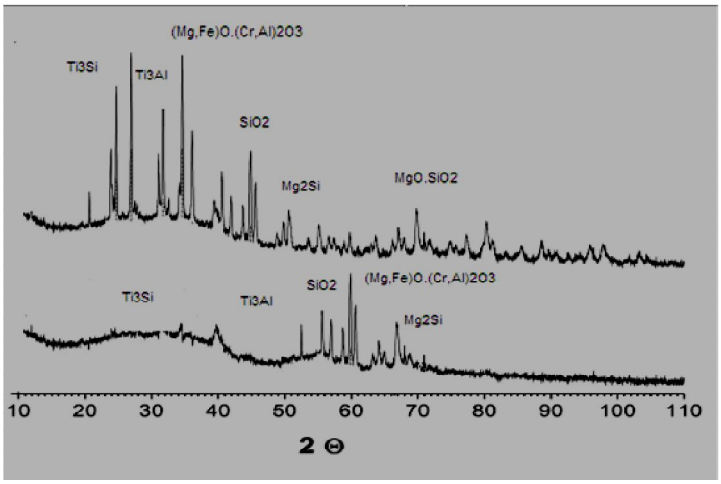


Рисунок 4 – Дифрактограма композиційного матеріалу $Mg[Si_4O_{10}](OH)\times nH_2O$-Ti

Розшифрування проводили за допомогою Міжнародної бази структурних даних. Дифрактограма мікроструктури зразків системи $Mg[Si_4O_{10}](OH)\times nH_2O$-Ti свідчить, що у процесі реакцій відбуваються ряд послідовних перетворень кристалічної решітки. Це

сприяє утворенню однорідності структури, а природні поліморфні перетворення, за рахунок перебудови кристалічної решітки, забезпечують активність СВС-процесу [7].

Висновок. Було розроблено технологічну схему виготовлення пористих фільтрувальних матеріалів на основі природного мінералу – сапоніту методом сухого радіально-ізостатичного пресування та спікання в режимі СВС-процесу. Визначено раціональний шихтовий склад реакційної суміші сапоніт-титан 60:40. Досліджено структурні, міцнісні та експлуатаційні властивості отриманих матеріалів. Розроблено рекомендації з використання пористих фільтруювальних матеріалів на основі композиту сапоніт-титан та здійснено апробацію в КП «Луцькводоканал» м. Луцьк.

В майбутньому планується дослідити фізико-механічні властивості розроблених матеріалів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Співак В. В., Бабчук М. М. Сапонінові глини – новий мінеральний сорбент для водопідготовки та водоочищення / Збірка тез доповідей XII Міжнародної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Екологія. Людина. Суспільство». – Київ, 2009. – С. 74-75.

2. Рудь В. Д. Використання порошкових композиційних матеріалів на основі природних мінералів для водопідготовки питної води / В. Д. Рудь, Н. М. Гулієва // Вода в харчовій промисловості. – Збірник тез доповідей IV Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів та студентів. – Одеса, 2013 – С. 53-54.

3. Пористые проницаемые материалы : справочник / [С. В. Белов, П. А. Витязь, Шелег В. К. и др.]. – М. : Металургия, 1987. – 332 с.

4. Гатушкин А. А. Исследование фильтрующих свойств пористых материалов из несферических порошков / А. А. Гатушкин // Порошковая металургия. – 1988. – № 9. – С. 49-54.

5. Удосконалення обладнання для отримання виробів методом сухого радіально-ізостатичного пресування ущільнювальних матеріалів / [Повстяной О. Ю., Заболотний О. В., Сомов Д. О., Сичук В. А.] // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2006. – № 2/1 (20). – С. 74-78.

6. Рудь В. Д. Шляхи підвищення властивостей порошкових фільтруючих матеріалів. / В. Д. Рудь, Н. М. Гулієва // Наукові нотатки : міжвузівський збірник. – Луцьк, 2013. – Випуск 40. – С. 124-127.

7. Рудь В. Д. Использование СВС-процесса для получения композиционных материалов / В. Д. Рудь, Л. М. Самчук, Н. М. Гулиева. // Порошковая металлургия : Инженерия поверхности, нове порошкове композиционные материалы. Сварка : сборник докладов 8-го Международного симпозиума. – Минск, 2013 – С. 496-500.

8. Разработка пористых порошковых материалов и изделий из них экологического назначения / [Сорокина А. Н., Савич В. В., Галкин А. Е., Капцевич В. М., Пилиневич Л. П.] // Достижения науки и техники в области ресурсосбережения и экологии : тез. докл. межд. конф. – Гомель, 1989. – С. 50-51.

Гулиева Н.М. ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОРОШКОВЫХ ФИЛЬТРУЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ ПИТЬЕВЫХ ВОД

В статье рассмотрен процесс изготовления пористых фильтрующих материалов (ПФМ) для очистки питьевых вод. Показана целесообразность использования для формирования фильтровальных материалов титана и природного материала – сапонита. Приведен химический состав и физико-механические свойства порошков титана ПТС- 1 и сапонита. Доказано, что, с целью улучшения свойств фильтровальных материалов, их необходимо формировать вводя порошки при оптимальном содержании при выбранных пропорциях. Определен рациональный шихтовый состав реакционной смеси сапонит : титан – 60:40. Разработана технология получения ПФМ на основе сапонит-титана методом сухого радиально-изостатического прессования с спеканием в режиме СВС-процесса.

Ключевые слова: сапонит, титан, пористые фильтровальные материалы, сухое радиально-изостатическое прессование, самораспространяющий высокотемпературный синтез.

Guliieva N.M. TECHNOLOGY PRODUCTION OF POROUS FILTER MATERIALS FOR THE PURIFICATION OF DRINKINGS WATERS

The article describes the prpotsess producing porous filter material (PFM) for the purification of drinking water. The expediency of the use of filter materials for the formation of titanium and natural material - saponite. Shows the chemical composition and physical properties of titanium powders PTS- 1 and saponite. It is proved that, in order to improve the properties of the filter material, they should be formed by introducing the powder at optimal content when the selected proportions. The rational part of the reaction mixture leads charge saponite: Titanium – 60:40. The technology of PFM based caponit titanium by dry radial isostatic pressing and sintering in the SHS process.

Keywords: saponite, titanium, porous filter materials, dry radial isostatic pressing, samoposhyryuyuche high temperature synthesis.

Статтю прийнято
до редакції 15.05.14.

УДК 62-405.8

ДИНАМИКА УПЛОТНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТАРНОГО ОБЪЕМА СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА

Исаев Е.А.
Херсонская государственная морская академия

В статье рассмотрен процесс уплотнения сыпучих материалов на основе теории консолидации. Описание динамики уплотнения тонкоизмельченного материала, осуществляемое в фазе «течения» материала и связанное с этим явление формоизменения. Для описания процессов динамики уплотнения гранул использован закон Дарси с учетом переменности коэффициента фильтрации в зависимости от коэффициента пористости образца, а также нелинейной зависимости «напряжение–деформация», возникающей при приложении нагрузки. В результате исследования получено, что в начале процесса гранулообразования, когда гранулообразуемая масса представлена в основном исходной шихтой и определенным процентом зародышей, прирост массы гранул возрастает примерно в 4 раза, а условия воздействия на гранулообразующую среду могут быть увеличены порядка до 100 раз.
Ключевые слова: гранулообразование, динамика уплотнения, динамическая нагрузка.

Постановка проблемы. Деформирование агрегатов или гранул происходит за счет перемещения частиц исходного материала, имеющих размеры от единиц до сотен микрометров, поэтому учет процессов, происходящих на этом уровне необходим при изучении явления формоизменения и уплотнения гранул.

Согласно одномерной классической теории консолидации сыпучих материалов, разработанной К. Терцаги, эффективные напряжения, возникающие при приложении одномерной нагрузки, рассматриваются как та часть полных продольных напряжений, которая определяет уплотнение скелета сыпучего материала. В любой момент времени (включая и кратковременное приложение нагрузки) в процессе уплотнения сумма напряжения, воспринимаемого жидкостью в порах материала (поровое напряжение U) и продольного эффективного напряжения $P^{/}$ равна полному осевому напряжению P [1]:

$$P = P^{/} + U \ . \qquad (1)$$

Влияние эффективного напряжения на скорость деформации для одномерной задачи зависит от пористости, характера анизотропии материала и условий (то есть «истории») его загружения, а также от деформирования агрегата (или гранул) в прошлом. История деформирования включает в себя сведения о наличии и использовании сил притяжения между частицами и водными пленками, обволакивающими частицы.

Принцип эффективных напряжений широко распространен при решении пространственной задачи консолидации грунтов, характеризуемых любыми реологическими свойствами [2].

Вопросы одномерного уплотнения сыпучих материалов рассматривал К. Терцаги. Он вывел дифференциальные уравнения одномерной консолидации грунта. В общей форме дифференциальные уравнения одномерной консолидации грунта получены В. А. Флориным [3] и А. Шукле [4].

Изучение упруго-пластических характеристик увлажненного сыпучего материала, а также данные исследований [2] показывают, что первоначально силовое воздействие воспринимается поровой водой в исследуемом образце, оказывая упругое сопротивление смятию. Затем вода растекается, передавая давление скелету и защемленному между частицами воздуху, которые, воспринимая нагрузку, начинают перемещаться по капиллярам внутри зоны смятия, тем самым частично разрушают скелет, приводя к частичной деформации и воспринимая нагрузку на себя. При этом частицы переходят в места, занятые до приложения нагрузки поровой водой и воздухом. Процесс заканчивается тогда, когда перемещения отреагируют на все приложенное напряжение и система займет новое состояние равновесия.

Цель исследования – описание динамики уплотнения тонкоизмельченного материала, осуществляемое в фазе «течения» материала и связанное с ним явление формоизменения.

Результаты исследования. В механике сплошных сред основные уравнения напряженно-деформированного состояния получены на основе гипотезы сплошности грунта, то есть из предложения, что размеры структурных элементов образца во много раз меньше самого малого из рассматриваемых объемов.

Для описания процессов динамики уплотнения гранул используем закон Дарси с учетом переменности коэффициента фильтрации жидкости в зависимости от коэффициента пористости образца, а также нелинейной зависимости «напряжение-деформация», возникающей при приложении нагрузки.

При проведении исследования для описания процесса гранулообразования выделяем малый участок материала из зоны смятия агрегата (рис. 1). Можно считать, что до смятия размер составляет не более двух диаметров частиц гранулообразующего материала, а после смятия не менее диаметра исходных частиц, т.е.:

$$h_{\max} \le 4 \cdot r ;$$

$$h_{\min} = 2 \cdot r , \qquad (2)$$

где r – радиус гранулообразуемой частицы.

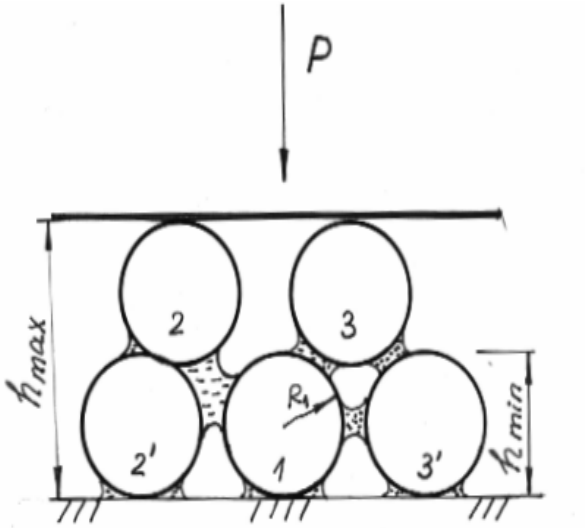


Рисунок 1 – Модель уплотнения формирований при ударном давлении P

Согласно выражению (1) приложенный ударный импульс P воспринимается скелетом (напряжение P') и поровой водой (напряжение U). При этом частица 1 как бы перемещается вверх, раздвигая частицы 2 и 3 до тех пор, пока они не займут положения 2’ и 3’ соответственно (рис. 1). В результате таких перемещений толщина элементарного слоя уменьшается до значения $2r$. При этом за счет уменьшения пористости за время dt уменьшается элементарный объем по выражению:

$$dV = -\frac{\partial n}{\partial t} \cdot 2 \cdot r \cdot dx \cdot dy \cdot dt . \qquad (3)$$

Вместе с тем, уменьшение объема происходит за счет оттока воздуха и жидкости из слоя со скоростью соответственно $\vartheta_в$ и $\vartheta_{ж}$. Учитывая сжимаемость воздуха в порах и пренебрегая его растворимостью в жидкости, запишем массу воздуха, отжимаемого в единицу времени из объема:

$$-\frac{\partial \rho \cdot \vartheta_в}{\partial y} \cdot 2 \cdot r \cdot dx \cdot dy \cdot dt \,. \tag{4}$$

где ρ – плотность воздуха; $\vartheta_в$ – скорость течения воздуха.

Здесь знак минус учитывает уменьшение скорости перемещения воздуха с ростом ординаты. С другой стороны, изменение объема пор, заполненных воздухом за время *dt*, выражается:

$$\frac{\partial \rho \cdot n_в}{\partial t} \cdot 2 \cdot r \cdot dx \cdot dy \cdot dt \,, \tag{5}$$

где $n_в$ – объем пор, заполненных воздухом.

Сумма выражений (4) и (5) с учетом преобразований дает условие неразрывности газовой среды:

$$\rho \cdot \frac{\partial \vartheta_в}{\partial y} + \frac{\vartheta_в \cdot \partial \rho}{\partial y} + \rho \cdot \frac{\partial n_в}{\partial t} + n_в \cdot \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \,. \tag{6}$$

Аналогично можно записать условие неразрывности для жидкой и твердой фазы:

$$\frac{\partial n_ж}{\partial t} + \frac{\partial \vartheta_ж}{\partial y} = 0 \,; \tag{7}$$

$$\frac{\partial (1-n)}{\partial t} = -\frac{\partial \vartheta_0}{\partial y} \,, \tag{8}$$

где $n_ж$ – объем пор, заполненных водой; n – пористость элементарного объема.

Суммируя выражения (6 ÷ 8), получим:

$$\frac{\partial}{\partial y}\left(\vartheta_0 + \vartheta_ж + \vartheta_в\right) + \frac{\vartheta_в}{\rho} \cdot \frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{n_в}{\rho} \cdot \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \,. \tag{9}$$

В процессе смятия агрегата происходит относительное перемещение твердых частиц и поровой жидкости с воздухом. Тогда скорость движения твердых частиц относительно фильтрации жидкости, согласно обобщенному закону Дарси, принимает вид:

$$\bar{\vartheta}_в - \bar{\vartheta}_0 + \bar{\vartheta}_ж = -\frac{k}{\gamma_ж \cdot n} \cdot \frac{\partial \bar{U}}{\partial y} \,, \tag{10}$$

где $\bar{\vartheta}_0$ – средняя скорость перемещения; $\bar{\vartheta}_ж$ – среднее значение скорости фильтрации относительно твердого; *k* – коэффициент фильтрации; $\gamma_ж$ – плотность поровой жидкости.

Учитывая, что:

$$\bar{\vartheta}_ж = \frac{\vartheta_ж}{n}; \bar{\vartheta}_0 = \frac{\vartheta_0}{1-n}; \bar{\vartheta}_в = \frac{\vartheta_в}{n_в} \,,$$

в выражении (10) и, умножив на *n*, получим:

$$\frac{n \cdot \vartheta_в}{n_в} - \frac{n \cdot \vartheta_0}{1-n} + \frac{n \cdot \vartheta_ж}{n_ж} = -\frac{k}{\gamma_ж} \cdot \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} \tag{11}$$

Обозначим:

$$e_в = \frac{n_в}{n}; e_ж = \frac{n_ж}{n}; e = \frac{n}{1-n}; n = \frac{e}{1+e}, \tag{12}$$

где $e_ж$, $e_в$ – доля воздуха, доля жидкости в порах соответственно; e – величина, характеризующая коэффициент пористости рассматриваемого объема.

С учетом (12) выражение (11) после дифференцирования принимает вид:

$$\frac{1}{e_в}\cdot\frac{\partial \vartheta_в}{\partial y} + \frac{1}{e_ж}\cdot\frac{\partial \vartheta_ж}{\partial y} - \vartheta_0\cdot\frac{\partial e}{\partial y} - e\cdot\frac{\partial \vartheta_0}{\partial y} = -\frac{\partial}{\partial y}\left(k\cdot\frac{1}{\gamma_ж}\cdot\frac{\partial \bar{U}}{\partial y}\right). \tag{13}$$

Здесь сделано допущение, что во время уплотнения соотношение между жидкостью и воздухом в порах остается без изменения, т.е. $e_в$=*const*, $e_ж$=*const*. Третий член левой части выражения (13) является произведением очень малых величин и поэтому при суммировании с тремя другими может быть опущен.

Преобразуем (13) следующим образом:

$$\frac{\partial \vartheta_в}{\partial y} = e_в\cdot e\cdot\frac{\partial \vartheta_0}{\partial y} - \frac{e_в}{e_ж}\cdot\frac{\partial \vartheta_ж}{\partial y} - e_в\cdot\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{k}{\gamma_ж}\cdot\frac{\partial \bar{u}}{\partial y}\right). \tag{14}$$

Подставив значение $\frac{\partial \vartheta_в}{\partial y}$ и (14) в выражение (9) и приравняв ввиду малости $\frac{\vartheta_в}{\rho}\cdot\frac{\partial \rho}{\partial y} = 0$, имеем:

$$\begin{aligned} &e_в\cdot e\cdot\frac{\partial \vartheta_0}{\partial y} - \frac{e_в}{e_ж}\cdot\frac{\partial \vartheta_ж}{\partial y} - e_в\cdot\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{k}{\gamma_ж}\cdot\frac{\partial \bar{U}}{\partial y}\right) + \\ &+\frac{\partial \vartheta_0}{\partial y} + \frac{\partial \vartheta_ж}{\partial y} + \frac{\vartheta_в}{\rho}\cdot\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{n_в}{\rho}\cdot\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0. \end{aligned} \tag{15}$$

Согласно (8)

$$\frac{\partial \vartheta_0}{\partial y} = -\frac{\partial(1-n)}{\partial t} = \frac{\partial n}{\partial t}. \tag{16}$$

Подставив (16) в (15), после элементарных преобразований получим:

$$(1 - e_â\cdot e)\cdot\frac{\partial n}{\partial t} + \frac{\partial \vartheta_æ}{\partial y}\cdot\left(1 - \frac{e_â}{e_æ}\right) + \frac{n_â}{\rho}\cdot\frac{\partial \rho}{\partial t} - \frac{n_â}{n}\cdot\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{k}{\gamma_æ}\cdot\frac{\partial \bar{u}}{\partial y}\right) = 0. \tag{17}$$

Учитывая уравнение состояния идеального газа:

$$V_в = \frac{P}{R\cdot T}, \tag{17}$$

для случая изменения изотермического режима с некоторым приближением можно записать:

$$\frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{1}{P_â}\cdot\frac{\partial P}{\partial t}.$$

Если начальное давление воздуха в порах $U_{ан}$,, а избыточное U_0, то:

$$P_в = U_{ан} + U_a$$

и

$$\frac{1}{P_â} \cdot \frac{\partial P}{\partial t} = \frac{1}{U_à + U_{àí}} \cdot \frac{\partial U_a}{\partial t}. \tag{18}$$

Как показано в [3] избыточное давление распределяется в порах равномерно, т.е.:

$$U_a = U \; ; \; U_{ан} = U_0. \tag{19}$$

Кроме того,

$$\begin{aligned} &\frac{\partial \vartheta_{ж}}{\partial y} = -\frac{\partial n_{ж}}{\partial t}; \frac{\partial e}{\partial t} = \frac{1}{(n-1)^2} \cdot \frac{\partial n}{\partial t}; \\ &\frac{\partial n_{ж}}{\partial t} = h_{тв} \cdot \frac{\partial e}{\partial t} = \frac{\partial y}{\partial t} = 0. \end{aligned} \tag{20}$$

Учитывая (18), выражение (17) представим в виде:

$$\begin{aligned} &(1 + e_в \cdot e) \cdot (1 - n^2) \cdot \frac{\partial e}{\partial t} - \frac{\partial n_{ж}}{\partial t} \cdot \left(1 - \frac{e_в}{e_{ж}}\right) + \\ &+ \frac{n_в}{U + U_0} \cdot \frac{\partial u}{\partial t} - \frac{n_в}{1-n} \cdot \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{k}{\gamma_{ж}} - \frac{\partial \bar{U}}{\partial y}\right) = 0. \end{aligned} \tag{21}$$

Учитывая (12) и ввиду того, что:

$$e_{ж} = \frac{n_{ж}}{1-n}; e_в = \frac{n_в}{1-n}; n_{ж} = n - n_в; e = \frac{n}{1-n}; s_{ж} = \frac{e_{ж}}{e}, \tag{22}$$

выражение (21) приведем к виду:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = \frac{(n - n_{ж}) \cdot \left\{ \frac{1}{1-n} \cdot \frac{\partial}{\partial y}\left[\frac{k}{s_{ж} \cdot \gamma_{ж}} \cdot \left(\frac{\partial P / \partial t - \partial P' / \partial t}{\partial n / \partial t} \right) \right] - \frac{1}{U_0 + U} \cdot \left(\frac{\partial P}{\partial t} - \frac{\partial P'}{\partial t} \right) \right\}^{(1-n)^2}}{n^2 \cdot (1 - s_{ж})} = 0 \tag{23}$$

.

Здесь $n_{ж}$ – относительный объем пор, заполненный жидкостью; n – пористость в момент времени t; $\gamma_{ж}$ – плотность жидкости; $s_{ж}$ – степень водонасыщения рассматриваемого объема.

В период уплотнения пористость непрерывно уменьшается за счет выдавливания жидкости и воздуха.

Приравняв $U \approx \bar{U}$ и считая $\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{\partial P}{\partial t}\right) = 0$, после несложных преобразований мы получим:

$$\frac{n^2}{(1-n)^2} \cdot \left(\frac{\partial n}{\partial t}\right)^3 = (1 - \upsilon \cdot \cos\gamma) \cdot \left\{ -\left[\frac{k}{s_{ж} \cdot \gamma_{ж} \cdot (1-n)} \cdot \frac{\partial^2 P}{\partial y \partial t} \cdot \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{1}{a} \cdot \left(\frac{\partial n}{\partial t}\right)^2 \cdot \frac{\partial P}{\partial t} \right] \right\}, \tag{24}$$



где $a=U_0+U=const$; k – коэффициент фильтрации жидкости в порах агрегата (среды); P – напряжение от прикладываемого давления; υ – относительная доля непосредственно контактирующих частиц.

Величина a принимается в практических расчетах постоянной [3]. Анализ формулы (24) показывает, что чем больше жидкости в порах, $/S_{ж}/$, выше напряжение P и меньше сопротивление жидкости смещению частиц, тем выше скорость изменения плотности. Другими словами, для эффективного уплотнения целесообразно увеличить прикладываемые нагрузки с одновременным повышением увлажненности материала. Однако, как показывают результаты исследований, излишняя переувлажненность ведет к значительному снижению сцепления $F_{сц}$ взаимодействующих частиц.

Перепишем (24) в виде:

$$-\frac{\partial P}{\partial t}=\frac{n^2/\ (1-n)^2}{(1-\upsilon\cdot\cos\gamma)\cdot\left[\dfrac{k}{s_{ж}\cdot\gamma_{ж}\cdot(1-n)}\cdot\dfrac{\partial^2 n}{\partial y\partial t}+\dfrac{1}{a}\cdot\left(\dfrac{\partial n}{\partial t}\right)^2\right]}\left(\frac{\partial n}{\partial t}\right)^3. \qquad (25)$$

Знак минус отражает противоположность действия P и n.

Если $\dfrac{\partial^2 n}{\partial y\partial t}=s\cdot\left(\dfrac{\partial n}{\partial t}\right)^2$, то окончательно можно записать:

$$\frac{\partial P}{\partial t}=-\frac{n^2}{(1-\upsilon\cdot\cos\gamma)\cdot\left[\dfrac{k\cdot s\cdot(1-n)}{s_{ж}\cdot\gamma_{ж}}\cdot\dfrac{\partial^2 n}{\partial y\partial t}+\dfrac{(1-n)^2}{U+U_0}\right]}\cdot\frac{\partial n}{\partial t}. \qquad (26)$$

Анализ выражения (26) показывает, что чем более рыхлый материал, тем больше может быть величина P. Кроме того, чем больше влажность $/S_{ж}/$, тем больше должно быть давление P для компенсации порового напряжения.

Поскольку в практике гранулообразование чаще всего встречаются случаи производства гранул из переувлажненного материала, становится понятной целесообразность применения повышенных давлений на гранулообразующую среду в начале технологического процесса. В соответствии с реологическими основами механики дисперсных материалов давление может быть реализовано в виде постоянной величины, действующей за определенный промежуток времени, либо в виде кратковременных импульсных воздействий большой серии [2].

Анализ позволяет наметить также пути интенсификации процесса производства гранул путем рассмотрения гранулообразующего материала с позиций структурно-связанного тела с гибкими реологическими связями на уровне частиц, составляющих это тело.

Предпосылки, сформированные на основе исследований для вывода уравнения (26), и его анализ позволяют сделать заключение о том, что в процессе формирования гранул из сыпучей среды, последняя претерпевает значительные изменения как по увлажненности, так и по степени воздействия на нее статической импульсной нагрузки.

Но поскольку увлажненность (в данном случае имеется в виду объем жидкости в межчастичном пространстве по отношению к объему контактирующих частиц) изменяется, то и меняются упруго-вязкопластические свойства этой среды.

В результате расчета по выражению (26) установлена зависимость $\left|\dfrac{\Delta P}{\Delta n}\right|=f(n)$, представленная на рис. 2. Согласно рисунку, для большей пористости (меньшей плотности), можно приложить большее приращение давления для уплотнения гранул. Кроме того, приращение $\Delta P/\Delta n$ на интервале пористости 0,25…0,4 практически линейно и применение увеличения динамических нагрузок не приведет к разрушению гранул на

всем промежутке гранулообразования, т. е. приемлемо использование режима повышения динамических нагрузок (а) на всей длине барабана окомкователя, тем более, что пористость готовых гранул не должна быть меньше 0,25…0,28, исходя из требований доменного производства. Другими словами, приращение массы за единицу времени гранулообразование в режиме ПДН значительно возрастает. Это легко подтверждается также и расчетами по выражению (10) из [5].

При этом значительно сокращается время гранулообразования, что влечет за собой рост производительности оборудования и повышения качества готовой продукции [6].

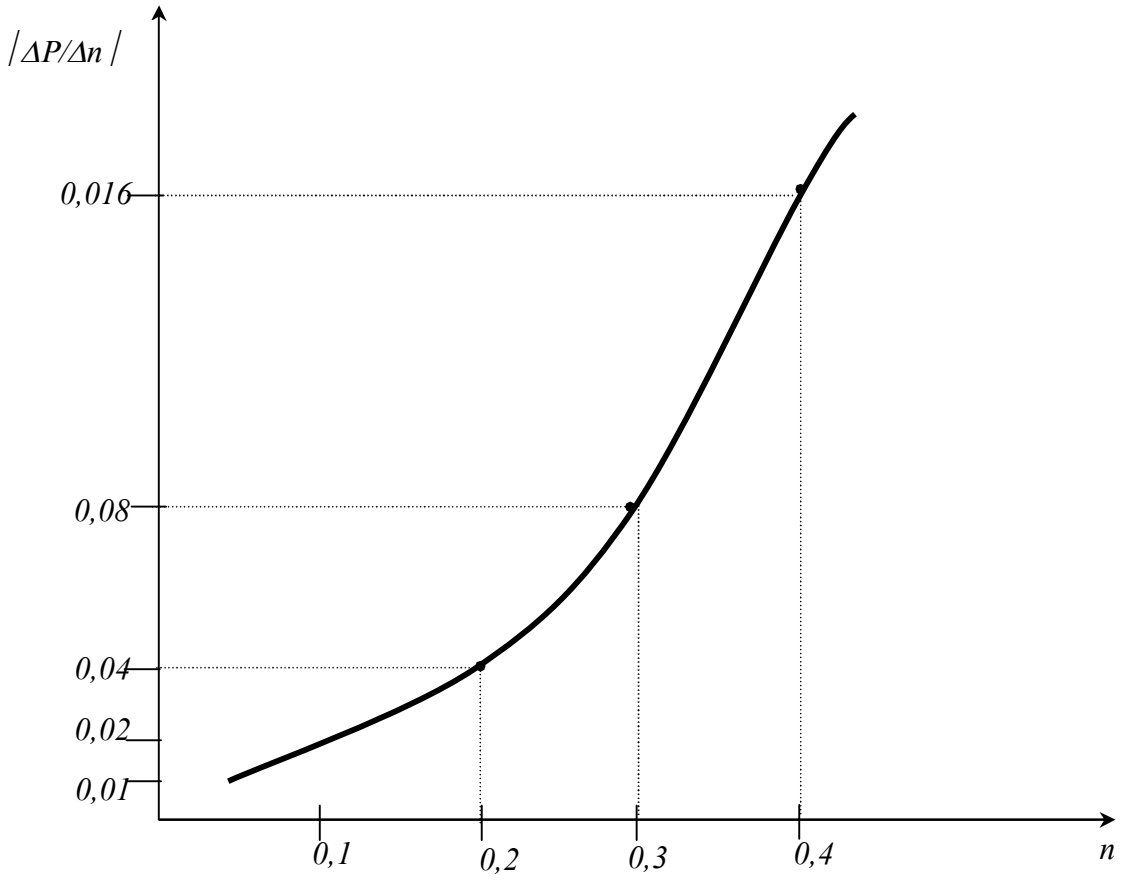


Рисунок 2 – Зависимость соотношения приращения ΔP и Δn на интервале пористости уплотненной среды

Выводы. Согласно расчетам в начале процесса гранулообразования, когда гранулообразуемая масса представлена в основном исходной шихтой и определенным процентом зародышей, прирост массы гранул возрастает примерно в 4 раза, а условия воздействия на гранулообразующую среду могут быть увеличены порядка до 100 раз.

Пик роста массы имеет место для частиц ~50 мкм с постепенным спадом до результата ~350 мкм. Эти теоретические расчеты подтверждаются практикой использования режима повышения динамических нагрузок при гранулообразовании.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование динамики процесса окомкования магнетитовых концентратов / [Нестеров Г. С., Урин В. Д., Юрин А. А., Васильева Ю. А.] // Окускование железных руд и концентратов. – Свердловск, 1976. – № 3. – С. 31-34.

2. Bhrany U. N. Entwurf und Betrieb von Pelletiertellern / U. N. Bhrany // Aufbereitung-Technik. – 1977. – № 12. – P. 641-647.

3. Динамика и механизм процесса окомкования шихты в цилиндрическом

барабане 3,2х12,5 м / [Коршиков Г. В., Невмержицкий Е. В., Левин С. Л., Хайков М. К.] // Сталь. – 1972. – № 3. – С. 4-10.

4. Мешик А. Ф. Движение сыпучего материала во вращающихся печах / А. Ф.Мешик // Научн. сообщ. НИИЦемент. – 1970. – № 23. – С. 21-23.

5. Седов Л. И. Механика сплошной среды / Л. И. Седов. – М. : Наука, 1970. – 255 с.

6. Богдановский Л. Н. Механическая модель движения шихты во вращающемся барабане / Л. Н. Богдановский, Г. В. Коршиков. // Известия АН СССР : Металлы.– 1973. – № 1. – С. 5-8.

Ісаєв Є.О. ДИНАМІКА УЩІЛЬНЕННЯ ЕЛЕМЕНТАРНОГО ОБ'ЄМУ СИПКОГО МАТЕРІАЛУ

У статті розглянутий процес ущільнення сипких матеріалів на основі теорії консолідації. Опис динаміки ущільнення тонкоподрібненого матеріалу, який здійснюється у фазі «течії» матеріалу та пов'язане з цим явище зміни форми. Для опису процесів динаміки ущільнення гранул використаний закон Дарсі з урахуванням змінни коефіцієнта фільтрації залежно від коефіцієнта пористості зразка, а також нелінійної залежності «напруга–деформація», що виникає при навантаженні. У результаті дослідження отримано, що на початку процесу гранулоутворення, коли гранулоутворююча маса представлена в основному початковою шихтою і певним відсотком зародків, приріст маси гранул зростає приблизно в 4 рази, а умови дії на гранулоутворююче середовище можуть бути збільшені у порядку до 100 разів.

Ключові слова: гранулоутворення, динаміка ущільнення, динамічне навантаження.

Isaev E.A. DYNAMICS OF COMPRESSION OF ELEMENTARY VOLUME OF FRIABLE MATERIAL

In the article the process of compression of friable materials is considered on the basis of theory of consolidation. Description of dynamics of compression of fine-divided material, carried out in the phase of «flow» of material and the phenomenon of формоизменения related to it. For description of processes of dynamics of compression of granules the law of Darcy is used taking into account changeability of coefficient of filtration depending on the coefficient of porosity of standard, and also nonlinear dependence «tension–deformation», arising up at an appendix loading. It is got as a result of research, that at the beginning of process of гранулообразования, when гранулообразуемая mass is presented mainly by an initial charge and certain percent of embryos, the increase of mass of granules increases approximately in 4 times, and affecting terms гранулообразующую environment can be megascopic order to 100 times.

Keywords: гранулообразование, dynamics of compression, dynamic loading.

Статтю прийнято
до редакції 13.06.14.

УДК 629.016

АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТА РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО ПРИВІД-ГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТУ

Іщенко І.М., Черненко В.В., Клементьєва О.Ю.
Херсонська державна морька академія

У статті розглядаються умови доцільності використання валогенераторів на суднах різних типів, а також можливість використання валогенераторів у режимі руху при живленні їх від автономних дизель-генераторів. Наявність валогенератора зменшує число автономних дизель-генераторів, знижує вартість виробленої електроенергії, витрати на ремонт і обслуговування, а також рівень шуму у машинному відділенні. У роботі проведений аналіз і визначено основні характеристики валогенераторної установки на основі диференціального привід-генераторного агрегату комбінованого пропульсивного комплексу. В якості прикладу розглянуто диференціальний асинхронно-синхронний генераторний агрегат стабільної частоти при змінній швидкості обертання – «супероксівар». У результаті дослідження автори дійшли висновку, що застосування диференційного привід-генераторного агрегата дозволяє відносно легко вирішити задачу пуску вало-генераторної установки в режимі двигуна, а також забезпечити стабілізацію частоти обертання при роботі в режимі генератора.
Ключові слова: валогенератор, диференціальний привід-генераторний агрегат, розрахунок режимів роботи.

Вступ. Транспортні судна складають близько 90 % загального тоннажу морського та річкового флоту. Універсальні вантажні судна – це судна для перевезення генеральних вантажів, контейнерів, навалювальних вантажів, колісної техніки. Аналіз статистичних даних показує, що значення потужності суховантажних, нафтоналивних суднових електроенергетичних систем (СЕЕС) подвоюється через кожні 7–10 років. Сьогодні на суховантажних універсальних суднах морського плавання потужність електростанцій складає, в середньому, вже близько 2000 кВт. За рахунок економії електроенергії СЕЕС, можна отримати істотну економію нафтопродуктів на суднах.

Для суховантажних універсальних суден питання економічності й удосконалення можуть бути вирішені шляхом автоматизації СЕЕС з використанням пристроїв і систем регулювання, управління, контролю і захисту; використанням дизель-генераторів, що працюють переважно на стоянці та при якірному режимі та застосуванням систем використання енергії гребних електроустановок у ходовому режимі; стабілізацією напруги і частоти генераторів; розподілом активного і реактивного навантаження між паралельно працюючими генераторними агрегатами; включенням резервних і аварійних джерел електроенергії; автоматичним включенням генераторів на паралельну роботу; захистом генераторів, електричних якорів і СЕЕС від режимів, що можуть пошкодити це обладнання; перемиканням живлення приймачів; контролем роботи СЕЕС; дистанційним управлінням СЕЕС.

Актуальність дослідження. Використання на суднах валогенераторів доцільно за такими причинами: більш високий коефіцієнт корисної дії головних двигунів, можливість стабілізації навантаження двигунів при змінному навантаженні електричної мережі, а також специфічних режимів роботи головного двигуна з недонавантаженням для деяких типів суден (риболовецькі траулери, буксири, судна льодового плавання). Валогенератор повинен забезпечувати постійну частоту обертання генератора незалежно від навантаження головного двигуна і частоти його обертання.

Валогенератори дозволяють повніше використовувати енергетичні можливості головного двигуна, одержувати електроенергію від нього для всіх допоміжних споживачів на ходовому режимі, причому з більшою економічністю, тому що коефіцієнт корисної дії головного двигуна звичайно вище ККД ВД.

Крім того, можливе використання валогенераторів у режимі руху при живленні їх від автономних дизель-генераторів. Наявність валогенератора зменшує число автономних

дизель-генераторів, знижує вартість електроенергії, що виробляється, а також витрати на ремонт і обслуговування і рівень шуму у машинному відділенні.

На риболовецьких траулерах застосування валогенераторів дозволяє стабілізувати навантаження головного двигуна на різних ходових режимах (без трала, з різними типами тралів, при їх постановці і виборці) і полегшує живлення такого важкого споживача електроенергії, як тралова лебідка.

Валогенератор повинен забезпечувати постійну частоту обертання генератора незалежно від навантаження головного двигуна і його частоти обертання. Стабілізація частоти обертання валогенератора забезпечується двома засобами: зміною кута установки лопастей гвинта керованого кроку та ступенем заповнення мастилом порожнини гідромуфти. При останньому методі застосування значно знижується ККД. У зв'язку з вимогами стабільності частоти обертання валогенераторів їх частіше використовують в суднових енергетичних установках, які обладнані гвинтом керованого кроку. Гідравлічну муфту завжди доцільно встановлювати на самому швидкохідному валі (з метою зменшення її габаритів).

Існують наступні схеми приводу валогенератора в енергетичних установках: з клиноремінною передачею; передачею від вільного кінця головного двигуна; з валогенератором, який вбудований в лінію вала; з мультиплікатором від валопроводу.

Найбільшого застосування валогенератори набули в енергетичних установках з гвинтом керуючого кроку при роботі головного двигуна за навантажувальною характеристикою. Потужність валогенератора в залежності від типу і призначення судна може досягати 1,5–2,0 тис. кВт (визначається з умови повного забезпечення всіх суднових споживачів в електричній енергії у ходовому режимі).

При знеструмленні валогенератора один із допоміжних дизель-генераторів постійно знаходиться в «гарячому» резерві й автоматично включається в роботу при різкому падінні частоти обертання або зупинці головного двигуна. Валогенератори в енергетичних установках із гвинтом керованого кроку обов'язково повинні бути забезпечені спеціальними стабілізуючими пристроями, які забезпечують підтримку постійної частоти обертання валогенератора або частоти струму (чи напруги у валогенераторі постійного струму). Це в основному стосується енергетичних установок з оптимізацією роботи гвинта керованого кроку, коли одночасно змінюється частота обертання головного двигуна та крокове відношення головного гвинта.

Мета дослідження. Провести аналіз і визначити основні характеристики валогенераторної установки на основі диференціального привід-генераторного агрегату комбінованого пропульсивного комплексу.

Результати дослідження. Валогенератори можна умовно підрозділити на три основні категорії:

1. Найпростіші валогенератори, які не мають системи регулювання частоти обертання, а, отже, і підтримки необхідної частоти електричної енергії. Оскільки частота електроенергії, що виробляється пропорційно частоті обертання головного двигуна, то він повинен працювати при $n = const$. Це можливо тільки для гвинта керованого кроку без оптимізації його роботи.

2. Альтернативні валогенератори, які застосовуються для вироблення електроенергії із плаваючою частотою між 50 і 60 Гц, через можливі зміни частоти обертання головного двигуна від 100 до 80 %. Це означає, що споживачі енергії, які чутливі до зміни частоти, повинні живитися через перетворювачі частоти або від дизель-генераторів. Ці валогенератори непристосовані до паралельної роботи з дизель-генераторами, вони використовуються під час рейсу судна, коли дизель-генератори виведені з експлуатації. Їх загальний ККД становить близько 92 %.

3. Валогенератори, які виробляють електричну енергію з постійною частотою в широкому діапазоні обертів двигуна. Для забезпечення частоти електричного струму можуть використовуватися редуктори або електронні перетворювачі частоти струму.

Редуктор може підтримувати постійну частоту обертання вихідного вала в діапазоні 100…70 % від обертань дизельної машини. Валогенератор може працювати один або паралельно з дизель-генераторами. Загальний ККД змінюється від 88 до 91 % у залежності від частоти обертання колінчатого вала головного двигуна.

На сучасних суднах використовують приводи валогенераторів від вільного валу дизеля. При цьому генератор розміщений горизонтально між підвищуючим редуктором і носовим торцем двигуна. Еластична демпфіруюча гумова муфта встановлена на вхідному валу редуктора зі сторони двигуна, а двигун з'єднаний з валогенератором проміжним валом, який проходить через щит закриття носового торця. Часто між носовим торцем двигуна і муфтою встановлюється опорний підшипник.

Пропульсивна система з низькообертовим двигуном і валогенератором встановлюється на суднах, які потребують високих маневрених якостей, наприклад на човникових танкерах, призначених для доставки вантажу зі сховищ при родовищах або безпосередньо від нафтодобувних платформ. Допоміжна пропульсивна установка здатна приводити гвинт керованого кроку, використовуючи валогенератор як електродвигун, коли головний двигун зупинений і роз'єднаний з гвинтом, а електроенергія подається від дизель-генераторів. На валопроводі після редуктора укріпляється муфта, яка роз'єднує гвинт і головний двигун в порту, тому головний двигун може використовуватися для вироблення електричної енергії без обертання гвинта. Ця муфта працює від тиску гідромастила, що надходить від силового блоку управління гвинта керованого кроку.

Коли муфта роз'єднана, упор гвинта передається через вбудований в муфту упорний підшипник на упорний підшипник двигуна. Для досягнення високого ККД гвинта в режимі допоміжної пропульсивної установки використовується двошвидкісний тунельний редуктор, який забезпечує зниження обертів гвинта.

Валогенератори на відміну від дизель-генераторів мають наступну низку переваг: менші габарити, низька початкова вартість, низькі витрати на монтаж і обслуговування, значний термін служби і низький рівень шуму.

У залежності від типу валогенератора, який застосовується вони можуть мати деякі недоліки: при зупиненому двигуні електрична енергія не виробляється, необхідна підвищена потужність головного двигуна, знижується ККД гвинта і двигуна (якщо гвинт керованого кроку працює при $n = const$), складний валопровід.

Статистика показує, що, не зважаючи на значну кількість переваг валогенераторів, більшість двотактних двигунів із прямим приєднанням гребного гвинта ними не обладнуються. Це обумовлено тим, що дизель-генератори за останні роки стали більш надійними і можуть працювати на важкому паливі. Якщо ж існує надмір потужності головного двигуна, встановлення валогенератора є економічно виправданим.

Як показано вище, окрім риболовецьких траулерів, буксирів, суден льодового плавання, на сучасних суднах достатньо широко використовуються системи із валогенераторами особливо в суднових енергетичних установках, які обладнані гвинтом керованого кроку. Також вони набули широкого застосування на суднах із тривалим ходовим режимом при якому головний двигун працює практично при постійній частоті обертання, що дозволяє протягом тривалого часу використовувати валогенератор для живлення суднових приймачів. При цьому дизель-генератор знаходяться в постійній готовності і включаються в роботу при зупинці головного двигуна або при переході на маневрений режим.

На сучасних суднах застосовуються валогенератори різних схем і конструкцій. Розглянемо системи валогенераторів з перетворювачами частоти та планетарними передачами. Так, валогенераторні установки фірми «Siemens» вже декілька десятиліть успішно експлуатуються на різних судах. Фірма освоїла випуск кількох типів валогенераторних установок, однак найбільш широке застосування отримала установка з синхронними валогенератором та напівпровідникоим перетворювачем, які застосовуються для стабілізації частоти суднової мережі. Валогенераторна установка

фірми Siemens з напівпровідниковим перетворювачем і синхронним валогенератором, яка представлена на рис. 1, складається із синхронного валогенератора, синхронного компенсатора (СК) та напівпровідникових перетворювачей енергії. При цьому інвертор, як правило, виконується двомостовим і часто підключається до гвинта керованого кроку за допомогою підвищувального трансформатора.

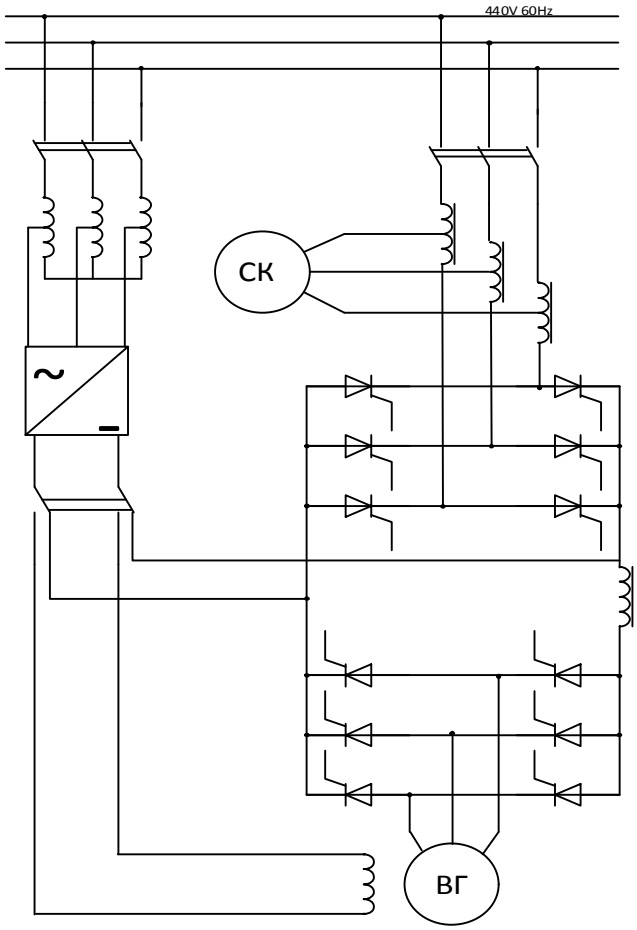


Рисунок 1 – Схема валогенераторної установки фірми «Siemens»

Крім автономної роботи система регулювання валогенераторної установки забезпечує тривалу паралельну роботу валогенератора з дизель-генератором, утилізаційним турбогенератором або іншим валогенератором (на багатовальних судах).

Істотною перевагою валогенераторної установки фірми «Siemens» є можливість роботи валогенератора в режимі руху судна. Електроенергія в цьому випадку надходить до валогенератора через напівпровідниковий перетворювач від гвинта керованого кроку. Інвертор при цьому переходить в режим роботи керованого випрямляча, а випрямляч – в режим роботи інвертора.

У режимі двигуна валогенератор може працювати як спільно з головним двигуном, так і автономно при аварійних режимах за умови відмови головного двигуна. В останньому випадку валогенератор за допомогою роз'єднувальної муфти від'єднується від головного двигуна. У режимі руху при автономній роботі він може забезпечити швидкість судна до 30 % від номінальної швидкості. При спільній роботі валогенератора і головного двигуна швидкість судна може бути збільшена на 3–5%.

У системах з планетарними передачами постійна частота обертання генератора забезпечується відповідною зміною частоти обертання допоміжного генератора або гідравлічного двигуна.

Перевагою установки валогенератора з гідроприводом є висока швидкодія і масогабаритні показники. За динамічними характеристиками планетарні передачі з гідроприводом мають більше переваг від передач із допоміжним електричним двигуном.

Це пов'язано з тим, що гідромашини мають більш низький момент інерції і при цьому відрізняються більш високими демпфуючими властивостями. Однак різниця у регулювальних властивостях цих двох систем несуттєва. Найбільш суттєвою перевагою валогенераторної установки з електричною системою стабілізації є більш високий ККД.

Втрати в валогенераторі дизельної установки з електроприводом менші, ніж у валогенераторній установці з гідроприводом, але при цьому втрати в останній істотно залежать від навантаження валогенератора і частоти обертання головного двигуна та мають виражений мінімум. За оцінкою фірм-виробників, вартість валогенераторної установки з гідроприводом трохи нижча. Так, витрати на установку планетарної передачі з електроприводом виправдовують себе приблизно через 10 років експлуатації валогенераторної установки, у той час як гідравлічні системи передачі – через 5–7 років. У зв'язку з цим саме валогенератори з гідравлічною системою стабілізації частоти знайшли більш широке застосування.

Прикладом використання валогенераторна установка з планетарною передачею є навалочне судно «Кристіян Палусалу», збудоване Миколаївським заводом «Океан». На судні встановлений головний двигун типу 8ДКРН 60/195 з тривалою максимальною потужністю 9500 кВт при частоті обертання 100 об/хв. Двигун безпосередньо з'єднаний з гвинтом керованого кроку. Приводом валогенератора є редуктор, який здійснює перерозподіл потужності від головного двигуна і підтримує постійну частоту обертання валогенератора при зміні частоти обертання головного двигуна від 70 % до 100 % від номінальної потужності.

Як приклад диференціального асинхронно-синхронного генераторного агрегату стабільної частоти при змінній швидкості обертання розглянемо «СуперОксівар», принципова схема якого зображена на рис. 2. Агрегат складається із синхронного генератора (СГ) зі збудником і підзбудником, диференціального редуктора (ДР), асинхронної машини з тиристорною системою перемикання (АМ), статорних обмоток і тиристорних регуляторів напруги із трансформаторним фільтром (ТФ) та блоку керування (КК).

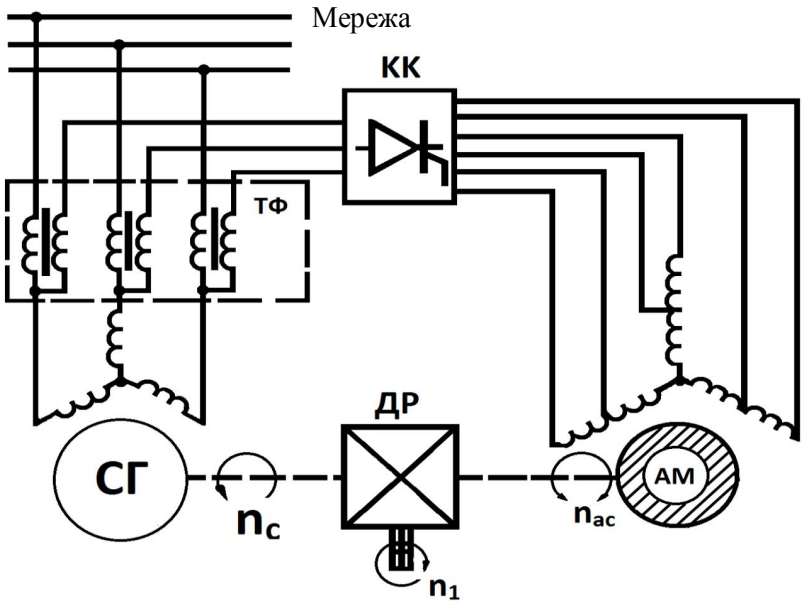


Рисунок 2 – Агрегат фірми «СуперОксівар»

Особливістю генераторного агрегату «СуперОксівар» є те, що замість перемикачів контакторного типу застосовані тиристорні перемикачі, а замість керованого дроселя ланцюга статорної обмотки асинхронної машини – тиристорний регулятор напруги з трансформаторним фільтром. Для забезпечення широкого діапазону зміни швидкості обертання ротора АМ при відносно невеликий максимальній потужності ковзання,

перетворюється у тепло в масивному роторі, швидкість обертання магнітного поля АМ змінюється як за величиною, так і за напрямками в результаті зміни числа пар полюсів p_i у послідовності чергування фаз статорної обмотки.

На основі проведеного аналізу різних систем з валогенераторами, у тому числі і з планетарними передачами, як агрегат комбінованого пропульсивного комплексу обираємо диференційний синхронно-асинхронний агрегат, схема якого приведена на рис. 3.

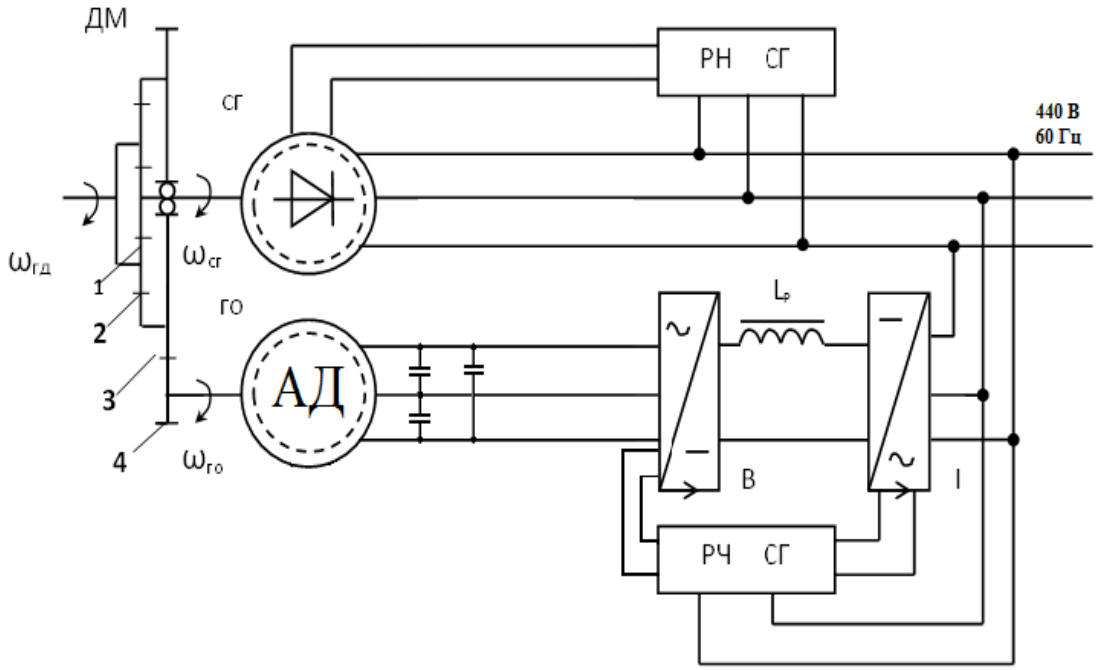


Рисунок 3 – Принципова електрична схема диференційного синхронно-асинхронного агрегату: ДМ – диференційний механізм; СГ – безконтактний трифазний основний синхронний генератор; АД – генератор опори; В – випрямляча; І – інвертор; РН – регулятора напруги; РЧ – регулятор частоти, апаратура захисту і управління

У схемах, які містять диференціальний механізм, водило, як правило, з'єднується з валом приводного двигуна. У нашому випадку це може бути вал головного двигуна або валопровід. При цьому однакова з сонячною чи коронною шестернею буде поєднано вал основного синхронного генератора.

У цьому випадку сонячна шестірня поєднана із валом основного генератора, а коронна за допомогою проміжної – з валом генератора опори. Для отримання повної визначеності руху валів диференціального механізму необхідно задати напрям руху двох його зовнішніх валів. Так як необхідно забезпечити постійну частоту напруги на виході синхронного генератора, тобто його постійну частоту обертання (постійну частоту обертання сонячної шестірні), то відповідно повинні бути задані частоти обертання водила і коронної шестірні. Отже, регулювання частоти обертання сонячної шестірні при заданому законі руху водила (валу головного двигуна) може бути досягнуте відповідною зміною частоти обертання коронної шестірні шляхом зміни моменту генератора опори, який сполучений з нею. Таким чином, стабілізація частоти обертання вала основного синхронного генератора, а отже, і частоти напруги змінного трифазного струму на виході диференційного синхронного привід-генераторного агрегату при зміні частоти обертання вала головного двигуна забезпечується відповідною зміною частоти обертання генератора опори за допомогою регулювання його механічного моменту зміною величини активної потужності, що передається від генератора опори через випрямляч і інвертор у мережу змінного струму. При цьому в сталому режимі роботи потужності генераторів повинні бути перерозподілені між собою таким чином, щоб на всьому діапазоні частот обертання головного при різних величинах навантаження на виході диференціального синхронного

привід-генераторного агрегату наведені механічні моменти основного синхронного генератора і генератора опори були рівні між собою. Цього, на нашу думку, можна досягнути наступними шляхами:

– зміною величини напруги постійного струму на вході інвертора при постійному значенні кута випередження;

– зміною кута випередження інвертора при постійному значенні напруги на його вході;

– зміною напруги на виході генератора опори при використанні некерованого випрямляча;

– зміною напруги на виході керованого випрямляча за допомогою зміни кута управління;

– при змішаному управлінні.

Виходячи із розглянутих вище схем, визначимо основні співвідношення диференціального синхронного привід-генераторного агрегату.

Співвідношення частот обертання водила, пов'язаного з валом головного двигуна, валів основного синхронного генератора і генератора опори, пов'язаних з відповідними шестернями, для електрокінематичної схеми, наведеної на рис. 3, визначається рівнянням:

$$\left(1+\frac{Z_2}{Z_1}\right)\omega_{гд} = \omega_{сг} + \frac{Z_2 \cdot Z_4}{Z_1 \cdot Z_3} \cdot \omega_{го}, \qquad (1)$$

де $\omega_{гд}$, $\omega_{сг}$, $\omega_{го}$ – частоти обертання валів голового двигуна (водила), основного генератора (сонячної шестірні), генератора опори (коронної шестірні); Z_1, Z_2, Z_3, Z_4 – числа зубів відповідних шестерень.

Для даної схеми вираз $\left(1+\frac{Z_2}{Z_1}\right)$ та $\frac{Z_2 \cdot Z_4}{Z_1 \cdot Z_3}$ – передавальні числа від водила до вала основного синхронного генератора при загальмованому валі генератора опори і передавальні числа від вала генератора опори до валу основного синхронного генератора при загальмованому водилі. Позначивши їх відповідно як i_1 и i_2, отримаємо:

$$i_1\omega_{гд} = \omega_{сг} + i_2\omega_{го}. \qquad (2)$$

Співвідношення механічних моментів на валах основного синхронного генератора і генератора опори для прийнятої схеми визначається виразом:

$$i_2 M_{сг} = M_{го}, \qquad (3)$$

де $M_{сг}$, $M_{го}$ – механічні моменти, що створюються синхронним генератором і генератором опори на відповідних валах диференціального механізму.

Для перехідного режиму роботи агрегату маємо:

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

де $\omega_{сг}$, $\omega_{го}$ – кутові швидкості основного синхронного генератора і генератора опори, пов'язані з частотами обертання; $J_{сг}$, $J_{го}$ – моменти інерції; $M_{эсг}$, $M_{эго}$ – електромагнітні моменти основного синхронного генератора і генератора опори.

Диференціюючи рівняння (2) з урахуванням (4) отримуємо щодо $\omega_{сг}\omega_{гд}$:

$$i\left(J_{сг}\frac{d\omega_{сг}}{dt} + M_{эсг}\right) = \frac{i_1}{i_2}J_{го}\frac{d\omega_{гд}}{dt} - \frac{1}{i_2}J_{го}\frac{d\omega_{сг}}{dt} + M_{эго}. \qquad (5)$$

Після перетворення маємо:

$$J_{пр1}\frac{d\omega_{сг}}{dt} - J_{пр2}\frac{d\omega_{гд}}{dt} = \frac{1}{i_2}M_{эго} - M_{эсг}, \qquad (6)$$

де $J_{пр1} = J_{сг} + \frac{1}{i_2^2}J_{го}$ – приведений момент інерції вала основного синхронного генератора; $J_{пр2} = \frac{i_2}{i_2^2}J_{го}$ – приведений момент інерції вала головного двигуна.



Рівняння (6) є рівнянням руху, що описує процеси в диференціальному синхронному привід-генераторному агрегаті як при зміні навантаження на його виході, так і при зміні кутової швидкості головного двигуна.

Із приведених виразів видно, що співвідношення моментів основного синхронного генератора і генератора опори залежить від величини передаточного співвідношення i_2. Величина передаточного співвідношення залежить від діапазону зміни частоти обертання приводу двигуна, синхронної частоти обертання основного генератора, максимального значення і кратності зміни частоти обертання генератора опори. У свою чергу, значення вказаних параметрів визначаються режимами роботи агрегату і його енергетичними характеристиками.

Із співвідношення механічних моментів генераторів можна визначити, що:

$$i_2 \frac{30 \cdot P_{СГ}}{\pi \cdot n_{СГ} \cdot \eta_{СГ}} = \frac{30 \cdot P_{ГО}}{\pi \cdot n_{ГО} \cdot \eta_{ГО}}, \tag{7}$$

де $\eta_{СГ}$, $\eta_{ГО}$ – коефіцієнти корисної дії основного синхронного генератора і генератора опори.

Активна потужність на виході диференціальних синхронних привід-генераторних агрегатів дорівнює:

$$P_{ГА} = P_{СГ} + P_{ГО} \cdot \eta_{ВУ} \cdot \eta_{ИУ}, \tag{8}$$

де $\eta_{ВУ}$, $\eta_{ИУ}$ – коефіцієнти корисної дії випрямляча та інвертора.

Після спільного рішення приведених рівнянь активних потужностей електричних машин і інвертора, отримуємо рівняння, які зв'язують активну потужність кожного елемента агрегату з активною потужністю на його виході:

$$P_{СГ} = P_{ГА} \frac{1}{1 + i_2 \frac{n_{ГО} \cdot \eta_{ВУ} \cdot \eta_{ИУ} \cdot \eta_{ГО}}{n_{СГ} \cdot \eta_{СГ}}}; \tag{9}$$

$$P_{ГО} = P_{ГА} \frac{1}{\eta_{ИУ} + \frac{n_{СГ} \cdot \eta_{СГ}}{i_2 \cdot n_{ГО} \cdot \eta_{ГО} \cdot \eta_{ВУ}}}; \tag{10}$$

$$P_{ИУ} = P_{ГА} \frac{1}{1 + \frac{n_{СГ} \cdot \eta_{СГ}}{i_2 n_{ГО} \cdot \eta_{ГО} \cdot \eta_{ВУ} \cdot \eta_{ИУ}}}. \tag{11}$$

Коефіцієнт корисної дії агрегату визначимо із рівняння балансу активних потужностей для режиму роботи, при якому генератор опори працює з віддачею енергії:

$$\eta_{ГА} = \frac{P_{ГА}}{P_{МЕХГА}}, \tag{12}$$

$$P_{МЕХГА} = \frac{P_{МЕХСГ} + P_{МЕХГО}}{\eta_{ДМ}}, \tag{13}$$

$$P_{МЕХСГ} = \frac{P_{СГ}}{\eta_{СГ}}, \tag{14}$$

$$P_{МЕХГО} = \frac{P_{ГО}}{\eta_{ГО}}, \tag{15}$$

де $\eta_{ГА}$ – коефіцієнт корисної дії генераторного агрегату; $P_{МЕХГА}$ – механічна потужність диференціального механізму; $P_{МЕХСГ}$, $P_{МЕХГО}$ – механічна потужність валів основного синхронного генератора і генератора опори; $\eta_{ДМ}$ – коефіцієнт корисної дії диференціального механізму.

Розв'язуючи рівняння щодо коефіцієнта корисної дії агрегату, остаточно отримаємо:

$$\eta_{ГА} = \frac{\eta_{ДМ} \cdot \quad \eta_{СС} \cdot \eta_{ГО} \cdot \eta_{ВУ} \cdot \eta_{ИУ} \cdot (1 + \frac{P_{ИУ}}{P_{СГ}})}{\eta_{ГО} \cdot \eta_{ВУ} \cdot \eta_{ИУ} + \eta_{СГ} \frac{P_{ИУ}}{P_{СГ}}}. \qquad (16)$$

Аналіз виразу (16) показує, що коефіцієнт корисної дії агрегату в основному визначається співвідношенням активних потужностей між основним синхронним генератором і інвертором.

На підставі отриманих співвідношень авторами проведений розрахунок потужності електричної машини агрегату, моментів, частоти обертання генератора опори при потужності агрегату 560 кВт, частоті обертання вхідного валу (головного двигуна) від 50 до 128 об/хв. При цьому, частота синхронного генератора обрано 1500 об/хв. Результати розрахунків приведено на рис. 4.

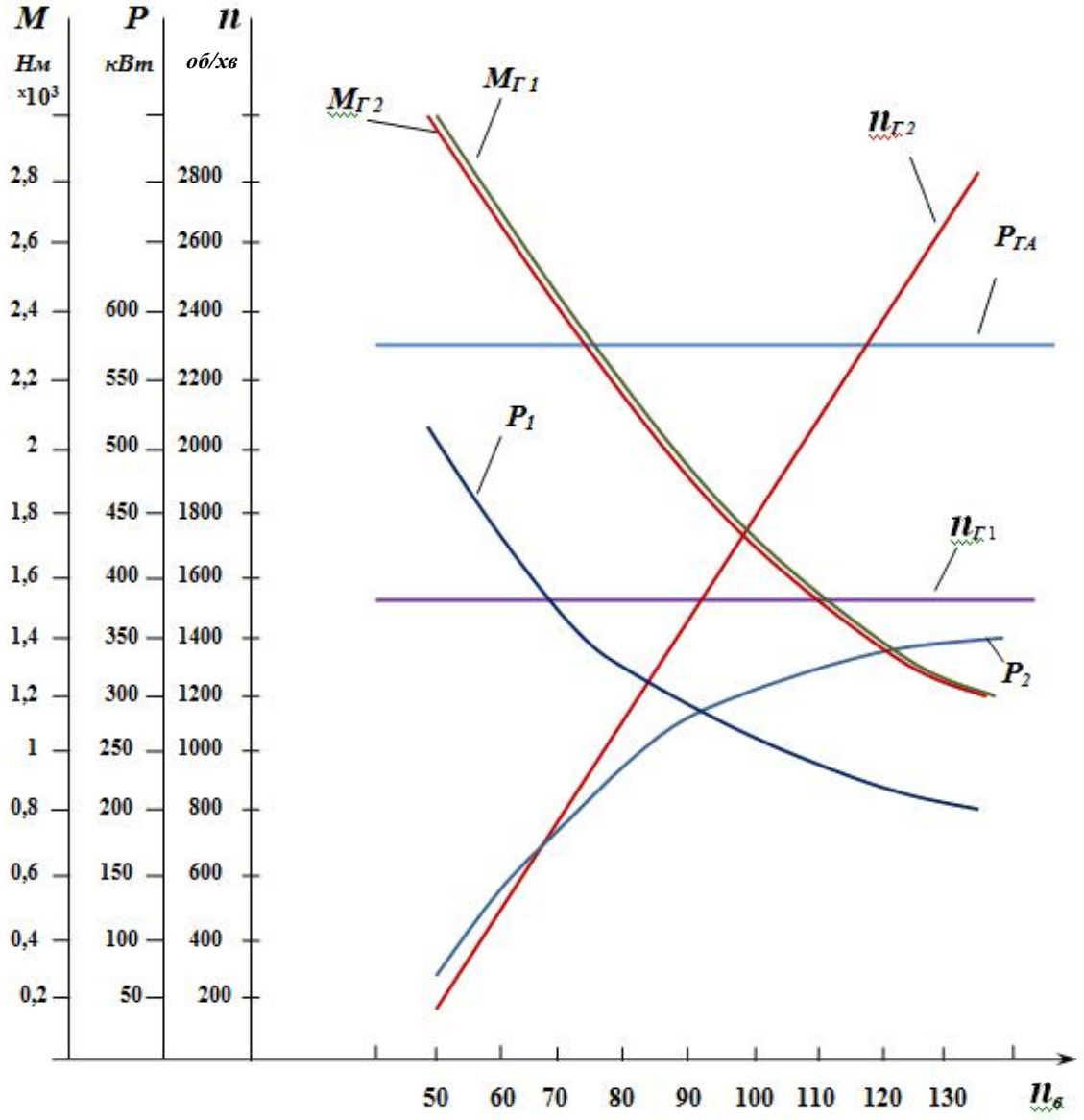


Рисунок 4 – Характеристики диференціального синхронного привід-генераторного агрегату

Висновки. Застосування диференційного привід-генераторного агрегата дозволяє відносно легко вирішити задачу пуску вало-генераторної установки в режимі двигуна, а також забезпечити стабілізацію частоти обертання при роботі в режимі генератора. При цьому на відміну від валогенераторної установки із синхронним генератором частоти та

синхронним компенсатором потужність однієї із машин, а також потужність перетворювача частоти приблизно на 50 % меньша, що відповідно дозволяє зменшити масу та габарити установки та підвищити надійність її роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Пахомов Ю. А. Судовые энергетические установки с двигателями внутреннего сгорания / Ю. А. Пахомов. – М. : ТрансЛит, 2007. – 528 с.

2. Григорьев А. В. Современные и перспективные судовые валогенераторные установки / А. В. Григорьев, В. А. Петухов. – СПб. : Изд-во ГМА им. адм. С.О. Макарова, 2009. – 176 с.

3. Жийкин В. Б. Теория и устройство корабля / В. Б. Жийкин. – СПб., 2002. – 336 с.

Ищенко И.М., Черненко В.В., Клементьева О.Ю. АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ И РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ПРИВОД-ГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТА

В статье рассматриваются вопросы целесообразности использования валогенераторов на судах разных типов, а также возможность использования валогенераторов в режиме движения при питании их от автономных дизель-генераторов. Наличие валогенератора уменьшает число автономных дизель-генераторов, снижает стоимость производимой электроэнергии, затраты на ремонт и обслуживание, а также уровень шума в машинном отделении. В работе проведен анализ и определены основные характеристики валогенераторной установки на основе дифференциального привод-генераторного агрегата комбинированного пропульсивного комплекса. В качестве примера рассмотрены схемы дифференциальных асинхронно-синхронный генераторный агрегатов. В результате исследования авторы пришли к выводу, что применение дифференциального привод-генераторного агрегата позволяет относительно легко решить задачу пуска вало-генераторной установки в режиме двигателя, а также обеспечить стабилизацию частоты вращения при работе в режиме генератора.

Ключевые слова: валогенератор, дифференциальный привод-генераторный агрегат, расчет режимов работы.

Ishchenko I.M., Chernenko V.V., Klementyeva O.Yu. MODES ANALYSIS AND CALCULATION OF KEY PERFORMANCE DIFFERENTIAL DRIVE-GENERATOR UNIT

The article examines the feasibility of using shaft generators on ships of various types, as well as the possibility of using shaft generators in the running mode when powered from their autonomous diesel generators. The presence of the shaft generator reduces the number of stand-alone diesel generators, reducing the cost of electricity produced, the cost of repairs and maintenance, as well as the noise level in the engine room. The paper analyzes the main characteristics and valogeneratornoy plants based on differential-drive generator set combined propulsion system. As an example, consider the circuit differential asynchronous-synchronous generating units. The study authors concluded that the use of a differential-drive generator set makes it relatively easy to solve the problem start valo-generating plant in the motor mode, as well as to stabilize the speed when operating in generator mode.

Keywords: shaft generator, differential drive-generator unit, payment modes.

Статтю прийнято
до редакції 16.05.2014.

УДК 629.735.33

МОДЕЛЬ ТЕЛЕВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ САМОНАВЕДЕННЯ КУЛІ

Казак В.А., Казак В.М., Лазарчук П.Г.
Національний авіаційний університет (м. Київ)

У статті представлені результати лабораторії Sandia, лабораторії DARPA, КБ приладобудування та розробленої на цій основі моделі телевізійної системи самонаведення кулі.
Ключові слова: куля, керування, самонаведення, прицілювання, об'єкт самонаведення, промах, точність.

Вступ. Постійно зростаючі вимоги до точності стрільби зі стрілецької зброї, яка є головною складовою ефективності застосування такої зброї, швидкості обробки інформації і необхідністю прийняття тактичних рішень у вкрай обмежений термін ставлять перед стрільцем завдання, вирішення яких часто перевищує психофізіологічні можливості людини. Додамо до цього вплив газодинамічних процесів, що виникають при автоматичній стрільбі чергами і супроводжуючих їх векторних змін швидкості після вильоту снаряду з каналу ствола. Одним з підходів, спрямованих на значне зниження впливу наведених факторів, може бути корекція траєкторії зближення кулі з заданим об'єктом.

Модель динаміки зміни параметрів траєкторії руху кулі залежить від реалізованого методу наведення, характеристик об'єкта наведення і початкових умов стрільби. Всі ці чинники обумовлюють модель і вигляд системи наведення. Створення системи корекції траєкторії руху кулі, в першу чергу веде до істотного збільшення дистанції стрільби на ураження, по-друге для стрільби на дистанції 1500 ... 2500 м, на відміну від стрільби не відкоригованими снарядами, стрільцю немає необхідності володіти властивостями снайпера, використовувати додаткові пристрої і розраховувати різні поправки. З такими ситуаціями доводитися стикатися снайперу, наприклад, при погіршенні погодних умов і появ заважаючої хмарності.

Аналіз основних досліджень та публікацій. Розглядається можливість підвищення точності влучення кулі за рахунок корекції її траєкторії руху інтелектуальною системою управління.

Керовані снаряди набувають все більш бурхливого розвитку. Найбільш розвинуті у науково-технічному плані країни: США, Німеччина, Росія, Ізраїль та інші, давно займаються цими питаннями. Наприклад, фахівці з Sandia National Laboratories основною метою бачили – забезпечити мінімальне відхилення кулі від траєкторії незалежно від відстані, вітру і втрати швидкості. Паралельно з цим досліджувались і задачі зміни траєкторії руху, тобто наведення кулі на заданий об'єкт після пострілу. Результат досліджень був оголошений прийнятним у листопаді 2011 року. Куля (рис. 1) продемонстрована у металі, отримано патент. Лабораторія DARPA головну проблему бачила у забезпеченні мінімального відхилення від первісно заданого курсу, не дозволити кулі змінювати траєкторію польоту із-за бокового вітру, повітряних завихрень, втрати швидкості, тощо. За рахунок цього значно збільшити дальність стрільби, її точність і цим забезпечити суттєву економію боєприпасів. Тут важлива вже не балістика чи електроніка, а економіка: якщо керована куля у п'ять разів дорожче звичайної, то снайпер повинен за рахунок її переваг витратити у п'ять разів менше куль, щоб вона хоча б окуповувалася. Основними задачами першого етапу досліджень були максимальна дальність, точність стрільби і забезпечення мінімального використання високовартісних технологій. ВАТ «Конструкторське бюро приладобудування» розробило свою модель керованої кулі.

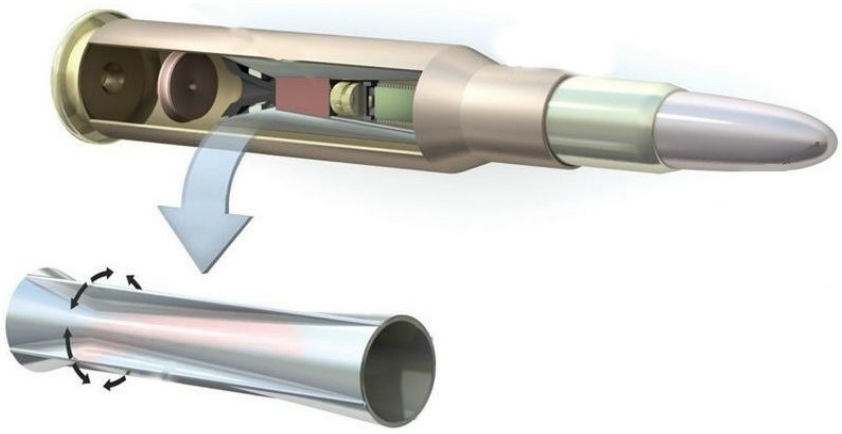


Рисунок 1 – Розробки Sandia та DARPA (США)

Керована куля наводиться на ціль, яка підсвічується лазером, не обертається у польоті і призначена для стрільби з малокаліберної зброї із гладким стволом й вміщує балансуючий вантаж. Порожній конічний корпус розташований позаду балансуючого вантажу (рис. 2).

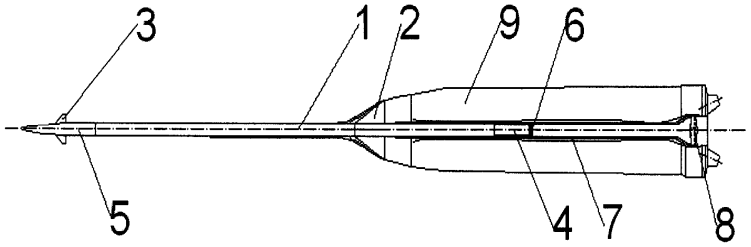


Рисунок 2 – Керована куля за патентом RU2496089 (Росія):
1 – балансуючий вантаж; 2 – стабілізуючі елементи; 3 – кермові поверхні; 4 – бортова апаратура; 5 – приводи кермових поверхонь; 6 – фотоприймач; 7 – мікродвигун; 8 – бікаліброва насадка; 9 – корпус кулі.

Недоліками керованих куль можна визначити наступні:

− мале подовження кулі малого калібру, а, отже, малий відносний об'єм;

− керований снаряд малого калібру вистрелюється з великокаліберної стрілецької зброї, яка має велику масу й габарити, що викликає необхідність наявності другого номеру обслуги;

− при пострілі з стрілецької зброї керована куля підпадає під дію суттєвого осьового перевантаження, що обумовлюється дульною швидкістю, яка потрібна для створення вражаючої дії на великих дистанціях і яка визначається співвідношенням [3]:

$$V^2 = \frac{2gf\omega}{(K-1)\varphi q}\left[1 - \frac{T_K}{T_1}\left(\frac{\Lambda_1 - \Lambda_K}{\Lambda_1 - \Lambda}\right)^{K-1}\right], \quad (1)$$

де $\Lambda, \Lambda_1, \Lambda_K$ – відповідні шляхи кулі; ω – вага усього заряду; $\frac{T_K}{T_1}$ – відношення відповідних температур газу; f – сила пороху; $\varphi > 1$ – коефіцієнт фіктивності; q – вага снаряду; K – показник адіабати.

Граничне значення швидкості, а, отже, осьового перевантаження, можна визначити з урахуванням деяких припущень: $\Lambda = \Lambda_g$; $V = V_g$;

− постріл керованої кулі малого калібру здійснюється з каналу ствола великокаліберної стрілецької зброї, тому при відсутності у кулі власного маршового двигуна, це обмежує максимально можливу швидкість (2) керованої кулі, а, отже, максимальну дальність стрільби:

$$\lim_{\Lambda\to\infty} V^2 \to \frac{2gf\omega}{(K-1)\varphi q}, \quad (2)$$

Керована куля малого калібру має малу об'ємну щільність, а тому і малу масу, тому що більша частина об'єму наповнена електронікою, у зв'язку з цим уражаюча дія при кінетичному способі ураження цілі дуже обмежена, що у свою чергу обмежує номенклатуру уражаємих об'єктів.

Пошуку шляхів зниження негативного впливу наведених факторів присвячені дослідження науковців ведучих країн, що займаються створенням нової високоточної зброї. Тому ця робота, яка присвячена удосконаленню системи наведення кулі є актуальною.

Постановка задачі. Аналіз публікацій останніх років дозволив зробити наступні основні висновки:

- створення кулі з системою корекції траєкторії польоту приведе до суттєвого збільшення дистанції стрільби на ураження;
- значно знижуються вимоги до кваліфікації стрільця при стрільбі на великі дистанції (1,5–2 км), тобто з керованими кулями такі відстані стрільби будуть підвладними рядовим стрільцям;
- стрільба керованими кулями не потребує вимірювачів відстані та сили вітру, тобто виникає економія сил, часу і грошей.

У той же час запропоновані методи управління є напівактивними й для свого функціонування потребують попереднього опромінювання. Цей факт викликає цілу низку негативних явищ, головними з яких є: демаскуючі фактори; у разі відмови випромінювача куля стає не керованою. Тому для уникнення наведених негативних явищ потрібен відповідний пошук, наукове обґрунтування і створення нового принципу корекції траєкторного руху керованої кулі. У роботі пропонується використати метод телевізійного самонаведення кулі на заданий об'єкт.

Мета статті. Метою статті є розробка моделі телевізійної системи самонаведення кулі (снаряду). Для дослідження обраний типовий снаряд калібру 12,7 мм.

Результати дослідження. Для визначення поправок, які необхідно враховувати при організації корекції траєкторного руху керованої кулі, конкретизуємо загальну задачу прицілювання, для чого введемо наступні початкові передумови:

- зброя на момент пострілу є нерухомою;
- про рух кулі приймається гіпотеза $\bar{V}_ц = const$;
- управління прицілюванням здійснюється шляхом наведення дула стрілецької зброї на потрібну точку цілі.

З урахуванням здійснених передумов векторна схема прицілювання має вигляд (рис. 3):

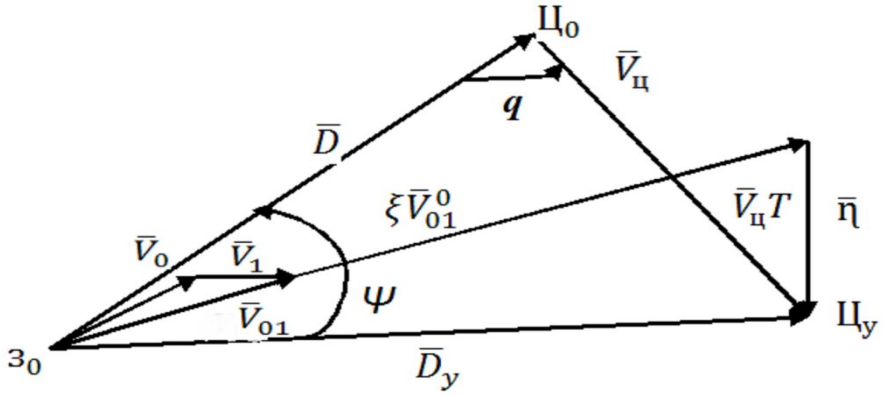


Рисунок 3 – Схема прицілювання по цілі, що рухається:
$\bar{D}, \bar{D}_y$ – вектори початкової і упередженої дальності; $\bar{\eta}$ – вектор пониження; Ψ, q – кут упередження та курсовий кут цілі; $\bar{V}_0, \bar{V}_1, \bar{V}_{01}$ – швидкості, відповідно руху кулі на зрізі ствола, руху стрілецької зброї при прицілюванні по рухомій цілі, сумарний вектор

З аналізу схеми прицілювання (рис. 3) можна зробити висновок, що основними, впливаючими на точність влучення факторами є:

$$\eta = \eta(V, H, W,\ D,\ \varepsilon,\ \nu,\ \vartheta,\ \Psi,\ \omega_x,\ \omega_y,\ \omega_z,\ \dot{V},\ \dot{D},\ \dot{\varepsilon},\ \dot{\omega}_x,\ \dot{\omega}_y,\ \dot{\omega}_z). \qquad (3)$$

Наведені в залежності три фактори, що впливають на траєкторію руху снаряду, можуть коригуватися системою, структурна схема якої у загальному вигляді наведена на рис. 4.

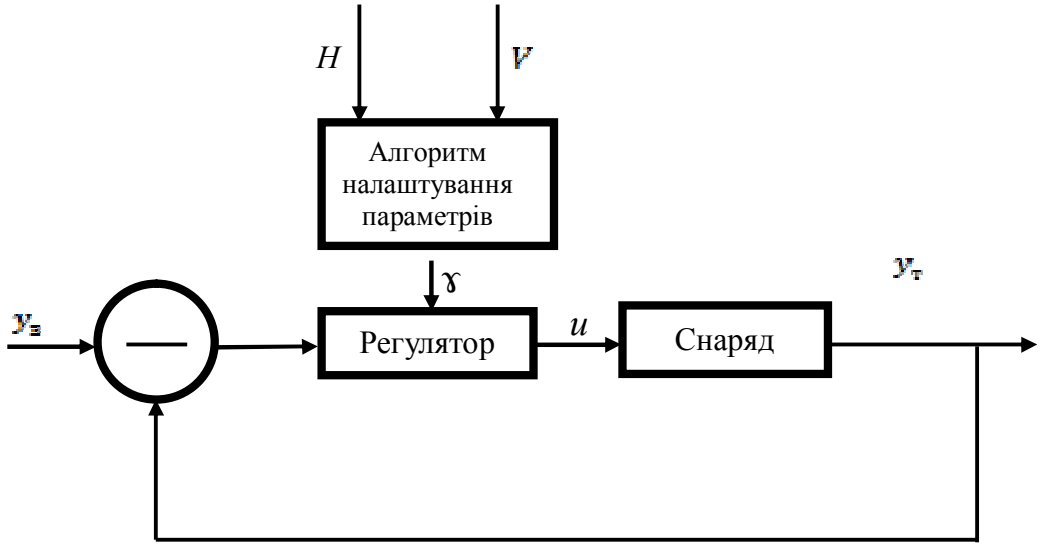


Рисунок 4 – Структурна схема контуру наведення

Метод наведення снаряду і алгоритми автоматичного траєкторного керування ним. Відомо, що при збільшенні дальності стрільби точність влучення, з причин зростання терміну дії зовнішніх факторів, значно знижується. Для компенсації дії таких явищ застосовуються системи керування або корекції траєкторії руху снаряда. Керувати польотом снаряду – це означає, визначним чином, впливати на його поступальний рух, тобто необхідним чином організовувати політ снаряду (кулі). Поступальний рух кулі характеризується вектором швидкості $\bar{V}$. Отже, впливати на поступальний рух кулі можна змінюючи вектор $\bar{V}$.

Нехай початок системи координат $OX_gY_gZ_g$ (рис. 5) закріплений у центрі маси кулі, направлення осей OX_g, OY_g *і* OZ_g обрані перед пострілом (польотом), й на протязі польоту не змінюються.

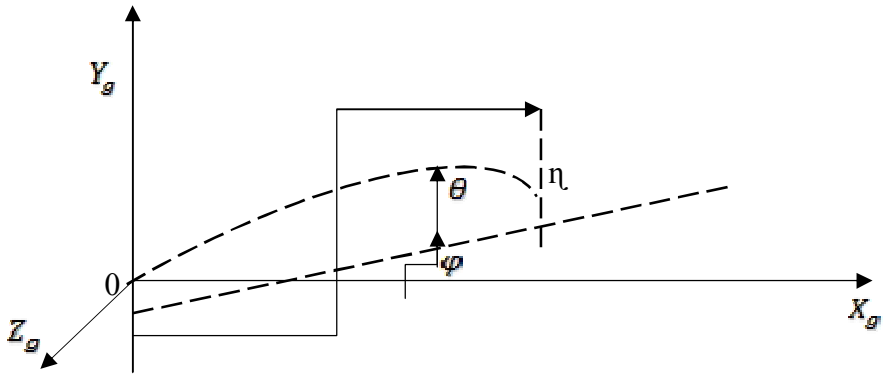


Рисунок 5 – Система координат, в якій описується керований рух кулі

У цьому випадку вектор $\bar{V}$ можна визначити трьома величинами: V – модулем, θ – кутом нахилу до площини X_gOZ_g, характеризуючий пониження кулі, φ – кутом між

проекцією вектора $\bar{V}$ на площину $X_g OZ_g$ та віссю OX_g, характеризуючий відхилення кулі від лінії прицілювання у горизонтальній площині $X_g OZ_g$.

Очевидно, вектор $\bar{V}$ має три ступені вільності, отже, під керуванням необхідно розуміти можливість цілеспрямовано змінювати параметри V, θ, φ. Інакше кажучи, керування польотом кулі міститься у виконанні такого руху, при якому V, θ і φ змінюються заздалегідь прийнятим законом. Враховуючи, що під час руху кулі швидкість є функцією часу, можна записати:

$$\theta(t) = \theta_m(t);\ \varphi(t) = \varphi_m(t); V(t) = V_m(t). \quad (4)$$

У рівняннях (4) θ_m, φ_m, V_m визначають необхідні закони зміни кутів та величини (модулю) швидкості, тобто потрібний для влучення рух кулі; $\theta(t),\ \varphi(t), V(t)$ – характеристики реального руху кулі.

У характері функцій $\theta_m(t), \varphi_m(t), V_m(t)$ відбивається ціль керування. Якщо задані усі функції $\theta_m(t), \varphi_m(t), V_m(t)$, то метою управління є вивід кулі у задану точку цілі, із заданою величиною і направленням швидкості, у заданий момент часу. Така задача вирішується керуванням снарядами, які мають балістичну (рис. 5) ділянку польоту. При стрільбі на великі відстані куля повинна зберігати задану з умов потрібної для ураження цілі кінетичної енергії швидкості. Тому вимоги до швидкості польоту кулі $V(t)$ на кінцевій ділянці також повинні бути жорсткими, як і вимоги до кутів $\theta_m(t)$ і $\varphi_m(t)$. Ця вимога накладає визначні обмеження на витрати енергії на управління $U(t)$.

При тонкому виконанні вимог, що вписуються до польоту, кожній трійці функцій $V_m(t), \varphi_m(t), \theta_m(t)$ відповідають цілком визначені закони зміни інших параметрів, що визначають положення або рух кулі. Покажемо це на конкретному прикладі.

Для спрощення розглянемо політ кулі до цілі в одній площині (рис. 6).

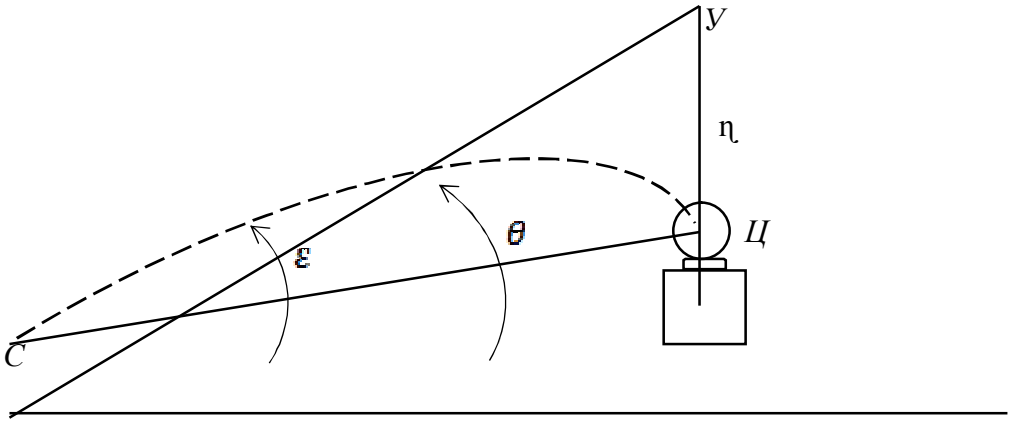


Рисунок 6 – Схема наведення кулі на ціль: *С* – точка стрільби, *Ц* – точка влучення у ціль, *У* – точка піднесення, η – піднесення, ε – кут місця цілі.

Нехай це буде функція $\theta_m(t)$. Ціль не рухається $V_ц = 0$, або рухається з малою, по відношенню до швидкості кулі, швидкістю $\bar{V}_ц = const$, прямолінійно і рівномірно, тобто $\bar{V}_ц = V = const$. Для влучення у ціль снаряду, *С* потрібно направити в упереджену точку *У*. Це означає, що:

$$\theta_m(t) = \theta_m = const. \quad (5)$$

Якщо ціль рухається, умовою влучення у задану точку цілі (рис. 6) буде рівність, що отримано з трикутника *СУЦ* по теоремі синусів:

$$\frac{V_ц t}{\sin(\varepsilon_m - \theta_m)} = \frac{Vt}{\sin(180^\circ - \varepsilon_m)}. \quad (6)$$

Визначимо з (6) кут θ_m , під яким потрібно здійснити постріл із стрілецької зброї:

$$\theta_m = \varepsilon_m - \arcsin\left[\frac{V_ц}{V}\sin\varepsilon_m\right]. \quad (7)$$

Очевидно, що при $\bar{V}_ц = const$, $V = const$, $\theta_m = const$, $\theta_ц = 0$, умові (5) буде відповідати умова:

$$\varepsilon_m = const. \quad (8)$$

Фізично це означає, що пряма лінія, з'єднуюча снаряд із заданою точкою цілі, не обертається, тобто:

$$\dot{\varepsilon}_m = \omega_m = 0, \quad (9)$$

де ω_m – кутова швидкість обертання прямої *СЦ* (рис. 6).

Отже, політ кулі в упереджену точку можна організувати виконуючи умову (5). Але замість (5), для вирішення тієї ж задачі, можна скористатись умовою (8) або умовою (9).

З прикладу випливає, що керувати польотом кулі (снаряду) можна шляхом зміни, за відповідними законами, не тільки безпосередньо кутів $\theta_m(t), \varphi_m(t)$, але й інших параметрів, що характеризують рух або положення снаряду. Тому, у загальному випадку, замість (4) можна записати:

$$f_1(t) = f_{m1}(t);\ f_2(t) = f_{m2}(t), \quad (10)$$

де $f_1(t), f_2(t)$ – параметри, що використовуються замість $\theta(t)$, $\varphi(t)$ або самі кути $\theta(t)$, $\varphi(t)$; $f_{m1}(t), f_{m2}(t)$ – функції, що визначають, як повинні змінюватись параметри $f_1(t)$ *та* $f_2(t)$ у процесі наведення снаряду на ціль.

Вибір параметрів $f_1(t), f_2(t)$ та функцій $f_{m1}(t), f_{m2}(t)$ визначається призначенням керованого снаряду, технічним рівнем і культурою виробництва систем керування. Формування функцій $f_{m1}(t)$ *та* $f_{m2}(t)$, що визначають характер керованого польоту та контроль за виконанням рівності (9) покладається на систему керування.

При обранні параметрів $f_1(t), f_2(t)$ та функцій $f_{m1}(t), f_{m2}(t)$ керуються наступними міркуваннями:

- при точному виконанні вимог, що висуваються до польоту, куля повинна влучити у ціль або у визначену точку цілі;
- при точному виконанні вимог, що висуваються до польоту, куля, рухаючись до цілі, не повинна попасти під дію неприпустимих перевантажень;
- система управління, яка забезпечує політ снаряду у відповідності до заданих вимог, повинна бути простою і надійною.

У відповідності до першої вимоги, у функціях $f_{m1}(t), f_{m2}(t)$ потрібно вводити параметри, що визначають положення та рух цілі. Друга вимога визначає бажання спрямляти траєкторію снаряду.

Якщо наперед відомо положення або рух цілі, то функції $f_{m1}(t), f_{m2}(t)$ можуть бути обчислені попередньо, за критеріями, пов'язаними з перевантаженням снаряду на траєкторії польоту, терміном польоту, нескладністю апаратури та іншими характеристиками. У цьому випадку функції $f_1(t), f_2(t)$ задаються за допомогою програмних пристроїв. Інформація про потрібний рух вводиться один раз до пострілу і на протязі польоту не змінюється.

Системи керування, які формують інформацію про необхідний рух за допомогою пристроїв, слідкують за ціллю і розташовані на снаряді, називаються системами самонаведення. Організація польоту кулі у точній відповідності з визначеним законом вимірювання параметрів, що визначають потрібний рух кулі до цілі, називається методом наведення. Математичною формалізацією даного методу наведення є рівняння (10), що вказують, які параметри та як вони повинні змінюватись при здійсненні наведення по даному методу. Для керованої кулі задача керування полягає у тому, щоб вектор

швидкості кулі $\bar{V}$ весь час польоту $t\epsilon[t_0, t_к]$ був направлений на ціль, в такому разі параметром, що визначає необхідний рух є кут $\theta(t)$, тобто функція $f_1(t) = \theta(t)$ (рис. 6). Законом змінення кута $\theta(t)$ буде закон змінення кута $\varepsilon(t)$, тобто $\varepsilon(t) = f_{m1}(t)$. Методом наведення у цьому випадку буде рівність:

$$\theta = \varepsilon, \qquad (11)$$

у якій, для спрощення запису, опущений аргумент *t*. При точному виконанні рівності (10) снаряд (куля) летить по цілком визначеній траєкторії. Різним функціям $f_{m1}(t), f_{m2}(t)$ відповідають різні траєкторії. Виходячи з цього, метод наведення можна розуміти як спосіб задання траєкторії польоту снаряда до цілі.

Система керування прагне організувати політ снаряду до цілі у точній відповідності із заданим методом наведення, тобто система керування намагається забезпечити виконання рівностей (10) та (11). Але практично, рівності (10) і (11) не виконуються, і куля відхиляється від траєкторії, що відповідає заданому методу, тобто куля відхиляється від траєкторії руху.

Висновки. Попередні результати моделювання процесу наведення кулі на ціль показали, що корекція траєкторії руху кулі дозволяє суттєво знизити вплив зовнішніх факторів на точність влучення. У якості системи корекції траєкторії руху кулі доцільно використовувати телевізійну систему самонаведення, яка не потребує додаткових датчиків та стабілізації координатора в інерціальному просторі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Боголюбов А. А., Лебедев Г. Н., Фирсов С. П. Системы контроля управления наведением летательного аппарата с помощью самообучающейся нейронной системы // М. : Авиакосмическое приборостроение, 2002. – № 4. – С. 25-29.

2. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. – М. : Изд. Физико-математической литературы, 1958. – 464 с.

3. Казак В. М. Системні методи відновлення живучості літальних апаратів в особливих ситуаціях у польоті. – К. : Вид. «НАУ – друк», 2010. – 284 с.

4. Коростелев О. П. Теоретические основы проектирования ствольных управляемых ракет / О. П. Коростелев, Б. И. Доценко, Н. А. Качаева и др. – К. : Defense express library, 2007. – 445 с.

5. Максимов М. В. Авиационные системы радиоуправления / М. В. Максимов, Г. И. Горгонов, В. С. Чернов. – М. : ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 1984. – 363 с.

6. Казаков И. Е. Авиационные управляемые ракеты. Часть 2 / И. Е. Казаков, А. Ф. Мишаков. – М. : ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1985. – 423 с.

Казак В.А., Казак В.Н., Лазарчук П.Г. МОДЕЛЬ ТЕЛЕВИЗИОННОЙ СИСТЕМЫ САМОНАВЕДЕНИЯ ПУЛИ

В статье представлены результаты лаборатории Sandia, лаборатории DARPA, КБ приборостроения и разработанной на этой основе модели телевизионной системы самонаведения пули.

Ключевые слова: пуля, управление, самонаведение, прицеливание, объект самонаведения, промах, точность.

Kazak V.A., Kazak V.M., Lazarchyk P.G. MODEL TELEVISION SYSTEM HOMING BULLETS

The paper presents the results of laboratory Sandia, laboratory DARPA, KB and instrumentation developed for this model-based television system homing bullets.

Keywords: ball control, homing, aiming homing facility, miss accuracy.

Статтю прийнято
до редакції 5.06.14.

УДК 532. 536-12. 536.2. 621

ИНТЕНСИВНОСТЬ ТЕПЛООБМЕНА КАК ФАКТОР, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОАКУСТИЧЕСКИХ ТЕПЛОВЫХ МАШИН

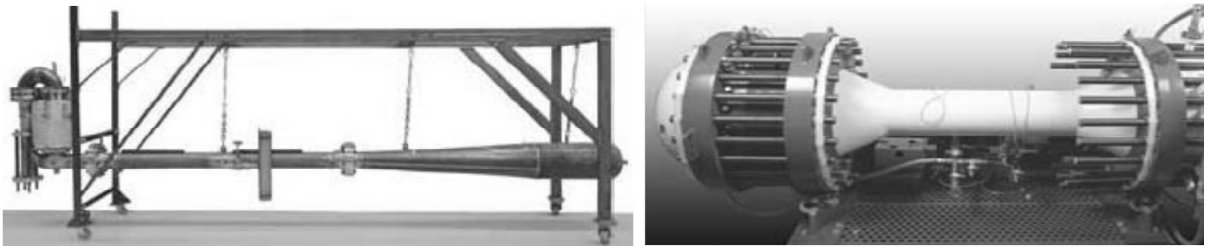
Коробко В.В., Московко А.А.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова (г. Николаев)

В статье рассмотрены возможные пути использования термоакустических тепловых машин (ТАТМ). Показана перспективность их применения для использования низкотемпературных тепловых ресурсов, дан обзор существующих теоретических моделей. Теплообмен в ТАТМ является единственным механизмом, обеспечивающим подвод теплоты к рабочему телу, так и преобразование тепловой энергии в механическую работу. Показано, что эти модели не рассматривают процессы подвода тепловой энергии к рабочему телу и не учитывают существующие механизмы теплообмена между элементами ТАТМ. Методы оптимизационной термодинамики (ОТ) позволяют устранить эти недостатки и учесть особенности теплообмена в пульсирующих потоках. С помощью этих подходов проведён анализ факторов, определяющих эффективность термоакустического двигателя (ТАД). Это дало возможность в явном виде получить зависимости, связывающие основные характеристики ТАД от параметров теплообменников. Показано непосредственное влияние интенсивности теплообмена на внешние характеристики ТАТМ. В статье проведён анализ результатов экспериментальных исследований опытного ТАД. Использование подходов ОТ, позволило определить направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: термоакустика, оптимизационная термодинамика, теплообмен, тепловая машина, двигатель.

Вступление. Термоакустические аппараты (ТАА) – это сравнительно новый вид тепловых машин (ТМ). Термоакустические тепловые машины имеют ряд положительных качеств: отсутствие механических подвижных элементов, возможность работы от внешних источников тепловой энергии, экологичность. В ТАТМ происходит прямое преобразование тепловой энергии в механическую энергию акустических волн. В ТАТМ реализованы прямой и обратный цикл Стирлинга. Важно отметить, что ТАТМ способны работать от низкотемпературных источников тепловой энергии, что позволяет создавать эффективные системы утилизации тепловых выбросов. Распространению ТАТМ препятствуют их низкая энергонасыщенность, сложность непосредственного получения механической энергии.



а б

Рисунок 1 – Примеры термоакустических тепловых машин: а) ТАР системы охлаждения электроники фрегата ВМФ США; б) термоакустический двигатель с циклом Стирлинга

Цель работы. В ТАТМ преобразование тепловой энергии в механическую происходит непосредственно при взаимодействии поверхностей теплообменников (рекуператоров и матриц) с рабочим телом в условиях, которые определяют мощные акустические колебания. Очевидно, что процессы теплообмена в пульсирующих потоках существенно отличаются от теплообмена при традиционных условиях. Таким образом, очевидна необходимость детального исследования процессов тепломассообмена в элементах ТАТМ с учётом всех факторов. Данная работа посвящена исследованию особенностей теплообмена в элементах ТАТМ.

Постановка задачи. В резонаторах ТАТМ имеет место осциллирующее движение рабочего тела, которое связано с наличием мощных акустических волн. В результате этого колебательные движения среды являются доминирующим механизмом, формирующим гидродинамическую ситуацию, как в резонаторе, так и в теплообменниках ТАТМ. Амплитудные значения этих осцилляций достигают значительных величин, при этом их частота не превышает 150–250 Гц. Эти обстоятельства ставят под сомнение возможность использования моделей, полученных для случая ультразвуковых колебаний среды. Процессы тепломассообмена и гидродинамики в условиях ТАТМ недостаточно изучены, что усложняет разработку таких аппаратов. Теплообменные аппараты ТАТМ играют важную роль в их работе, так именно эти элементы обеспечивают процессы подвода теплоты для осуществления термодинамического цикла.

Анализ предыдущих исследований. В [1, 2] разработаны основные положения теории термоакустических ТМ. Эта модель рассматривает матрицу ТАТМ как основной элемент, в котором происходят взаимные преобразования тепловой энергии в акустические пульсации. Продольный градиент температуры в матрице и колебательное движение среды, вызванные акустической волной, создают условия для работы ТАТМ. Суммарное количество теплоты, вовлечённое в термоакустические преобразования, можно определить с помощью выражения:

$$\dot{Q}_{TAD}=\frac{1}{4}\Pi\delta_k\frac{T_m\beta p_S u_S}{(1+\mathrm{Pr})(1+\varepsilon_S)\Lambda}\left[\Gamma\frac{1+\mathrm{Pr}^{1/2}+\mathrm{Pr}(1+\varepsilon_S)}{1+\mathrm{Pr}^{1/2}}-\left(1+\mathrm{Pr}^{1/2}-\frac{\delta_V}{y_0}\right)\right]-\Pi\left(y_0k+Lk_S\right)\frac{dT_m}{dx}. \qquad (1)$$

При этом термоакустический двигатель (ТАД) генерирует акустическую энергию:

$$\dot{W}_{TAD}=\frac{1}{4}\prod\delta_K L_s\frac{(\gamma-1)\varpi(p_S)^2}{\rho_m C^2(1+\varepsilon_S)}\left(\frac{\Gamma}{\left(1+\mathrm{Pr}^{1/2}\right)\Lambda}-1\right)-\frac{1}{4}\prod\delta_v L_s\frac{\omega\rho_m u_S^2}{\Lambda}. \qquad (2)$$

Потери акустической энергии в резонаторе ТАТМ, радиус которого R и длина L_{res}, можно оценить, как:

$$\dot{E}_{diss}=\frac{1}{4}\frac{(p_S)^2}{\rho_m c^2}\omega\pi RL_{res}\left[\delta_k\frac{(\gamma-1)}{(1+\varepsilon_S)}\left(1+\frac{2R}{L_{res}}\right)+\delta_v\right], \qquad (3)$$

где Π, L – периметр и длина стека; R – радиус резонатора, T_m, p_m, ρ_m, c_p – теплофизические параметры, соответственно – средняя температура, давление, плотность, теплоёмкость; $\delta_s=\sqrt{2\lambda_s/\rho_s c_s\omega}$ – толщина пограничного слоя в материале стека; $\delta_k=\sqrt{2\lambda_k/\rho_m c_p\omega}$ – толщина теплового пограничного слоя в газе; $\delta_v=\sqrt{2\nu/\omega}$ – толщина вязкостного пограничного слоя; $\Lambda=1-\delta_v/y_0+\delta_v^2/2y_0^2$ – масштабный фактор; $T_{crit}=T_m\omega\beta p_S/\rho_m c_p\left\langle u_1^S\right\rangle$ – критический температурный градиент; $\varepsilon_S=\rho_m c_P\delta_K/\rho_S c_S\delta_S$ – отношение параметров; $\Gamma=\nabla T_m/T_{crit}$ – приведенный градиент температуры.

Еще раз обратим внимание, что зависимости для $\dot{Q}_{TAD}$ и $\dot{W}_{TAD}$ изначально были получены для стека, так как именно в этом элементе происходят термоакустические процессы преобразования энергии. Однако такой подход имеет ряд существенных недостатков, а именно:

– не учитываются температуры первичных теплоносителей и рабочих поверхностей теплообменников;

– продольный температурный градиент в матрице ∇T_m считается заданным и не связан с характеристиками теплообменников;

– соответственно не рассматриваются процессы, определяющие интенсивность подвода теплоты к рабочему телу ТАТМ;

– не учитываются потери эффективности ТАТМ, связанные с конструкцией теплообменников.

В этой связи перспективным представляется подход, предложенный в [3, 4], в котором с помощью аппарата оптимизационной термодинамики построена обобщенная феноменологическая модель ТАТМ. В соответствии с [3], для теплообменников ТАТМ (рис. 2) применим обобщённый закон теплообмена $Q \propto \Delta(T)^n$. Для данного случая количество теплоты, подведённое к рабочему телу ТАТМ, пропорционально разности температур источника тепловой энергии и окружающей среды:

$$Q \propto \Delta(T_H - T_L)^n . \qquad (4)$$

Показатель степени в этом выражении может принимать различные значения в зависимости от существующих механизмов теплопередачи. Так, для случая теплового потока с теплопроводностью будем иметь $n = 1$, в других условиях (преобладание лучистого теплообмена или сложный теплообмен) этот показатель будет иным.

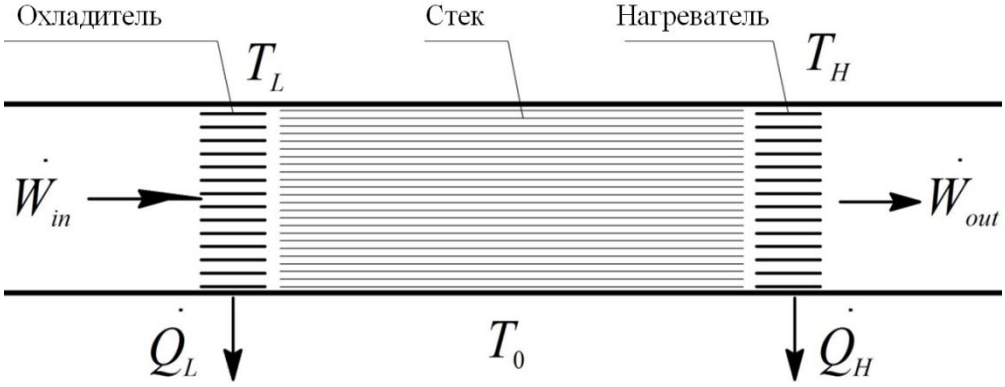


Рисунок 2 – Принципиальная схема термоакустического двигателя

Поскольку работа ТАТМ связана с колебательными процессами с угловой частотой ω, можно считать, что теплообмен между рабочим телом и источниками тепловой энергии (теплообменниками) в условиях ТАТМ подчиняется обобщённому закону теплообмена в комплексной форме [3, 4], поэтому показатель степени n можно представить в виде:

$$n = n_1 + n_2 i . \qquad (5)$$

где n_2 – мнимая часть показателя $n = n_1 + n_2 i$ связана с интенсивностью терморелаксационных процессов.

Осреднённые по времени значения температуры рабочего газа в резонаторе T_{H0} и T_{L0} отличаются от температур тепловых резервуаров T_H и T_L и, согласно второму закону термодинамики, выполняется условие $T_H > T_{H0} > T_{L0} > T_L$.

Мгновенные значения температуры рабочего тела, связанные с пульсациями давления в акустической волне, могут быть выражены в комплексном виде, как:

$$T_{HC} = T_{H0} + T_1 e^{i\omega t} , \qquad (6)$$

$$T_{LC} = T_{L0} + T_2 e^{i\omega t} , \qquad (7)$$

где T_1 и T_2 первые члены ряда разложения.

Для осреднённых по времени значений $\dot{Q}_{HC}$ и $\dot{Q}_{LC}$ можем записать:

$$\dot{Q}_{HC} = k_1 F^H_{HEX}\left(T^n_H - T^n_{H0}\right) \text{ и } \dot{Q}_{LC} = k_2 F^C_{HEX}\left(T^n_{L0} - T^n_L\right) \tag{8}$$

где k_1 и k_2 – усреднённые коэффициенты теплопередачи нагревателя и охладителя; F^H_{HEX} – суммарная площадь теплообменной поверхности нагревателя; F^C_{HEX} – суммарная площадь теплообменной поверхности охладителя.

Допустив, что существующий уровень теплоперетоков непосредственно между источниками теплоты q есть величина постоянная, можем записать, что:

$$\dot{Q}_H = \dot{Q}_H + q \text{ и } \dot{Q}_L = \dot{Q}_{LC} + q\,. \tag{9}$$

В ТАТМ также имеют место потери энергии, связанные с внутренней необратимостью, которые обусловлены гидравлическими потерями и другими процессами.

Очевидно, что поток тепловой энергии во внешнюю среду от необратимой ТАТМ – $\dot{Q}_{LC}$ будет большим, чем поток от обратимой – $\dot{Q}_{LCID}$. Для оценки этого фактора введём коэффициент необратимости:

$$\phi = \dot{Q}_{LC} \Big/ \dot{Q}_{LCID} \geq 1\,. \tag{10}$$

Вводя отношение температур рабочей жидкости в виде:

$$x = T_{L0}/T_{H0}\,, \tag{11}$$

можем записать, что $\dot{Q}_{LC} = \phi \times x \times \dot{Q}_{HC}$. Теперь для модели внутренне необратимого ТАД с комплексным представлением процессов преобразования энергии можно получить следующие выражения:

$$T^n_{H0} = \frac{k_1 F^H_{HEX} f\varphi x T^n_H + k_2 T^n_L}{k_2 x^n + k_1 x F^H_{HEX}/F^C_{HEX}\varphi}, \tag{12}$$

$$\dot{Q}_{HC} = \frac{k_1 F^H_{HEX}(x^n T^n_H - T^n_L)}{x^n + \varphi x F^H_{HEX}/F^C_{HEX} k_1/k_2}, \tag{13}$$

$$\dot{Q}_{LC} = \varphi x \frac{k_1 F^H_{HEX}(x^n T^n_H - T^n_L)}{x^n + \varphi x F^H_{HEX}/F^C_{HEX} k_1/k_2}. \tag{14}$$

Согласно первому закону термодинамики, мощность ТАД определяется, как:

$$\dot{W} = \dot{W}_{out} - \dot{W}_{in} = \dot{Q}_H - \dot{Q}_L = \dot{Q}_{HC} - \dot{Q}_{LC}\,. \tag{15}$$

Или с использованием (13) и (14) и вводя соотношение $\delta = k_1/k_2$, получим:

$$\dot{W} = \dot{Q}_{HC} - \dot{Q}_{LC} = \frac{k_1\left(F^H_{HEX} + F^C_{HEX}\right)F^H_{HEX}/F^C_{HEX}\left(1-\phi x\right)\left[T^n_H - (T_L/x)^n\right]}{(1+\phi)k_1 F^H_{HEX}/k_2 F^C_{HEX} x^{1-n})}. \tag{16}$$

Выражение (16), в отличии от (2), в явном виде включает в себя параметры, характеризующие интенсивность процессов теплообмена между рабочим телом и теплообменниками, а также температуры источников тепловой энергии.

В случае, когда стоит задача создания низкотемпературных ТАТМ, факторы, определяющие интенсивность процессов теплообмена, приобретают решающее значение. В связи с этим, рассмотрим полученные экспериментально температурные тренды для ключевых элементов ТАД (рис. 3) [5, 6, 7].

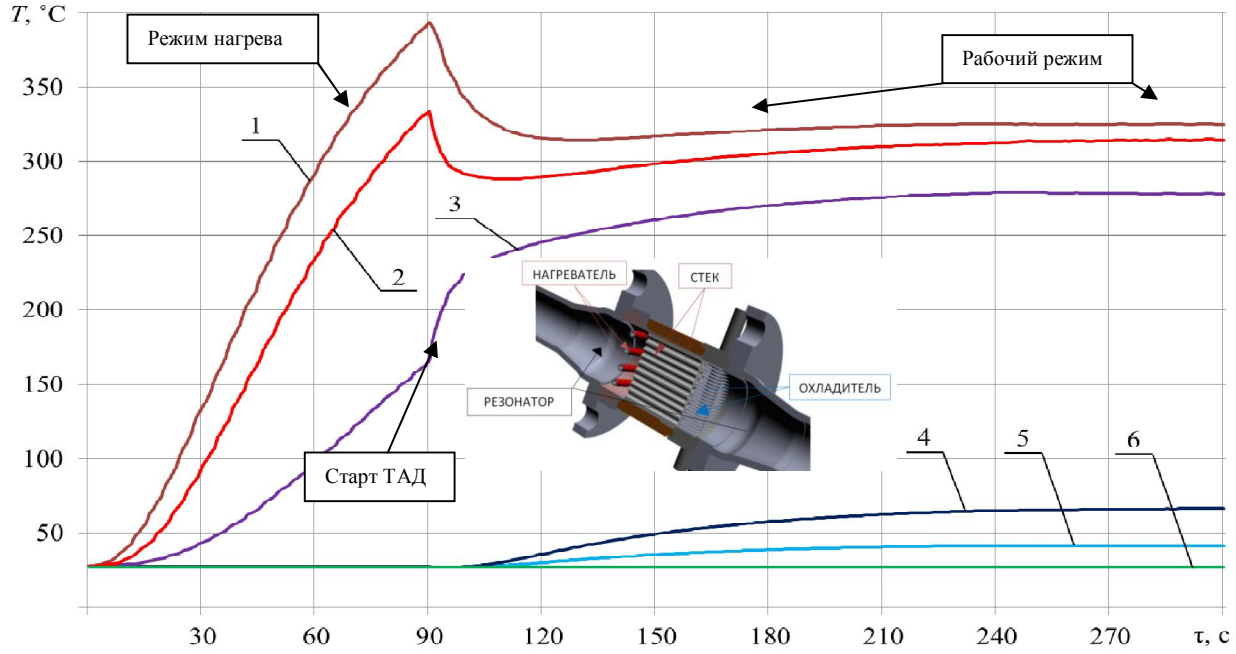


Рисунок 3 – Изменение температур теплообменников и стека при запуске ТАД:
1 – температура поверхности нагревателя; 2 – температура оребрения нагревателя; 3 – горячая сторона стека; 4 – холодная сторона стека; 5 – температура охладителя; 6 – температура окружающей среды

Можно видеть, что до 90-й секунды растут температуры нагревателя, матрицы, и формируется градиент температуры в стеке. С момента запуска ТАД на (90 сек.) резко растёт температура стека – 3, при этом значительно снижается температура поверхности нагревателя – 1, 2. В исследованиях были использованы электрические нагреватели с закрытой спиралью. Эти процессы свидетельствуют, что из-за высокого внутреннего термического сопротивления нагревателя в опытном ТАД не удалось в полной мере реализовать имеющийся температурный потенциал источника тепла. В данной ситуации оказалось, что стек в процессе генерации акустических колебаний был способен преобразовать тепла больше, чем мог подвести теплообменник.

Принимая во внимание характер температурных трендов, можно утверждать, что этот фактор значительно снизил термодинамическую эффективность исследуемого ТАД, так как верхняя температура рабочего цикла тепловой машины была существенно ниже максимальной температуры нагревателя. Для данного ТАД процессов совокупность происходящих в узле – «нагреватель – рабочее тело – стек» вызывает столь значительную разницу температур между источником и рабочим телом, формируя основную эксергетическую потерю. Этот факт следует обязательно учитывать при разработке ТАТМ систем утилизации вторичных энергоресурсов, и принять меры к уменьшению этой разницы температур.

Очевидно, что для низкотемпературных ТАД в качестве нагревателей целесообразно использовать рекуперативные трубчаторебристые теплообменники, в греющем контуре которых циркулирует термальное масло. В связи с эти рассмотрим выражение (8), в развёрнутом виде, применительно к реальным условиям работы ТАД:

$$\dot{Q}_{HC} = \left(1/\alpha_H + \delta_W/\lambda_W + F_H/\alpha_G \xi F^G_{HEX} \right)^{-1} F^H_{HEX} \left(T^n_H - T^n_{H0} \right), \quad (17)$$

где α_H – коэффициент теплоотдачи от термальной жидкости к теплообменнику, α_G – коэффициент теплоотдачи от теплообменника к рабочему телу (газ), ξ – коэффициент, учитывающий неоднородность поля температуры по внешней поверхности нагревателя, F_H – внутренняя поверхность нагревателя, F^G_{HEX} – площадь внешней поверхности нагревателя, δ_W и λ_W – толщина стенки теплообменника и теплопроводность стенки.

Так как максимальная температура греющей среды ограничена температурой источника тепловой энергии, то тепловой поток нагревателя однозначно будет определяться расходом теплоносителя и характеристиками теплообменника.

Очевидно, что комплекс «$\alpha_G \xi F^G_{HEX}$» – более всего зависит от температуры поверхности F^G_{HEX} и процессов, происходящих в резонаторе. Осциллирующее движение рабочего тела в звуковой волне приводит к возникновению ряда гидродинамических эффектов, которые могут существенно влиять на интенсивность теплообмена на наружной поверхности нагревателя.

В то же время, комплекс $\left[1/\alpha_H + \delta_W/\lambda_W\right]$ – учитывающий теплоотдачу от греющей жидкости к внутренней поверхности нагревателя и термическое сопротивление материала теплообменника практически не подвержен влиянию акустических воздействий. Таким образом, основное внимание должно быть уделено исследованию явлений возникающих на внешней поверхности нагревателя.

Следовательно, создание эффективных ТАТМ требует разработки специальных теплообменных поверхностей, способных обеспечить интенсивную теплоотдачу в осциллирующем газовом теплоносителе и оказывающих минимальное демпфирование акустическим колебаниям.

Выводы:

– использование элементов оптимизационной термодинамики позволяет в явном виде учитывать влияние характеристик теплообменников на работу ТАТМ;

– экспериментальные исследования работы ТАД показали, что возможны случаи, когда внутренние теплообменники не обеспечивают подведение требуемого теплового потока к рабочему телу и могут быть лимитирующим фактором, ограничивающим мощность и эффективность ТАД;

– в ТАТМ предназначенных для использования низкотемпературных источников теплоты необходимо использовать теплообменные поверхности, которые эффективно работают в осциллирующей среде;

– для создания специальных теплообменников ТАТМ требуется проведение комплекса экспериментальных и теоретических исследований факторов, влияющих на интенсивность теплообмена в условиях мощных акустических пульсаций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Swift G. W. Thermoacoustic : A unifying perspective for some engines and refrigerators / G. W. Swift // American Institute of Physics. – 2002. – 300 p.

2. Swift G. W. Thermoacoustic Engines / G.W. Swift // Journal of the Acoustical Society of America. – Vol. 84, No. 4. – 1988. – P. 1145-1180.

3. Wu C. Effect of heat transfer law on finite time exergoeconomic performance of heat engines / C. Wu, L. Chen, F. Sun // Energy, The Int. J.. – vol. 21(12). – 1996. – P. 1127-1134.

4. F.Wu. Optimization of a Thermoacoustic Engine with a Complex Heat Transfer Exponent / F. Wu, C. Wu, F.Guo, Q. Li, L. Chen. // The Int. J. Entropy. – 2003. – P. 444-451.

5. Коробко В. В. Исследование процессов теплообмена и гидродинамики в элементах термоакустических двигателей / В. В. Коробко // Авиационно-космическая техника и технологии. – 2013. – № 8 (105).– С. 123-130.

6. Коробко В. В. Особливості запуску термоакустичних двигунів за умов використання низькопотенційних джерел теплової енергії / В. В. Коробко, О. О. Московко // Матеріали IV науково-практичної конференції «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування». – Херсон : ХДМА, 2013. – С. 111-115.

7. Kondratenko Y. Distributed Computer System for Monitoring and Control of Thermoacoustic Processes [Text] / Y. Kondratenko, V. Korobko, O. Korobko // Proceedings of the 7th IEEE int. conf. IDAACS'2013. – Berlin, Germany, 12-14 September 2013. – Vol. 1. – P. 249-253.

Коробко В.В., Московко А.А. ІНТЕНСИВНІСТЬ ТЕПЛООБМІНУ ЯК ФАКТОР, ЩО ВИЗНАЧАЄ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОАКУСТИЧНИХ ТЕПЛОВИХ МАШИН

У статті розглянуто можливі шляхи використання термоакустичних теплових машин (ТАТМ). Показано перспективність їх застосування для використання низькотемпературних теплових ресурсів, надано огляд існуючих теоретичних моделей. Теплообмін в ТАТМ є єдиним механізмом, що забезпечує як підведення теплоти до робочого тіла, так і перетворення теплової енергії в механічну роботу. Показано, що ці моделі не розглядають процеси підведення теплової енергії до робочого тіла і не враховують існуючі механізми теплообміну між елементами ТАТМ. Методи оптимізаційної термодинаміки (ОТ) дозволяють усунути ці недоліки і врахувати особливості теплообміну в пульсуючих потоках. За допомогою цих підходів проведено аналіз факторів, що визначають ефективність термоакустичного двигуна (ТАД). Це дало можливість у явному вигляді отримати залежності, що зв'язують основні характеристики ТАД від параметрів теплообмінників. Показано безпосередній вплив інтенсивності теплообміну на зовнішні характеристики ТАТМ. У статті проведено аналіз результатів експериментальних досліджень дослідного ТАД. Використання підходів ОТ, дозволило визначити напрямки подальших досліджень.

Ключові слова: термоакустика, оптимізаційна термодинаміка, теплообмін, теплова машина, двигун.

Korobko V.V., Moskovko A.A. HEAT TRANSFER INTENSITY AS THE FACTOR DETERMINING CHARACTERISTICS OF THERMOACOUSTIC HEAT MACHINE

The article discusses the ways of thermoacoustic heat engines (TAHE) usage. The prospects of their application for low-temperature heat resources, provides an overview of the existing theoretical models. Heat transfer in TAHE is the only mechanism for supply of heat to the working fluid and the conversion of thermal energy into mechanical work. It is shown that these models do not consider the process of supplying thermal energy to the working fluid and do not consider the existing mechanisms of heat transfer between TAHE elements. Methods of optimization thermodynamics (OT) can eliminate these disadvantages and take into account the features of heat transfer in pulsating flows. With these approaches, the factors determining the effectiveness of a thermoacoustic engine (TAE) are analyzed. This approach made it possible to obtain an explicit dependence linking the main characteristics of the TAE with heat exchangers characteristics. Article shows a direct impact on the intensity of heat transfer characteristics on the external TAHE characteristics. The article analyzes the results of experimental TAE studies. Using the approaches of OT authors determine the ways of future research.

Keywords: thermoacoustic, finite time thermodynamics, heat transfer, heat machine, engine.

Статтю прийнято
до редакції 11.06.14.

УДК 621.891

ЗНОСОСТІЙКІСТЬ БРОНЗОВИХ ДЕТАЛЕЙ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ В СЕРЕДОВИЩІ ДИЗЕЛЬНИХ ПАЛИВ

Мисковець С.В., Савчук П.П.
Луцький національний технічний університет

У статті розглядається проблема зносостійкості бронз, з яких виготовляються деталі паливної апаратури дизельних двигунів, у середовищі дизельних палив. Досліджено, яким чином різні поставки одного і того ж матеріалу впливають на зносостійкість та довговічність вузла тертя в цілому. Показано, що зносостійкість таких пар суттєво залежить від легуючих елементів та виду тертя.
Ключові слова: зносостійкість, дизельні палива, трибопари, легуючі елементи.

Постановка проблеми. Агрегати паливної апаратури (ПА) – це складні, дорогі конструкції, що безпосередньо впливають на довговічність, економічність і надійність машини та використовуються для автоматичного регулювання і подачі палива в двигун. Особливістю роботи вузлів тертя паливних агрегатів є: наявність великої кількості прецизійних пар тертя; погані змащувальні середовища (дизельні палива); дуже малі допустимі зміни лінійних розмірів спряжень.

Тому закономірно, що основною причиною виходу з ладу деталей трибоспряжень паливної апаратури є їх підвищений знос [1–3].

Складні в конструкційному виконанні паливні агрегати сучасних машин мають множину різних по конструкції і призначенню прецизійних пар, які застосовуються для автоматичного регулювання подачі палива в двигуни, для підтримки ними зміни за заданою програмою тиску в паливних системах, для регулювання прокачування насосів.

Підвищення вимог до надійності і довговічності роботи агрегатів, що забезпечують своєчасне виконання вказаних функцій, є одним з актуальних і важливих завдань в забезпеченні безвідмовної експлуатації паливної системи літаків.

Основною причиною виходу з ладу вузлів тертя в умовах експлуатації є не поломки, а зношування і нестабільність триботехнічних характеристик, що призводить до порушення виконуваних функцій.

Статистичний аналіз заміни елементів паливних агрегатів у процесі ремонту свідчить, що найбільше число відбракованих деталей пов’язане з підвищеним зносом прецизійних пар тертя (шестерні, підшипники, поршні, торці блоку циліндрів, торці плоского золотника, ресори, ролики, муфти, стакани і т. д.).

Підвищення вимог до надійності і ресурсу агрегатів паливної апаратури, одночасно з підвищенням їх робочих параметрів, викликає необхідність в розробці методів оцінки зносостійкості матеріалів, що піддавались експлуатації з метою їх подальшого використання.

Дуже часто для виготовлення деталей паливної апаратури використовуються бронзи, що працюють в парі зі сталлю ШХ15.

Мета роботи – дослідити, яким чином різні поставки одного і того ж матеріалу впливають на зносостійкість та довговічність вузла тертя в цілому (така ситуація може скластися, наприклад, при заміні однієї деталі в трибопарі на іншу в процесі проведення ремонтних робіт).

Методика випробувань. Умови випробувань були наступні: швидкість ковзання – $V_к=0,3$ *м/с*; шлях тертя згідно використаної методики [4] $L_1=500$*м;* $L_2=500$ *м;* $L_3=500$ *м;* $L_4=3000$ *м;* максимальне контактне навантаження становило $P=500$ *Н;* температура навколишнього середовища $T=20^oC$. За критерій зносу було прийнято зміну лінійних розмірів зразка при випробуваннях, виміряних за допомогою профілографа-профілометра марки Калібр-М 201 (кожен слід вимірювали 3 рази – по краях і по центру доріжки тертя).

Основний матеріал статті. Загальновідомо, що зносостійкість матеріалів суттєво залежить від умов тертя. Це дає підстави припускати про наявність істотного впливу на ресурс вузла тертя чинників, що не завжди враховуються при прогнозуванні його довговічності та призводить до істотного варіювання ресурсу одних і тих же вузлів паливних агрегатів, практично анологічних матеріалів, що працюють в однакових умовах. Процеси, що відбуваються при терті, істотно прискорюють фізико-хімічну взаємодію матеріалів та призводять до дифузійного перерозподілу елементів в приповерхневому шарі деталей пари тертя.

Характер перерозподілу легуючих елементів при терті можна оцінити по зміні параметру кристалічної решітки [4, 5], зокрема співвідношення розмірів атома легуючого елементу й атома міді. Особливо яскраво це проявляється при аналізі латуні та бронз, легованих оловом і алюмінієм, атомні радіуси яких набагато відрізняються від радіуса атома міді. Ефект вибіркового розподілу легуючих елементів відіграє важливу роль в період формування мідної плівки в зоні контакту. При тривалих фрикційних випробуваннях, коли плівка міді на поверхні сформувалася, визначальна роль належить процесу дифузійного перерозподілу основних легуючих елементів в поверхневих шарах контактуючих металів.

Оскільки тертя в агрегатах паливної апаратури відбувається в середовищі дизельного палива, то відомо, що вуглеводнева частина сучасних нафтових палив хімічно мало активна, а основну хімічну дію чинитиме концентрація розчиненого кисню [6].

Нами було проведено серію випробувань зразків з бронзи Бр010С10 при терті з контртілом з ШХ15 в середовищі дизельного палива на приладі тертя ПТЛК(ор) [7] по вибраній методиці [4].

При структурному аналізі матриці і доріжки тертя зразків досліджуваної бронзи за допомогою растрового електронного мікроскопа РЕМ-106И було виявлено, що при терті бронзи Бр010С10 в парі зі сталлю ШХ15 відбувається перерозподіл свинцю на поверхні контакту порівняно з первинним станом зразка (табл. 1). Мікроструктури досліджуваних поверхонь приведено на рис. 1.

Таблиця 1 – Вміст легуючих елементів бронзи Бр010С10 в матриці і на доріжці тертя

№ зразка	***Pb, %***		***Sn, %***	
	матриця	***доріжка тертя***	***матриця***	***доріжка тертя***
1	9,0	6,2	10,0	10,0
2	10,0	8,0	11,0	11,0
3	6,0	6,5	8,5	8,5

Порівнюючи значення з різним вмістом свинцю було встановлено, що діапазон варіювання значень цього елемента на поверхні тертя і в матриці становить 1-2,8 % (зменшення вмісту Pb на доріжці тертя порівняно з матрицею). Саме при такому вмісті свинцю матеріал володіє максимальною зносостійкістю. Вище і нижче за ці значення – зносостійкість матеріалу зменшується. Це дало нам підстави зробити висновок, що при терті бронзи Бр010С10 в парі зі сталлю ШХ15 для схеми трибоконтакту лінія-площина в середовищі дизельних палив вирішальний вплив на зносостійкість Бр010С10 має нестабільність хімічного складу матеріалу, а саме, нестабільність вмісту свинцю. Було також встановлено, що для свинцю існує оптимальна концентрація в сплаві, при якій матеріал має максимальну зносостійкість.

Аналіз поверхонь тертя зразків (рис. 1) показав, що відбувається перерозподіл свинцю після тертя в тонкому поверхневому шарі, що чинить вплив на зносостійкість зразка. Відмінність у вмісті свинцю в матриці зразків складає 4 %, тоді як ця ж відмінність на доріжці тертя – 1,8 %. Це говорить про те, що в процесі тертя свинець прагне до своєї оптимальної концентрації в сплаві, яка відповідає максимальній зносостійкості.

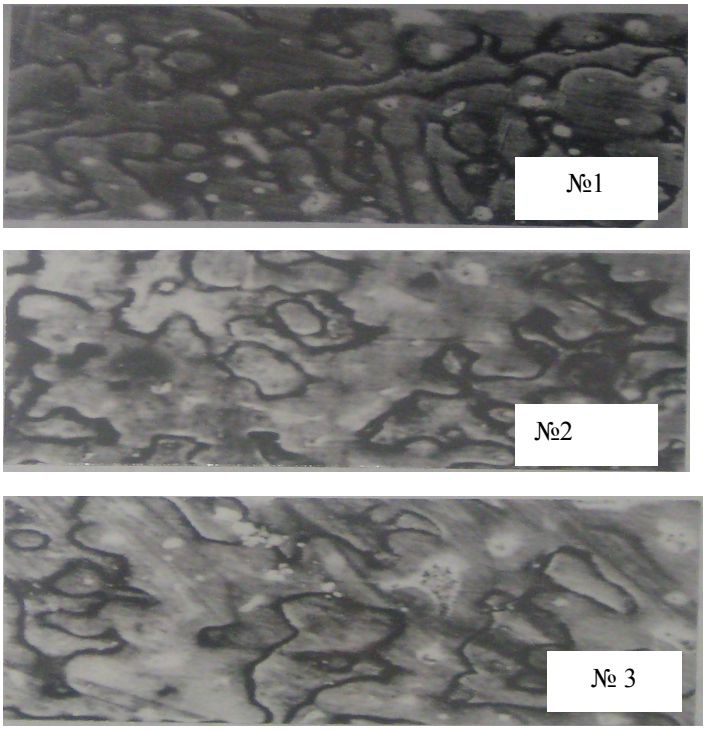


Рисунок 1 – Мікроструктури досліджуваних поверхонь

Для дослідження трибологічних властивостей бронз, що леговані різними легуючими елементами на предмет можливості їх використання як матеріал для виготовлення деталей паливної апаратури (підшипників, підп'ятників) нами було досліджено на зносостійкість бронзи марок БрОФ10-1 та БрАЖ9-4 по вибраній методиці при односторонньому та реверсивному терті. Результати досліджень зразків вибраних матеріалів на зносостійкість приведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Результати зношування сплавів на основі міді різних серій поставок при односторонньому та реверсивному терті ковзання

Матеріал зразка	***№ зразка***	***Лінія – площина***	
		Однонапрямлене тертя	***Реверсивне тертя***
БрОФ10-1	1	9,03	5,56
	2	5,58	6,85
	3	3,71	4,56
	4	2,47	5,80
	5	2,18	5,09
БрАЖ9-4	1	24,58	5,44
	2	18,57	5,36
	3	18,04	7,54
	4	22,58	9,45

Проведені випробування показали (табл. 2), що знос для цих пар тертя буде різним. Для пари БрОФ10-1 – ШХ15 знос лежить в межах 2,18...9,03 мкм, відхилення у ряді зносостійкості складає 310 %, а для пари БрАЖ9-4 – ШХ15 – в межах 18,04...24,58 мкм, відхилення – 36 %.

Про те, що кінематика руху змінює інтенсивність процесу зношування свідчать дані, отримані при випробуваннях вибраних спряжень матеріалів при реверсивному терті ковзання на установці ПТЛК(ор). Для пари тертя БрОФ10-1 – ШХ15 знос лежить в межах 5,09...6,85 мкм (відхилення у ряді зносостійкості складає 15 %), а для пари БрАЖ9-4 – ШХ15 – в межах 5,36…9,45 мкм (відхилення – 76 %).

Вплив реверсивного тертя на зношування детально вивчено також іншими трибологами, але в дослідженнях різних авторів є деякі суперечності. Так Д. Н. Гаркунов [5] вважав, що зміна напряму руху пар тертя зменшує зносостійкість як при терті ковзання, так і при терті кочення. Це відноситься до металів і полімерів. Ефект Ребіндера при реверсивному терті проявляється більшою мірою в результаті зміни мікроструктури металу. У разі реверсу наклеп поверхневого шару більший, ніж при односторонньому терті, але тільки на перших етапах роботи. Подальша деформація вичерпує можливості зміцнення мікрооб'ємів і викликає інтенсифікацію втомних процесів. Автор роботи [8] стверджував, що при реверсивному терті легше виникає режим вибіркового переносу, ніж при терті з одностороннім рухом.

При терті мідних сплавів в першу чергу відбувається процес перерозподілу легуючих елементів, який значною мірою визначає механізм поведінки металу в зоні контакту. Ефект вибіркового розподілу легуючих елементів відіграє важливу роль в період формування плівки міді в зоні контакту. У процесі тривалих випробувань, коли плівка міді на поверхні сформувалася, в механізмі тертя визначальна роль належить процесу дифузійного перерозподілу основних легуючих елементів у поверхневих шарах контактуючих металів.

Висновки. Досліджено трибологічні властивості бронз на предмет їх використання для виготовлення трибодеталей паливної апаратури. Підтверджено, що різні зразки одного і того ж матеріалу мають деякі відхилення у вмісті легуючих елементів в межах ДСТУ. Показано, що навіть при незначній зміні хімічного складу матеріалу змінюються його фізико-механічні властивості і тим самим чиниться істотний вплив на фізику процесу тертя шляхом його уповільнення або прискорення. Для різних геометричних параметрів вузла тертя цей процес протікатиме по-різному, зокрема різниця у зносі між одностороннім та реверсивним тертям при інших рівних умовах для пари тертя БрОФ10-1 – ШХ15 складає 15 %, а для пари БрАЖ9-4 – ШХ15 – 76 %.

Подальші дослідження будуть спрямовані на вивчення ресурсних можливостей трибовиробів на основі бронз, а також вплив мікросередовища на властивості матеріалу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Чупырин В. Н. Технический контроль в машиностроении / Чупырин В. Н., Никифоров А. Д. – М. : Машиностроение, 1987. – 512 с.

2. Шалин Р. Е. Жаропрочность сплавов для газотурбинных двигателей / Шалин Р. Е., Булыгин И. П., Голубовский Е. Р. – М. : Металургия, 1981. –120 с.

3. Костецкий Б. И. Трение, смазка и износ в машинах / Костецкий Б. И. – К. : Техника, 1970. – 396 с.

4. Стельмах А. У. Методика идентификации ГСМ по противоизносным и антифрикционным свойствам с учетом реальных условий их работы / А. У. Стельмах, О. Ю. Сидоренко, Р. Е. Костюник // Технологические системы. – 2002. – № 3. – С. 96-101.

5. Гаркунов Д. Н. Триботехника. Износ и безызносность / Д. Н. Гаркунов – М. : МСХА, 2001. – 616 с.

6. Белянский В. П. Исследование влияния расствоpимого в реактивніх допливах кислорода на их противоизносные свойства / В. П. Белянский : дис. … канд. техн. наук. – К., 1973. – 208 с.

7. Шимчук С. П. Прилад тертя для дослідження конструкційних і мастильних матеріалів при односторонньому і реверсивному терті / С. П. Шимчук // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». – Випуск 41, частина 2. – Луцьк, 2013. – С. 262-268.

8. Курлов О. Н. Влияние кинематики и геометри на процессы возбуждения и поддержания избирательного переноса в трущихся парах / О. Н. Курлов, А. А. Поляков // Теория трения, износа и смазки. – Ташкент : ТПИ, 1975. – С. 99-100.

Мисковец С.В., Савчук П.П. ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ БРОНЗОВЫХ ДЕТАЛЕЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ В СРЕДЕ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ

В статье рассматривается проблема износостойкости бронз, из которых изготавливаются детали топливной аппаратуры дизельных двигателей, в среде дизельных топлив.

Исследовано, каким образом различные поставки одного и того же материала влияют на износостойкость и долговечность узла трения в целом. Показано, что износостойкость таких пар существенно зависит от легирующих элементов и вида трения.

Ключевые слова: износостойкость, дизельные топлива, трибопары, легирующие элементы.

Miskovec S.V., Savchuk P.P. WEAR RESISTANCE BRONZE PARTS OF THE FUEL EQUIPMENT IN AN ENVIRONMENT OF DIESEL FUELS

The article considers the problem of wear resistance of bronzes, of which details are made of the fuel equipment of diesel engines, in the environment of diesel fuels. It is shown that the wear resistance of such pairs essentially depends on the alloying elements and the type of friction.

Investigated how different deliveries of the same material effect on the wear resistance and durability of the friction unit as a whole.

Studies show that different samples of the same material are some variations in the content of alloying elements within the GOST. It is shown that even with a slight change of chemical composition of materials change its physical and mechanical properties, and the same appears to be significant influence on the physics of the process of friction, slowing down or speeding it up. For various geometrical parameters of the friction this process will be different. So the difference in wear between one way and reversing friction under other equal conditions for friction pairs BrOF10-1 - SHH15 is 15 %, and for the couple BrAG 9-4 - SHH15 - 76 %.

Keywords: wear resistance, diesel fuels, friction pairs, alloy elements.

Статтю прийнято
до редакції 3.06.14.

УДК 530.18(03)

НОВЫЕ ОСНОВЫ ДЛЯ СТРОГОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЛНОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ И ОБЪЕДИНЕНИЯ ГРАВИТАЦИОННОГО И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЕЙ

Настасенко В.А.
Херсонская государственная морская академия

Впервые найдены строгие физические закономерности, основанные на взаимосвязи фундаментальных физических констант: скорости света в вакууме c, постоянной Планка h и гравитационной постоянной G, позволяющие выделить в G частотную характеристику ν_p, которая идентифицирована с частотой гравитационного поля. На этой базе строго определены остальные его волновые и вещественные параметры и найдены их числовые значения. Показано, что гравитационное поле с данными волновыми параметрами может быть объединено только с электромагнитным полем, имеющим такие же волновые параметры, а это возможно лишь на Планковском уровне материального мира. Решение данных задач обосновано известными физическими законами и закономерностями и не противоречит современным знаниям о материальном мире и Вселенной в целом, и является актуальным для развития физики и других отраслей науки и техники.

Ключевые слова: фундаментальные физические константы, гравитационная постоянная, волновые параметры гравитационного и электромагнитного полей, Планковские величины.

Введение. Связь проблемы с основными научными направлениями Работа относится к области квантовой физики, физики волн и физических полей, в частности – к гравитационному и электромагнитному полям и возможностям их объединения, а также к основам мироздания и Вселенной в целом, связанным с гравитационной постоянной G и другими фундаментальными физическими константами – постоянной Планка h и скоростью c света в вакууме. Поиску путей решения данных задач посвящены работы многих ведущих научных школ и ученых мира, занимающихся глобальными проблемами естествознания, поскольку их решение имеет большой теоретический и практический интерес для познания основ материального мира и Вселенной. Они являются актуальными для развития физики и других наук, в условиях постоянной потребности расширения знаний о материальном мире, о Вселенной в целом, о составляющих их физических полях и веществах.

Анализ состояния проблемы и постановка задачи. В настоящее время физические параметры гравитационного поля относятся к малоизученным, поскольку его единственной реально определяемой характеристикой является сила F_G гравитационного взаимодействия физических тел (1), вытекающая из закона всемирного тяготения Ньютона [1]:

$$F_G = G\frac{m_1 m_2}{r^2}(H), \qquad (1)$$

где m_1, m_2 – массы (кг) двух точечных объектов, размещенных на расстоянии r (м) между ними; G – гравитационная постоянная [2]:

$$G = 6{,}67390 \cdot 10^{-11}\left(\frac{м^3}{кг \cdot с^2}\right). \qquad (2)$$

Все остальные характеристики гравитационного поля определяют нестрого, 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]:

$$|F_Q| = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\cdot\frac{Q_1 Q_2}{r^2}(H), \qquad (3)$$

где ε_0 – электрическая постоянная:

$$\varepsilon_0 = 8{,}85418781\ldots\cdot 10^{-12}\,\frac{A^2c^4}{кг\cdot м^3}, \qquad (4)$$

где Q_1, Q_2 – электрические заряды двух взаимодействующих точек (А·с), r – расстояние между взаимодействующими точками (м).

При этом эмпирическая аналогия с другими законами подразумевает также волновое строение гравитационного поля, но она не дает оснований для строгого определения его волновых и других вещественно-полевых характеристик, реально вытекающих из структуры данного поля, а также для определения строгих численных значений этих характеристик.

Устранение указанных недостатков является **первой целью** выполняемой **работы**. На базе принципа аналогии законов, выдвинута гипотеза о возможности объединения электромагнитного и гравитационного полей. Эта задача возникла еще в XIX веке, в XX веке ее решению посвятили последние годы жизни М. Борн и А. Эйнштейн [3]. В настоящее время она по-прежнему актуальна. Открытые во второй половине XX века силы слабого и сильного взаимодействия, электрослабое и большое объединения [1], дают основания для успешного решения и задачи суперобъединения, структурная схема которых показана на рис. 1 [4].

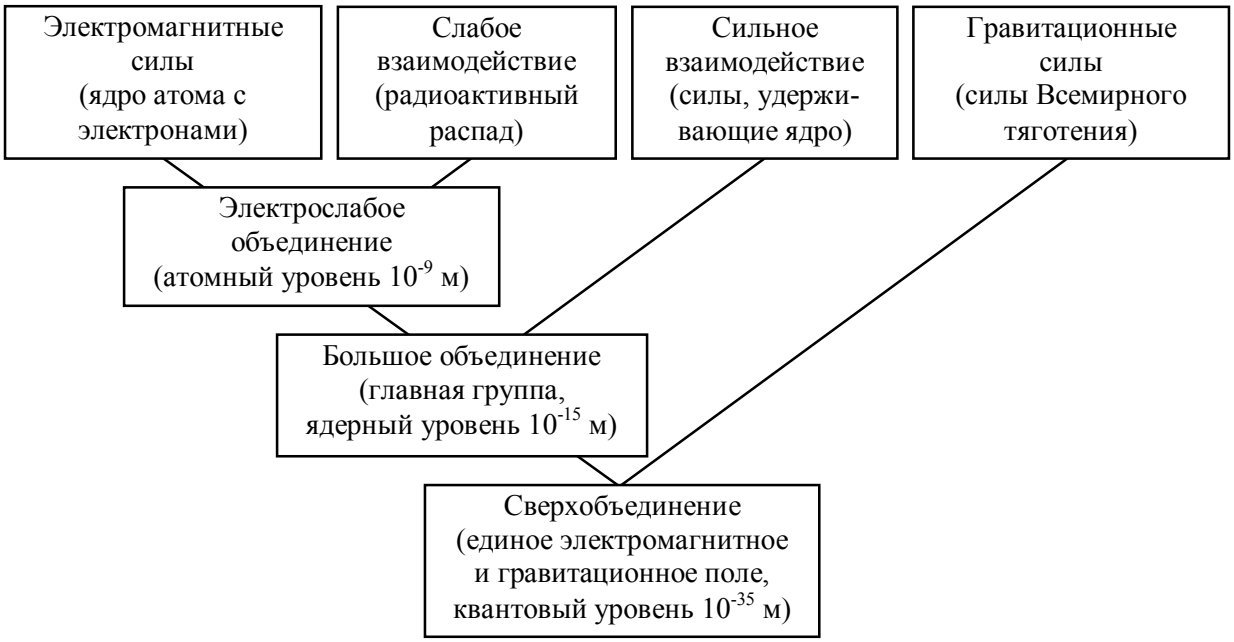


Рисунок 1 – Структурная схема объединения физических сил и взаимодействий

Решение задачи объединения электромагнитного и гравитационного полей со строгим обоснованием вещественно-полевых параметров этого объединения, является **второй целью** выполненной **работы.**

Научной новизной выполняемой работы является:

1) обоснование новой теоретической базы, достаточной для строгого определения волновых и вещественных параметров гравитационного поля;

2) нахождение на этой базе расчетных зависимостей для определения волновых и вещественных параметров гравитационного поля и нахождение их численных значений;

3) строгое объединение на базе найденных волновых и вещественных параметров гравитационного и электромагнитного полей.

4) доказательство достоверности выдвинутых научных положений и полученных результатов.



Исходные положения для достижения поставленных целей. Исходными приняты найденные М. Планком еще в 1900 г. особые физические величины [1]: – Планковская длина l_p^o (5), Планковское время t_p^o (6) и Планковская масса m_p^o (7), уникальность которых в том, что они получены на базе строгих физических закономерностей и состоят только из трех исходных фундаментальных физических констант: гравитационной постоянной G (2), круговой постоянной Планка $\hbar$ (8) и скорости c света в вакууме (9), поэтому могут быть отнесены к основам материального мира [5]:

$$l_p^o = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = \sqrt{\frac{1{,}054571726 \cdot 10^{-34}\left(Дж \cdot с\right) \cdot 6{,}67390 \cdot 10^{-11}\left(\frac{м^3}{кг \cdot с^2}\right)}{\left(0{,}299792458 \cdot 10^9\left(\frac{м}{с}\right)\right)^3}} = 1{,}61621 \cdot 10^{-35}(м), \quad (5)$$

$$t_p^o = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}} = \sqrt{\frac{1{,}054571726 \cdot 10^{-34}\left(Дж \cdot с\right) \cdot 6{,}67390 \cdot 10^{-11}\left(\frac{м^3}{кг \cdot с^2}\right)}{\left(0{,}299792458 \cdot 10^9\left(\frac{м}{с}\right)\right)^5}} = 5{,}39109 \cdot 10^{-44}(с), \quad (6)$$

$$m_p^o = \sqrt{\frac{\hbar c}{G}} = \sqrt{\frac{1{,}054571726 \cdot 10^{-34}\left(Дж \cdot с\right) \cdot 0{,}299792458 \cdot 10^9\left(\frac{м}{с}\right)}{6{,}67390 \cdot 10^{-11}\left(\frac{м^3}{кг \cdot с^2}\right)}} = 2{,}17650 \cdot 10^{-8}(кг), \quad (7)$$

где $\hbar$ – круговая постоянная Планка [6]:

$$\hbar = 1{,}054571726 \cdot 10^{-34}(Дж \cdot с) \quad (8)$$

c – скорость света в вакууме [6]:

$$c = 0{,}299792458 \cdot 10^9(\frac{м}{с}). \quad (9)$$

На их базе в работе [7] были впервые определены предельно возможные величины волновых параметров (10)…(13), отнесенные к волновым параметрам гравитационного поля.

Амплитуда колебаний:

$$A_p^o = l_p^o = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = 1{,}61621 \cdot 10^{-35}(м), \quad (10)$$

Период колебаний:

$$T_p^o = t_p^o = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^5}} = 5{,}39109 \cdot 10^{-44}(с), \quad (11)$$

Частота колебаний:

$$\nu_p^o = (T_p^o)^{-1} = \frac{1}{t_p^o} = \sqrt{\frac{c^5}{\hbar G}} = 1{,}85491 \cdot 10^{43}(Гц), \quad (12)$$

Длина несущих волн:

$$\lambda_p^o = \frac{c}{\nu_p^o} = l_p^o = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = 1{,}61621 \cdot 10^{-35}(м) \cdot \quad (13)$$

Их связь с волновыми параметрами гравитационного поля была подтверждена в работе [8] через связь Планковских параметров l_p^o, t_p^o, m_p^o с гравитационной постоянной G, которая вытекает из ее размерности $\left(\frac{м^3}{кг \cdot с^2}\right)$ (14), что было впервые установлено в работе [7], но не было использовано для доказательства этой связи:

$$G = \frac{м^3}{кг \cdot с^2} = \frac{\left(l_p^o\right)^3}{m_p^o \cdot \left(t_p^o\right)^2} = \frac{\left(1{,}61621 \cdot 10^{-35}(м)\right)^3}{2{,}17650 \cdot 10^{-8}(кг) \cdot \left(5{,}39109 \cdot 10^{-44}(с)\right)^2} = 6{,}67390 \cdot 10^{-11}\left(\frac{м^3}{кг \cdot с^2}\right). \quad (14)$$

Учитывая обоснованную в работе [9] потребность применения в описании внешних объектов, не круговой постоянной Планка $\hbar$ (8), полученной делением постоянной Планка h (15) на число 2π (16) [1] и приемлемой для их внутреннего описания, а исходной величины h, на ее базе были получены новые, или "внешние" Планковские величины l_p, t_p, m_p (18)…(20):

$$h = 6{,}62606957 \cdot 10^{-34}\, Дж \cdot с. \quad (15)$$

$$\hbar = \frac{h}{2\pi} = \frac{6{,}62606957 \cdot 10^{-34}\, Дж \cdot с}{2 \cdot 3{,}14159256} = 1{,}054571726 \cdot 10^{-34}\, Дж \cdot с. \quad (16)$$

Здесь и далее используется уточненная по методике работы [10] с 5 знаков (2) до 9-ти знаков (17) численная величина гравитационной постоянной G:

$$G = 6{,}67396744 \cdot 10^{-11}\left(\frac{м^3}{кг \cdot с^2}\right), \quad (17)$$

$$l_p = \sqrt{\frac{hG}{c^3}} = \sqrt{\frac{6{,}62606957 \cdot 10^{-34}(Дж \cdot с) \cdot 6{,}6739674410^{-11}\left(\frac{м^3}{кг \cdot с^2}\right)}{\left(0{,}29979245810^9\left(\frac{м}{с}\right)\right)^3}} = 4{,}0512494310^{-35}(м), \quad (18)$$

$$t_p = \sqrt{\frac{hG}{c^5}} = \sqrt{\frac{6{,}62606957 \cdot 10^{-34}(Дж \cdot с) \cdot 6{,}67396744 \cdot 10^{-11}\left(\frac{м^3}{кг \cdot с^2}\right)}{\left(0{,}299792458 \cdot 10^9\left(\frac{м}{с}\right)\right)^5}} = 13{,}5135135 \cdot 10^{-44}(с), \quad (19)$$

$$m_P = \sqrt{\frac{hc}{G}} = \sqrt{\frac{6{,}62606957 \cdot 10^{-34}(Дж \cdot с) \cdot 0{,}299792458 \cdot 10^9\left(\frac{м}{с}\right)}{6{,}67396744 \cdot 10^{-11}\left(\frac{м^3}{кг \cdot с^2}\right)}} = 5{,}45564754 \cdot 10^{-8}(кг). \quad (20)$$

В рамках традиционных знаний о материальном мире, применение величин l_p, t_p, m_p 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, с параметрами которых связаны фундаментальные физические константы G, c, h. Учитывая доказанную в работах [12, 5] связь Планковских величин с Планковскими слоями, охватывающими друг за другом сферическое пространство наблюдаемой Вселенной, на базе чего в работах [9, 10] именно внешние величины l_p, t_p, m_p были связаны с волновыми параметрами (21)…(24):



Амплитудой колебаний:

$$A_p = l_p = \sqrt{\frac{hG}{c^3}} = 4{,}05124943 \cdot 10^{-35} (м). \tag{21}$$

Периодом колебаний:

$$T_p = t_p = \sqrt{\frac{hG}{c^5}} = 13{,}5135135 \cdot 10^{-44} (с). \tag{22}$$

Частотой колебаний:

$$\nu_p = (T_p)^{-1} = \frac{1}{t_p} = \sqrt{\frac{c^5}{hG}} = 7{,}40000000 \cdot 10^{42} (Гц), \tag{23}$$

Длиной несущих волн:

$$\lambda_p = \frac{c}{\nu_p} = l_p = \sqrt{\frac{hG}{c^3}} = 4{,}05124943 \cdot 10^{-35} (м) \cdot \tag{24}$$

Однако параметры l_p, t_p, m_p, входящие в зависимости (21)…(24), как и параметры l_p^o, t_p^o, m_p^o, входящие в зависимости (10)…(13), в работах [7–10] были связаны с волновыми параметрами гравитационного поля априорно, без строгого доказательства этой связи.

Строгое определение волновых параметров гравитационного поля. Для строгого обоснования волновых параметров, в данной работе была использована найденная в работе [10] новая зависимость для определения величины гравитационной постоянной G (25):

$$G = \frac{t_p^{\,2} c^5}{h} = \frac{\left(13{,}513513510^{-44}(c)\right)^2 \left(0{,}2997924581 0^9 \left(\frac{м}{c}\right)\right)^5}{6{,}6260695710^{-34}(Дж \cdot c)} = 6{,}6739674410^{-11}\left(\frac{м^3}{кг \cdot c^2}\right), \tag{25}$$

Особенностью зависимости (25) является переход к 2-м строгим параметрам: скорости света в вакууме c (9) и постоянной Планка h (16), при исключении остальных Планковских величин, входящих в зависимость (14), кроме Планковского времени t_p, которое также может быть выражено в виде строгой волновой характеристики – Планковской частоты ν_p (23). Это сводит зависимость (25) к зависимости (26), из которой частота ν_p может быть получена на строгой физической основе, в рамках зависимости (27):

$$G = \frac{t_p^{\,2} c^5}{h} = \frac{c^5}{\nu_p^{\,2} h}. \tag{26}$$

$$\nu_p = \sqrt{\frac{c^5}{Gh}} = \sqrt{\frac{\left(0{,}2997924581 0^9 \left(\frac{м}{c}\right)\right)^5}{6{,}6739694410^{-11}\left(\frac{м^3}{кг \cdot c^2}\right) \cdot 6{,}6260695710^{-34}(Дж \cdot c)}} = 7{,}4000000010^{42}\left(c^{-1}\right) \cdot \tag{27}$$

Зависимости (26) и (27) являются достаточными для строгого определения частоты ν_p. Выделение в гравитационной постоянной G именно волновой характеристики ν_p, на строгой физической основе подтверждает ее связь с частотой гравитационного поля, поскольку G – составная компонента гравитационных сил F_G, входящих в закон Всемирного тяготения (1). При этом Планковская частота ν_p (27) является более важной фундаментальной физической константой для Вселенной, чем фундаментальные

физические константы *G, c, h,* поскольку в различных системах измерений (СИ, СГС и др.), они принимают различную размерность и численные значения, а в совокупностях (26) и (27) – их взаимные изменения компенсируют друг друга и конечный результат $\nu_p = 7{,}4 \cdot 10^{42}$ с$^{-1}$ является постоянной величиной.

Строгое определение частоты ν_p гравитационного поля по зависимости (27) найдено впервые в работе [13] и вносит коренные изменения в представления о его параметрах и, в конечном итоге, в общий уровень научного познания, что отвечает всем признакам научного открытия [14]. Кроме этого, анализ зависимости (27) показал, что в нее одновременно входят 3 вида фундаментальных физических констант, связанные: 1) с полной энергией вещества (c), 2) тепловым излучением (h), 3) гравитационным взаимодействием (G), что позволяет отнести частоту ν_p к другим физическим полям, в т.ч. к частоте Единого поля Вселенной. Поскольку найденное значение частоты ν_p (27) совпадает со значением (23), остальные параметры (21), (22), (24), в рамках волновых законов, можно признать строгими волновыми параметрами гравитационного и Единого полей, имеющими также и вещественные параметры (18)…(20).

Достоверность всех выдвинутых научных положений и найденных на их базе полевых (21)…(24) и вещественных (18)…(20) параметров гравитационного поля, подтверждается:

1) размерно-массовые параметры гравитационного поля – законом неопределенности импульса (29) Гейзенберга [1], для скорости υ_p (28):

$$\upsilon_p = \frac{l_p}{t_p} = \frac{4{,}05124943 \cdot 10^{-35}(м)}{13{,}5135135 \cdot 10^{-44}(с)} = 0{,}299792458 \cdot 10^{9}\left(\frac{м}{с}\right). \qquad (28)$$

$$m_p\upsilon_p = \frac{h}{\lambda_p} = 5{,}45564754 \cdot 10^{-8}(кг) \cdot 0{,}299792458 \cdot 10^{9}\left(\frac{м}{с}\right) = \frac{6{,}62606957 \cdot 10^{-34}(Дж \cdot с)}{4{,}05124943 \cdot 10^{-35}(м)} = \qquad (29)$$

$$= 16{,}3556199\left(\frac{кг \cdot м}{с}\right)$$

2) частотно-энергетические и массовые параметры гравитационного поля – волновым законом (30) де Бройля [1], если Планковскую энергию излучения гравитационного поля $E_p = h\nu_p$ связать с полной Планковской энергией $E_p = m_p c^2$ массы составляющего его вещества, найденной по закону Эйнштейна о связи массы и энергии:

$$\nu_p = \frac{E_p}{h} = \frac{m_p c^2}{h} = 7{,}40000000 \cdot 10^{42}(с^{-1}) = \frac{5{,}45564754 \cdot 10^{-8}(кг) \cdot \left(0{,}299792458 \cdot 10^{9}\left(\frac{м}{с}\right)\right)^2}{6{,}62606957 \cdot 10^{-34}(Дж \cdot с)}. \qquad (30)$$

Найденная связь массы с волновыми параметрами гравитационного поля (29), (30) является дополнительным косвенным доказательством верности выдвинутых выше научных положений, поскольку без наличия массы – гравитационное поле не существует.

Значения (28)...(30), полученные на базе многократно апробированных физических законов Гейзенберга, де Бройля и Эйнштейна, позволяют утверждать, что полевая структура с Планковской массой (20) и волновыми параметрами (21)...(24), минимально возможной во Вселенной длины волны λ_p и максимально возможной частоты колебаний ν_p [10], является гравитационным полем, а составляющие его кванты пространства с размерами (18) являются доменами среды гравитационного поля, которые, в рамках малости их размерно-массовых параметров, по аналогии с нейтрино, можно назвать гравитино.

Объединение гравитационного поля с электромагнитным. Сложность решения задачи объединения гравитационного и электромагнитного полей можно объяснить тем, что до настоящего времени не были известны их волновые параметры, поэтому было неясно, что и как в них можно объединять.



Исходя из найденных волновых характеристик (21)…(24) можно строго утверждать, что объединить гравитационное поле, можно только с электромагнитным полем, имеющим такие же волновые параметры. Таким образом, можно сделать вывод, что объединение этих полей возможно лишь на Планковском уровне мироздания. Данный вывод подтверждается:

1) косвенно – численным равенством величин волновой (31), кинетической (32) и потенциальной (33) энергий, в рамках известных законов [1] для их определения:

$$E_p = h\nu_p = 6{,}6260695710^{-34}(Дж\cdot с)\cdot 7{,}4000000010^{42}(с^{-1}) = 4{,}9032914810^{9}(Дж), \qquad (31)$$

$$E_p = m_p c^2 = 5{,}4556475410^{-8}(кг)\cdot\left(0{,}2997924581\cdot 10^{9}\left(\frac{м}{с}\right)\right)^2 = 4{,}9032914810^{9}(Дж), \qquad (32)$$

$$E_p = m_p g_p l_p = 5{,}4556475410^{-8}(кг)\cdot 2{,}2184641910^{51}\left(\frac{м}{с^2}\right)\cdot 4{,}0512494310^{-35}(м) = \qquad (33)$$

$$= 4{,}9032914810^{9}(Дж),$$

где g_p – Планковское ускорение свободного падения (34):

$$g_p = \frac{l_p}{t_p^{\,2}} = \frac{4{,}05124943\cdot 10^{-35}(м)}{(13{,}5135135\cdot 10^{-44})^2} = 2{,}21846419\cdot 10^{51}\left(\frac{м}{с^2}\right); \qquad (34)$$

2) строго – общей для всех этих видов энергий функциональной зависимостью (35), полученной при подстановке в зависимости (31) – (33) зависимостей (27), (20), (18), (19) для входящих в них Планковских параметров ν_p, m_p l_p, t_p:

$$E_p = h\nu_p = m_p c^2 = m_p g_p l_p = h\sqrt{\frac{c^5}{hG}} = \sqrt{\frac{hc}{G}}\cdot c^2 = \sqrt{\frac{hc}{G}}\cdot\frac{\sqrt{\frac{hG}{c^3}}}{\left(\sqrt{\frac{hG}{c^5}}\right)^2}\cdot\sqrt{\frac{hG}{c^3}} =$$

$$= \sqrt{\frac{hc^5}{G}} = \sqrt{\frac{6{,}62606957\ \cdot 10^{-34}(Дж\cdot с)\cdot\left(0{,}299792458\ \cdot 10^{9}\left(\frac{м}{с}\right)\right)^5}{6{,}67396744\ \cdot 10^{-11}\left(\frac{м^3}{кг\cdot с^2}\right)}} = \qquad (35)$$

$$= 4{,}90329148\ \cdot 10^{9}(Дж).$$

3) строго – общей теоретической проверкой результатов на базе зависимостей (29), (31), (32):

$$m_p\upsilon_p = \frac{h}{\lambda_p} \text{ или } \frac{E_p}{c} = \frac{h}{\lambda_p} \text{ или } \frac{h\nu_p}{c} = \frac{h}{\lambda_p}, \qquad (36)$$

Окончательно преобразовав выражение (36), получим связь волновых параметров со скоростью света c:

$$\nu_p\lambda_p = c = 7{,}4\cdot 10^{42}\left(c^{-1}\right)\cdot 4{,}0512494310^{-35}(м) = 0{,}29979245810^{9}\left(\frac{м}{с}\right). \qquad (37)$$

Экспериментальное подтверждение единства гравитационного и электромагнитного полей обеспечивает зависание кольцевого сверхпроводника (рис. 2) при пропускании в нем постоянного электрического тока. Он вызывает в сверхпроводнике появление магнитного поля с частотой и амплитудой колебаний, одинаковых по величине, но противоположных по фазе частоте и амплитуде колебаний гравитационного поля (иначе

бы эффект отталкивания и зависания не появился). В этом случае найденные волновые параметры гравитационного поля (21)–(24) можно считать также волновыми параметрами постоянного электрического тока и постоянного магнитного поля, поскольку их «постоянство» кажущееся и обусловлено лишь чувствительностью измерений современных измерительных приборов.

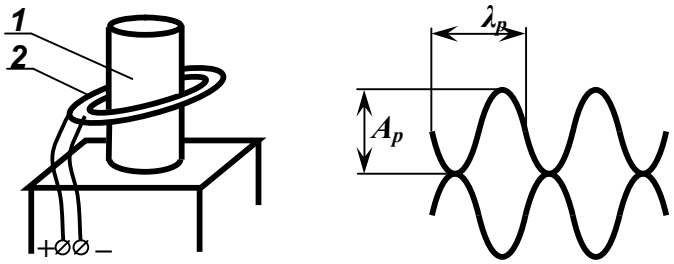


Рисунок 2 – Схема зависания охлаждаемого стаканом 1 с жидким гелием кольцевого сверхпроводника 2, при возбуждении в нем постоянного электрического тока

Исходя из полученных данных, единство гравитационного и электромагнитного полей существует вне связей с электрослабым и большим объединением (рис. 1), поэтому исходная структурная схема может быть преобразована в новую, показанную на рис. 3.

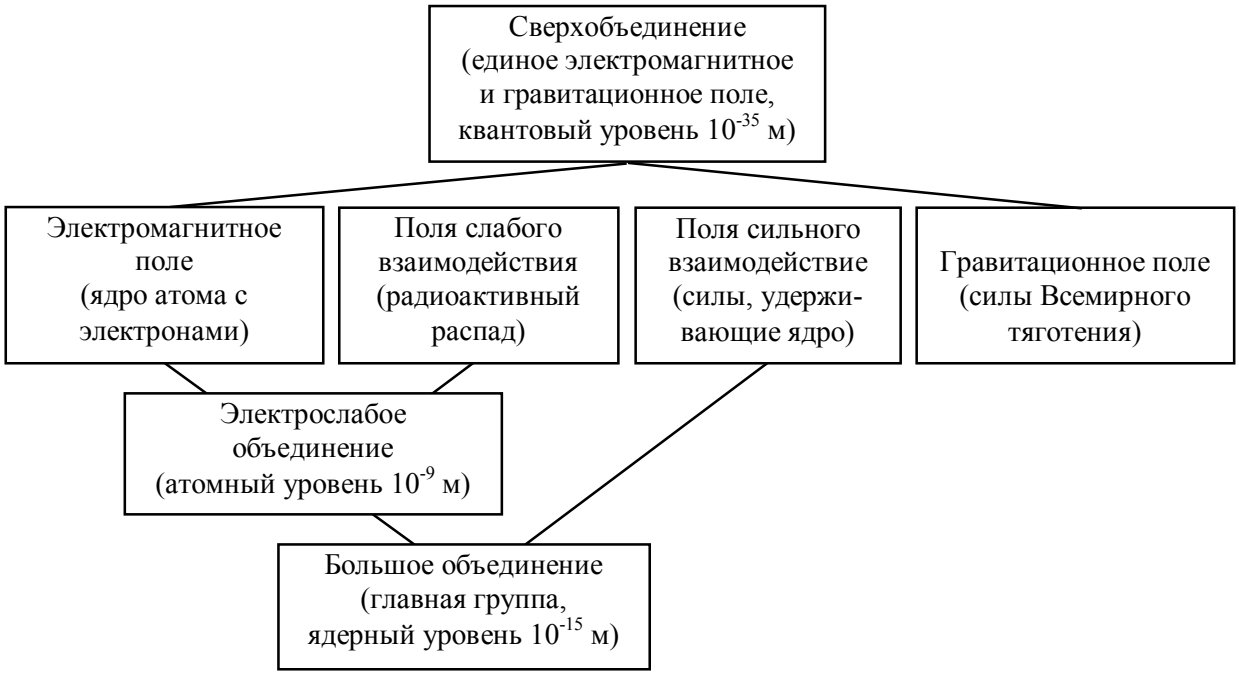


Рисунок 3 – Новая структурная схема объединения физических полей и взаимодействий

Поскольку из зависимости (26) вытекает, что для гравитационного поля $v_p = const$, тогда при всех иных длинах волн, кроме Планковских λ_p, объединение полей невозможно, поэтому исключение из этой цепи преобразований электрослабого и большого объединений (рис. 3) имеющих иной диапазон частот и длин волн – закономерно, либо для их включения необходим поиск новых закономерностей в последующих работах.

В рамках аналогий гравитационного и электромагнитного полей, на базе найденных волновых параметров (21)…(24), можно определить все остальные волновые характеристики гравитационного поля и оценить возможности их взаимодействия с другими объектами и полями материального мира, что позволяет углубить и расширить знания о Вселенной.

Выводы. Предложен принципиально новый подход для определения волновых и вещественных параметров гравитационного и Единого полей на базе фундаментальных физических констант *G,c,h*. Новые физические зависимости, законы и закономерности строго вытекают из ранее известных физических законов и закономерностей и не противоречат им.

Строгое определение частоты v_p гравитационного поля по зависимости (27) найдено впервые, а связанные с нею волновые параметры – впервые найдены в работе [7], 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].

Строгое определение частоты v_p гравитационного поля по зависимости (26), впервые показало, что она является фундаментальной физической константой, более значимой для Вселенной, чем фундаментальные физические константы *G, c, h*, поскольку в различных системах измерения они принимают разные значения, а их совокупность – компенсирует их взаимные изменения, делая конечное значение v_p постоянной величиной для всей Вселенной**.**

Строгое обоснование параметров объединения гравитационного и электромагнитного поля найдено впервые в работе [15] и уточнено по зависимостям (30)…(35), которые вносят коренные изменения в общий уровень научного познания, что также отвечает всем признакам научного открытия [14].

Строгое постоянство частоты волн гравитационного поля $v_p = const$ (27), исключает возможность объединения гравитационного и электромагнитного полей на иных уровнях, кроме Планковского, с частотой колебаний v_p и длиной волн λ_p, что подтверждает найденная закономерность (37).

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. – 928 с.

2. Постоянные. Беспрецедентное измерение гравитационной постоянной // The American Institute of Physics. Bulletin of Physic News. – Number 482. – 3, May, 2000. – Електронний ресурс. – Редим лоступу : http://phys.Web.Ru

3. Гернек Ф. Альберт Эйнштейн / Ф. Гернек. – М. : Мир, 1984. – 128 с.

4. Р. Ротх. Трансцендентальная медитация Махариши Махеш Йоги. – М. : Maharishi Vedic University, 1994. – 110 с.

5. Настасенко В. О. Аналіз гранично можливих шаруватих структу / В. О. Настасенко // Фізика і хімія твердого тіла. – Івано-Франківськ : Прикарп. нац. ун-т, 2006. – Т. 7. – № 4. – С. 793-797.

6. CODATA Internationally recommended values of the Fundamental Physical Constants

7. Настасенко В. А. Открытие предельно возможных величин волновых параметров / В. А. Настасенко // Сб. тезисов докладов 10-я Юбилейной Междунар. науч. конф. «Теория и техника передачи, приема и обработки информации». – Ч. 1. – Харьков : ХНУРЭ, 2004. – С. 30-31.

8. Настасенко В. А. Открытие волновых параметров гравитационного поля / В. А. Настасенко // Тези наук. доповідей V Всеукраїнської наук.-техн. конф. «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об’єктів». – Кременчук : КДПУ, 2006. – С. 19-20.

9. Настасенко В. О. Обгрунтування параметрів мінімального кванта простору Всесвіту / В. О. Настасенко // Науковий вісник Херсонської державної морської академії : науковий журнал. – Херсон : ХДМА, 2012. – № 1 (6). – С. 285-297.

10. Настасенко В. А. О возможности уточнения значения гравитационной постоянной расчетным путем / В. А. Настасенко // Материалы Междунар. науч.-техн.

конф. «Высокопроизводительные вычислительные системы – 2013». – К. : НТУУ «КПИ», 2013. – С. 266-272.

11. Силк Дж. Большой взрыв : пер. с англ. / Под ред. И. Д. Новикова. – М. : Мир, 1982. – 391 с.

12. Настасенко В. А. Эталон массы в элементах квантовой физики / В. А. Настасенко // Сб. трудов VII Междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе «Машиностроение и техносфера на рубеже XXI века». – Донецк : ДонГТУ, 2000. – Т. 1. – С. 95-100.

13. Настасенко В. А. Строгое определение волновых параметров гравитационного поля и объединение гравитационного и электромагнитного полей / В. А. Настасенко // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті». – Херсон : ХДМА, 2014. – С. 198-204.

14. Цивільний кодекс України. – К. : Школа, 2003. – 142 с.

15. Настасенко В. А. Открытие возможности объединения механических и электрических единиц измерения / В. А. Настасенко // Сб. трудов XI Междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе «Машиностроение и техносфера XXI века». – Донецк : ДонНТУ, 2004. – Т. 2. – С. 261-266.

Настасенко В.О. НОВІ ОСНОВИ ДЛЯ СТРОГОГО ВИЗНАЧЕННЯ ХВИЛЕВИХ ПАРАМЕТРІВ ГРАВІТАЦІЙНОГО ПОЛЯ І ОБ'ЄДНАННЯ ГРАВІТАЦІЙНОГО ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛІВ

Вперше знайдені строгі фізичні закономірності, засновані на взаємозв'язку фундаментальних фізичних констант: швидкості світла у вакуумі c, сталої Планка h і гравітаційної сталої G, що дозволяють виділити в G частотну характеристику v_p, яка ідентифікована з частотою гравітаційного поля. На цій базі строго визначені інші його хвилеві і речові параметри і знайдені їх числові значення. Показано, що гравітаційне поле з даними хвилевими параметрами може бути об'єднано тільки з електромагнітним полем, що має такі самі хвильові параметри, а це можливо лише на Планківському рівні матеріального світу. Вирішення даних задач обґрунтоване відомими фізичними законами та закономірностями і не суперечить сучасним знанням про матеріальний світ та Всесвіт у цілому і є актуальним для розвитку фізики та інших галузей науки і техніки.

Ключові слова: фундаментальні фізичні константи, гравітаційна стала, хвилеві параметри гравітаційного і електромагнітного полів, Планківські величини.

Nastasenko V.A. NEVE BASED OF STRICT DEFINITION WAVE PARAMETERS OF GRAVITATIONAL FIELD AND UNIFICATION OF GRAVITATIONAL AND ELECTROMAGNETIC FIELDS

Strict physical regularities were obtained for the first time based on intercommunication of fundamental physical constants: speed of light in vacuum c, of Plank's constants h and gravitational constants G, that allow to single out wave characteristic v_p from G which is identified with the frequency of gravitational field. On this base other wave and substance parameters were strictly defined and their numerical values obtained. It was proved that gravitational field with the given wave parameters can be unified only with electromagnetic field having the same wave parameters that's why it is possible only on Plank's level of world creation. The solution of given problems is substantiated by well-known physical laws and conformities and not contradiction to modern knowledge about of material world and the Universe on the whole. It is actual for development of physics and other branches of science and technique.

Keywords: fundamental physical constants, gravitational constants, wave parameters gravitation and electromagnetic fields, Plank's sizes.

Статтю прийнято
до редакції 28.05.14.

УДК 624.132.3

АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ СХЕМ ІСНУЮЧИХ ТРАНШЕЄКОПАЧІВ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ РОЗВИТКУ

Пелевін Л.Є., Горбатюк Є.В., Тетерятник О.А.
Київський національний університет будівництва і архітектури

У даній статті приведено аналіз існуючих конструкцій траншеєкопачів та обґрунтовано найбільш доцільні схеми траншеєкопачів. Взаємодія безківшевого ланцюгового виконавчого органа з твердим та мерзлим ґрунтом при вирізуванні траншеї характеризується тим, що ріжуче-транспортуючі елементи водночас з розпушенням ґрунту транспортують його із траншеї. Для підвищення ефективності роботи ріжуче-транспортуючих елементів необхідно зменшити кількість ґрунту, що осипається з верхньої поверхні траншеї шляхом віддалення винесеного ґрунту від виконавчого органа. У зв'язку з викладеним, дослідження, що направлені на вдосконалення засобів та методів віддалення зруйнованого ґрунту від виконавчого органа, є актуальними.

Метою даної роботи є створення нових робочих органів динамічної дії, енергоємність робочого процесу яких буде меншою і які будуть позбавлені недоліків раніше розроблених конструкцій.

На основі аналізу конструкцій засобів винесення ґрунту і їх роботи запропоновано використовувати для цих цілей скребковий ґрунтоприбирач.

Розглянуто проблему підвищення продуктивності та зниження енергоємності робочих органів траншейних машин і описано інноваційний напрямок розвитку динамічних робочих органів для створення траншей. Також у статті наведено один з напрямків подальшого розвитку динамічних робочих органів. Подальший розвиток вищезгаданих робочих органів можливий як комбінація позитивних якостей та конструктивних елементів попередніх конструкцій робочих органів, або поєднання в одному робочому органі двох чи більше методів розробки ґрунту.

Ключові слова: траншеєкопач, грунтоприбирач, грунт, траншея, енергоємність розробки ґрунту, динамічний робочий орган.

Вступ. В Україні за останнє десятиріччя спостерігається зростання обсягів будівництва, що вимагає якісно нового рівня у капітальному будівництві, докорінного покращення якості робіт на об'єктах, що споруджуються та реконструюються, підвищення ефективності розробки ґрунту.

Капітальне будівництво потребує прокладки різноманітних комунікацій, проведення робіт за нульовим циклом, зв'язаних з розробкою ґрунту, руйнуванням асфальтового покриття. У сучасній будівельній промисловості поряд із зведенням нових споруд необхідно здійснювати значний об'єм реконструкцій промислових і цивільних об'єктів за різноманітних умов: у стиснених міських умовах, у зонах скельних і важких ґрунтів, проводити розбирання міцних покрить (у тому числі і за аварійних ситуацій) і таке інше. Часом стислі терміни введення об'єктів будівництва в експлуатацію примушують йти на подорожчання робіт, проводити їх у зимовий період.

Для ведення цих робіт створені і використовуються різноманітні технічні засоби, в тому числі машини з ланцюговими ріжучими органами. Так, наприклад, при вирізуванні блоків каменя використовуються здебільшого вузько-щілинорізні машини на рейковому ході, а для розробки твердого та мерзлого ґрунту – машини з широкими ланцюговими ріжучими органами [1, 2, 3, 4]. Швидкість екскавації матеріалу із траншеї за допомогою траншеєкопача може бути у 6 разів вище за швидкості, що забезпечує одноківшевий екскаватор. Траншейні безківшеві екскаватори використовуються для земляних робіт, що ведуться на відкритому просторі. Вони руйнують та виносять ґрунт на поверхню, прорізуючи в породі щілину, яку можна використати для прокладки інженерних комунікацій. Більш того, траншеєкопач робить траншею чистою, вже повністю готовою під технологічні комунікації. Ґрунт, що витягається траншеєкопачем на відміну від одноковшевого екскаватора має однорідну за розмірами частинок структуру і може бути використаний для зворотного засипання. Траншеєкопач мінімізує обсяг матеріалу, що витягається і пов'язані з цим енергозатрати. Траншея може бути прокладена з високою точністю, а застосування лазерних систем управління дозволяє досягати найвищого рівня.

Ці переваги забезпечують високу продуктивність і рентабельність спеціалізованих траншеєкопачів.

Аналіз публікацій. На основі огляду публікацій, що присвячені аналізу конструктивних схем ґрунтоприбирачів та дослідженню факторів, які визначають режими роботи безківшевих ланцюгових траншеєкопачів можна зробити наступні висновки. Авторами робіт [1-4] приводяться аналітичні залежності для визначень швидкостей подачі робочих органів при роботі траншеєкопачів. При аналізі цих залежностей виявлено, що недостатньо висвітлені визначення як швидкісних параметрів (наприклад, швидкості різання ґрунту) так і конструктивних (виліт різців, конструкції скребків для винесення ґрунту, кроку їх розставлення).

Також на продуктивність безківшевого ланцюгового траншеєкопача впливає геометрія різців і їх знос [4], конструкція виконавчого органу і траншеєкопача в цілому. При цьому застосовуються різни види ґрунтоприбирачів – стрічкові, метальні, шнекові, плужні, скребкові. Стрічкові ґрунтоприбирачі суттєво ускладнюють навісне обладнання траншеєкопача. Метальні ґрунтоприбирачі мають високу ступінь зношування та високу енергоємність [5]. Плужні ґрунтоприбирачі хоч і конструкційно прості та низькоенергоємні, але при їх роботі розроблений ґрунт заважає при прокладанні різних комунікацій у траншею [6]. Скребкові ґрунтоприбирачі, на відміну від інших типів, прості за конструкцією, мають відносно низьку енергоємність та невисоку зносостійкість скребків [7].

Однак не повністю приведена методика визначення їх кінематичних параметрів та силових і енергетичних показників.

Заслуговують уваги конструкції робочих органів, що були розроблені та розраховані на кафедрі будівельних машин КІСІ. Найбільш відомими є конструкції роторного, кільцевого та дискового робочих органів динамічної дії [8, 9]. Вищезазначені високошвидкісні робочі органи використовують в процесі роботи наступні, вже достатньо відомі, принципи роботи динамічного обладнання, а саме: формування орієнтованих високих швидкостей навантажування; перерозподіл енергетичного потоку; формування перед робочим органом ослаблених зон за рахунок накопичення втомних деформацій при багатоциклічних навантаженнях; руйнування ґрунту способом відривання; вирізання елементу масиву без його повного руйнування; поєднання в одному робочому органі функцій руйнування ґрунту і його транспортування. Ці принципи дозволяють створити зразки машин з питомою продуктивністю 18...20м^3/год на 1кВт потужності.

Поряд з переліченими перевагами, вищезгадані робочі органи мають недоліки, до яких можна віднести залежність глибини траншеї від діаметра робочого органа, еліпсоподібний профіль траншеї, можливість забивання робочої поверхні твердими включеннями, що знижує ефективність їх роботи.

Мета і постановка задачі. Взаємодія безківшевого ланцюгового виконавчого органа з твердим та мерзлим ґрунтом при вирізуванні траншеї характеризується тим, що ріжуче-транспортуючі елементи водночас з розпушенням ґрунту транспортують його із траншеї.

Винесений на поверхню ґрунт осипається у зазори між виконавчим органом і боковими стінками траншеї, затягається до неї холостою гілкою ріжучого ланцюга і накопичується у нижній частині виконавчого органа між ріжуче-транспортуючими елементами. Ущільнюючись, він ускладнює доступ різців до вибою, при цьому збільшується як зусилля подачі, так і зусилля протягування ріжучого ланцюга.

Для підвищення ефективності роботи ріжуче-транспортуючих елементів необхідно зменшити кількість ґрунту, що осипається з верхньої поверхні траншеї шляхом віддалення винесеного ґрунту від виконавчого органа. Це, в свою чергу, дозволить виключити підпресування ґрунту та забезпечити задану продуктивність траншеєкопача при нарізанні траншеї.

У зв’язку з викладеним, дослідження, що направлені на вдосконалення засобів та методів віддалення зруйнованого ґрунту від виконавчого органа, є актуальними.

Метою даної роботи є створення нових робочих органів динамічної дії,

енергоємність робочого процесу яких буде меншою і які будуть позбавлені недоліків раніше розроблених конструкцій.

Невирішена раніше частина проблеми полягає у поєднанні позитивних ефектів, в запропонованому робочому органі, що зменшує енергоємність розробки ґрунтів і є актуальним напрямком розвитку цієї галузі господарства.

Аналіз конструктивних схем існуючих траншеєкопачів та перспективи їх розвитку. Необхідність встановлення того чи іншого типу ґрунтоприбирача на безківшевому ланцюговому траншеєкопачу зумовлена технологічним призначенням траншеї, що прорізується. У залежності від цього ґрунт, що виймається, або розміщується з одного або двох боків траншеї, або розрівнюється по поверхні ґрунту. Відповідно до цього на траншеєкопачах встановлюються різноманітного типу ґрунтоприбирачі. Розглянемо основні конструктивні схеми ґрунтоприбирачів.

Стрічковий транспортер є найбільш доцільним видом ґрунтоприбирача зважаючи на такі безсумнівні свої переваги, як низька енергоємність транспортування, можливість достатньо просто змінювати дальність переміщення ґрунту, простота конструкції (рис. 1).

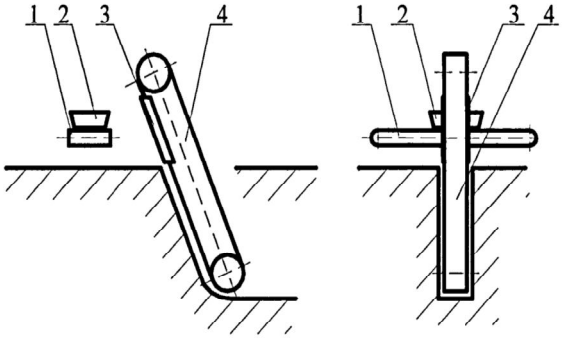


Рисунок 1 – Стрічковий ґрунтоприбирач:
1 – стрічковий транспортер; 2 – прийомний бункер; 3 – направляючий жолоб; 4 – робочий орган траншеєкопача

Однак стрічкові транспортери досі не отримали розповсюдження як ґрунтоприбирачі безківшевих ланцюгових траншеєкопачів, призначені для розробки твердих та мерзлих ґрунтів, в результаті неможливості застосування для відсипання ґрунту із його розрівнюванням по поверхні.

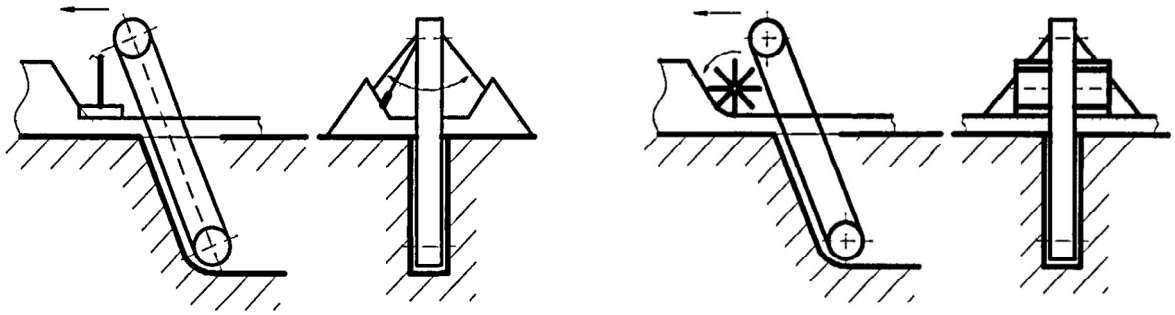
Основною ж причиною, що обмежує застосування стрічкових ґрунтоприбирачів, є складність їхнього використання на безківшевих ланцюгових траншеєкопачах, що створюються, як правило, на базі тракторів. У випадку застосування стрічкового ґрунтоприбирача невиправдано ускладнюється все навісне обладнання: необхідно істотно змінювати конструкцію редуктора приводу робочого органу траншеєкопача для розміщення транспортера і його приводу, встановлювати бункер для ґрунту та штучний жолоб для підйому ґрунту з поверхні ґрунту до бункера.

Стрічкові ґрунтоприбирачі, певно, знайдуть застосування у випадку створення повністю оригінальних конструкцій безківшевих ланцюгових траншеєкопачів. Підтвердженням цьому є широке використання стрічкових ґрунтоприбирачів на роторних траншейних екскаваторах, що застосовуються для розробки ґрунтів.

Метальні ґрунтоприбирачі з ротаційними робочими органами та робочими органами, що коливаються, також досі не знайшли застосування на безківшевих ланцюгових траншеєкопачах, хоча і є оригінальні розробки [5] та були спроби їхнього використання (рис. 2).

Випробування метального ґрунтоприбирача з маятниковим транспортуючим органом (рис. 2а), який було встановлено на траншеєкопачі (на базі трактора Т-100) показали, що він має малу транспортуючу спроможність, а значні навантаження на робочий орган, що коливається, приводять до його поломок.

Ротаційний метальник (рис. 2б) може або прибирати, або розкидати ґрунт по площі на великі відстані від траншеї. Але для ефективної його роботи ґрунт необхідно орієнтовано подавати від робочого органа траншеєкопача до лопаток ротора. В іншому випадку невеликий за розмірами ротор метальник не може чисто прибрати ґрунт, який, звичайно, розсипається на значній площі попереду робочого органа траншеєкопача.



а б

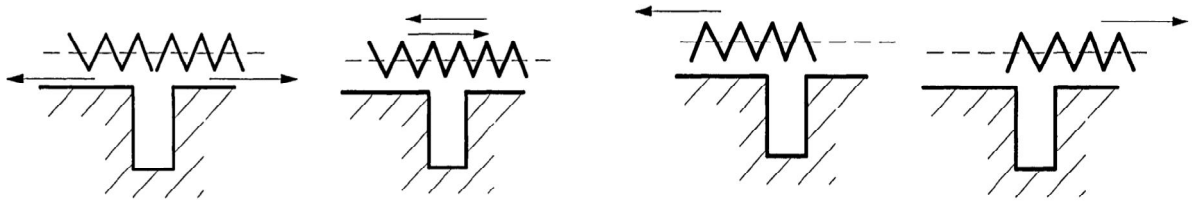
Рисунок 2 – Метальні ґрунтоприбирачі: а – маятниковий; б – ротаційний

До числа інших недоліків, що стали перешкодою до застосування таких ґрунтоприбирачів можна віднести їх відносну складність, швидке зношування частин (що стикаються з ґрунтом) та достатньо високу енергоємність, необхідну для транспортування ґрунту.

Шнекові ґрунтоприбирачі знайшли найбільше застосування на існуючих безківшевих ланцюгових траншеєкопачах внаслідок простоти, як виготовлення, так і обслуговування в процесі експлуатації. Гвинтові транспортери для подачі вилученого із траншеї матеріалу в зону зворотного засипання знайшли застосування в траншеєкопачах як зарубіжних виробників Case, Vermeer, Ditch Witch, Wolfe, HYDRAMAXX, так і вітчизняних.

На практиці має місце застосування різних конструкцій шнекових ґрунтоприбирачів: з однозаходними та двозаходними шнеками; з приводом від редуктора робочого органа траншеєкопача та від робочої ланки ріжучого ланцюга; з транспортуванням ґрунту в один чи в обидва боки від траншеї (рис. 3); з розташуванням осі шнекового органа попереду ріжучого ланцюга та на рівні з ним.

Шнековий ґрунтоприбирач з прибиранням ґрунту на два боки (рис. 3а) дозволяє більш рівномірно розпланувати ґрунт, що виймається ріжучим ланцюгом. Разом з тим, відвал ґрунту утворюється з двох боків, що, очевидно, буде заважати при наступному паралельному проході машини. За використанням ґрунтоприбирача за схемою (рис. 3б) вимагається значна його довжина. За схемою (рис. 3в) вимагається переставляти шнековий ґрунтоприбирач в ліву або праву частини машини в залежності від необхідності прорізки ліво- або правосторонніх паралельних траншей.



а б в

Рисунок 3 – Шнековий ґрунтоприбирач:
а – шнековий транспортер встановлений посередині траншеї прибирає ґрунт на два боки; б – шнековий транспортер прибирає ґрунт в один бік і встановлений посередині траншеї; в – шнековий транспортер прибирає ґрунт в один бік

Для визначення рекомендацій по виконанню і проведенню досліджень можна

прийняти схему (рис. 3а), як таку, що має можливість планування, а при зміні напрямку обертання шнека – навіть засипати траншеї. Наряду з перевагами шнекові ґрунтоприбирачі мають і ряд недоліків.

З метою виключення поломок при роботі траншеєкопача на нерівній поверхні шнеки ґрунтоприбирача розташовують на певній висоті від поверхні ґрунту, у зв'язку з чим, ґрунт розрівнюється у достатньо товстий шар, з якого частина його осипається у траншею.

Шлях тертя гвинтової лопаті шнека в декілька разів більше за шлях переміщення ґрунту, тому при постійному контакті шнека з високоабразивним твердим чи мерзлим ґрунтом спостерігається висока інтенсивність його зношення.

Плужний ґрунтоприбирач пасивної дії [6] видаляє ґрунт двома відвалами від бровки траншеї і формує у два бурти з кутами в основі поперечного перетину рівними куту природного відкосу ρ (рис. 4).

Такий ґрунтоприбирач надто простий за конструкцією, не вимагає кваліфікованого догляду під час експлуатації.

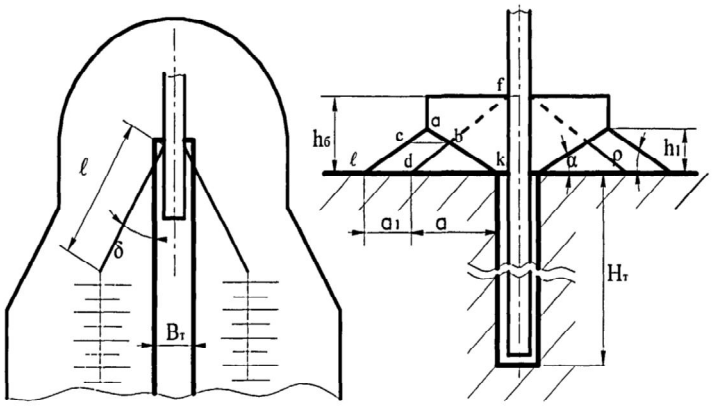


Рисунок 4 – Плужний ґрунтоприбирач

Незважаючи на те, що плужні ґрунтоприбирачі конструктивно прості та забезпечують переміщення ґрунту з невеликими затратами потужності, застосування вони можуть знайти тільки на безківшевих ланцюгових траншеєкопачах, призначених для вирізування траншей малого поперечного перерізу.

Зумовлене це тим, що маса відвалів, що розміщуються на робочому органі траншеєкопача, росте пропорційно збільшенню параметрів траншеї. В свою чергу це викликає збільшення противаг для забезпечення стійкості машини і ваги машини в цілому.

Але головний недолік плужних ґрунтоприбирачів полягає в тому, що за їх допомогою ґрунт переміщується на незначну відстань від траншеї і є завадою при укладанні в траншею різноманітного типу комунікацій.

Скребкові ґрунтоприбирачі (рис. 5) мають суттєві переваги перед іншими в тому, що можуть бути виконані з наявністю пристроїв для швидкого переходу з режиму буртування на режим планування ґрунту. Шлях тертя ковзання скребків не перевищує шлях транспортування ґрунту, що забезпечує відносно менше зношування скребків. До того ж їх можна покривати зносостійкими або змінними матеріалами (наприклад, гумовою стрічкою), що не призведе до суттєвого підвищення енергоємності транспортування.

Важливою особливістю роботи скребкових ґрунтоприбирачів є те, що ґрунт безпосередньо не потрапляє на скребковий ланцюг, а більша частина його укладається попереду і за процес роботи його робочий орган наче надходить на ґрунт, який утворює трикутну призму. Переміщення тіла волочіння відбувається по ґрунту винесеному попередньо.

Одним із перспективних напрямків розвитку траншейного обладнання

є використання торцевих робочих органів, таких як пальцева та конусна фрези [10, 11]. Пальцева фреза дозволяє одночасно проводити роботи з розробки траншеї (в ґрунтах до IV категорії) та укладання кабелю, а конусна фреза (рис. 6, а) поєднує в своїй конструкції декілька принципів динамічного руйнування ґрунтів, такі як вирізання елементу масиву без його повного руйнування (за рахунок розташування різально-метальних елементів по концентричних колах), поєднання в одному робочому органі функцій руйнування та транспортування ґрунту (за рахунок просторової орієнтації різально-метальних елементів) та самообвалення ґрунту (за рахунок конусної форми робочого органа та втомних деформацій, що виникають під дією хвиль напружень від дії на масив підрізної кромки та різально-метальних елементів).

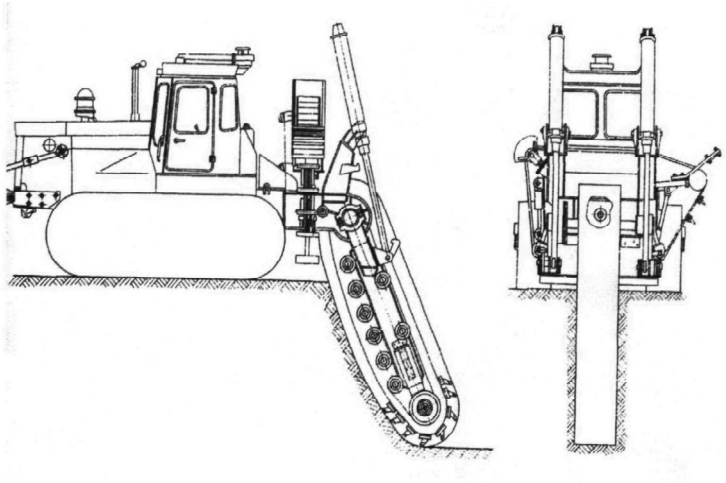


Рисунок 5 – Безківшевий ланцюговий траншеєкопач із скребковим ґрунтоприбирачем

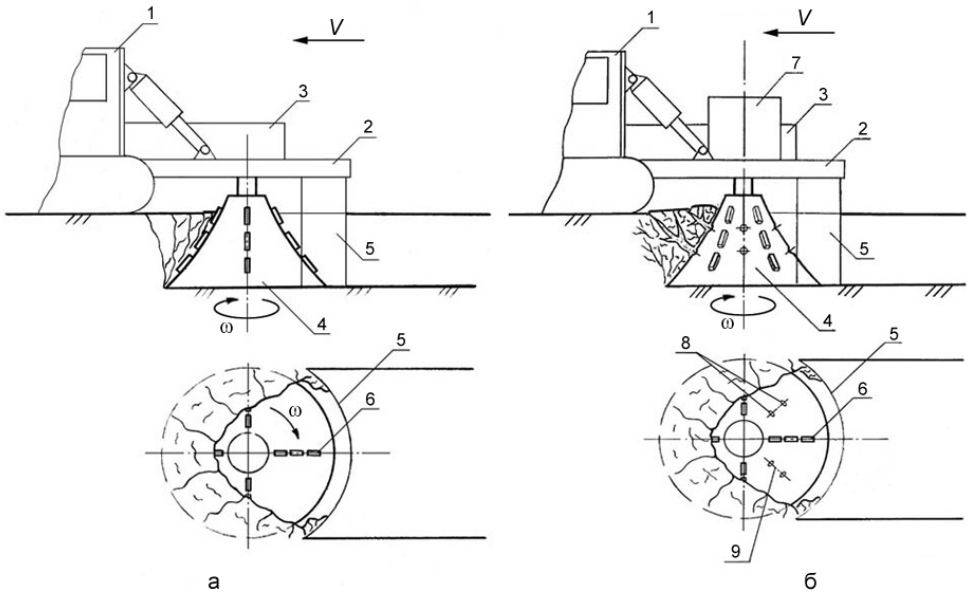


Рисунок 6 – Робочий орган типу «конусна фреза»
а – звичайна конусна фреза; б – конусна фреза з газоімпульсним інтенсифікатором; 1 – базова машина; 2 – рама робочого органа; 3 – привід робочого органа; 4 – конусна фреза; 5 – зачисний кожух; 6 – різально-метальні елементи; 7 – газоімпульсне обладнання; 8 – випускні отвори; 9 – лінія випускних отворів

В останній час все частіше застосовують комбіновані методи руйнування ґрунтів, які становлять синтез основних методів, наприклад, термомеханічний, пневмомеханічний, гідромеханічний та інші. Комбіновані методи дозволяють використовувати переваги та компенсувати недоліки окремих методів, тому їх ефективність значно вище, ніж кожного

окремо. Виходячи з цього, наступним кроком у розробці торцевих динамічних робочих органів типу «конусна фреза» є робочий орган (рис. 6б), у конструкції якого передбачено газоімпульсний інтенсифікатор [12].

При дії навантаження від створеного газом імпульсу в вершинах тріщин та надрізів, створених різально-метальними елементами, виникають граничні напруги. Це призводить до швидкого зростання тріщин та виникнення розклинювального ефекту, що сприяє розпушенню ґрунту та його відриву під дією сил, що діють у напрямку відкритої поверхні масиву. Випускні отвори розташовані по концентричним колам різного діаметру таким чином, щоб у вертикальному перерізі вони знаходились на однаковій відстані від концентричних кіл різально-метальних елементів, а в горизонтальному перерізі лінія випускних отворів випереджала лінію різально-метальних елементів на кут 45^0. Це приводить до дії навантаження від імпульсу газу в проміжках між дією напруг, створених накладанням хвиль деформації в масиві при взаємодії з ґрунтом різально-метальних елементів. Все це дозволяє підвищити категорійність ґрунтів, які можуть розроблюватись конусною фрезою та зменшити можливість заклинювання робочого органа при наявності у ґрунті твердих включень.

Висновки. Проведене дослідження існуючих засобів винесення від траншеї ґрунту, показав істотні недоліки в існуючих конструкціях виконавчих органів траншеєкопачів. Це відбувається із-за різних умов роботи ґрунтоприбирачів внаслідок їх конструктивних особливостей та аналогічних транспортуючих машин.

На основі аналізу конструкцій засобів винесення ґрунту і їх роботи пропонується використовувати для цих цілей скребковий ґрунтоприбирач.

Водночас широке застосування скребкових ґрунтоприбирачів на траншеєкопачах обмежується як відносною складністю їхнього конструктивного виконання, так і відсутністю рекомендацій по їх розрахунку, проектуванню і експлуатації..

Також у статті наведено один з напрямків подальшого розвитку динамічних робочих органів. Подальший розвиток вищезгаданих робочих органів можливий як комбінація позитивних якостей та конструктивних елементів попередніх конструкцій робочих органів, або поєднання в одному робочому органі двох чи більше методів розробки ґрунту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Экскаватор траншейный цепной ЭТЦ-208А/ [С. Х. Вартанов, Р. Г. Исупов, В. С. Кобелев, В. Р. Малько, М. Ф. Коц] // Строительные и дорожные машины. – 1978. – № 12. – С. 4-6.

2. Галай В. Д. Двухбаровая машина / В. Д. Галай, Е. К. Сорокин, И. М. Искендеров // Строительные и дорожные машины. – 1973. – № 8. – С. 19-21.

3. Гарифов В.С. Новое оборудование экспериментального завода / В. С. Гарифов, А. Я. Гармс. // Строительные и дорожные машины. – 2004. – № 6. – С. 43-46.

4. Юдин В. Г. Повышение качества модульных землерезных машин / В. Г. Юдин // Строительные и дорожные машины. – 2004. – № 6. – С. 2-4.

5. А.с. 1089207 СССР, Кл. 2 E02F5/06. Режущий орган траншеекопателя ; опубл. 30.04.84, Бюл. № 16. – 2с.

6. А.с. 985196 СССР, М. Кл.2 E02F3/08. Рабочий орган траншеекопателя ; опубл. 30.12.82, Бюл. № 48. – 4 с.

7. Спиваковский А. О. Транспортирующие машины / А. О. Спиваковский, В. К. Дьячков. – М. : Машиностроение, 1968. – 504 с.

8. А.с. №1446246 СССР, МКИ E02F 5/08. Рабочий орган землеройной машины / Пелевин Л. Е., Костенюк А. А., Рыбко А. В., Кудря С. Е., Фурто Г. С., Карпиловский Е. И. – Опубл. 30.12.1989. Бюл. № 47.

9. А.с. № 1798442 СССР, МКИ E02F 5/08. Рабочий орган землеройной машины / Баладинский В. Л., Гаркакавенко А. Н., Кравиуз С. В., Пелевин Л. Е. – Опубл. 28.02.1993.

Бюл. № 8.

10. Зухба А. Г. Перспективы применения бестраншейных и траншейных технологий укладки линий связи в прочных грунтах / А. Г. Зухба // ГБДММ : респ. межвід. наук.-техніч. зб. – К. : КДТУБА, 1997. – № 51. – С. 73-80.

11. Патент України № 44563А. Робочий орган землерийної машини / Фомін А. В., Костенюк О. О., Пелевін Л. Є., Рашківський В. П., Тетерятник О. А. – Опубл. 15.02.2002. Бюл. № 2.

12. Патент України № 53381А. Конусна фреза землерийної машини / Баладінський В. Л., Фомін А. В., Костенюк О. О., Тетерятник О. А., Холоденко А. М. – Опубл. 15.01.2003. Бюл. № 1.

Пелевин Л.Е., Горбатюк Е.В., Тетерятник А.А. АНАЛИЗ КОНСТРУКТИВНЫХ СХЕМ СУЩЕСТВУЮЩИХ ТРАНШЕЕКОПАТЕЛЕЙ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ РАЗВИТИЯ

В данной статье приведен анализ существующих конструкций траншеекопателей и обоснованы наиболее целесообразные схемы траншеекопателей. Взаимодействие бесковшевого цепного исполнительного органа с твердым и мерзлым грунтом при вырезании траншеи характеризуется тем, что режуще-транспортирующие элементы одновременно с разрыхлением грунта транспортируют его из траншеи. Для повышения эффективности работы режуще-транспортирующих элементов необходимо уменьшить количество грунта осыпаемого из верхней части траншеи путем отдаления вынесенного грунта от исполнительного органа.

В связи с изложенным выше, исследования, направленные на совершенствование средств и методов отдаления разрушенного грунта от исполнительного органа, являются актуальными.

Целью данной работы является создание новых рабочих органов динамического действия, энергоемкость рабочего процесса которых будет меньшей и которые будут лишены недостатков ранее разработанных конструкций. На основе анализа конструкций средств выноса грунта и их работы предложено использовать для этих целей скребковый грунтоуборщик.

Рассмотрена проблема повышения производительности и снижения энергоемкости рабочих органов траншейных машин и описана инновационное направление развития динамических рабочих органов для создания траншей.

Также в статье приведено одно из направлений дальнейшего развития динамических рабочих органов. Дальнейшее развитие вышеупомянутых рабочих органов возможно как комбинация позитивных качеств и конструктивных элементов предыдущих конструкций рабочих органов, или сочетание в одном рабочем органе двух или больше методов разработки грунта.

Ключевые слова: траншеекопатель, грунтоуборщик, грунт, траншея, энергоемкость разработки грунта, динамический рабочий орган.

Pelevin L.E., Gorbatiuk Ie.V., Teteryaniuk A.A. ANALYSIS OF STRUCTURAL CHARTS OF JANITOR'S AND DETERMINATION OF PARAMETERS OF CHAIN SCRAPER DITCHERS

To this article the analysis of existent constructions of ditchers is driven and the most expedient charts of ditchers are reasonable.

Co-operating of not having scoops of chain executive branch with the solid and frozen grounding at excision of trench is characterized that cutting-transporting elements simultaneously with making light of soil transport him from a trench. For the increase of efficiency of work of cutting-transporting elements it is necessary to decrease the amount of soil strewed from the topside of trench by the removal of the taken away soil from an executive branch. In connection with the stated higher, the researches sent to perfection of facilities and methods of removal of the destroyed soil from an executive branch are actual.

An aim hired is creation of new working organs of dynamic action, the power-hungryness of working process of that will be less and that will be deprived lacks of the before worked out constructions.

On the basis of analysis of constructions of facilities of bearing-out of soil and their work it offers to use for these aims scraper janitor.

The problem of increase of the productivity and decline of power-hungryness of working organs of trench machines is considered and described innovative direction of development of dynamic working organs for creation of trenches. Also to the article one of directions of further development of dynamic working organs is driven. Further development of the above-mentioned working organs is possible as combination of positive qualities and structural elements of previous constructions of working organs, or combination in one working organ two or more methods of development of soil.

Keywords: ditcher, janitor, soil, trench, power-hungryness of development of soil, dynamic working organ.

Статтю прийнято
до редакції 23.04.14.

УДК 621.822.5

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ДЕЙДВУДНЫХ КАПРОЛОНОВЫХ ПОДШИПНИКОВ

Просянок В.В.

Азовский морской институт Одесской национальной морской академии, г. Мариуполь

В статье предложена методика расчёта температурных показателей дейдвудных капролоновых подшипников и приведены некоторые результаты исследования влияния эксплуатационных факторов на работоспособность дейдвудных капролоновых подшипников. Применение капролона в качестве материала для дейдвудных подшипников на водяной смазке показал достаточно надёжные результаты работы по бронзовым и нержавеющим облицовкам. Однако при определённых эксплуатационных условиях температура в дейдвудном подшипнике может превысить теплостойкость капролона. Вследствие этого несущая способность подшипника резко снижается, происходит подплавление и ускоренный износ подшипника.

Несмотря на широкое применение подшипников скольжения изготовленных из капролона в дейдвудных устройствах судов, методика их теплового расчёта недостаточно освещена и не позволяет определить влияние эксплуатационных факторов на надёжность ответственного узла судна.

Учитывая вышесказанное, с целью повышения надёжности дейдвудных подшипников из капролона, актуальна разработка методики расчёта температурных показателей и определение критических эксплуатационных параметров.

В данной статье эксплуатационная температура капролонового дейдвудного подшипника с водяной смазкой и охлаждением определяется на основе составления теплового баланса теплообразования в подшипнике и теплоотдачи. В результате расчёта определено влияние некоторых эксплуатационных параметров на температуру нагрева дейдвудного подшипника.

В статье использованы результаты проведённых исследований температуры нагрева дейдвудных подшипников из капролона на различных эксплуатационных режимах рыболовных судов типа СЧС. Результаты исследования показали удовлетворительную сходимость практических и теоретических параметров. В статье сделан вывод что, одним из определяющих факторов нагрева подшипников является расход смазывающей-охлаждающей жидкости.

Материалы статьи могут быть использованы при проектировании дейдвудных устройств с использованием капролона в качестве материала подшипников.

Ключевые слова: дейдвудный подшипник из капролона, работоспособность, эксплуатационные параметры, теплостойкость.

Постановка проблемы. При эксплуатации судна в дейдвудном устройстве возникают постоянные и переменные нагрузки под действием сил и моментов, передаваемых гребному валу от гребного винта, которые вызывают напряжения в дейдвудных подшипниках. В процессе эксплуатации меняется температура охлаждающей воды, возможно уменьшение расхода и давления смазывающее охлаждающей жидкости, в результате износа увеличивается зазор, всё эти факторы могут привести к повышению температуры либо давлений до критических параметров.

Опыт применения капролона в качестве материала для дейдвудных подшипников на водяной смазке показал удовлетворительные результаты работы по бронзовым и нержавеющим облицовкам [1]. Однако если в процессе эксплуатации в дейдвудном подшипнике (рис. 1) температура превысит теплостойкость капролона, его несущая способность резко снижается.

Актуальность исследования. Несмотря на широкое применение подшипников скольжения изготовленных их капролона в дейдвудных устройствах судов методика их теплового расчёта, на наш взгляд, недостаточно освещена и не позволяет определить влияние эксплуатационных факторов на надёжность ответственного узла судна.

Цель работы – разработка методики расчёта температурных показателей дейдвудных одшипников из капролона и определение критических эксплуатационных параметров.

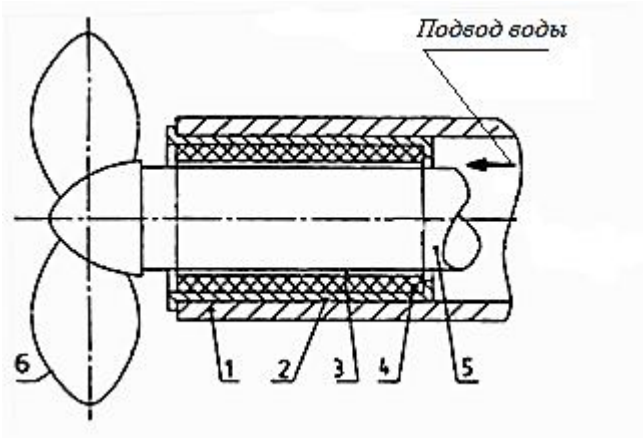


Рисунок 1 – Дейдвудное устройство с подшипником из капролона со смазкой и охлаждением водой: 1 – дейдвудная труба; 2 – втулка; 3 – смазывающая канавка; 4 – подшипник из капролона; 5 – вал; 6 – гребной винт

Изложение материала исследования. Несущую способность смазывающего слоя в дейдвудном подшипнике можно определить по аналогии с радиальным подшипником скольжения работающем в масляном слое. Развивающиеся в клиновом зазоре гидродинамические силы дейдвудного подшипника распределены по закону, изображённому на схеме рисунка 2. Эти силы уравновешивают нагрузку *P* на гребной вал.

Применительно к данному типу подшипника скольжения уравнение Рейнольдса для плоского потока жидкости записывают в полярных координатах [2]:

$$\frac{dp}{d\phi} = 6 \cdot \frac{\mu \cdot \omega}{\psi^2} \cdot \frac{\chi\left(\cos\phi - \cos\phi_m\right)}{\left(1 + \chi \cdot \cos\phi\right)^3}, \qquad (1)$$

где p – давление в произвольном сечении под углом φ к линии центров; μ – динамическая вязкость смазывающей жидкости (забортная вода); w – окружная скорость; $\psi = \Delta/d$ – относительный зазор; $\chi = e/\delta$ – относительный эксцентриситет; δ – радиальный зазор. φ_m – угол соответствует сечению с P_{max}.

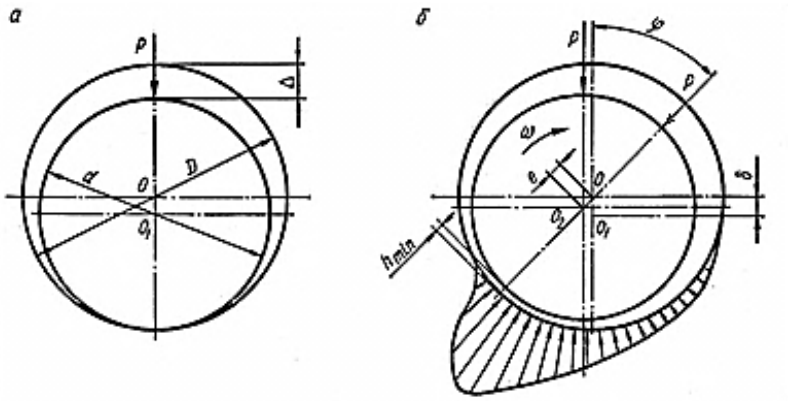


Рисунок 2 – Положение гребного вала в дейдвудном подшипнике: а) – в состоянии покоя; б) – при вращении со скоростью

Уравнение (1) после интегрирования и ряда преобразований приводится к формуле (2) для определения гидродинамической грузоподъемности дейдвудного подшипника, т.е. несущей способность подшипника:

$$R = \frac{\mu \cdot \omega}{\psi^2} \cdot l \cdot d \cdot C_R, \text{Н} \qquad (2)$$



где l – длина подшипника; C_R – коэффициент напряжённости, являющийся безразмерной функцией положения гребного вала в подшипнике и границ зоны несущего слоя смазки, зависящей также от отношения l/d и угла обхвата вала подшипником и наличием смазывающих канавок.

С учётом специфики работы подшипников из термопластичного материала (менее чувствительны к нарушению смазки [3]) определяющим фактором работоспособности подшипника является температурный режим, который не должен превышать теплостойкость материала.

Температуру капролонового дейдвудного подшипника с водяной смазкой и охлаждением можно определить на основе составления теплового баланса теплообразования в подшипнике и теплоотдаче. Полученную температуру сравниваем с предельно допустимой температурой.

$$t_{дп} = t_{охл} + \frac{W_1 + W_2 - Q_1 - Q_2}{k \cdot F} \le t_{пред}, ^\circ\text{C} \tag{3}$$

где $t_{охл}$ – температура смазывающей-охлаждающей воды, $^\circ$C; $к$ – коэффициент теплоотдачи через вал (облицовку), Вт/м$^2\cdot^\circ$C; F – площадь подшипника, м^2; W_1 – теплообразование в подшипнике от момента вращения гребного винта:

$$W_1 = R \cdot V_{окр} \cdot f, \text{Вт}, \tag{4}$$

где R – сила действующая на подшипник:

$$R = \frac{M_{вал}}{r_{гр.вал}}, \text{Н}, \tag{5}$$

где $M_{вал}$ – крутящий момент, который можно определить исходя из мощности, подводимой к валопроводу [4]:

$$M_{вал} = \frac{N_{вал} \cdot 30}{\pi \cdot n_{гр.вал}} \cdot 1000, \text{Н} \cdot \text{м}, \tag{6}$$

где $N_{вал}$ – мощность передаваемая валопроводу, кВт; $r_{гр.\ вал}$ – радиус гребного вала, м; f – коэффициент трения материала подшипника; $V_{окр}$ – окружная скорость:

$$V_{окр} = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60 \cdot 100}, \text{м/с}. \tag{7}$$

Количество тепла W_2 выделившегося при работе подшипника от сил трения связанное с массой валопровода находится по формуле:

$$W_2 = l \cdot d \cdot f \cdot p_m \cdot V_{окр}, \text{Вт}, \tag{8}$$

где p_m – удельное давление от массы валопровода:

$$p_m = \frac{m \cdot g}{d \cdot l} \cdot 0.1, \text{Н/м}^2, \tag{9}$$

где g – 9,8 Н/кг; m – масса валопровода, кг; d – диаметр подшипника, м; l – длина подшипника, м; Q_1 – теплоотвод через корпус подшипника [2]:

$$Q_1 = k_n \cdot d \cdot l \cdot (t_к - t_0), \text{Вт}, \tag{10}$$

где k_n – коэффициент теплоотдачи от подшипника корпусу, Вт/м$^2\cdot^\circ$C; d – диаметр подшипника, м; l – длина подшипника, м; $t_к$ – температура корпуса подшипника в эксплуатации; t_0 – температура среды контактирующей с корпусом подшипника, $^\circ$C.

Теплоотвод который осуществляется через смазывающую-охлаждающую воду Q_2 :

$$Q_2 = C \cdot Q_{охл} \cdot \gamma (t_{вых} - t_{вх}), \text{Вт}, \quad (11)$$

где C – удельная теплоёмкость воды в кДж/кг·°С; $Q_{охл}$ – объём воды, прокачиваемого через подшипник в м^3/с; $t_{вых}$ – температура воды на выходе из подшипника, °С; $t_{вх}$ – температура воды на входе из подшипника, °С; γ – удельный вес охлаждающей воды в кг/м^3.

Проверка запаса надёжности дейдвудного подшипника по предельному давлению:

$$p = p_м + p_т + p_р \le [p], \text{Н/м}^2, \quad (12)$$

где $[p]$ – предел прочности при сжатии материала подшипника; $p_р$ – давление в подшипнике связанное с возможным изломом и смещением валовой линии; $p_т$ – удельное давление от массы валопровода; $p_м$ – давление в подшипнике вызванное крутящим моментом гребного винта которое можно определить:

$$p_м = \frac{R}{l \cdot d}, \text{Н/м}^2, \quad (13)$$

Расцентровка валовой линии может привести к колебанию валопровода уменьшению зазора и к местному увеличению давления, которое может достигать 0,5 $p_м$.

С целью проверки разработанной методики были проведены исследования зависимости температуры нагрева дейдвудных подшипников из капролона на рыболовных судах типа СЧС при различных эксплуатационных режимах, которые показали удовлетворительную сходимость теоретических и практических параметров.

Основные результаты исследования:

1. Главным фактором работоспособности дейдвудных подшипников из капролона является теплостойкость, что подтверждается исследованиями [1, 3].

2. Температура нагрева дейдвудного подшипника в основном зависит от следующих эксплуатационных факторов:

− от расхода прокачиваемой смазывающе-охлаждающей жидкости через дейдвудный подшипник, который обеспечивается характеристиками насоса (рис. 3);

− от температуры смазывающей-охлаждающей жидкости (забортная вода);

− от частоты вращения валопровода.

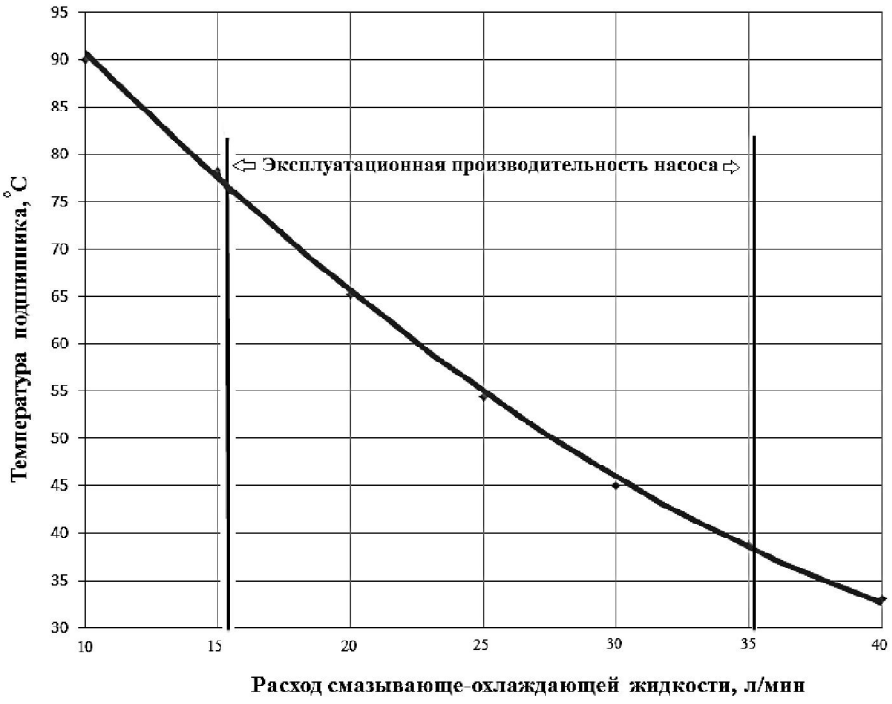


Рисунок 3 – Зависимость температуры дейдвудного капролонового подшипника рыболовецкого судна СЧС от производительности насоса при температуре забортной воды 18 °С

3. Основной причиной разрушения (подплавление) дейдвудных подшипников из капролона является уменьшение расхода охлаждающе – смазывающей жидкости ниже эксплуатационных требований.

4. Уменьшение оборотов гребного вала увеличивает момент гребного винта, передаваемой валопроводу, что приводит к росту температуры дейдвудных подшипников.

5. Давление, возникающее в процессе работы капролонового подшипника, не превышает предельно допустимое значение и не может быть причиной повреждения подшипника.

Выводы. Для надёжной работы капролоновых дейдвудных подшипников должна быть применена система непрерывной прокачки дейдвудного устройства автономным насосом с указателем потока воды и манометром на входе. Система должна быть оснащена световой и звуковой сигнализацией по давлению и температуре с возможностью резервной прокачки от забортного насоса охлаждения главного двигателя.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Корнилов Э. В. Дейдвудные устройства и валопровод морских судов (конструкция, эксплуатация, ремонт) / Э. В. Корнилов, П. В. Бойко, В. П. Смирнов. – Одесса : Феникс, 2008. – 200 с.

2. Решетов Д. Н. Детали машин / Д. Н. Решетов. – Л. : Машиностроение, 1964. – 724 с.

3. Иванов М. Н. Детали машин : учебник для машиностроительных специальностей вузов / М. Н. Иванов, В. А. Финогенов. – М. : Высш. шк., 2010. – 408 с.

4. Самсонов В. И. Судовые двигатели внутреннего сгорания : учебник / В. И. Самсонов, Н. И. Худов, А. А. Мирющенко. – М. : Транспорт, 1981. – 400 с.

Просянок В.В. ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОКАЗНИКІВ НА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ДЕЙДВУДНИХ КАПРОЛОНОВИХ ПІДШИПНИКІВ

У статті запропонована методика розрахунку температурних показників дейдвудних капролонових підшипників і наведені деякі результати дослідження впливу експлуатаційних факторів на працездатність дейдвудних капролонових підшипників. Застосування капролона в якості матеріалу для дейдвудних підшипників на водяній мастилі показав досить надійні результати роботи по бронзовим і нержавіючим облицюванням. Однак за певних експлуатаційних умовах температура в дейдвудном підшипнику може перевищити теплостійкість капролона. Внаслідок цього несуча здатність підшипника різко знижується, відбувається підплавлення і прискорений знос підшипника.

Незважаючи на широке застосування підшипників ковзання виготовлених з капролона в дейдвудних пристроях судів, методика їх теплового розрахунку недостатньо освячена і не дозволяє визначити вплив експлуатаційних факторів на надійність відповідального вузла судна.

Враховуючи вищесказане, з метою підвищення надійності дейдвудних підшипників з капролона, актуальна розробка методики розрахунку температурних показників і визначення критичних експлуатаційних параметрів.

У даній статті експлуатаційна температура капролонового дейдвудного підшипника с водяним мастилом і охолодженням визначається на основі складання теплового балансу теплоутворення в підшипнику і тепловіддачі. У результаті розрахунку визначено вплив деяких експлуатаційних параметрів на температуру нагрівання дейдвудного підшипника.

У статті використані результати проведених досліджень температури нагріву дейдвудних підшипників з капролона на різних експлуатаційних режимах риболовних суден типу СЧС. Результати дослідження показали задовільну збіжність практичних і теоретичних параметрів. У статті зроблено висновок що, одним з визначальних факторів нагріву підшипників є розхід змащуючої-охолоджувальної рідини.

Матеріали статті можуть бути використані при проектуванні дейдвудних пристроїв з використанням капролона в якості матеріалу підшипників.

Ключові слова: дейдвудний підшипник з капролона, працездатність, експлуатаційні параметри, теплостійкість.

Prosyanok V.V. EFFECTS OF TEMPERATURE INDICATORS ON OPERABILITY DEADWOOD CAPROLON BEARINGS

The paper proposes a method of calculating the temperature indicators caprolon deadwood bearings and some results of investigations of the influence of operational factors on the performance of deadwood bearings caprolon. Application caprolon as material for the deadwood water-lubricated bearings showed sufficiently reliable results for the bronze and stainless steel cladding. However, under certain operating conditions, the temperature in the deadwood bearings can exceed caprolon heat resistance. Consequently, the carrying capacity of the bearing is sharply reduced, and occurs melting of accelerated wear of the bearing.

Despite the widespread use of plain bearings made devices caprolon in vessels of thermal calculation method is poorly lit and does not allow to determine the influence of operational factors on the reliability of the node responsible vessel.

Given the above, in order to increase the reliability of the deadwood bearings caprolon, actual development of a methodology of calculation of temperature indicators and critical operating parameters.

In this paper, operating temperature caprolon deadwood bearing c water lubricated and cooling is based on drawing the heat balance of heat in the bearing and heat. The calculation determined the effect of some operating parameters on the heating temperature deadwood bearing.

The article draws on the results of studies of heating temperature of deadwood bearing caprolon on different modes of fishing vessels ESS. The results showed satisfactory agreement of theoretical and practical settings. The article concluded that one of the determining factors is the fuel heating bearings lubricant-coolant.

The article materials may be used in the design of devices using the deadwood caprolon as a bearing material.

Keywords: deadwood caprolon bearings, efficiency, performance, heat resistance.

Статтю прийнято
до редакції 15.04.14.

УДК 667.64:678.026

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТІВ СЕУ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОГО ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Сапронов О.О.
Херсонська державна морська академія

Досліджено залежність вмісту двокомпонентного бідисперсного наповнювача на фізико-механічні і теплофізичні властивості епоксидних композитів для формування захисних покриттів. Встановлено, що введення у композицію наповнювача при оптимальному вмісті забезпечує покращення властивостей покриттів. Методом математичного планування з використанням ортогонального центрального композиційного планування визначено оптимальний вміст оксиду алюмінію і бору кристалічного для формування поверхневого шару захисного покриття, який складає: (Al_2O_3) – 60 мас.ч; (БК) – 40 мас.ч., на 100 мас.ч. епоксидного олігомеру ЕД-20 і 10 мас.ч. твердника ПЕПА. При цьому формуються матеріали з поліпшеними властивостями: руйнівні напруження при згинанні – $\sigma_{зг}$ = 53,2 МПа, модуль пружності при згинанні – E = 8,0 ГПа і теплостійкість (за Мартенсом) – T = 353 К.

Ключові слова: основний і додатковий наповнювачі, фізико-механічні властивості, захисні покриття, матриця планування експерименту.

Постановка проблеми. Недостатня міцність захисних покриттів, їх фізико-механічних властивостей, а також відсутність теоретичних основ поверхневого зміцнення і захисту деталей суднових енергетичних установок (СЕУ) та практичних рекомендацій про шляхи підвищення надійності композитних матеріалів (КМ) – одна з нагальних проблем сучасного матеріалознавства. Тому вибір конструкції захисних покриттів та технології їх нанесення на сьогодні є актуальним завданням, оскільки структура та товщина адгезивів, їх оптимальні адгезійні і фізико-механічні властивості залежать від багатьох факторів. Один із основних факторів, який впливає на покращення властивостей покриттів є використання двокомпонентних бідисперсних наповнювачів [1]. Тому для вибору технології отримання покриттів та їх подальшого застосування необхідні відомості про механізм руйнування КМ, а також дослідження впливу різних факторів на міцність і довговічність композитів, які неможливі без попередніх експериментальних досліджень [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Застосування нового напрямку оптимізації складу двокомпонентних бідисперсних наповнювачів методом факторного планування експерименту дозволяє визначити технологічні параметри, що забезпечують покращення адгезійних, фізико-механічних та теплофізичних властивостей, а також довговічність покриттів. Особливість даного напряму полягає у проведенні дослідження за єдиною матрицею планування експерименту з урахуванням технологічних факторів, комплексу механічних і експлуатаційних характеристик. Отже, математичне планування експерименту дає можливість за короткий період часу оптимізувати вміст наповнювачів для формування покриттів з покращеними властивостями [3].

Мета роботи – дослідити вплив двокомпонентного бідисперсного наповнювача на фізико-механічні та теплофізичні властивості захисних покриттів та оптимізувати склад композиції для формування композитів з покращеними характеристиками.

Обговорення експериментальних результатів дослідження. При дослідженні фізико-механічних та теплофізичних властивостей КМ завдання оптимізації складу двокомпонентного бідисперсного наповнювача вирішували шляхом постановки активного експерименту, тобто з використанням ортогонального центрального композиційного планування (ОЦКП).

Вміст основного та додаткового наповнювачів вибрано на основі попередніх результатів дослідження фізико-механічних і теплофізичних властивостей КМ. У табл. 1 наведено основні рівні зміни вмісту інгредієнтів при вивченні впливу оксиду

алюмінію (Al_2O_3) і бору кристалічного (БК) на руйнівні напруження, модуль пружності при згинанні та теплостійкість (за Мартенсом) КМ.

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 [4], вводили коректовані значеннями рівня x', які обчислювали за формулою:

$$x'_i = (x_i)^2 - \frac{\sum_{u-1}^{N} x_{iu}^2}{N}. \quad (1)$$

Таблиця 1 – Рівні змінних в умовному і натуральному масштабах

Компоненти	***Фактор***	***Середній рівень, мас.ч.***	***Крок варіювання, мас.ч.***	***Значення рівнів змінних (мас.ч.), що відповідають умовним одиницям***		
				-1	***0***	***+1***
Основний наповнювач – оксид алюмінію (Al_2O_3)	x_1	70	10	60	70	80
Додатковий наповнювач – бор кристалічний (БК)	x_2	35	5	30	35	40

Таблиця 2 – Схема планування експерименту

№ досліду	x_0	x_1	x_2	$x'_1 = x_1^2 - 0{,}67$	$x'_2 = x_2^2 - 0{,}67$	x_1x_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

Розширена матриця планування повного факторного експерименту та його результати наведено у табл. 3.

Математичну модель залежності властивостей $y = f(x_1, x_2)$ шукали у вигляді рівняння регресії:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{12}x_1x_2^2. \quad (2)$$

Коефіцієнти регресії визначали за формулами:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^{N} x_i y_i}{\sum_{u-1}^{N} x_{iu}^2}. \quad (3)$$



Звідси:

$$b_0 = \frac{\sum x_0 y}{9}; \quad (4)$$

$$b_1 = \frac{\sum x_1 y}{6}; \quad (5)$$

$$b_2 = \frac{\sum x_2 y}{6}; \quad (6)$$

$$b_{11} = \frac{\sum (x_1^{'})^2 y}{2}; \quad (7)$$

$$b_{22} = \frac{\sum (x_2^{'})^2 y}{2}; \quad (8)$$

$$b_{12} = \frac{\sum x_1 x_2 y}{4}.$$

Таблиця 3 – Результати дослідження руйнівних напружень та модуля пружності при згинанні і теплостійкості (за Мартенсом) КМ

№ досліду	***Вміст компонентів, мас.ч.***		***Руйнівні напруження при згинанні, МПа***	***Модуль пружності при згинанні, ГПа***	***Теплостійкість (за Мартенсом), К***
	x_1	x_2	y_1	y_2	y_3
1	60	30	52,0	7,6	351
2	80	30	52,5	7,6	352
3	60	40	53,2	8,0	353
4	80	40	50,8	7,3	350
5	70	35	50,4	7,5	350
6	80	35	51,6	7,4	351
7	60	35	52,8	7,8	352
8	70	40	51,2	7,5	350
9	70	30	50,0	7,4	343

У результаті розрахунків за формулами 4-9 отримали коефіцієнти рівняння регресії (табл. 4).

Таблиця 4 – Коефіцієнти рівняння регресії для руйнівних напружень при згинанні

b_0	b_1	b_2	b_{11}	b_{22}	b_{12}
50,52	-0,52	0,12	1,62	0,02	-0,73

У результаті отримали наступне рівняння регресії:

$$y = 50{,}52 - 0{,}52x_1 + 0{,}12x_2 + 1{,}62x_1^2 + 0{,}02x_2^2 - 0{,}73x_1x_2.$$

Для статистичної обробки отриманих результатів експерименту проведено перевірку відтворюваності дослідів за критерієм Кохрена [3-5]:

$$G = \frac{S^2_{u\,\max}}{\sum_{u=1}^{N} S^2_u} \le G_{(0,05;f_1;f_2)}. \qquad (10)$$

де S^2_{ui} – дисперсія, що характеризує розсіювання результатів дослідів на *i*-му поєднанні рівнів факторів для m = 3; *m* – кількість паралельних дослідів; $S^2_{u\ max}$ – найбільша з дисперсій у рядках плану.

Дисперсії адекватності визначали за формулою:

$$S^2_{ui} = \frac{\sum_{i=1}^{m} \left(y_i - \overline{y_i}\right)^2}{m-1}, \qquad (11)$$

де y_{im} – значення, отримане з кожного паралельного досліду; $\overline{y_i}$ – середнє значення величини y, отримане при паралельних дослідах.

Дисперсії відтворення визначали за формулами:

$$\sigma^2\{y\} = \frac{\sum_{i=1}^{N=9} \sigma^2\{y\}_i}{N(m-1)}, \qquad (12)$$

де

$$\sigma^2\{y\}_i = \sum_{i=1}^{m=3} (y_i - \overline{y_i})^2; \qquad (13)$$

$$\sigma^2\{y_{сер}\} = \frac{a^2\{y\}}{N} \text{ або } S^2_{b_0} = \frac{S^2_0}{N} \qquad (14)$$

Значення вище зазначених дисперсій наведено у табл. 5.

Таблиця 5 – Значення дисперсії адекватності (S^2_u) і дисперсії відтворення ($\sigma^2(y)$)

№ п/п	Дисперсії адекватності		Дисперсії відтворення	
	Умовне позначення	Значення	Умовне позначення	Значення
1	$S^2_{u\,1}$	0,09	$\sigma^2(y)_1$	0,18
2	$S^2_{u\,2}$	0,25	$\sigma^2(y)_2$	0,5
3	$S^2_{u\,3}$	0,16	$\sigma^2(y)_3$	0,32
4	$S^2_{u\,4}$	0,16	$\sigma^2(y)_4$	0,32
5	$S^2_{u\,5}$	0,09	$\sigma^2(y)_5$	0,18
6	$S^2_{u\,6}$	0,64	$\sigma^2(y)_6$	1,28
7	$S^2_{u\,7}$	0,04	$\sigma^2(y)_7$	0,08
8	$S^2_{u\,8}$	0,09	$\sigma^2(y)_8$	0,18
9	$S^2_{u\,9}$	0,49	$\sigma^2(y)_9$	0,98

При цьому:

$\sum_{i=1}^{N} S^2_{ui} = 2{,}01;\ \sigma^2\{y\} = S^2_0 = 0{,}223.$

Тоді розрахункове значення критерію Кохрена при 5%-ному рівні значущості:

$$G_{розр} = \frac{S^2_{u_{\max}}}{\sum_{i=1}^{N} S^2_{ui}}; \qquad (15)$$

$$G_{розр} = \frac{0{,}64}{2{,}01} = 0{,}31.$$

Перевірка результатів експерименту за критерієм Кохрена [3-5] для фіксованої ймовірності $\alpha = 0{,}05$ підтвердила відтворюваність дослідів. Дисперсія, що характеризує розсіювання результатів дослідів на *i*-му поєднанні рівнів факторів: $S^2_{u\max} = 0{,}64$. Розрахункове значення критерію Кохрена: $G_{розр} = 0{,}31$.

Табличне значення критерію Кохрена (f = m-1 – число ступенів свободи, де m – кількість паралельних дослідів; N – кількість проведених дослідів): $G_{табл} = 0{,}48$.

Тобто, виконується умова (10):

$$G_{розр} = 0{,}31 \le G_{табл} = 0{,}48.$$

На наступному етапі визначали значущість коефіцієнтів рівняння регресії, аналізуючи результати за планом експерименту (табл. 6).

Таблиця 6 – Експериментальні результати дослідження руйнівних напружень при згинанні КМ

№ досліду	***Руйнівні напруження при згинанні, $\sigma_{зг}$, МПа***			***Середнє значення, $\sigma_{зг}$, МПа***
	1	***2***	***3***	
1	52,0	52,3	51,7	52,0
2	52,0	52,5	53,0	52,5
3	53,2	52,8	53,6	53,2
4	50,4	51,2	50,8	50,8
5	50,4	50,1	50,7	50,4
6	51,6	52,4	50,8	51,6
7	53,0	52,8	52,6	52,8
8	51,5	50,9	51,2	51,2
9	50,7	50,0	49,3	50,0

Надалі визначали дисперсії коефіцієнтів регресії:

$$S^2_{b_0} = \frac{S^2_0}{N}; \qquad (16)$$

$$S^2_{b_1} = S^2_0 / \Sigma(x_1^2); \qquad (17)$$

$$S^2_{b_2} = S^2_0 / \Sigma(x_2^2); \qquad (18)$$

$$S^2_{b_{11}} = S^2_0 / \Sigma(x_1^2); \qquad (19)$$

$$S^2_{b_{22}} = S^2_0 / \Sigma(x_2^2); \qquad (20)$$

$$S^2_{b_{12}} = S^2_0 / \Sigma(x_1 x_2). \qquad (21)$$

Значущість коефіцієнтів регресії визначали за критерієм Стьюдента [3-5]. При цьому визначали табличний (t_T) і розрахунковий критерій (t_p) критерії Стьюдента (табл. 7).

Залежно від ступенів вільності: f = N (n - 1) = 9 (3 - 1) = 18 визначали табличне

значення критерію Стьюдента, яке становить $t_T = 2{,}04$.

Визначали розрахункові значення критерію Стьюдента (t_p) і значущість коефіцієнтів: t_{0p}, t_{1p}, t_{2p}, t_{11p}, t_{22p}, $t_{12p} > t_T$.

Причому:

$$t_{i\,p} = \frac{|b_i|}{S^2_{b_i}}; \tag{22}$$

$$t_{ij\,p} = \frac{|b_{ij}|}{S^2_{b_{ij}}}; \tag{23}$$

$$t_{ii\,p} = \frac{|b_{ii}|}{S^2_{b_{ii}}} \tag{24}$$

Таблиця 7 – Дисперсії коефіцієнтів регресії (S^2_b) і розрахункові значення критерію Стьюдента (t_p)

№ п/п	*Дисперсії коефіцієнтів регресії*		*Розрахункові значення критерію Стьюдента*	
	Умовне позначення	*Значення*	*Умовне позначення*	*Значення*
1	$S^2_{b_0}$	0,025	t_{0p}	320,72
2	$S^2_{b_1}$	0,037	t_{1p}	2,68
3	$S^2_{b_2}$	0,037	t_{2p}	0,60
4	$S^2_{b_{11}}$	0,112	t_{11p}	4,84
5	$S^2_{b_{22}}$	0,112	t_{22p}	0,05
6	$S^2_{b_{12}}$	0,056	t_{12p}	3,1

Враховуючи те, що значення критерію Стьюдента t_{2p} *і* t_{22p} є меншими від t_T, тому коефіцієнти b_2, b_{22} є незначущими. Після відкидання незначущих коефіцієнтів рівняння регресії матиме наступний вигляд:

$$y = 50{,}52 - 0{,}52x_1 + 1{,}62x_1^2 - 0{,}73x_1x_2$$

Адекватність отриманої моделі перевіряли за критерієм Фішера [3-5]:

$$F_p = \frac{S^2_{u\,\max}}{S^2_y} \le F_{(0{,}05\,;\,f_{ao}\,;\,f_y)} \tag{25}$$

де $S^2_{u\,\max} = 0{,}64$ – розрахункове значення дисперсії адекватності (табл. 5);

$$S^2_y = \frac{\sum_{i=1}^{N} S^2_{ui}}{N} \tag{26}$$

$S_y^2 = 0{,}22$ – дисперсія відтворення;

Тоді: $F_p = 2{,}87$.

$F_{(0{,}05;f_{ao};f_u)}$ – табличне значення критерію Фішера при 5 %-ному рівні значущості (f_1 = N - (k + 1) = 9 - (4 + 1) = 4, f_2 = N (n - 1) = 9 (3 - 1) = 18), де k – кількість значимих коефіцієнтів регресії. Тоді: $F_{(t)} = 2{,}9$.



Оскільки розрахункове значення критерію Фішера є меншим від табличного, тобто виконується умова (21), можна вважати, що рівняння адекватно описує склад композиції.

Отже, на основі проведених розрахунків можна стверджувати, що обидва фактори (x_1, x_2) є важливими, тому що значення коефіцієнтів x_1 і x_2 є великими за абсолютною величиною. Однак, на основі результатів експериментальних досліджень (табл. 3) доведено, що максимальними показниками руйнівних напружень при згинанні характеризується композит наступного складу: ЕД-20 – 100 мас.ч., твердник – 10 мас.ч., основний наповнювач (Al_2O_3) (63 мкм) – 60 мас.ч; додатковий наповнювач – (бор кристалічний) (8…12 мкм) – 40 мас.ч. Такий склад композиції доцільно використовувати для формування захисних покриттів з поліпшеними фізико-механічними властивостями.

При аналізі результатів дослідження модуля пружності при згинанні композитів отримали наступні значення коефіцієнтів регресії (табл. 8).

Таблиця 8 – Коефіцієнти рівняння регресії для модуля пружності при згинанні

b_0	b_1	b_2	b_{11}	b_{22}	b_{12}
29,28	-1,38	-0,72	-0,72	1,58	0,50

В результаті отримали наступне рівняння регресії:

$$y = 29{,}28 - 1{,}38x_1 - 0{,}72x_2 - 0{,}72x_1^2 + 1{,}58x_2^2 + 0{,}5x_1x_2$$

Для статистичної обробки отриманих результатів експерименту проведено перевірку відтворюваності дослідів за критерієм Кохрена [3-5].

Значення дисперсій, які визначали за формулами (11-14) 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	0,09	$\sigma^2(y)_1$	0,18
2	S_{u2}^2	0,09	$\sigma^2(y)_2$	0,18
3	S_{u3}^2	0,04	$\sigma^2(y)_3$	0,08
4	S_{u4}^2	0,09	$\sigma^2(y)_4$	0,18
5	S_{u5}^2	0,01	$\sigma^2(y)_5$	0,02
6	S_{u6}^2	0,04	$\sigma^2(y)_6$	0,08
7	S_{u7}^2	0,16	$\sigma^2(y)_7$	0,32
8	S_{u8}^2	0,25	$\sigma^2(y)_8$	0,5
9	S_{u9}^2	0,01	$\sigma^2(y)_9$	0,02

При цьому:

$$\sum_{i=1}^{N} S_{ui}^2 = 0{,}78;\ \ \sigma^2\{y\} = S_0^2 = 0{,}087.$$

Тоді розрахункове значення критерію Кохрена при 5%-ному рівні значущості визначали за формулою (15):

$$G_p = \frac{0{,}25}{0{,}78} = 0{,}32$$

Перевірка результатів експерименту за критерієм Кохрена для фіксованої ймовірності α = 0,05 підтвердила відтворюваність дослідів. Дисперсія, що характеризує

розсіювання результатів дослідів на *i*-му поєднанні рівнів факторів: $S^2_{u\max} = 0{,}25$. Розрахункове значення критерію Кохрена: $G_{розр} = 0{,}32$

Табличне значення критерію Кохрена: $G_{табл} = 0{,}48$.

Тобто виконується умова:

$$G_{розр} = 0{,}32 \le G_{табл} = 0{,}48$$

На наступному етапі визначали значущість коефіцієнтів рівняння регресії, аналізуючи результати за планом експерименту (табл. 10).

Надалі визначали дисперсії коефіцієнтів регресії (табл. 11) за формулами (16-21). Значущість коефіцієнтів регресії визначали за критерієм Стьюдента, табличне значення якого становить $t_T = 2{,}04$. Розрахункові значення критерію Стьюдента наведено у табл. 11.

Таблиця 10 – Експериментальні результати дослідження модуля пружності при згинанні КМ

№ Досліду	*Модуль пружності при згинанні, Е, ГПа*			*Середнє значення, Е, ГПа*
	1	*2*	*3*	
1	7,3	7,6	7,9	7,6
2	7,9	7,3	7,6	7,6
3	8,0	8,2	7,8	8,0
4	7,3	7,0	7,6	7,3
5	7,4	7,6	7,5	7,5
6	7,6	7,4	7,2	7,4
7	8,2	7,8	7,4	7,8
8	7,5	8,0	7,0	7,5
9	7,3	7,4	7,5	7,4

Таблиця 11 – Дисперсії коефіцієнтів регресії (S^2_b) і розрахункові значення критерію Стьюдента (t_p)

№ п/п	*Дисперсії коефіцієнтів регресії*		*Розрахункові значення критерію Стьюдента*	
	Умовне позначення	*Значення*	*Умовне позначення*	*Значення*
1	$S^2_{b_0}$	0,010	t_{0p}	298,35
2	$S^2_{b_1}$	0,014	t_{1p}	11,51
3	$S^2_{b_2}$	0,014	t_{2p}	5,96
4	$S^2_{b_{11}}$	0,043	t_{11p}	3,44
5	$S^2_{b_{22}}$	0,043	t_{22p}	7,61
6	$S^2_{b_{12}}$	0,022	t_{12p}	3,4

Враховуючи те, що розрахункові значення критерію Стьюдента t_{0p}, t_{1p}, t_{2p}, t_{11p}, t_{22p}, t_{12p} є більшими від t_T вважали, що коефіцієнти рівняння регресії є значущими. У результаті отримали наступне рівняння регресії:

$$y = 29{,}28 - 1{,}38x_1 - 0{,}72x_2 - 0{,}72x_1^2 + 1{,}58x_2^2 + 0{,}5x_1x_2.$$

Адекватність отриманої моделі перевіряли за критерієм Фішера.

Розрахункове значення дисперсії адекватності: $S^2_{u\max} = 0{,}25$ (табл. 9).

Дисперсія відтворення: $S^2_y = 0{,}087$.



Тоді: $F_p = 2{,}88$. $F_{(0{,}05\,;\,f_E\,;\,f_u)}$ – табличне значення критерію Фішера при 5%-ному рівні значущості ($F_{(t)} = 3{,}6$).

Слід зазначити, що оскільки розрахункове значення критерію Фішера є меншим від табличного, тобто виконується умова (25), можна вважати, що рівняння адекватно описує склад композиції.

На основі експериментальних досліджень встановлено, що обидва фактори є значущими. При цьому доведено (табл. 3), що максимальними показниками модуля пружності при згинанні характеризується композит наступного складу: ЕД-20 – 100 мас.ч., твердник – 10 мас.ч., основний наповнювач (Al_2O_3) (63 мкм) – 60 мас.ч; додатковий наповнювач – (бор кристалічний) (8…12 мкм) – 40 мас.ч. Такий склад композиції доцільно використовувати для формування захисних покриттів з поліпшеними фізико-механічними властивостями.

При аналізі результатів дослідження теплостійкості (за Мартенсом) композитів отримали наступні значення коефіцієнтів регресії (табл. 12).

Таблиця 12 – Коефіцієнти рівняння регресії для теплостійкості КМ

b_0	b_1	b_2	b_{11}	b_{22}	b_{12}
348,44	-0,50	1,17	3,83	-1,17	-1,00

В результаті отримали наступне рівняння регресії:

$$y = 348{,}44 - 0{,}50x_1 + 1{,}17x_2 - 3{,}83x_1^2 - 1{,}17x_2^2 - 1{,}0x_1x_2.$$

Для статистичної обробки отриманих результатів експерименту проведено перевірку відтворюваності дослідів за критерієм Кохрена [3-5].

Значення дисперсій, які визначали за формулами (11-14) наведено у табл. 13.

Таблиця 13 – 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	$\sigma^2(y)_1$	0
2	S_{u2}^2	1	$\sigma^2(y)_2$	2
3	S_{u3}^2	1	$\sigma^2(y)_3$	2
4	S_{u4}^2	0	$\sigma^2(y)_4$	0
5	S_{u5}^2	1	$\sigma^2(y)_5$	2
6	S_{u6}^2	1	$\sigma^2(y)_6$	2
7	S_{u7}^2	0	$\sigma^2(y)_7$	0
8	S_{u8}^2	1	$\sigma^2(y)_8$	2
9	S_{u9}^2	1	$\sigma^2(y)_9$	2

При цьому:

$$\sum_{i=1}^{N} S_{ui}^2 = 6;\ \ \sigma^2\{y\} = S_0^2 = 0{,}67.$$

Розрахункове значення критерію Кохрена при 5%-ному рівні значущості визначали за формулою (15):

$$G_{розр} = \frac{1}{6} = 0{,}17.$$

Перевірка результатів експерименту за критерієм Кохрена для фіксованої ймовірності α = 0,05 підтвердила відтворюваність дослідів. Дисперсія, що характеризує розсіювання результатів дослідів на *i*-му поєднанні рівнів факторів: $S^2_{u\max} = 1$. Розрахункове значення критерію Кохрена: $G_{розр} = 0{,}17$. Табличне значення критерію Кохрена: $G_{табл} = 0{,}48$.

Тобто виконується умова:

$$G_{розр} = 0{,}17 \le G_{табл} = 0{,}48$$

На наступному етапі визначали значущість коефіцієнтів рівняння регресії, аналізуючи результати за планом експерименту (табл. 14).

Таблиця 14 – Експериментальні результати дослідження теплостійкості КМ

№ досліду	*Теплостійкість КМ, Т, К*			*Середнє значення, Т, К*
	1	*2*	*3*	
1	351	351	351	351
2	351	353	352	352
3	354	353	352	353
4	350	350	350	350
5	349	351	350	350
6	351	350	352	351
7	352	352	352	352
8	351	349	350	350
9	343	342	344	343

Надалі визначали дисперсії коефіцієнтів регресії (табл. 15) за формулами (16-21). Значущість коефіцієнтів регресії визначали за критерієм Стьюдента, табличне значення якого становить $t_T = 2{,}04$. Розрахункові значення критерію Стьюдента наведено у табл. 15.

Таблиця 15 – Дисперсії коефіцієнтів регресії (S^2_b) і розрахункові значення критерію Стьюдента (t_p)

№ п/п	*Дисперсії коефіцієнтів регресії*		*Розрахункові значення критерію Стьюдента*	
	Умовне позначення	*Значення*	*Умовне позначення*	*Значення*
1	$S^2_{b_0}$	0,074	t_{0p}	1280,27
2	$S^2_{b_1}$	0,111	t_{1p}	1,50
3	$S^2_{b_2}$	0,111	t_{2p}	3,50
4	$S^2_{b_{11}}$	0,333	t_{11p}	6,64
5	$S^2_{b_{22}}$	0,333	t_{22p}	2,02
6	$S^2_{b_{12}}$	0,167	t_{12p}	2,4

Враховуючи те, що значення критерію Стьюдента t_{1p}, *і* t_{22p} є меншими від t_m, тому коефіцієнти b_1, b_{22}, є незначущими. Після відкидання незначущих коефіцієнтів рівняння регресії матиме наступний вигляд:

$$y = 348{,}44 + 1{,}17x_2 - 3{,}83x_1^2 - 1{,}0x_1x_2$$

Адекватність отриманої моделі перевіряли за критерієм Фішера [3-5].

Розрахункове значення дисперсії адекватності: $S^2_{u\max} = 1$ (табл. 13).

Дисперсія відтворення: $S^2_y = 0{,}67$. Тоді: $F_p = 1{,}5$. $F_{(0{,}05\,;\,f_T\,;\,f_u)}$ – табличне значення критерію Фішера при 5%-ному рівні значущості ($F_{(t)}$ = 2,9).

Слід зазначити, що оскільки розрахункове значення критерію Фішера є меншим від табличного, тобто виконується умова (25), можна вважати, що рівняння адекватно описує склад композиції.

На основі експериментальних досліджень встановлено, що обидва фактори є значущими. Однак, на основі результатів експериментальних досліджень (табл. 3) доведено, що максимальними показниками теплостійкості (за Мартенсом) характеризується композит наступного складу: ЕД-20 – 100 мас.ч., твердник – 10 мас.ч., основний наповнювач (Al_2O_3) (63 мкм) – 60 мас.ч; додатковий наповнювач – (бор кристалічний) (8…12 мкм) – 40 мас.ч. Такий склад композиції доцільно використовувати для формування захисних покриттів з поліпшеними теплофізичними властивостями.

Висновки. Методом математичного планування експерименту визначено оптимальний вміст двокомпонентного бідисперсного наповнювача, що дає можливість отримати покриття з прогнозованими фізико-механічними та теплофізичними властивостями. Композитний матеріал з поліпшеними фізико-механічними і теплофізичними властивостями слід формувати наступного складу: Al_2O_3 – 60 мас.ч. та бор кристалічний – 40 мас.ч. на 100 мас.ч. олігомеру ЕД- 20 і 10 мас.ч. твердника ПЕПА. Такий матеріал має руйнівні напруження при згинанні – $\sigma_{зг}$ = 53,2 МПа, модуль пружності при згинанні – E = 8,0 ГПа і теплостійкість (за Мартенсом) – T = 353 К.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Букетов А. В. Властивості модифікованих ультразвуком епоксипластів / А. В. Букетов, П. Д. Стухляк, І. В. Чихіра. – Тернопіль : Крок, 2011. – 201 с.

2. Прочность материалов и конструкций / Отв.ред. В. Т. Трощенко. – К. : Академпериодика, 2006. – 1076 с.

3. Оптимизация технологии нанесения покрытий по критериям прочности и износостойкости / [Б. А. Ляшенко, Е. К. Соловых, В. И. Мирненко, А. В. Рутковский, М. И. Черновол] ; под ред. В. В. Харченко – К. : Ин-т пробл. прочности им. Г.С.Писаренко НАН Украины, 2010. – 193 с.

4. Планирование эксперимента и применение вычислительной техники в процессе синтеза резины : сб. статей / под ред. В. Ф. Евстратова, А. Г. Шварца. – М. : Химия, 1970. – 352 с.

5. Зазимко В. Г. Оптимизация свойств строительных материалов : учебное пособие для вузов / В. Г. Зазимко – М. : Транспорт, 1981. – 103 с.

Сапронов А.А. ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВА ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЭЛЕМЕНТОВ СЭУ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследована зависимость содержания двухкомпонентного бидисперсного наполнителя на физико-механические и теплофизические свойства эпоксидных композитов для формирования защитных покрытий. Установлено, что введение в композицию наполнителя при оптимальном содержании обеспечивает улучшение свойств покрытий. Методом математического планирования с использованием ортогонального центрального композиционного планирования определено оптимальное содержание оксида алюминия и бора кристаллического для формирования поверхностного слоя защитного покрытия, который составляет: (Al_2O_3) - 60 мас.ч; (БК) - 40 мас.ч., на 100 мас.ч. эпоксидного олигомера ЭД - 20 и 10 мас.ч. отвердителя ПЭПА. При этом формируются материалы с улучшенными свойствами: разрушающие напряжения при изгибе – $\sigma_{зг}$ = 53,2 МПа, модуль упругости при изгибе – E = 8,0 ГПа и теплостойкость (по Мартенсу) – T = 353 К.

Ключевые слова: основной и дополнительный наполнители, физико-механические свойства, защитные покрытия, матрица планирования эксперимента.

Sapronov O.O. OPTIMIZATION OF PROTECTIVE COATINGS FOR ITEMS SPP METHOD OF MATHEMATICAL EXPERIMENT PLANNING

The dependence of the two-component bidispersive filler content on physical, mechanical and thermal properties of epoxy composites to form a protective coating. The introduction of the optimal composition of the filler content provides improved coating properties. The method of mathematical planning of the experiment using orthogonal central composite plan defined the optimal content of aluminum oxide and boron crystal to form the crystalline surface layer of protective coating, which is: (Al_2O_3) - 60 parts; (BC) - 40 parts., 100 parts. epoxy oligomer ED-20 and 10 parts. hardener PEPA. Thus forming materials with improved properties: destructive stress in bending – σ_{zh} = 53,2 MPa, modulus of elasticity in bending – E = 8,0 GPa and heat (by Martens) – T = 353 K.

Keywords: primary and secondary fillers, physical and mechanical properties, protective coating, matrix experimental design.

Статтю прийнято
до редакції 17.04.14.



УДК 621.793.7

ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ Fe-Al

Селиверстов И.А.
Херсонский национальный технический университет,
Троцан Г.Н.
Херсонская государственная морская академия,
Смирнов И.В.
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
Селиверстова С.Р.
Херсонский филиал Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова

С учетом современных тенденций интенсификации производственных процессов, увеличения рабочих давлений, скоростей, температуры, приводящих к ускоренному изнашиванию деталей, сформированы поверхностные слои покрытий путем плазменного напыления термореагирующего порошка Fe_3Al и порошка, состоящего из механической смеси Fe и Al. Проведен анализ механических свойств плазменных покрытий. По результатам исследования химического состава и механических свойств композиций Fe—Al, Fe_3Al и бронзы ПГ19М установлены основные характеристики, определяющие износ и трение плазменных покрытий. Установлено, что покрытия Fe—Al, Fe_3Al обладают высокой износостойкостью, а по антифрикционным свойствам могут успешно конкурировать с бронзами.

В дальнейшем разработанные покрытия могут быть использованы для деталей, которые эксплуатируются при статических и динамических нагрузках.

Ключевые слова: механические свойства, износостойкость, твердость, напыление, плазменные покрытия.

Введение. Среди перспективных интерметаллидных конструкционных материалов, обладающих уникальным комплексом физико-механических и эксплуатационных свойств, получивших распространение в последние годы [1], особое место занимают материалы и покрытия на основе алюминида железа Fe_3Al. Эти материалы более легкие (плотность 6,7 г/см) и значительно более дешевые, чем многие жаропрочные стали и сплавы. При получении таких сплавов, что немало важно, не требуется большого количества дефицитных легирующих элементов, например, как альтернатива сплавы Fe–Al могут успешно заменить дорогостоящие интерметаллидные системы Ni–Al и Ni–Ti. В ряде работ отмечены уникальные свойства сплавов Fe_3Al, в частности, высокая стойкость против окисления и сульфидной коррозии при потенциальной цене ниже многих нержавеющих сталей, недостатком является низкотемпературная хрупкость [2]. Введение 2...5 % Сг в сплав устраняет этот недостаток.

Область применения интерметаллидных сплавов на основе алюминидов железа достаточно широка: диски регенераторов автомобильных газотурбинных систем, фильтры горючего газа для газификации углей, экраны, обкладки, системы дожигания выхлопных газов автомобилей (замена нержавеющей стали при изготовлении элементов выхлопной системы), восстановление поверхностей деталей машин и др. [3, 4].

Однако, материалы алюминиды железа Fe_3Al не получили широкого применения в промышленности, из-за отсутствия относительно простой и недорогой технологии их производства.

Для получения композиционных материалов на основе Fe–Al сплавов используют различные методы, такие, как горячее изостатическое прессование и спекание в вакууме [5], дуговое и плазменное распыление [6], самораспространяющийся высокотемпературный синтез [7] и др. Технология их производства очень сложна и во многих случаях не позволяет достичь в композиционном конструкционном материале более высокого качественного уровня эксплуатационных и механических свойств.

Таким образом, получение сплавов Fe–Al методом газотермического нанесения покрытий является перспективным направлением. В частности, плазменное напыление позволяет производить синтез новых соединений из простых компонентов, имеет возможность проводить ремонтновосстановительные работы, производить напыление непосредственно на месте эксплуатации изделия при отсутствии коробления деталей и т.д. [8]

Поэтому работы по исследованию свойств и созданию новых экономно-легированных плазменных покрытий на основе железа являются актуальными.

Цель статьи. С учетом современных тенденций интенсификации производственных процессов, увеличения рабочих давлений, скоростей, температуры, приводящих к ускоренному изнашиванию деталей, сформировать поверхностные слои покрытий путем плазменного напыления термореагирующего порошка Fe_3Al и порошка, состоящего из механической смеси Fe и Al, рассмотреть возможность применения плазменных покрытий в качестве антифрикционных материалов. Провести анализ механических свойств плазменных покрытий на основе Fe и Al.

Материалы и методы исследования. Формирование поверхностных слоев покрытий производилось путем плазменного напыления термореагирующего порошка порошка Fe_3Al и порошка, состоящего из механической смеси Fe и Al. Согласно [9], для получения упорядоченной структуры Fe_3Al необходимое количество алюминия составляет 25-34 % ат. Температура плавления порошка Fe_3Al $T_{пл}$=1510°С, твердость $HRC_э$ 25-35. В качестве основы использовалась сталь 45. Размер фракций порошка в обоих случаях в исходном состоянии составлял 40-60 мкм.

Напыление осуществлялось на плазмотроне с частично вынесенной дугой в режиме генерации ламинарного плазменного потока, что обеспечивает лучшее проплавление частиц. Мощность плазмотрона составляет до 8 кВт, рабочий ток дуги плазмотрона 80-90А, напряжение 60В, в качестве плазмообразующего и транспортирующего газа использовался аргон с общим расходом 6 л/мин.

Износостойкость покрытий исследовалась на специально разработанной и усовершенствованной машине трения (рис. 1). Пары трения: неподвижный плоский образец 1 – исследуемый; подвижный (контртело) 2, цилиндр диаметром 8 мм – сталь 45 (HRC 50-52). Износостойкость определяли гравиметрическим методом. По условиям экспериментов значение окружной скорости контртела 0,1 м/с, нагрузка задавалась весом 3 с помощью рычага 4 и составляла 4,0-12,0 Н. Для определения момента трения трущихся пар в приводе контртела использовалась упругая муфта, значение момента пропорционально углу закручивания полумуфт.

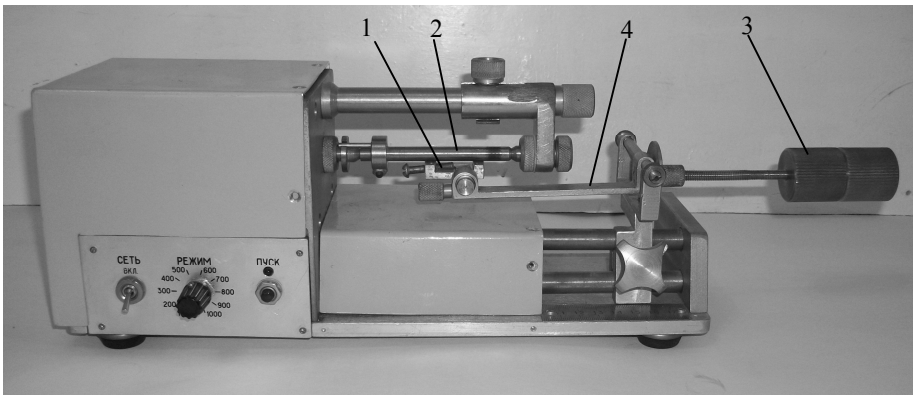


Рисунок 1 – Прибор для измерения износостойкости (общий вид)

Для оценки износостойкости и твердости покрытий использовался общеизвестный склерометрический метод исследований [10]. В качестве индентора использовалась четырехгранная алмазная пирамида Виккерса. Значение твердости определялось по формуле:

$$H_{\mu} = \frac{1.8544 P_B}{b^2 / 2}, \qquad (1)$$

где b – ширина царапины, м; $P_в$ – нагрузка на индентор, Н.

Микроструктуру исследуемых композитов в зоне трека, а также его геометрические параметры изучали на микроскопе МИИ-8. Элементный состав полученных плазменных покрытий определялся методом локального микро-рентгеноспектрального анализа на растровых электронных микроскопах Camscan-4DV и ZEISS EVO 50XVP с применением энергодисперсионного рентгеновского микроанализатора.

Экспериментальные результаты и их обсуждение. Макро- и микроанализ поверхностных слоев сплава полученных покрытий показал, что структура покрытий достаточно плотная, с размерами сплетов от 18 до 140 мкм. Граница раздела между покрытием и подложкой без видимых дефектов. На покрытиях из механической смеси порошков Fe–Al наблюдаются незначительные зоны отслаивания покрытия. Пористость покрытий из порошка Fe_3Al находится в пределах 2-3 %, покрытия из смеси порошков обладают большим значением пористости в пределах 3-8 %.

Результаты химического анализа покрытий Fe–Al (табл. 1, рис. 2) показали, что в процессе образования покрытия произошло практически полное взаимодействие компонентов Fe и Al, а неравномерность распределения фаз и компонентов объясняется не только синтезом интерметаллидов Fe_3Al, но и других соединений $FeAl_2$, Fe_2Al_5, $FeAl_3$ образующихся при более высоком содержании алюминия.

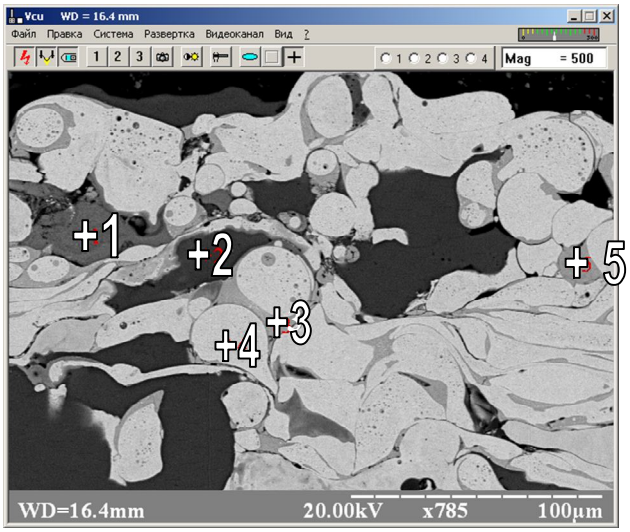


Рисунок 2 – Химический состав плазменного покрытия при напылении порошка системы Fe–Al

Таблица 1 – Химический состав плазменного покрытия при напылении порошка системы Fe–Al

Спектр	***Al, %, вес***	***Fe, %, вес***
Спектр1	56.9	43.10
Спектр2	95.22	4.78
Спектр3	1.17	98.83
Спектр4	3.58	96.42

Проведенные исследования на твердость напыленных покрытий отмечают стабильность показаний всех треков склерометрии. Твердость покрытий Fe–Al составляет $H_{\mu 100}$=420МПа, а твердость Fe_3Al $H_{\mu 100}$=270МПа. Повышенные значения твердости покрытий Fe–Al обуславливается незначительным наличием оксидов и нитридов алюминия, образовавшихся в процессе формирования покрытия.

На рис. 3, 4 приведены результаты испытаний плазменных покрытий на износостойкость.

Согласно кинетике износа (рис. 3) на протяжении первого часа трения происходит притирание материалов, которое сопровождается высшей потерей массы, после чего износ стабилизируется. После первого часа трения плазменных покрытий наблюдается перенос материала покрытия на поверхность контртела, что оказывает содействие дальнейшему снижению износа материала и его стабилизации (кривые 1 и 2). По результатам исследований установлено, что износ покрытий Fe–Al на 15-20 % меньше при существенно большей твердости, незначительная разница в износостойкости является результатом повышенной пористости покрытия.

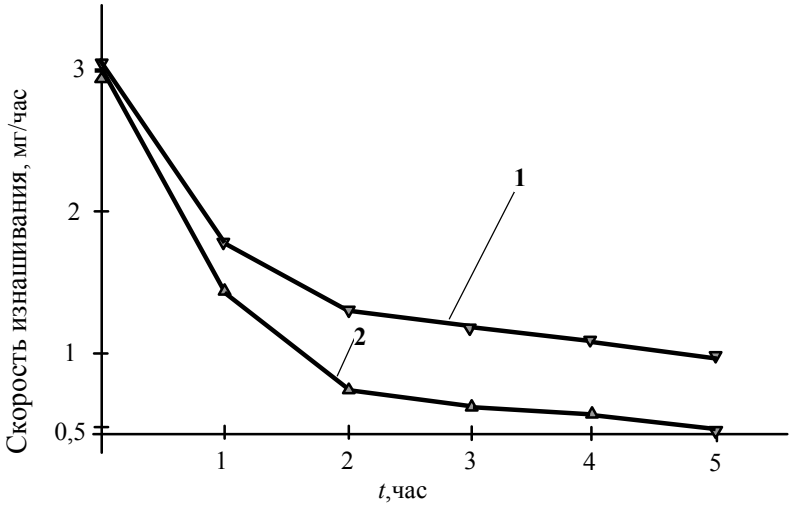


Рисунок 3 – Кинетика изнашивания газотермических покрытий на основе порошков, нагрузка 12Н: 1 – Fe_3Al; 2 – Fe–Al

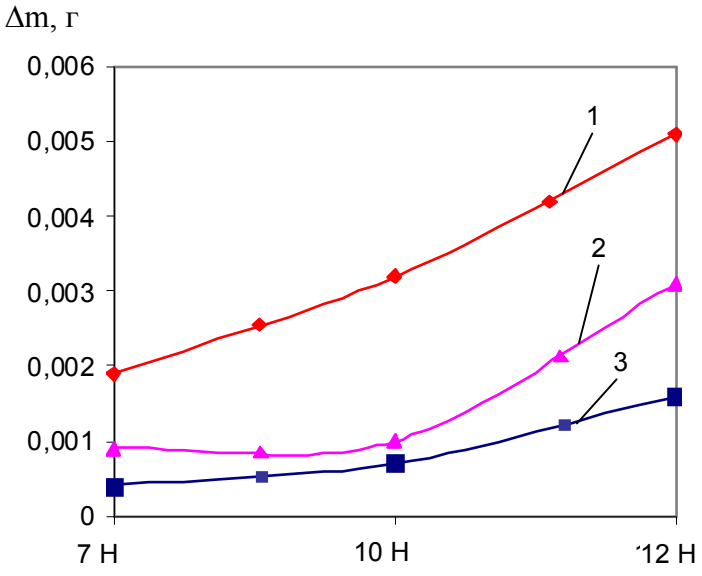


Рисунок 4 – Кинетика потери массы Δm, время испытаний 1 час: 1) покрытие бронзы ПГ19М; 2) покрытие Fe_3Al; 3) покрытие Fe–Al.

С учетом современных тенденций интенсификации производственных процессов, увеличения рабочих давлений, скоростей, температуры, приводящих к ускоренному изнашиванию деталей, в работе рассматривалась возможность применения плазменных покрытий в качестве антифрикционных материалов. С этой целью были проведены сравнительные исследования покрытий на основе Fe–Al и бронзы. Как известно, газотермические покрытия из бронз, имеющие высокие антифрикционные свойства,

имеют и недостатки, такие как относительно низкую твердость, твердость полученного покрытия из порошка бронзы марки ПГ-19М-01 [11], фракция 40-100 мкм в нашем случае составляла $H_{\mu 100}$=150МПа.

Результаты кинетики износа свидетельствуют о повышенных значениях потери массы материала покрытия из бронзы в течение первого часа испытаний, что в принципе обуславливается твердостью материала. Для более качественной оценки процесса износа определялись антифрикционные свойства покрытий путем замера момента трения испытуемой пары, цилиндр (контртело) – плоскость (покрытие). Результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Моменты трения плазменных покрытия

Образец	***Момент трения Н·мм, при нагрузке на контртело 4Н***	***Момент трения Н·мм, при нагрузке на контртело 7Н***	***Момент трения Н·мм, при нагрузке на контртело 10Н***
Бронза ПГ19М	39,17	46,59	119,73
Fe–Al	29,38	41,71	111,19
Fe_3Al	26,79	38,95	102,67

Полученные моменты трения на покрытиях Fe_3Al и Fe–Al указывают на высокие антифрикционные свойства по сравнению с бронзой, что косвенно подтверждает меньшие значения коэффициента трения.

Выводы. На основе анализа фазового состава, среднего размера зерен, определенного методом электронной микроскопии высокого разрешения и химического анализа показана возможность создания покрытий Fe–Al из простых компонентов. Изучены механические свойства покрытий композиции Fe–Al, Fe_3Al и бронзы ПГ19М в условиях ступенчатого нагружения и износа. Показано, что напыление механической смеси порошков Fe и Al оптимального гранулометрического состава обеспечивает повышение твердости и износостойкости. Установлено, что антифрикционные характеристики покрытий на основе элементов Fe–Al выше чем у бронзы при более высокой твердости. В этой связи, применение плазменных покрытий на основе Fe и Al, может существенно увеличить срок службы венцов зубчатых колес и шестерен, втулок, поршней, электродов машин контактной сварки и других деталей машин, работающих в условиях экстремальных нагрузок. В дальнейшем разработанные покрытия могут быть использованы для деталей, которые эксплуатируются при статических и динамических нагрузках.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Банных О. А. Перспективы создания жаропрочных и жаростойких сплавов и интерметаллических соединений / Банных О. А., Поварова К. Б. // Новые металлические материалы. – К. : ИЭС им. Е. О. Патона, 1989. – С. 29-33.

2. Sikka V. K. Development and commercialization status of Fe_3Al – based intermetallic alloys / V. K. Sikka, S. Viswanathan, C. G. McKaamey // Struct. Intermetallics. – Champion, Pa., 1993. – Sept. 26-30.

3. Hunt Margaret. The promise of intermetallics / Margaret Hunt. // Mater. Eng. – 1990. – 107, N 3. – P. 36-39.

4. Moriss D. G. Creep resistance in a new alloy based on Fe_3Al / D. G. Moriss, M. Mazmy, C. Noseda // Scr. Met et Mater. – 1994. – 31, N 2. – P. 173-178.

5. Jain M. Synthesis, processing, deformation of bulk nanophase Fe–28Al–2Cr intermetallic / M. Jain, T. Chiristman // Acte Met. Et Mater. – 1994. – 43, N 6. – P. 1901-1911.

6. Rawers J. C. Tensile fracture iron – iron aluminide foil composites / J. C. Rawers // Scr. Met. Et Mater. – 1994. – 30, N 6. – P. 701-706.

7. Lawrynowicz D. E. Spray atomization and deposition of fiber reinforced intermetllic matrix composites / D. E. Lawrynowicz, E. J. Lavernia // Scr. Met. Et Mater. – 1994. – 31, N 9. – P. 1277-1281.

8. Кудинов В. В. Теория, технология и оборудование. Нанесение покрытий напылением / В. В. Кудинов, Г. В. Бобров. – М. : Металлургия, 1992. – 432 с.

9. Хансен М. Структуры двойных сплавов / М. Хансен, К. Андерко. – Т. 1. – 1952. – 107 с.

10. Селиверстов И. А. Исследование свойств сплавов с покрытиями TiN, полученными методом КИБ / И. А. Селиверстов, И. В. Смирнов, С. А. Русанов // Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины. – 2011. – № 1 (17). – С. 184-187.

11. Газотермические покрытия из порошковых материалов : справочник / [Ю. С. Борисов, Ю. А. Харламов и др.]. – К. : Машиностроение, 1987. – 544 с.

Сєліверстов І.А., Троцан Г.М., Смірнов І.В., Сєліверстова С.Р. ДОСЛІДЖУВАННЯ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ FE-AL

З урахуванням сучасних тенденцій інтенсифікації виробничих процесів, збільшення робочого тиску, швидкостей, температури, деталей, що приводять до прискореного зношування, сформовані поверхневі шари покриттів шляхом плазмового напилення термореагуючого порошку Fe_3Al і порошку, що складається з механічної суміші Fe і Al. Проведений аналіз механічних властивостей плазмових покриттів. Шляхом плазмового напилення отримані покриття Fe—Al з простих компонентів. За результатами дослідження хімічного складу та механічних властивостей композицій Fe—Al, Fe_3Al та бронзи ПГ19М встановлені основні характеристики, які визначають зносостійкість та тертя плазмових покриттів. Встановлено, що покриття Fe—Al, Fe_3Al володіють високою зносостійкістю, а по антифрикційних властивостях можуть успішно конкурувати з бронзами.

Надалі розроблені покриття можуть бути використані для деталей, які експлуатуються при статичних і динамічних навантаженнях.

Ключові слова: механічні властивості, зносостійкість, міцність, напилення, плазмове покриття.

Seliverstov I.A., Trotsan G.N., Smirnov I.V., Seliverstova S.R. RESEARCHES OF STRUCTURE AND PROPERTIES OF PLASMA SPRAY COATINGS ON THE BASIS OF FE–AL.

Taking into account the modern tendencies of intensification of production processes, increase of workings pressures, speeds, temperature, resulting in a speed-up wear details, the superficial layers of spray coatings are formed by plasma spray coatings of powder Fe_3Al and powder, consisting of mechanical mixture of Fe and Al. The analysis of mechanical properties of plasma spray coatings is conducted. By plasma spray coatings of Fe–Al are got from simple components. On results research of chemical composition and mechanical properties of compositions of Fe–Al, Fe_3Al and bronzes of PG19M is set basic descriptions, determining wear and friction of plasma spray coatings. It is set that coatings of Fe–Al, Fe_3Al possess high wearproofness, and on anti-friction properties can successfully compete with bronzes.

The in future developed coatings can be used for details which are exploited at the static and dynamic loadings.

Keywords: mechanical properties, wearproofness, hardness, plasma spray coatings.

Статтю прийнято
до редакції 11.05.14.



УДК 681.5

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РАБОЧИМ ПРОЦЕССОМ В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Худяков И.В.

Херсонская государственная морская академия

В статье приводится анализ эксплуатационных характеристик датчиков измерения давления различных типов, и возможность их применения для управления рабочим процессом в СДВС. Одной из основных проблем эффективного управления является отсутствие непрерывного и высокоточного контроля в реальном масштабе времени. Для этой цели необходимы датчики, которые удовлетворяли бы ряду требований – широкий диапазон температур и давлений, устойчивость к агрессивным средам, высокое быстродействие, малое энергопотребление, простота установки, высокая надежность и длительный срок эксплуатации, инвариантность к воздействию электромагнитных полей и вибрациям. Использование таких датчиков в системах управления двигателем также, позволит осуществлять оценку технического состояния СДВС.

Ключевые слова: оптоволоконный датчик давления, тензорезистивный датчик давления, индуктивный датчик давления, пьезоэлектрический датчик давления, рабочий процесс двигателя.

Актуальность проблемы. Ужесточение требований по экологической безопасности и проблемы снижения расхода топлива при эксплуатации судовых двигателей внутреннего сгорания (СДВС) вынуждают внедрять высокотехнологические решения, одним из которых является применение электронных систем автоматического управления (САУ) двигателем. САУ СДВС сочетает информационно-измерительные и управляющие функции как по отношению к объекту управления, так и к условиям его функционирования. Осуществляет функции сбора, обработки, преобразования параметров модели, управление исполнительными механизмами СДВС, а также обеспечивает человеко-машинное решение задач управления судовым дизелем. Такие системы позволяют оперативно управлять работой двигателей на основе показаний датчиков. Одной из основных характеристик отражающих режим работы и состояние СДВС является давление внутри цилиндра. Трудность контроля этого параметра заключается в том, что чувствительный элемент датчика непосредственно соприкасаются с рабочим телом находящимся внутри цилиндра двигателя, и соответственно подвергаются ряду физических и химических воздействий (коррозия, эрозия, высокая температура, высокое давление и т.д.). В настоящее время датчики способные длительно и надежно работать в таких условиях, отсутствуют. Поэтому информация, необходимая для управления рабочим процессом в СДВС собирается косвенным путем.

Цель данной статьи состоит в обосновании выбора типа датчика для систем управления двигателем, способного в течении длительного времени работать в условиях характерных для цилиндра двигателя с удовлетворительной для поставленной задачи точностью. Кроме того, регистрация текущего значения давления, даст разнообразную информацию о качестве работы элементов и систем двигателей, и позволяет анализировать причины их неисправностей в процессе эксплуатации.

Анализ литературных источников. На протяжении более ста лет ведутся поиски наиболее совершенной и удобной аппаратуры для регистрации внутрицилиндровых рабочих процессов. Ниже приведены основные требования к первичным преобразователям [1, 2]:

1. Необходимая точность.
2. Стабильность характеристик.
3. Надежность работы и удобство эксплуатации (простота конструкции).
4. Работа при больших температурах.
5. Работа в агрессивных средах.
6. Быстродействие.

7. Достаточно продолжительный ресурс работы.
8. Приемлемые габариты.
9. Сравнительная дешевизна.
10. Инвариантность к магнитным полям и вибрации.

Для решения поставленной задачи особое значение имеют такие характеристики, как быстродействие, работа при больших температурах, в агрессивных средах, стабильность и достаточно продолжительный ресурс работы.

В связи с развитием микропроцессорных технологий процесс обработки информации и выработки управляющих сигналов упростился и не требует установки сложной и дорогостоящей аппаратуры. Однако открытым остается вопрос использования достаточно не дорогих индикаторных датчиков способных сохранять свои рабочие характеристики на протяжении всего срока эксплуатации [3].

В настоящее время на рынке измерительных систем и датчиков доминирующее положение продолжают занимать электронные измерительные технологии. Они предполагают преобразование измеряемого параметра в электрический сигнал и последующую его обработку. Широкое применение здесь получили тензометрические, индуктивные, емкостные и пьезоэлектрические преобразователи. Все они имеют достаточно хорошо разработанную теоретическую базу.

Альтернативой подобному подходу является использование волоконно-оптических систем измерения [3]. Где измеряемый параметр преобразуется в оптический сигнал, а затем в электрический. Такие датчики обладают высокой стабильностью, помехо-устойчивостью, высокой амплитудой сигнала, что в свою очередь позволяет не применять усилители сигнала. Оптоволоконные датчики подразделяются на: фазовые, со спектральным кодированием; амплитудные; туннельные и поляризационные.

Согласно [4], наибольшее распространение получили оптоволоконные датчики, использующие фазовую (интерферометрические датчики) и амплитудную модуляции. При этом амплитудные датчики (при прочих равных условиях) более дешевы и просты в изготовлении и эксплуатации, однако иногда проигрывают интерферометрическим в точности и разрешающей способности.

Основной узел амплитудного оптоволоконного датчика (ОВД) – чувствительный элемент, а также его соединение с основанием могут быть изготовлены из материалов и с помощью методов, применяющихся для изготовления изделий микроэлектроники. Эти материалы и методы в настоящее время хорошо отработаны, что позволит получать совершенные конструкции чувствительных элементов при минимуме затрат на разработку [5].

Результаты измерений, полученных с помощью амплитудных оптоволоконных датчиков просто анализировать, в том числе с помощью средств вычислительной техники.

Одна из простейших конструкций амплитудного датчика является схема, где перемещение диафрагмы моделирует интенсивность отраженной световой волны [4, 6, 7].

Результат исследования. В зависимости от применяемого чувствительного элемента различают различные виды датчиков, рассмотрим эксплуатационные характеристики датчиков, наиболее часто используемых в различных отраслях промышленности:

- тензорезистивные датчики давления;
- пьезоэлектрические датчики давления;
- индуктивные датчики давления;
- оптоволоконные датчики давления.

Вопрос о том, датчику с каким типом первичного преобразователя отдать предпочтение, является предметом основного исследования в данной статье, посвященной анализу метрологических и эксплуатационных характеристик датчиков.



В настоящее время для измерения быстротекущих процессов изменения давления используются несколько основных видов датчиков. Применимость каждого из них в системах управления рабочим процессом в СДВС будет рассмотрена .

Тензорезистивный датчик давления. Тензорезистивные датчики давления используют ранее отработанную конструкцию механической мембраны с установленным на ней первичным преобразователем – тензорезистором. Преимуществом данных типов датчиков стала более высокая точность измерений по сравнению с механическими и индукционными датчиками, наличие унифицированного токового выхода, более высокая надежность. Недостатки тензометрических датчиков давления связаны с механической усталостью тензорезисторов, надежность которых оказалось ниже надежности механических мембран, на которых они расположены. Кроме того, тензорезисторы требуют определенных температурных условий для своей работы, что не выполнимо в условиях эксплуатации внутри цилиндра ДВС.

Индуктивный датчик давления. Основан на регистрации вихревых токов (токов Фуко). Чувствительный элемент состоит из двух катушек связанных между собой металлическим экраном. К достоинствам этого метода можно отнести простоту и прочность конструкции, значительная чувствительность, относительно большую выходную мощность. К недостаткам – большая инерционность системы, довольно значительный дрейф нуля, чувствительность к магнитным воздействиям, что объясняется наличием катушек; возможность работы только на переменном токе; чувствительность к вибрациям и ударам.

На практике, в виду своих недостатков, одиночный индуктивный преобразователь применяется очень редко, в основном используется дифференциальный индуктивный преобразователь.

Пьезоэлектрический датчик давления. Работа пьезоэлектрических датчиков давления основана на использовании прямого пьезоэлектрического эффекта, при котором пьезоэлемент генерирует электрический сигнал, пропорциональный действующей на него силе. Характеризуются высокими динамическими свойствами, однако работающие без модуляции нагрузок они малопригодны для измерения медленно меняющихся и постоянных давлений, так как при этом имеет место стекание заряда с пьезоэлектрических пластин. Так же к достоинствам можно отнести простоту конструкции, малую чувствительность к магнитным полям, достаточную ударную прочность. Важным фактором обеспечения надежной работы пьезоэлектрических датчиков давления, является защита их от воздействия влаги и солей, так как небольшое содержание влаги и солей может привести к значительному снижению выходного сигнала. Особенно сильное влияние на погрешность преобразователя оказывают изменения температуры и влажности окружающей среды, сказывающиеся на геометрических размерах преобразователя и диэлектрической проницаемости воздуха. Наконец для достижения максимальной чувствительности монтажные провода должны быть очень короткими, что не всегда удобно.

Оптоволоконный датчик давления. Наряду с уже апробированными традиционными методами получения информации сегодня появились новые методы, основанные на оптоволоконных (ОВ) технологиях. Оптоволоконные датчики давления являются довольно точными, и их работа не зависит от колебаний температуры. Чувствительным элементом является мембрана. Об измеряемой величине давления в таких приборах обычно судят по изменению амплитуды и поляризации потока света. Исследование характеристик показало, что датчики данного типа обладают: большой амплитудой выходного сигнала; отсутствием необходимости значительного усиления; возможностью статической тарировки; простотой конструкции; отсутствием прямого контакта между диафрагмой и чувствительным элементом, а так же ряд других преимуществ.

Отличительные особенности оптоволоконных датчиков давления:

- возможность работы при больших температурах;
- устойчивость к электромагнитным помехам и коррозии;
- большая величина выходного сигнала;
- высокая надежность и длительный срок эксплуатации системы;
- быстродействие.

Уникальным свойством волоконно-оптического принципа преобразования является его универсальность: на его основе можно реализовать ОВД для контроля практически любой физической величины, чего нельзя сказать о других принципах преобразования. Преимущества ОВД еще четче обозначают перспективность и целесообразность их применения.

На основании исследований принципов преобразования измерительной информации в изменение параметров оптического сигнала определено [1, 3, 6], что наиболее эффективно реализуются оптоволоконные датчики давления (ОВДД), принцип действия которых основан на модуляции интенсивности светового потока под действием измеряемой физической величины. Большинство схем амплитудной модуляции не требует когерентных источников излучения.

Использование компенсационных и дифференциальных схем, а также возможность проведения многопараметровых измерений за счет применения большого количества амплитудных ОВДД позволяют повысить точность измерений.

ОВДД отражательного типа составляют самую обширную группу среди амплитудных оптоволоконных датчиков давления, что объясняется относительной простотой устройства датчика и совершенной технологией изготовления отражающих поверхностей [6, 7]. Наибольшее распространение получили зеркальные отражающие поверхности, не вносящие заметных неинформативных потерь светового потока в процессе измерения.

Ранее были приведены основные требования для выбора первичных преобразователей. Оценим их характеристики по десятибалльной шкале:

Таблица 1 – Оценочные характеристики датчиков давления.

Параметры	***Тензометрические датчики***	***Индуктивные датчики***	***Пьезоэлектрические датчики***	***Оптоволоконные датчики***
Необходимая точность	8	5	7	7
Стабильность характеристик	6	4	5	7
Быстродействие	5	3	8	8
Надежность	7	3	6	8
Габариты	9	4	8	6
Сравнительная дешевизна	5	8	6	7
Работа при больших температурах	4	4	3	8
Работа в агрессивных средах	2	4	4	9
Инвариантность к магнитным полям и вибрации	5	2	7	9
Суммарная характеристика	51	37	54	69

По результатам оценки видно, что оптоволоконные датчики амплитудного типа уступают датчикам других видов по таким характеристикам, как габариты и сравнительная дешевизна. Но учитывая поставленную задачу, эти характеристики не являются определяющими в выборе вида применяемого типа датчика. Для СДВС габариты датчика и его стоимость малозначимы.

Выводы. На сегодняшний день управление рабочими процессами ДВС осуществляется на основании данных, полученных косвенным путем. Для получения фактических значений параметров непосредственно характеризующих рабочие процессы СДВС автором статьи предлагается использование ОВДД отражательного типа, которые будут осуществлять контроль давления в реальном масштабе времени.

Предложенная конструкция датчика обладает такими качествами как: достаточная чувствительность, быстродействие, устойчивость к электромагнитным помехам, устойчивость к коррозии и стабильность, что позволяет использовать их для решения поставленной задачи.

В результате проведенного в работе экспертного анализа установлено, что ОВДД наиболее полно отвечают сформулированным требованиям, имея максимальную суммарную характеристику 69 баллов. Что на 26 %, 46 % и 21 % выше, чем у широко используемых тензометрических, индуктивных и пьезоэлектрических датчиков соответственно.

Возможность получения фактической индикаторной диаграммы ДВС, с помощью ОВДД, для управления его рабочим процессом представляет большой интерес, так как позволяет вырабатывать управляющие сигналы на основе наиболее объективной информации о режиме работы двигателя. Данная информация, так же может использоваться для текущей диагностики технического состояния ДВС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розенблит Г. Б. Датчики с проволочными преобразователями для исследования двигателей внутреннего сгорания / Розенблит Г. Б., Виленский П. И., Горелик Я. И. – М. : Машиностроение, 1966. – С. 30-38.

2. Испытание двигателей внутреннего сгорания / [Стефановский Б. С., Доколин Ю. М., Сорокин В. П. и др.] – М. : Машиностроение, 1972. – 357 с.

3. Соколов А. Н. Волоконно-оптические датчики и системы: принципы построения, возможности и перспективы./ Соколов А. Н., Яцеев В. А. // Lightwave : Russian Edition. –200. – № 4. – С. 42-44.

4. Бусурин В. И. Волоконно - оптические датчики: физические основы расчета и применения / В. И. Бусурин, Ю. Р. Носов. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.

5. Tohyama O. A fiber-optic silicon pressure sensor for ulra-thin catheters / O. Tohyama, M. Kohashi, K.Yamamoto // Sensors and actuators. – 1996 – № 54 – P. 622-625.

6. Белоусов Е. В. Опыт создания оптоволоконных датчиков для индиционирования рабочего процесса двигателей внутреннего сгорания / Белоусов Е. В., Савчук В. П., Штанько А. Д. // Сборник научных трудов по материалам международной конференции «Двигатель – 2007», посвященной 100-летию школы двигателестроения МГТУ им. Н.Э. Баумана – М. : изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – С. 131-135.

7. Белоусов Е. В. Опыт создания оптоволоконных датчиков для индицирования рабочего процесса двигателей / Белоусов Е. В., Савчук В. П., Штанько А. Д. // Грузовик & Строительно-дорожные машины, автобус, троллейбус, трамвай. – М. : Машиностроение. – 2007. – № 12.

Худяков І.В. МОЖЛИВІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ ВИДІВ ДАТЧИКІВ ТИСКУ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ РОБОЧИМ ПРОЦЕСОМ У ДВЗ

У статті наводиться аналіз експлуатаційних характеристик датчиків виміру тиску різних типів, і можливість їх застосування для управління робочим процесом у СДВЗ. Однією з основних проблем ефективного управління є відсутність безперервного і високоточного контролю в реальному масштабі часу. Для цієї мети потрібні датчики, які задовольняли б ряду вимог, – широкий діапазон температур і тисків, стійкість до агресивних середовищ, висока швидкодія, мале енергоспоживання, простота установки, висока надійність і тривалий термін експлуатації, інваріантність до дії електромагнітних полів і вібрацій. Використання таких датчиків в системах управління двигуном також, дозволить здійснювати оцінку технічного стану СДВЗ.

Ключові слова: оптоволоконний датчик тиску, тензорезистивный датчик тиску, індуктивний датчик тиску, п'єзоелектричний датчик тиску, робочий процес двигуна.

Khudiakov I.V. THE POSSIBILITY OF APPLYING DIFFERENT TYPES OF PRESSDUCTORS FOR WORKFLOW MANAGEMENT IN ICE

The article provides the analysis for operational distinctive features of the pressure measuring sensors of the different types, and the possibility of their application for controlling working process in ICE ship. One of the basic problems of the effective controlling is an absence of continuous and high-fidelity control in real-time. For this goal is needed sensors that would satisfy to certain requirements - wide range of temperature and pressures, resistance to the aggressive environments, fast reaction time, low energy consumption, simplicity of setting, high reliability and long exploitation term, invariance to an influence of the electromagnetic fields and vibrations. Application of such sensors in engine control systems also will make it possible to carry out the estimation of the technical state of ICE ship.

Keywords: fiberglass pressductor, strain gauge pressductor, inductancia pressductor, piezoelectric *pressductor, working process of engine.*

Статтю прийнято
до редакції 28.03.14.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ



УДК 681.30:656.12

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ПОДЪЕМНОГО УГЛА (HOISTING ANGLE) ВО ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ОПЕРАЦИЙ С ТЯЖЕЛЫМИ И НЕГАБАРИТНЫМИ ГРУЗАМИ НА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СУДАХ

Бень А.П., Соловей А.С.

Херсонская государственная морская академия

В статье рассмотрены вопросы усовершенствования методов контроля подъемного угла (Hoisting angle) во время проведения грузовых операций с тяжелыми и негабаритными грузами на специализированных судах (типа Heavy Lift). Предложены подходы к совершенствованию типовой методики выполнения грузовых операций на таких судах путем использования системы поддержки принятия решений, осуществляющей мониторинг и управление рядом параметров судна: количеством балласта и его распределением в балластных танках, углом крена судна, метацентрической высотой, нагрузкой на гак, вылетом стрелы, скоростью ветра, периодом качки. Использование предложенной методики по созданию систем поддержки принятия решений при проведении грузовых операций с тяжелыми и негабаритными грузами на специализированных судах, позволит при существующем уровне оборудования снизить уровень риска, повысит безопасность этих операций, снизит экономические затраты за счет сокращения времени грузовых операций.

Ключевые слова: подъемный угол, система поддержки приятия решений, тяжелые негабаритные грузы, специализированные суда Heavy Lift.

Введение. В настоящее время существенно возрастает число морских перевозок на специализированных морских судах (Heavy Lift Carrier). При осуществлении грузовых операций с тяжелыми негабаритными грузами важной научно-практической задачей является контроль параметров остойчивости судна.

Нарушение остойчивости при погрузке и выгрузке судна, особенно в тех случаях, когда грузовые операции осуществляются судовыми грузовыми кранами или грузовыми стрелами может привести к появлению опасного крена и наваливанию судна на причал.

Резкое увеличение крена судна в сторону причала при погрузке и выгрузке может стать причиной повреждений груза, корпуса судна, береговых сооружений, смещению и утрате других раскрепленных палубных грузов, а также другим потерям, включая человеческие жертвы.

Актуальность исследования. Вопросам повышения безопасности при проведении грузовых операций уделяется особенное внимание в крупнейших судоходных компаниях, таких как Jambo Shipping, BigLift Shipping, Hansa Heavy Lift, BBC Chartering, Intermarine, SAL (Schiffahrskontor Alles Land), Harren & Partner.

В ряде работ [1, 2] исследуются процедуры проведения грузовых операций с тяжелыми негабаритными грузами (Guideline for Project Cargo Operations), разработанные в соответствии с требованиями нормативных документов Международной морской организации (IMO), например IMO Code of Safe Practice for Cargo Stowage and Securing.

Многообразие решаемых судоводителем задач при реализации технологического процесса погрузки тяжелого негабаритного груза, протекающее, в общем случае, в условиях неопределенности, обуславливает необходимость создания специализированных систем поддержки принятия решений (СППР), позволяющих существенно повысить качество управления процессом погрузки.

По результатам анализа видно, что создание систем контроля параметров остойчивости является актуальным исследованием, направленным на повышение безопасности при осуществлении грузовых операций.

Основной материал. Для того, чтобы определить возможность возникновения опасного накренения в процессе погрузки и выгрузки судна судоводителями могут быть

произведены предварительные расчеты, которые позволят найти параметры остойчивости и оценить углы крена, которые могут возникнуть на судне при последующих погрузочно-разгрузочных операциях [3]. При выполнении грузовых операций с тяжелыми и негабаритными грузами судоводителю, управляющему и контролирующему процесс погрузки тяжелых и негабаритных грузов судовыми кранами на судно, приходится сталкиваться с проблемой постоянного контроля нескольких параметров, влияющих на остойчивость судна, а как следствие на безопасность проведения грузовых операций.

Все эти параметры можно разделить условно на две группы: статические параметры и динамические параметры.

К **статическим** параметрам можно отнести следующие:

- масса груза;
- расположение центра тяжести груза.

Группу **динамических** параметров составляют следующие:

- поперечная метацентрическая высота GM (расчет этого параметра должен производится как минимум для 3-х этапов погрузки/выгрузки – GM начальная, GM при отрыве груза, GM при пересечении линии борта судна, GM при касании грузом палубы:

$$GM = KM - KG, \tag{1}$$

где KM – возвышение метацентра судна над килем, KG – возвышение центра тяжести судна над килем;

- угол крена (учет этого параметра должен производиться на всем протяжении грузовой операции и не должен превышать 3^0-5^0):

$$tg\theta = \frac{w \cdot L \cdot cos\alpha \cdot sin\beta}{(W + w) \cdot GM - w \cdot (RG + L \cdot sin\alpha)}, \tag{2}$$

где W – водоизмешение судна, w – масса единицы груза, α – угол наклона стрелы, β – угол вылета стрелы, L – длина стрелы, RG – расстояние между центром тяжести судна и точкой крепления стрелы;

- масса (объем) балласта, необходимого для компенсирования массы груза при погрузке/выгрузке:

$$S = \frac{(P + Q + R) \cdot (\frac{B}{2} + a)}{S_y}, \tag{3}$$

где P – масса единицы груза, Q – креновая масса стрелы судового крана, R – масса оснащения для подъема, B – теоретическая расчетная ширина судна, a – максимальный вылет стрелы при погрузке единицы груза, S_y – расстояние между центрами тяжести креновых танков правого и левого бортов судна;

- нагрузка на гак грузовой стрелы судового крана (Hook Load);
- подъемный угол (Hoisting angle) – угол отстояния линии подъемного троса от вертикали, значение этого параметра должно быть максимально сведено к нулю);
- вылет стрелы судового крана (Outreach) – от величины этого параметра зависит безопасная рабочая нагрузка на стрелу крана (SWL), а соответственно и лимит нагрузки на гак стрелы.

Одной из сложных задач, от решения которой зависит безопасность проведения грузовых операций, при которых необходимо свести к минимуму риски связанные с повреждениями груза, корпуса судна, береговых сооружений, смещением и утрате других раскрепленных палубных грузов, а также другим потерям, включая человеческие жертвы, является задача сведения к минимуму величины подъемного угла (Hoisting angle).

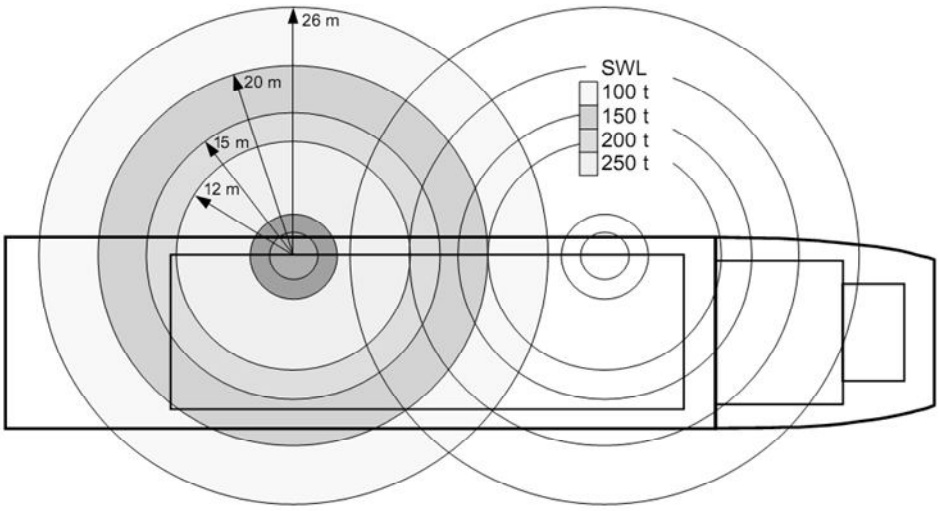


Рисунок 1 – Диаграмма зависимости SWL от вылета стрелы судового крана

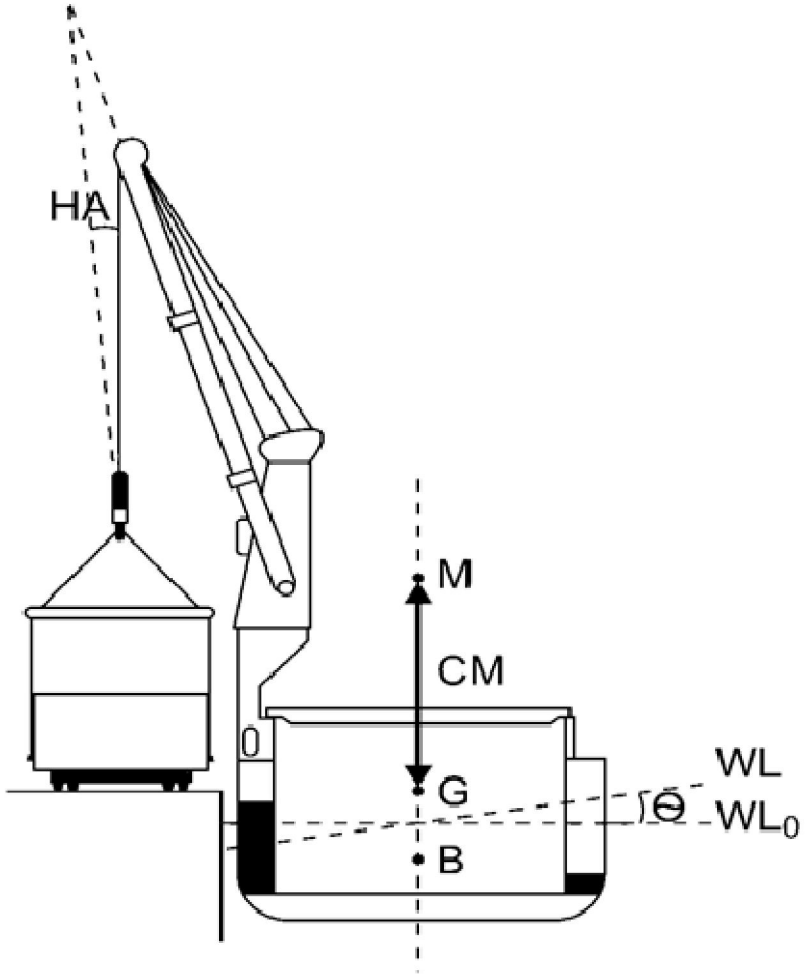


Рисунок 2 – Контролируемые параметры при погрузке тяжелых грузов:
WL – ватерлиния, HA – (Hoisting angle) подъемный угол, Θ – угол крена судна, M – метацентр судна, GM – поперечная метацентрическая высота судна, B – центр плавучести судна, G – центр тяжести судна

Подъемный угол (Hoisting angle) – это угол отстояния линии подъемного троса от вертикали (рис. 1). Наличие Hoisting angle, величина которого отличается от нулевого значения на несколько градусов, неизбежно приводит к смещению тяжелого негабаритного груза при подъеме его судовым краном.

Зависимость критической нагрузки на гак судового крана, при которой происходит смещение (скольжение) тяжелого негабаритного груза, от подъемного угла при наиболее распространенном коэффициенте скольжения μ=0,3 представлена в табл. 1.

Такого рода табличные зависимости приведены в руководствах по проведению грузовых операций [1].

Таблица 1 – Зависимость критической нагрузки на гак стрелы от подъемного угла

Подъемный угол (Hoisting angle)	1^0	2^0	3^0
Критическая нагрузка на гак стрелы (в процентах от массы груза)	95 %	90 %	85 %

Как видно из табл. 1, при массе груза, например, 100 т и при подъемном угле 3^0 неконтролируемое смещение (скольжение) груза произойдет при нагрузке на гак 85 т. Из практики проведения грузовых операций с тяжелыми негабаритными грузами известно, что такая ситуация чревата повреждением груза, корпуса судна, береговых сооружений.

По этой причине при проведении погрузки тяжелых грузов, когда остается около 15-20 % нагрузки от веса груза на причале и соответственно 75-80 % нагрузки на гак судовой стрелы, необходимо уменьшить величину подъемного угла (Hoisting angle) до значения близкого к нулю. Обычно в морской практике судов-тяжеловозов это осуществляется посредством изменения угла крена судна с помощью антикреновой балластной системы, а также изменением угла наклона стрелы.

В качестве одного из способов контроля подъемного угла (Hoisting angle) на минимальном уровне можно применить следующий способ, который известен в современной морской практике. Это так называемый способ фиксации контрольного угла крена. Данный способ можно разделить на следующие основные этапы:

1. Закрепить подъемные стропы в точках крепления груза, при этом подъемный угол уменьшить до значения близкого к нулю посредством изменения угла наклона стрелы крана.
2. Зафиксировать значение контрольного угла крена (Control heel) при подъемном угле равном нулю (например, Control heel равен 1^0 PS).
3. Пошаговыми действиями (step-by-step), увеличивая постепенно нагрузку на гак судового крана и компенсируя появляющийся крен судна с помощью креновых балластных танков (перемещая балласт из креновых танков с левого на правый борт), довести нагрузку на гак до 90-95 % от массы груза.
4. На последнем этапе необходимо добиться того, чтобы отрыв груза от причала был произведен при угле крена равном значению контрольного угла (в нашем случае 1^0PS). В этом случае подъемный угол при отрыве груза от причала, автотранспортера, баржи и т.д. будет равен нулю.

Преимуществом предложенного способа по сравнению с имеющимися является его сравнительная простота использования и то, что данный подход не требует сложных и дорогостоящих технических решений.

Поскольку процесс управления погрузкой тяжелого негабаритного груза на специализированное судно осуществляется в режиме реального времени, крайне важным является оперативность принятия управленческих решений в процессе погрузки.

Решение этой задачи может быть обеспечено путем использования системы поддержки принятия решения (СППР) по управлению динамическими параметрами, контролируемыми при погрузке тяжелых и негабаритных грузов. Данная СППР должна содержать базу правил по принятию решений, которая анализирует изменение этих динамических параметров и рекомендует лицу, принимающему решения (судоводитель),

внесение изменений в процесс погрузки/выгрузки, гарантирующих безопасное проведение грузовых операций. Например: при росте нагрузки на гак стрелы судового крана увеличивается крен судна на борт, с которого поднимается груз, а поперечная метацентрическая высота (GM) уменьшается. Максимальное изменение (уменьшение) GM будет в момент отрыва груза от причала. При одновременном росте крена судна в этот момент возрастает риск опрокидывания судна, и для того, чтобы его снизить, надо переместить необходимое количество балласта на противоположный борт судна.

Разработка таких СППР и решение оптимизационных задач сталкивается с рядом трудностей, связанных с особенностями процесса погрузки/выгрузки грузов, среди которых необходимо отметить следующие:

- сложность математической модели процесса управления погрузкой/выгрузкой;
- необходимость контроля большого количества параметров в режиме реального времени;
- необходимость выполнения нормативных требований, регламентирующих требования безопасности, в процессе погрузки/выгрузки на судне.

При создании специализированных СППР необходимо формировать базу знаний по процедурам погрузки/выгрузки, уже отработанным на реальных примерах в практике морского судоходства, и использующих методы многокритериальной оптимизации для решения задач выбора наилучших управляющих воздействий для конкретного процесса погрузки/выгрузки.

Таким образом, для эффективного решения задачи контроля подъемного угла (HA) во время проведения грузовых операций с тяжелыми негабаритными грузами на специализированных судах, необходимо разработать математическую модель контроля параметров (подъемный угол HA, поперечная метацентрическая высота GM, угол крена, количество балласта), влияющих на погрузку судна при осуществлении таких операций, с последующим решением многокритериальной оптимизационной задачи выбора из значений для обеспечения требуемого уровня безопасности выполнения этих операций.

Выводы. Использование предложенной методики по созданию систем поддержки принятия решений при проведении грузовых операций с тяжелыми и негабаритными грузами на специализированных судах, оборудованными собственными кранами, позволит при существующем уровне оборудования снизить уровень риска, повысить безопасность этих операций, снизить экономические затраты за счет сокращения времени грузовых операций, уменьшить влияние, так называемого, «человеческого фактора» на процесс их выполнения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. BBC Guideline. Safe solutions for project cargo operations. – Leer : BBC Chartering and Logistic GmbH&Co.KG, 2009. – 76 p.
2. Noble Denton document 0027/ND. – Guidelines for Marine Lifting Operations.
3. Ершов А. А. Контроль остойчивости и посадки судна при погрузке и выгрузке / А. А. Ершов. – Санкт-Петербург : Издательство ГМА им. адм. С. О. Макарова, 2002. – 60 с.

Бень А.П., Соловей О.С. ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ПІДЙОМНОГО КУТА (HOISTING ANGLE) ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ВАНТАЖНИХ ОПЕРАЦІЙ З ВАЖКИМИ ТА НЕГАБАРИТНИМИ ВАНТАЖАМИ НА СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ СУДНАХ

У статті розглянуті питання удосконалення методів контролю підйомного кута (Hoisting angle) під час проведення вантажних операцій з важкими негабаритними вантажами на спеціалізованих суднах типу Heavy Lift. Запропоновані підходи до вдосконалення типової методики виконання вантажних операцій на таких суднах шляхом використання системи підтримки прийняття рішень, що здійснює моніторинг та керування низкою параметрів судна: кількістю баласту та його розподілом у баластних цистернах, кутом крену судна, метацентричною висотою, навантаженням на гак, вильотом стріли, швидкістю вітру, періодом хитавиці. Використання

запропонованої методики по створенню систем підтримки прийняття рішень під час проведення вантажних операцій з важкими та негабаритними вантажами на спеціалізованих суднах, дозволить при існуючому рівні обладнання знизити рівень ризику, підвищити безпеку цих операцій, знизити економічні витрати за рахунок скорочення часу вантажних операцій.
Ключові слова: підйомний кут, система підтримки прийняття рішень, важкі негабаритні вантажі, спеціалізовані судна Heavy Lift.

Ben A.P., Solovey O.S. IMPROVEMENT OF METHODS OF CONTROL OF THE HOISTING ANGLE DURING CARGO OPERATIONS WITH HEAVY AND OVERSIZED CARGOES ON SPECIALIZED VESSELS

This article describes how to improve the methods of the lifting angle (Hoisting angle) control during cargo operations with heavy and oversized cargoes on specialized vessels (such as Heavy Lift). Authors suggested the approaches to improve standard procedure of loading operations on such vessels by using decision support system. This system executes monitoring and management of a number of vessel characteristics: quantity of ballast and its distribution in ballast tanks, heeling angle, metacentric height, hook load, boom outreach, windspeed and rolling period. Use of the proposed method for creating decision support systems during cargo operations with heavy and oversized cargoes on specialized vessels, will allow, with exciting equipment, to reduce risk, increase the safety of these operations, reduce economic costs by reducing the time of cargo operations.
Keywords: hoisting angle, decision support system, heavy lift cargo, heavy lift vessels.

Статтю прийнято
до редакції 16.06.14.

UDC 656.71 + 711.553.9

GIS-MONITORING OF THE ENVIRONMENT IN AIRPORT VICINITY

Zaporozhets O.I.
National Aviation University, Kiev

In the paper the synthesis and comparison of the available information on GIS monitoring of environmental factors in the vicinity of the airports is presented. The use of GIS methods for exposure modelling and monitoring has a relatively recent history. Outside inventory and monitoring, the emphasis has mainly been on inventory analysis and dispersion modelling, and on a range of so-called second-generation models have been developed (eg, PolEmiCa, IsoBella, 3PRisk) to support environment protection management in airport vecinity. Designed national models are compared with similar tools designed worldwide. The differences between the tools' calculated results for noise and emission are within the 10%, which are appropriate value taking in mind the differences between the used approaches for modelling. The results of the development can be incorporated into the operation of aviation vehicles in intelligent transport systems.
Keywords: airports, GIS, monitoring, noise, safety, local air quality, electro-magnetic fields.

Introduction. Airports serve a key role in transportation of people and goods and in regional, national, and international commerce. Airports are inherently spatial. From planning to maintenance and security, airport managers need to know where events are taking place. Significant growth in traffic has left many airport properties severely constrained for space. Airport managers must carefully manage competing needs for revenue-generating facilities and effectively readjust facilities for the ever-changing needs of their tenants. Geographical Information System (GIS) can be integrated with property management applications, improving accuracy and timeliness in responding to property information requests.

The needs to develop a new GIS-based airport monitoring method can be reflected from several facts. First, previous studies on using GIS for emissions and noise estimation frequently applied basic capabilities of GIS, such as data processing and mapping; however, recent advances of GIS technology have rarely been found in the applications of modeling mobile (for example, aircraft, airport ground vehicles, etc.) source emissions. Second, the growing attention to reducing mobile source emissions requires that emissions estimation models should not only be limited to obtaining emissions totals for the transportation conformity analysis purpose but also need to serve for identifying effective emissions reduction measures as well as air quality modeling. Third, GIS should play a more important role in modeling vehicular emissions not only due to the natural spatial dependence of emissions modeling but also because the two ends of emissions modeling (travel forecasting and air quality modeling) are often GIS based. The enhanced requirements need emissions inventory models to further improve their accuracy and resolution. Integrating GIS in emissions estimation could fulfill these requirements by offering added value to present data sources, such as local vehicle population data, land uses, and detailed travel activities.

GIS is used in environmental protection (EP) applications are generally developed according to the specific requirements needed to meet the objectives of the airports, airlines and flight control organizations [1]. GIS-based airport monitoring method can be defined as the regulation of the amount, location and time of pollutant emissions to achieve some clearly defined set of ambient air quality standards or goals. It includes the evaluation of various set of emission control schedule to determine consequences to air quality. It also includes the formulation of alternative emission control schedules to meet air quality goals subject to some other constraint, *e.g.*, technological feasibility or minimum cost. GIS-based airport monitoring method is basically a strategy to overcome the problems of air pollution and is most effective towards continuous improvements of air quality, particularly when targeting regional problems.

Analysis of the latest investigations. The conceptual approach of GIS not only provides the capability of querying the spatial data but also, with its inbuilt analytical tools, translates the existing spatial patterns into measurable objectives. GIS facilitates the integration of various

field-specific applications into its interface and allows integrated ways to conduct research and develop new analytical approaches to relate their information to the terrestrial activities. These abilities (providing fully functional data processing environment) distinguish GIS from other information systems as it results in enhancing the applications with productive findings that are broadened and deepened in a geographic location.

Commercial airlines, airports and air traffic control regulators use GIS for airspace planning and routing applications as well as for facilities management applications. Recent enhancements to three-dimensional GIS allow more advanced airspace modelling applications to be combined with geographic information from local communities such as parcels, land use, building heights, new construction, and modified terrain around the airport. Management of airport properties was the most popular application, but management of infrastructure, noise programs and storm water programs also received very strong support.

The quality of environment is a very important factor in projecting or representing the status of environment and health of any region. Local air quality (LAQ), electro-magnetic fields (EMF), third party risk (TPR) and noise studies that analyze the quality of environment provide strategic information to the decision making process and play a significant role in the implementation of the policies that influence the environmental quality of a region around the airport in particular [2]. Most of the environmental quality models, in their pollutant and noise levels distribution simulations, consider their physical characteristics such as wind direction, speed, temperature etc., in determining the moving sources of air pollution and noise trajectory. Integrating these models with GIS presents a geographic dimension to the environmental quality information by relating the actual pollution concentrations, noise or/and EMF levels, TPR to the human life in that location. With its numerous analyst tools, GIS can demonstrate the relationship of poor quality of the environment and occurrences of deficient human and environmental health. GIS can portray the spatial correspondence between the environmental quality and the disease (mortality) statistics in the area that is potentially impacted. Examining the relationships between high factor impact across various demographic thematic layers helps in identifying hotspots that are in need of special investigation or monitoring. Having this information makes it easier for planning and implementation groups to expedite projects in accordance with ICAO priorities.

Formulating the task. A growth of an airport can be controlled by setting up flight safety, operational, economic and environmental limits (Fig. 1) [3]. In addition to the increasing traffic demand, new constraints on the traffic flows have been imposed and limited the capacity and efficiency of air transportation. In many cases, the responsibilities imposed on airport operators and EP responders continue to rise, while access to, and timeliness of critical information remains as it always has been. GIS has been traditionally used to support planning, infrastructure development and management activities, for example associated with EP functions. In particular environmental protection consists of prevention, preparation, response, mitigation, and recovery and at airports it usually involves different agencies.

Main purpose of GIS «Airport-EP», which is under the development currently, is to protect public health, safety, and welfare by ensuring the orderly expansion of airports and the adoption of land use measures that minimize the public's exposure to excessive noise, air pollution, EMF and safety hazards within areas around public airports to the extent that these areas are not already devoted to incompatible uses [1, 2]. For this purpose complex tool ALFA – Airport Local Factors Assessment, including PolEmiCa (LAQ), IsoBella (Noise), EMISource (EMF) and 3PRisk (Third Party Risk), was designed to calculate any possible operational scenario in airport under consideration. Specific module ModIST quantifies the technical and economic interactions between mitigation measures for the considered factors and fuel burn (plus greenhouse gases – GHG, if necessary). It assesses the simultaneous multi-factor impacts reductions on local environment as well as for selected metrics of GHG (e.g., the global warming potentials) with further economical evaluations. In addition, ModIST includes an optimization approach that allows the search for least-cost combination of mitigation measures for all the

environmental factors and FB/GHG that meet user-specified constraints (policy targets) for each possible of the environmental endpoints. The optimisation capability of ModIST is applied in MaxEnt and enables the development of multi-factor and multi-effect impact control strategies. MaxEnt tool is currently under development for all environmental factors and it was validated for operational scenarios at the busiest Ukraine's airports with and shown increase of noise airport capacity up to 10% and 15% for day and night time accordingly; and the implementation of NAPs – 20-25%. Thereby, ModIST can identify mitigation strategies that achieve related targets simultaneously at least cost.

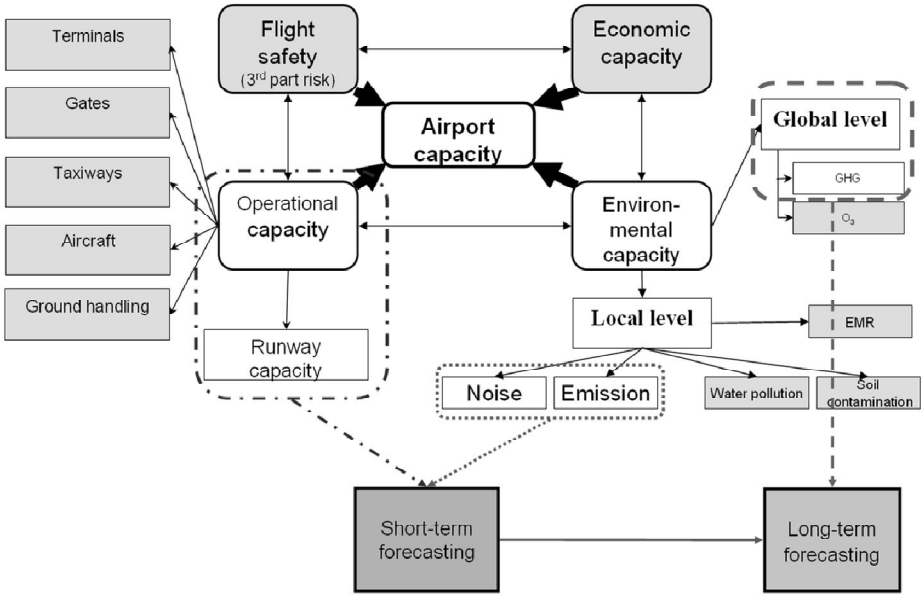


Figure 1 – Airport capacity concept

A combination of air pollution and noise measurements and stochastic for pollution (and TPR) and deterministic for noise (and EMF) modelling procedures is usually used to assess long term average exposure to traffic related environmental factors and described in detail elsewhere. GIS data on population density and traffic intensity specified for certain buffer zones were used in regression models to predict annual average air pollution concentrations and noise levels at the monitoring sites. As a rule the regression models explain 56–85% of the variability of the annual average concentrations depending on study area and specific pollutants.

GIS «Airport-EP» must provide: to promote compatibility between the airport and surrounding uses; to establish land use measures, restrictions and standards to be adopted by local jurisdictions; to «rely» upon the guidance provided in the ICAO Airport Land Use Planning Manual; to establish the planning boundary (i.e., airport influence area) only after hearing and consultation with the involved agencies (Ministry of Health Protection, Ministry of Environment Protection, State Emergency Service of Ukraine, etc.); be based upon an adopted Airport Master Plan (AMP) or Airport Layout Plan (ALP); to have a time horizon of at least 20 years.

Main results. GIS organizes geographic data so that a person reading a map can select data necessary for a specific project or task. A thematic map has a table of contents that allows the reader to add layers of information to a basemap of real-world locations. For EP purpose it is mostly important to organize the data for Airport Influence Area (AIA), which usually encompasses the geographic extent of, at least, six types of compatibility concerns: Overflight – Locations where aircraft overflights can be intrusive and annoying to many people; Airspace Protection –Places where height and certain other land use characteristics, particularly uses that attract birds, need to be restricted in order to protect the airspace required for operation of aircraft to and from the airport; Noise – Locations exposed to potentially disruptive levels of aircraft noise; LAQ – Locations exposed to potentially disruptive concentrations of air pollution; EMF – Locations exposed to potentially disruptive levels of electro-magnetic fields; Safety –



Areas where the risk of an aircraft accident poses heightened safety concerns for people and property on the ground – their individual risks (TPR) to be damaged.

Main data for impact factors inside and outside the airports are the results of calculation modeling with usage of calculation tools designed for these purposes (tab. 1).

Table 1 – Calculation tools for the factor in module ALFA

Factor	***Tool***	***Description***	***Input***	***Output***
LAQ	PolEmica	Emission inventory calculator (both for certification LTO or real LTO, defined by performance model); dispersion calculation (Euler approach) for airport-related pollutant sources	Aircraft fleet/ flight schedule; airport and flight routes layout; non- aircraft sources; meteorology; topography	Emissions inventory results; concentration fields: maximum instantaneous concentrations, short time (20 min) and long time (daily) means, for each pollutant
Noise	IsoBella	Noise level indices at specific points and/or noise contours calculation for airport flight scenarios	Airport and flight routes layout; aircraft flight schedule; ANP database	Noise level indices at specific points and/or noise contours
EMF	EMISource	EMF intension at specific points and/or its contours calculation for airport layout	Airport layout with navigation facilities; flight navigation facilities database	EMF intension at specific points and/or its contours
Safety	3PRisk	Individual risk at specific points and/or risk contours (10^{-4}, 10^{-5}, 10^{-6}) calculation for airport flight scenarios	Airport and flight routes layout; aircraft flight schedule; accident rates data for groups/types of aircraft	Individual risk at specific points and/or risk contours (10^{-4}, 10^{-5}, 10^{-6})

The main performances of the calculation modeling tools are described as following.

PolEmiCa. PolEmiCa is a combined emissions/dispersion model for assessing pollution at civilian airports and heliports due to the methods [4-6]. This model produces an emission inventory of airport sources and calculates concentrations produced by these sources at specified receptors. The system stores emission factors for fixed sources such as fuel storage tanks and incinerators and also for mobile sources such as automobiles or aircraft. PolEmiCa incorporates an emissions model to calculate an emission inventory for each airport source and a dispersion model to calculate pollutant concentrations produced by these sources at specified receptors. PolEmiCa is appropriate for the following applications: cumulative effect of changes in aircraft operations, point source and mobile source emissions at airports; simple terrain; transport distances less than 30 kilometres; and, 20-minutes and 1-hour to annual averaging times.

Main purpose of the PolEmiCa is to calculate the inventory and dispersion parameters of the aircraft engine emission during the landing-takeoff cycle of the aircraft in airport area [4-6]. Emissions Inventory for any airport is calculated by PolEmiCa for the following emission sources: aircraft during landing-take off (LTO) cycle; start-up procedures; ground support equipment (GSE); aircraft and ground power units (APU/GPU); power plants; fuel farms. Fuel flow and EI values are used for relative thrust (percentage of rated thrust) of the engine at character power settings due to ICAO LTO definition [4-6].

Aircraft engine EI for CO, HC and NO_x are defined from ICAO emission databank. EI for SO_x is equal to 0,005 in accordance with [5]. EI for PM is defined for appropriate values of SN by simple algorithm from ICAO Doc 9889 [4]. The emissions for the single LTO cycle

(single flight case – aircraft at departure or at arrival) are then a summa of the individual stages of the cycle. Start-up emissions calculation for the starting sequence there is only HC emissions required for consideration (article 6.53 in Doc 9889 [4]).

GSE, APU and GPU emissions inventory are doing in PolEmiCa for CO, HC and NOx in accordance with ICAO Doc 9889 [4]. Computation for stationary sources is executed in accordance with [8] for the power plant emissions and [9] for fuel farm emissions. Road Vehicle Traffic is realized in PolEmiCa in accordance with National rules [10]. Total inventory results for additional sources are shown in tab. 2 below. PolEmiCa tool demonstrated good accordance of emission inventory for all emission sources with other LAQ models (tools), which were exeminated at CAEP/8 and CAEP/9 [7], tab. 3.

Table 2 – Summary of airport emission source groups (in kilograms)

Substance	***Gate Sources***	***Roadways and Parking***	***Stationary Sources***	***Grand Total***	***Aircraft***
CO	20634,7	55911,5	5846	311159,2	228767,0
HC	7539,1	24555,6	491,4	74373,1	41786,9
NOx	39926,8	12088,7	8012,9	393772,6	333744,3
SOx	0	747,3	8255,5	124011,6	115008,8
PM10	2379,1	25,6	68,3	4998,8	*2525,9*
PM2.5	0	0	1377,4	1377,4	0
Fuel	846243,5	1758710,9	N/A	25606674,4	23001720

Table 3 – Comparison between the airport emission inventory results defined by ICAO calculation tools (aircraft only, in kilograms)

Substance	***Calculation tools***					
	LASPORT	**EDMS**	**ALAQS**	**ADMS**	**PEGAS**	**PolEmiCa**
CO	232685	256163	208850	300359	302395	228767
HC	50529	91541	54575	35789	51815	41787
NOx	307083	238866	301880	279453	309382	333744
SOx	19514	27058	20729	16351	96103	115009
PM10	1928	2827	1961	4243	2340	2529
Fuel	24394000	19895750	20783565	20438419	19220622	23001720

PolEmiCa calculates the concentration fields in airport area taking into account intensity of flights of airplanes of different types, a loading factor of different taxiways and runways, and there are a lot of other operational circumstances [1]. Usual practice for the FSU countries that the air pollution must be calculated, first of all, for the stationary sources using the methods of OND-86 and just these data must be taken into account in procedures of zoning around the polluters, in that number around the airports. For this reason the stationary sources in PolEmiCa are calculated by algorithm of the OND-86. For the purposes of evaluation and comparison between the ICAO calculation tools the 20-minutes averaging data (results of OND-86) transformed to 1-hour averaging data. PolEmiCa dispersion modelling results are compared with results of other verified by CAEP tools (fig. 2). Maximum concentrations for CAEPort scenario were calculated inside the airport area at locations of stands and of runway end [7].

IsoBella. IsoBella model has been designed in NAU for calculation of noise levels at specific points and/or noise contours (few types of level indices are calculated) for airport flight scenarios under consideration [1,3,11]. The noise model is usually consists of two components, the *noise engine* and an *aircraft database*. Traffic is broken down into aircraft types or categories with different noise and performance characteristics which have to be stored in the aircraft database. The noise engine is the core processor that models the physical processes of sound emission and propagation. The Aircraft Noise and Performance (ANP) database includes 10 data tables. The contents of the tables are fully described in [11]. ANP database of version 2.0 is

prepared for distribution, it includes bigger list of aircraft types and improved data for engine thrust coefficients. Analyzing trends including the 2006 and 2026 scenarios for airport under consideration the model may predict that the 65dB(A) contour will double its area (consistent with the doubling of the number of movements), fig. 3.

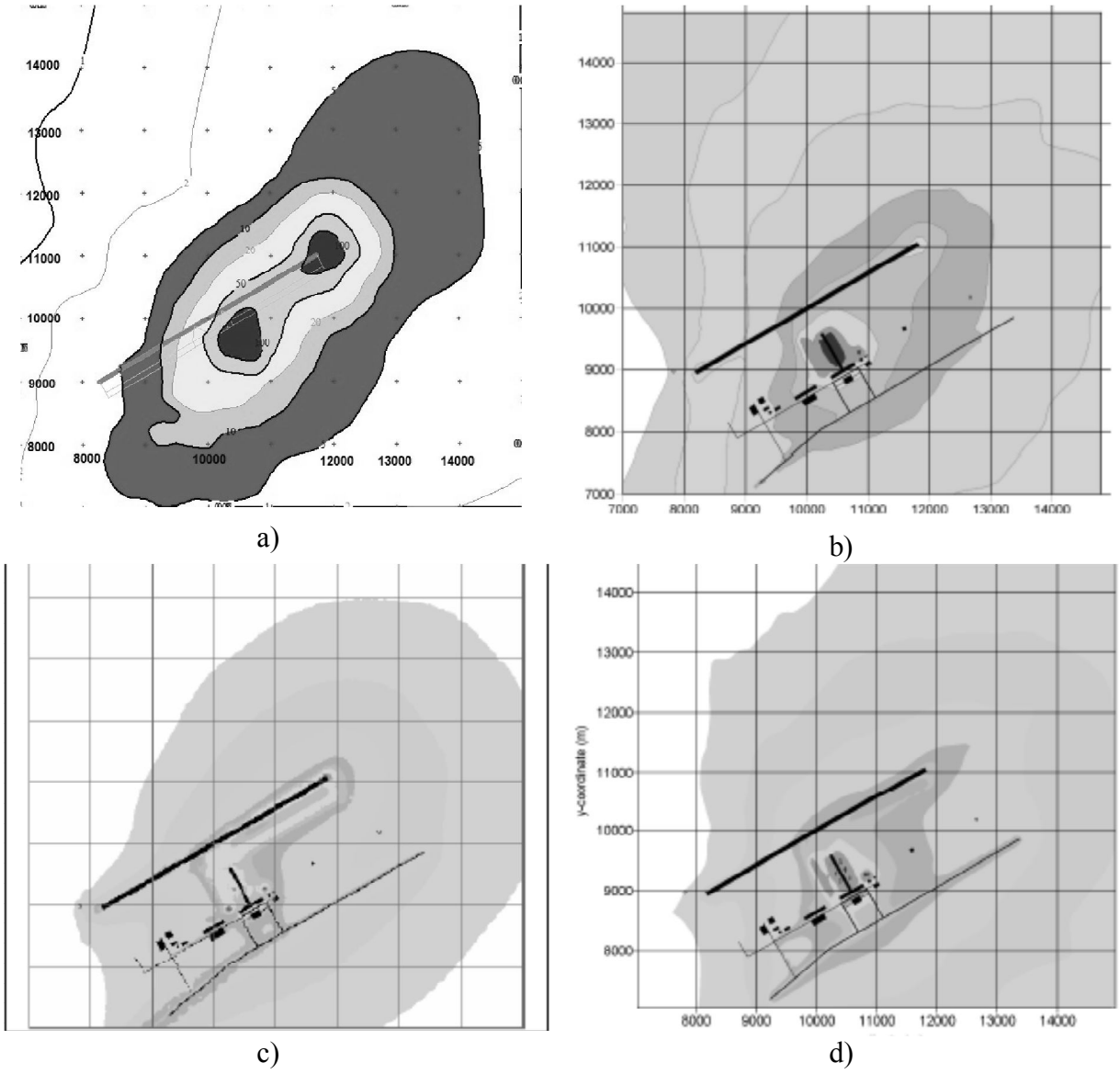


Figure 2 – Comparison between the airport dispersion results defined by ICAO calculation tools for CAEPort scenario: a) IsoBella; b) EDMS; c) ADMS; d) LASPORT

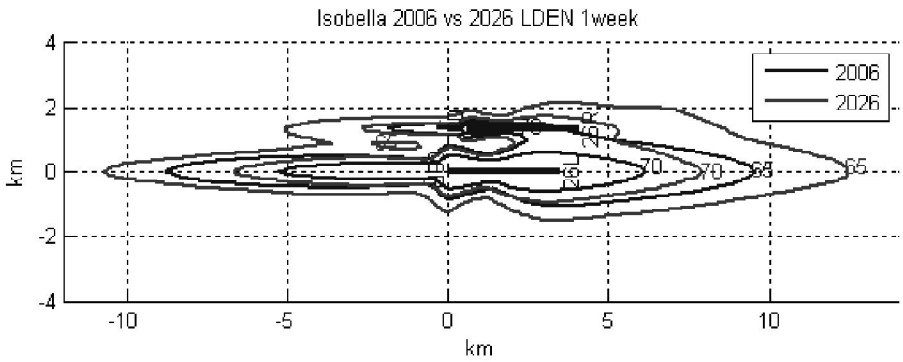


Figure 3 – Contours for aircraft noise outside the airport for 2006 and 2026 flight scenarios

3PRisk. For the population living in the vicinity of an airport the involuntary exposure to the risk of aircraft accidents exists and requires for its control. A method to assess third party risk

around airports has been developed and recommended by CAEP for usage in grounding of Public Safety Zones around specific runways or airports as a whole [12]. A policy for Public Safety Zones (PSZ) is under development (in UK, The Netherlands, Germany, USA, Ukraine) to replace land use restrictions that have been in place for a number of years.

Methods for estimating crash risk contours could be used to define a better shape for the PSZs than at present, as the PSZ could then be the area inside a particular crash risk contour representing the desired proportion of crashes. This would enable the PSZ area to be defined more 'efficiently' than at present, as it would then correspond to the minimum area needed to contain the required proportion of crashes. The fig. 4 provide the result of the calculations with 3PRisk model. It should be noted that the contour areas are relatively small and any difference will thus be «exaggerated» when considering them via %.

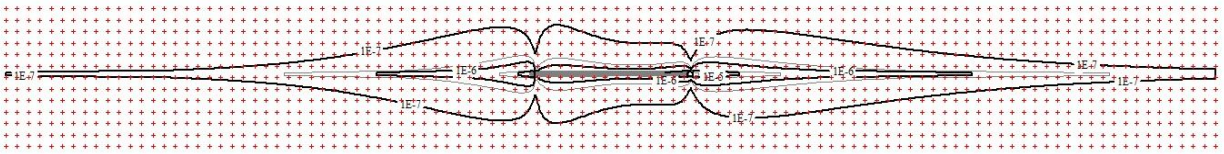


Figure 4 – IR contours for 10^{-4}, 10^{-5}, 10^{-6}, 10^{-7} from 3PRisk for 2026 scenario

Conclusion. All the models model are still under the development, PolEmiCa is following currently in two important directions: improving of jet/wake transportation modelling by CFD codes and verification of the modelling results with measurement's data in various airports of the world, which were done with various techniques. The optimisation can be used to search for cost-minimal balances of controls of all the factors under consideration over the various scenarios in aviation sector that simultaneously achieve user-specified targets for human health impacts, ecosystems protection, etc. Thus in addressing the problem of decision making process in possible airport scenarios ModIST allows to assess ability of effective using operational procedures,to forecast schedule and aircraft fleet for installed capacity, and to rank environmental problems in the airport vicinity.

LIST OF THE USED LITERATURE

1. Запорожець О. І. Інформаційні технології забезпечення безпеки та природо-охоронної діяльності в аеропортах / О. І. Запорожець, К. В. Синило // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – Херсон, 2012. – С. 138-147.

2. Zaporozhets O. Features of the GIS for monitoring of environment in airport vicinity / O.Zaporozhets // Visnyk of the National Transport University. – K. : NTU, 2014. – No 30. – P. 148-159.

3. Zaporozhets O. AIRCRAFT NOISE : assessment, prediction and control / O. Zaporozhets, V. Tokarev, K. Attenborough. – Glyph International, Taylor and Francis, 2011. – 480 p.

4. Airport Air Quality Manual. – Montreal : ICAO Doc 9889, 2011. – 220 p.

5. Method for engine emission calculation from civil aviation sources // Separate chapter in «Method for emission calculation from moving sources». – Kyiv : Ministry of Environment Protection of Ukraine, 1996. – 12 p.

6. Calculation method for air pollution concentrations from the aircraft engine emissions in the airport area. – K. : State Civil Aviation Administration of the Ministry of Infrastructure of Ukraine, 2009. (Draft). – 38 p.

7. LAQ Sample Problem. – Montreal : ICAO CAEP8 MODTF/5. – Paper WP03. – 2007. – 78 p.

8. Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час или менее 20 ГКалл в час (с учетом методического письма НИИ Атмосфера № 335/33-07 от 17 мая 2000 г.). – Москва, 1999.

9. Методические указания по определению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу из резервуаров. – Новополоцк, 1997 (с учетом дополнений НИИ Атмосфера 1999, 2005, 2010 г. г.).

10. Методики розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів. – К. : Державний Комітет Статистики України, Наказ № 452 від 13.11.2008.

11. Recommended Method for Computing Noise Contours Around Airports. – Montreal : ICAO Doc 9911, 2008. – 130 p.

12. Airport Planning Manual. Part 2. Land Use and Environmental Control. – Montreal : ICAO Doc. 9184-AN/902/2, 2003. – 35 p.

Запорожець О.І. ГІС-МОНІТОРИНГ ЧИННИКІВ ДОВКІЛЛЯ В ОКОЛИЦІ АЕРОПОРТУ

У статті виконано узагальнення та порівняння наявних відомостей щодо ГІС моніторингу чинників довкілля в околиці аеропорту. Акцент зроблений на інвентаризаційному аналізі і моделюванні розсіювання, також були розроблені ряд, так званих, моделей другого покоління (наприклад, PolEmiCa, Isobella, 3PRisk) для підтримки управління забрудненням повітря, шумом, безпекою. Розроблені національні моделі порівнюються з аналогічними засобами розрахунку, розробленими у світі. Відмінності між результатами розрахунків засобами оцінки шуму та емісії знаходяться в межах 10 %, що є прийнятним значенням, беручи до уваги відмінності між застосовуваними підходами для моделювання. На сьогоднішній день ці моделі досить ефективно використовуються в цілях оцінки впливу на ГІС-платформах, частково через їх високу вимогу стосовно даних, особливо просторових. Результати статті можуть бути впроваджені у процесі експлуатації авіатранспортних засобів в умовах реалізації інтелектуальних систем управління транспортом.

Ключові слова: аеропорт, ГІС, моніторинг, шум, безпека, якість повітря, електромагнітні поля.

Запорожец А.И. ГИС-МОНИТОРИНГ ФАКТОРОВ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ОКРЕСТНОСТИ АЕРОПОРТА

В статье выполнено обобщение и сравнение имеющихся сведений по ГИС мониторинга факторов окружающей среды в окрестности аэропорта. Акцент в основном был на инвентаризационном анализе и моделировании рассеяния, также был разработан ряд, так называемых, моделей второго поколения (например, PolEmiCa, Isobella, 3PRisk) для поддержки управления загрязнением воздуха, шумом, безопасностью в окрестности аэропорта. Разработанные национальные модели сравниваются с аналогичными средствами расчета, разработанными в мире. Различия между результатами расчетов средствами оценки шума и эмиссии находятся в пределах 10%, что представляет приемлемое значение, принимая во внимание различия между применяемыми подходами для моделирования. На сегодняшний день эти модели достаточно эффективно используются в целях оценки воздействия на ГИС-платформах, частично из-за их высокой требование относительно данных, особенно пространственных. Результаты статьи могут быть внедрены в процессе эксплуатации воздушных средств в условиях реализации интеллектуальных систем управления транспортом.

Ключовые слова: аэропорт, ГИС, мониторинг, шум, безопасность, качество воздуха, электромагнитные поля.

Статтю прийнято
до редакції 22.05.14.

УДК 519.766.4

ПРОГНОЗУВАННЯ ОБ'ЄМІВ ІМПОРТУ ПРИРОДНОГО ГАЗУ В УКРАЇНУ З ВИКОРИСТАННЯМ ФІЛЬТРА КАЛМАНА

Караюз І.В., Бідюк П.І.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Робота присвячена розв'язанню задачі короткострокового прогнозування процесу імпорту природного газу в Україну на основі регресійних моделей і адаптивного фільтра Калмана. Мета роботи: побудова адекватної моделі для прогнозування процесу імпорту природного газу і застосування адаптивного фільтра Калмана для отримання оптимальних оцінок стану досліджуваного процесу. Для оцінювання стану процесу імпорту природного газу застосовано різні варіанти оптимального адаптивного фільтра Калмана, які передбачають повторне обчислення коваріацій похибок вимірів за допомогою рухомих вікон даних. Основні результати роботи: регресійні моделі процесу імпорту природного газу та оцінки короткострокових прогнозів, отримані на основі адаптивного фільтра Калмана з ковзним вікном для обчислення коваріації похибок вимірів. Таким чином, на основі статистичних даних побудовано адекватну модель досліджуваного процесу із застосуванням адаптивного оптимального фільтра Калмана, який забезпечив обчислення високоякісних оцінок прогнозів для ковзного вікна розмірністю три виміри.

Ключові слова: регресійна модель, адаптивний фільтр Калмана, імпорт природного газу, короткострокове прогнозування.

Вступ. Прогнозування розвитку макроекономічних процесів – одна із самих поширених задач економетричного аналізу [1, 2]. Для розв'язання цієї задачі розроблено множину методів, які забезпечують отримання високоякісних коротко- та середньострокових прогнозів для стаціонарних і нелінійних нестаціонарних процесів [3, 4]. Задачі прогнозування особливо актуальні для економік, що розвиваються, оскільки макроекономічні процеси у таких економіках, як правило, протікають в умовах наявності багатьох збурюючих впливів, мають високу динаміку, тренди, нелінійності різних типів, скачкоподібні переходи і т. ін. Це зумовлює необхідність застосування спеціальних методів оцінювання станів досліджуваних процесів з метою врахування випадкових впливів.

Робота присвячена актуальній задачі: короткостроковому прогнозуванню макроекономічного процесу – об'єму імпорту природного газу в Україну. Для розв'язання цієї задачі використано дані Державної служби статистики України (Держстат) [5], а саме форми державного статистичного спостереження «Експорт – імпорт окремих видів товарів за країнами світу», форма містить статистичні похибки (похибки вимірів). Отже використання оптимальних фільтрів є обґрунтованим та необхідним. Виконано порівняльний аналіз результатів роботи фільтра Калмана (ФК), адаптивного фільтра Калмана (АФК) [6] та адаптивного фільтра Калмана із вікном (АФКВ).

Мета. Побудова адекватної моделі для прогнозування процесу імпорту природного газу в Україну і застосування адаптивного фільтра Калмана для отримання оптимальних оцінок стану досліджуваного процесу.

Постановка задачі:

1. Побудувати математичну модель для опису об'ємів імпорту природного газу в Україну на основі наявних статистичних даних з метою обчислення оцінок короткострокових прогнозів. Перевірити гіпотезу щодо нормального закону розподілу похибок моделі.
2. Застосувати ФК, АФК та АФКВ для оптимального оцінювання стану – об'ємів імпорту природного газу і короткострокового прогнозування.
3. Виконати порівняльний аналіз оцінок прогнозів отриманих за побудованою моделлю та вказаних фільтрів.

Модель процессу. Досить часто прийнятну якість оцінок прогнозів можна отримати за допомогою моделей авторегресії, авторегресії з ковзним середнім або



авторегресії з інтегрованим ковзним середнім. Розглянемо можливість побудови моделі у формі розширеної авторегресії такого вигляду:

$$y(k) = a_0 + \sum_{i=1}^{p} a_i y(k-i) + \sum_{j=1}^{q} b_j x(k-j) + \varepsilon(k),$$

де p – порядок авторегресії; q – порядок регресії; $y(k)$ – вимір у момент k; $x(k)$ – вимір регресора в момент k; a_i – i-й параметр авторегресійної частини моделі; b_j – j-й параметр регресійної частини моделі; $\varepsilon(k)$ – випадкова нормально розподілена величина. Такі моделі дають можливість будувати функції прогнозування на довільну кількість кроків з використанням умовного математичного сподівання.

Алгоритм фільтрації лінійної системи. Враховуючи наявність впливу на макроекономічні процеси перехідних економік великої кількості збурень, необхідно застосувати адаптивний алгоритм оптимальної фільтрації, наприклад, фільтр Калмана. Послідовність виконання цієї процедури для скалярного випадку наведена нижче [7].

Крок 1. Математична модель лінійної динамічної системи:

$$x(k) = F(k)x(k-1) + C(k)u(k-1) + w(k-1);$$

де $x(k) = y(k)$ – вектор (змінна) стану процесу; $F(k) = \alpha_1$ – коефіцієнт динаміки; $C(k)u(k-1) = \alpha_0 + \beta_1 x(k-1)$ – врахування керуючого впливу (регресора); $w(k) \sim N(0, Q(k))$ – випадкові збурення стану; $z(k) = H(k)\,x(k) + v(k)$ – рівняння вимірів; $H(k) = 1$ – коефіцієнт чутливості вимірів; $v(k) \sim N(0, R(k))$ – шум датчика; початкові умови: $E\{x_0\} = \hat{x}_0$, $E\{\hat{x}_0, \hat{x}_0^{\mathrm{T}}\} = P_0 = P_0'$; $P(k)$ – апостеріорна коваріаційна матриця похибок оцінок вектора стану; $P'(k)$ – апріорна коваріаційна матриця похибок оцінок вектора стану; $K(k)$ – коефіцієнт фільтра Калмана; початкові коваріації:

$$x(k) = F(k)x(k-1) + C(k)u(k-1) + w(k-1);$$

$$E\{w(k), v^{\mathrm{T}}(k)\} = 0, \quad E\{w(k), x_0^{\mathrm{T}}(0)\} = 0, \quad E\{v(k), x_0^{\mathrm{T}}\} = 0.$$

Крок 2. Екстраполяція оцінки стану:

$$\hat{x}(k) = F(k)\hat{x}(k-1) + C(k)u(k-1) = \alpha_1 y(k-1) + \alpha_0 + \beta_1 x(k-1).$$

Крок 3. Екстраполяція коваріації похибок оцінок:

$$P'(k) = F(k)P(k-1)F^{\mathrm{T}}(k) + Q(k-1) = \alpha_1^2 P(k-1) + Q(k-1).$$

Крок 4. Скалярний коефіцієнт фільтра: для адаптивних фільтрів будемо перераховувати коваріацію похибок вимірів (шуму) як середньоквадратичне відхилення похибок фільтру: $R(k) = \sqrt{E\{\hat{x}_0, \hat{x}_0^{\mathrm{T}}\}}$. Для АФКВ використовуються виміри з вікна даних вибраного розміру.

$$K(k) = P'(k)H^{\mathrm{T}}(k)\{H(k)P'(k)H^{\mathrm{T}}(k) + R(k)\}^{-1} = \frac{P'(k)}{P'(k) + R(k)}.$$

Крок 5. Перерахунок оцінки стану з урахуванням виміру $z(k)$:

$$\hat{x}(k) = \hat{x}(k) + K(k)[z(k) - H(k)\hat{x}(k)].$$

Крок 6. Перерахунок коваріації похибок оцінок:

$$P(k)=[I-K(k)H(k)]P'(k).$$

Крок 7. Перейти на крок 2.

Критерії вибору кращих моделей. Для вибору кращої моделі з множини оцінених кандидатів використано такі критерії якості:

- середньоквадратична похибка:

$$e(i)=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left[y(i)-\hat{y}(i)\right]^2;$$

- критерій Дарбіна-Уотсона:

$$DW=2-2\rho;$$

де ρ – коефіцієнт корельованості похибок моделі між собою.

Статистики для перевірки якості оцінок прогнозів:

- середньоквадратична похибка (СКП):

$$\text{СКП}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left[y(i)-\hat{y}(i)\right]^2;$$

- середня абсолютна похибка прогнозу (САПП):

$$\text{САПП}=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|\frac{y(i)-\hat{y}(i)}{y(i)}\right|*100;$$

- коефіцієнт Тейла:

$$U=\frac{\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(y(i)-\hat{y}(i))^2}}{\sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}y(i)^2}+\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\hat{y}(i)^2}.$$

Статистичні дані стосовно імпорту газу в Україну (млн. м^3), використані для побудови моделі, наведено на рис. 1.

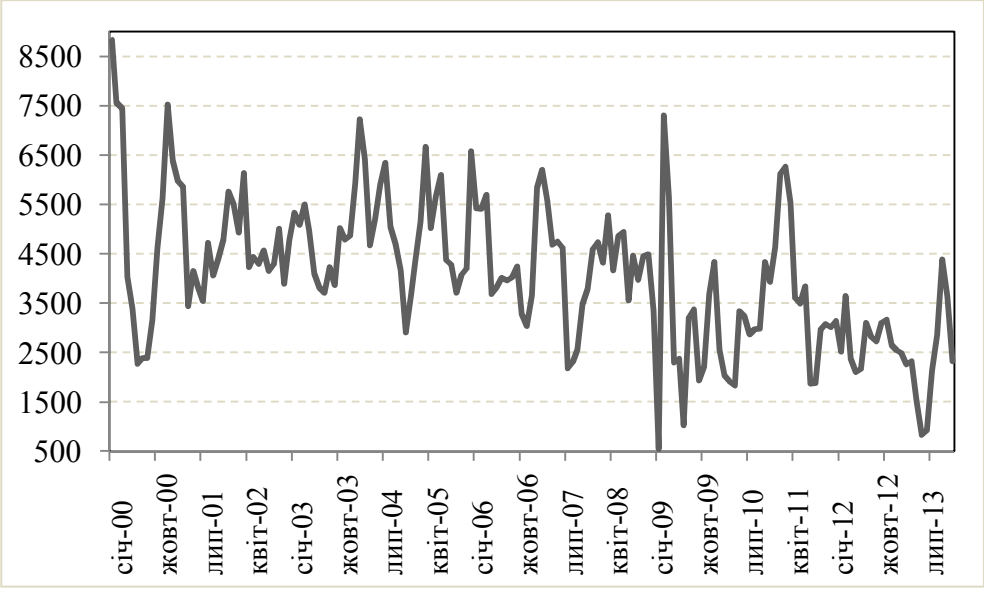


Рисунок 1 – Імпорт газу (по осі ординат у млн. м^3)

Побудуємо модель, яка складається з авторегресії 1-го порядку та регресії від споживання:

$$y(k) = a_0 + a_1 y(k-1) + b_1 x(k-1) + \varepsilon(k),$$

де $y(k)$ – об'єм імпорту газу; $x(k)$ – об'єм споживання газу. Після оцінювання параметрів моделі отримаємо таке рівняння:

$$y(k) = 1211{,}1 + 0{,}6 \cdot y(k-1) + 0{,}1 \cdot x(k-1).$$

Перевіримо закон розподілу похибки. Будуємо гістограму (рис. 2) та, використовуючи критерій згоди, перевіряємо гіпотезу, що розподіл є нормальним:

$$\sum_{k=1}^{r} \frac{(n_k - np_k)^2}{np_k} = 5{,}94 < 7{,}8 = \chi^2_{\alpha,3} = \chi^2_{0.05,3}$$ – гіпотеза приймається.

У наведеному виразі: n – кількість вимірів; r – кількість інтервалів; n_k – кількість вимірів, що потрапили у відповідний інтервал; p_k – ймовірність потрапляння у відповідний інтервал за нормальним законом; α – рівень значущості.

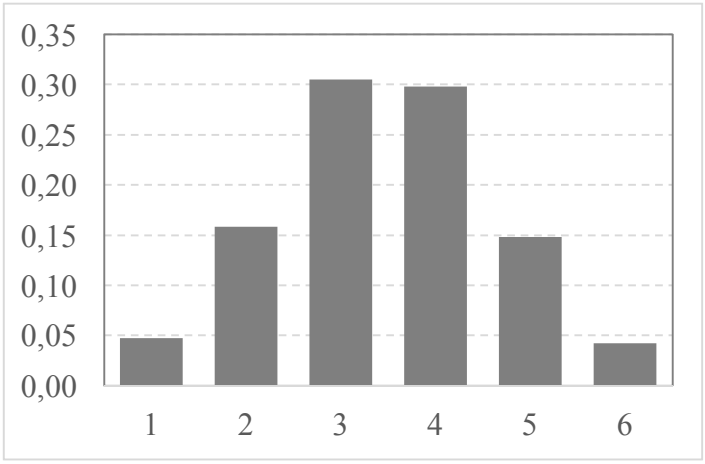


Рисунок 2 – Гістограма похибки моделі імпорту газу

Якість обраної моделі характеризується такими статистиками: $R^2 = 0{,}51$; $e(i) = 994916$; $DW = 1{,}94$. Якість однокрокового прогнозу характеризують статистики, наведені у табл. 1. Мінімальне значення середньої абсолютної похибки у процентах склало 8,95 % при використанні адаптивного фільтра з вікном даних для обчислення коваріацій похибок вимірів шириною три значення. Найбільше значення САПП отримано для адаптивного фільтра, описаного в [6].

Таблиця 1 – Якість прогнозу

	ФК	***АФК***	***АФКВ 20***	***АФКВ 10***	***АФКВ 5***	***АФКВ 3***
СКП	254053	326009	278887	256746	213547	180396
САПП	13,10	15,47	13,74	12,52	10,15	8,95
U	0,08	0,10	0,09	0,08	0,08	0,07
K	0,54	0,46	0,52	0,56	0,65	0,72

На рис. 3 наведено залежності значень САПП та коефіцієнта АФК від розміру вікна даних, використаних для адаптації алгоритму оптимальної фільтрації. Зростання коефіцієнта фільтра при зменшенні розміру вікна свідчить про зменшення значення відповідної коваріації, яка розраховується за даними.

В табл. 2 наведено оцінки прогнозів на 1–3 кроки з використанням різних алгоритмів оптимального оцінювання стану. Очевидно, що прогноз на три кроки незадовільний, за винятком оцінки, обчисленої за АФКВ 3. Для підвищення якості оцінок у модель необхідно ввести складову, яка описує тренд процесу.

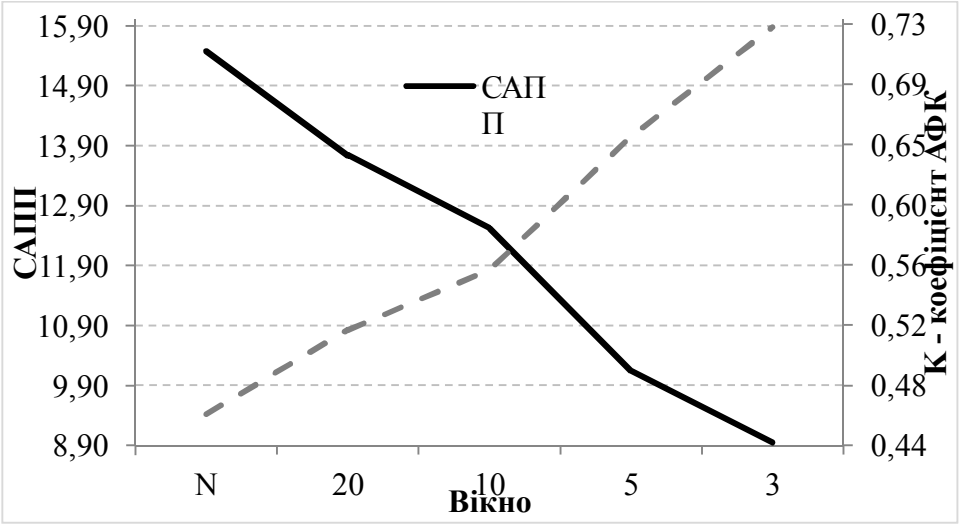


Рисунок 3 – Залежність САПП та коефіцієнту АФК від розміру вікна

Таблиця 2 – Прогноз на 3 кроки

	Грудень 2013		***Січень 2014***		***Лютий 2014***	
	прогноз	***%***	***прогноз***	***%***	***прогноз***	***%***
Дані	2303		2471		1649	
ФК	2787	-21,0	2898	-17,3	2510	-52,2
АФК	2901	-25,9	3009	-21,8	2696	-63,5
АФКВ 3	2725	-18,3	2760	-11,7	1895	-14,9
АФКВ 5	2525	-9,6	2695	-9,1	2158	-30,9
АФКВ 10	2722	-18,2	2838	-14,9	2410	-46,1
АФКВ 20	2754	-19,6	2853	-15,5	2419	-46,7

Для підвищення якості оцінок прогнозів у модель необхідно ввести складову, яка описує тренд процесу:

$$y(k) = a_0 + \sum_{i=1}^{p} a_i y(k-i) + \sum_{j=1}^{q} b_j x(k-j) + \sum_{l=1}^{m} c_l k^l + \varepsilon(k).$$

Після оцінювання параметрів моделі отримаємо таке рівняння:

$$y(k) = 1540{,}9 + 0{,}4 \cdot y(k-1) + 0{,}1 \cdot x(k-1) + 18{,}4 \cdot k - 0{,}3 \cdot k^2 + 0{,}001 \cdot k^3.$$

Перевіримо закон розподілу похибки. Будуємо гістограму (рис. 4) та, використовуючи критерій згоди, перевіряємо гіпотезу, що розподіл нормальний:

$$\sum_{k=1}^{r} \frac{(n_k - np_k)^2}{np_k} = 6{,}1 < 7{,}8 = \chi^2_{\alpha,3} = \chi^2_{0.05,3}$$ – гіпотеза приймається.

Тут: n – кількість вимірів; r – кількість інтервалів; n_k – кількість вимірів, що потрапили в відповідний інтервал; p_k – ймовірність потрапляння в відповідний інтервал за нормальним законом; α – рівень значущості.

Якість обраної моделі характеризується такими статистиками: $R^2 = 0{,}59$; $e(i) = 823443$; $DW = 1{,}9$. Якість однокрокового прогнозу характеризують статистики, наведені у табл. 3. Мінімальне значення середньої абсолютної похибки у процентах склало 6,83 % при використанні адаптивного фільтра з вікном даних для обчислення коваріацій похибок вимірів шириною три значення. Найбільше значення САПП отримано для адаптивного фільтра, описаного в [6].

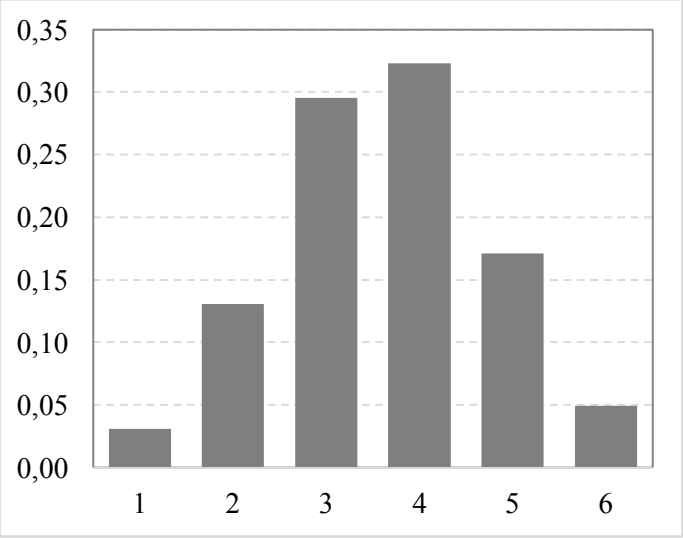


Рисунок 4 – Гістограма похибки моделі імпорту газу

Таблиця 3 – Якість прогнозу

	ФК	***АФК***	***АФКВ 20***	***АФКВ 10***	***АФКВ 5***	***АФКВ 3***
СКП	221372	240682	232166	211167	156820	128024
САПП	11,96	13,00	12,41	11,32	8,72	6,83
U	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,06
K	0,52	0,48	0,51	0,56	0,67	0,77

У табл. 3 наведено залежності значень САПП та коефіцієнта АФК від розміру вікна даних, використаних для адаптації алгоритму оптимальної фільтрації. Зростання коефіцієнта фільтра при зменшенні розміру вікна свідчить про зменшення значення відповідної коваріації, яка розраховується за даними.

В табл. 4 наведено оцінки прогнозів на 1–3 кроки з використанням різних алгоритмів оптимального оцінювання стану і другої моделі, яка враховує тренд.

Таблиця 4 – Прогноз на 3 кроки

	Грудень 2013		Січень 2014		Лютий 2014	
	прогноз	%	прогноз	%	прогноз	%
Дані	2303		2471		1649	
ФК	2585	-12,3	2699	-9,2	2224	-34,8
АФК	2619	-13,7	2729	-10,5	2288	-38,7
АФКВ 20	2576	-11,9	2689	-8,8	2202	-33,6
АФКВ 10	2563	-11,3	2677	-8,4	2178	-32,1
АФКВ 5	2478	-7,6	2624	-6,2	2077	-25,9
АФКВ 3	2384	-3,5	2522	-2,1	1689	-2,4

Висновки. На основі статистичних даних щодо імпорту природного газу в Україну побудовано регресійні моделі для короткострокового прогнозування об'єму імпорту. Для оцінювання стану процесу імпорту газу застосовано різні варіанти оптимального фільтра Калмана. Кращі результати прогнозування отримано в результаті застосування адаптивного фільтра з ковзним вікном розміром три значення для розрахунку коваріацій, а гірші за допомогою відомого алгоритму АФК для обох побудованих моделей. Гірші результати застосування відомого АФК можна пояснити наявністю застарілої інформації при перерахуванні коваріації шуму вимірів.

У подальших дослідженнях для прогнозування макроекономічних процесів необхідно застосувати множину взаємодоповнюючих методів прогнозування і процедури комбінування оцінок, отриманих за допомогою різних методів. Також необхідно врахувати зміни у зовнішніх впливах на макроекономіку держави.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Хачатрян С. Р. Методы и модели решения экономических задач / С. Р. Хачатрян, М. В. Пинегина, В. П. Буянов. – М. : Экзамен, 2005. – 384 с.

2. Бидюк П. И. Анализ и моделирование процессов переходной экономики / П. И. Бидюк, О. В. Половцев. – К. : ПЛАБ-75, 1999. – 210 с.

3. Довгий С. О. Методи прогнозування у системах підтримки прийняття рішень / С. О. Довгий, П. І. Бідюк, О. М. Трофимчук. – К. : Азимут-Україна, 2011. – 607 с.

4. Pole A. Applied Bayesian forecasting and time series analysis / A. Pole, M. West, J. Harrison. – New York : Chapman & Hall/CRC, 1994. – 409 p.

5. Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.ukrstat.gov.ua/, вільний. – Заголовок з екрану. – Мова укр., рос., англ.

6. Nummenmaa A. Recursive Noise Adaptive Kalman Filtering by Variational Bayesian Approximations / S. Sarkka, A. Nummenmaa // IEEE Transactions on Automatic Control. – 2009. – Vol. 54 (3). – P. 596-600.

7. Grewal M. S. Kalman fltering: theory and practice using MATLAB / M. S. Grewal, A. P. Andrews. – [3rd ed.]. – Hoboken, New Jersey : A John Wiley & Sons, Inc., 2008. – 575 p.

Караюз И.В., Бидюк П.И. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОБЪЕМОВ ИМПОРТА ПРИРОДНОГО ГАЗА В УКРАИНУ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЛЬТРА КАЛМАНА

В работе решается задача краткосрочного прогнозирования процесса импорта природного газа в Украину на основе регрессионных моделей и адаптивного фильтра Калмана. Цель работы: построение адекватной модели для прогнозирования процесса импорта природного газа и использования адаптивного фильтра Калмана для получения оптимальных оценок состояний исследуемого процесса. Для оценки состояния процесса импорта природного газа использованы разные варианты оптимального адаптивного фильтра Калмана, которые предусматривают повторное вычисление ковариации погрешностей измерений при помощи скользящих окон данных. Основные результаты работы: регрессионные модели процесса импорта природного газа и оценки краткосрочных прогнозов, полученные на основе адаптивного фильтра Калмана со скользящим окном для вычисления ковариации погрешностей измерений. Таким образом, на основе статистических данных построена адекватная модель исследуемого процесса с использованием адаптивного оптимального фильтра Калмана, который обеспечил вычисления высококачественных оценок прогнозов для скользящего окна размерности три измерения.

Ключевые слова: регрессионная модель, адаптивный фильтр Калмана, импорт природного газа, краткосрочное прогнозирование.

Karayuz I.V., Bidyuk P.I. FORECASTING IMPORT OF NATURAL GAS INTO UKRAINE USING KALMAN FILTER

The paper considers solution of the problem of short-term forecasting for import of natural gas into Ukraine. The main purpose of the study is constructing of high quality model for forecasting the process of import of natural gas and application of Kalman filter for computing optimal estimates of states for the process under investigation. Different algorithms of optimal adaptive Kalman filter were applied for computing the state of the import process that suppose repetitive computing of measurement errors covariances using moving data windows. The basic results of the study are as follows: regression models for the process of import of natural gas and estimates of short-term forecasts based on adaptive Kalman filter with moving window for computing measurement errors covariances. Thus, on the basis of statistical data an adequate model was constructed for the process under study with Kalman filter application that provided estimation of high quality forecasts for window size of three samples.

Keywords: regression model, adaptive Kalman filter, import of natural gas, short-term forecasting.

Статтю прийнято
до редакції 2.06.14.



УДК 656.7.084.17(08)

ЛЮДСЬКИЙ ЧИННИК В АЕРОНАВІГАЦІЇ: РІВНІ ДОМАГАНЬ АВІАДИСПЕТЧЕРІВ ПРИ ОЦІНЦІ БАЖАНОСТІ ВІДСТАНІ МІЖ ПОВІТРЯНИМИ СУДАМИ

Мухтаров П.Ш.

Головний центр Єдиної системи управління повітряним рухом держпідприємства AZANS, м. Баку, Азербайджанська Республіка

Враховуючи вплив людського чинника на безпеку польотів, розглянутий рівень домагань авіадиспетчерів як важливий показник індивідуальної оцінки небезпеки порушення норми ешелонування S=10 km у зоні відповідальності APP TMA. Здійснений аналіз характерних точок оцінних функцій корисності, що були побудовані 70-ма професійними авіадиспетчерами – працівниками азербайджанської аеронавігаційної системи. Розроблені пропозиції щодо врахування показників рівнів домагань та інших характерних точок функцій корисності для проведення професійного навчання та організації особистісно-орієнтованої підготовки на тренажерах.

Ключові слова: аеронавігаційні системи, безпека польотів, людський чинник, ризики порушення норми ешелонування, характерні точки оцінних функцій корисності, рівень домагань авіадиспетчерів.

Вступ. Ось вже впродовж багатьох десятиліть людський чинник (ЛЧ) є першопричиною абсолютної більшості небажаних авіаційних подій (АП) [1]. Феномен популярності концепції ЛЧ у аналізі безпеки польотів (БП) пояснюється, насамперед, розповсюдженням розуміння неблагополучного змісту окремих ланок всього складного комплексу авіаційної індустрії: проектування авіаційної техніки (АТ), природного, соціального середовища діяльності, способів експлуатації АТ, загальної організації діяльності авіаційного персоналу. Наслідком цього є розведення «біди» і «провини» суб'єкта-«винуватця» АП: увага акцентується переважним чином не на факт допущених людиною неправильних або помилкових дій, а на причини, які змусили людину поступити не кращим чином. Причому, кількісні розрахунки у проектуванні структурно-складних ергатичних комплексів здійснюються, як правило, з позицій ідеального виконання авіаційним персоналом професійних обов'язків. У випадках включення ЛЧ в описи людино-машинних комплексів наголошується невизначеність розрахунків. Таким чином, формування предмету ЛЧ складає окремий сектор техногенної діяльності, де неможливо або складно застосувати кількісні наукові методи [2].

У системотехнічному підході визнається, що авіаційні оператори (АО) «переднього краю» (авіадиспетчера (А/Д), члени льотного екіпажу) мають обмежені можливості і є носіями потенційних порушень у психічній, фізіологічній і соціальній сферах [3]. Через це виникає певна ненадійність при виконанні стандартних операційних процедур (standard operation procedures, -SOP) під час взаємодії АО з АТ чи обслуговуванні повітряного руху (ОПР) і, як наслідок, загроза БП. Цю природу АО називають «психофізіологічними небезпечними чинниками польоту» (ПФНЧП).

Класифікація ПФНЧП містить чотири групи, що об'єднують 42 небезпечних чинники і практичні рекомендації їх подолання [4]. Контрольний перелік FSF містить близько 150 небезпечних чинників, структурованих у вісім груп на психологічному, професійному й організаційному рівнях [5]. Останні «кількісні досягнення» налічують вже 1800 чинників. Їх природа украй різнорідна і насилу піддається раціональному опису і розрахункам. Тому відокремлення з зазначеного переліку ПФНЧП таких, що піддаються, з одного боку, кількісному опису, а, з іншого боку, мають зрозумілий фізичний сенс, є актуальною проблемою профілактики АП по ЛЧ.

Актуальність досліджень. За думкою Д. Мейстера, «наука про людський чинник – це єдина наука про поведінку людини, що орієнтована в область техніки» [6, С. 13].

Історично склалося, що оптимізація управління в цивільній авіації будувалася на ретроактивному реагуванні на АП, що вже відбулися. Внаслідок цього виникли поняття та

наукова дисципліна «аваріологія», в якій об'єднуються методи та прийоми розслідування АП, встановлення їх причин та формування рекомендацій по їх запобіганню.

Задача аваріології полягає в тім, щоби після того, як відбулася АП, зібрати, систематизувати, проаналізувати інформацію, співставити її зі SOP і класифікаціями, що ґрунтуються на узагальненому досвіді. Далі визначаються ознаки відхилення від SOP і співвідносяться з класами статистично накопичених та ідентифікованих причин попередніх АП. Очікуваним результатом є встановлення характеристик особистості АО і причин помилкових дій [2]. Накопичена в такий спосіб інформація застосовується для реалізації так званих «циклів безпеки», рекомендованих ІКАО (рис. 1) [7].

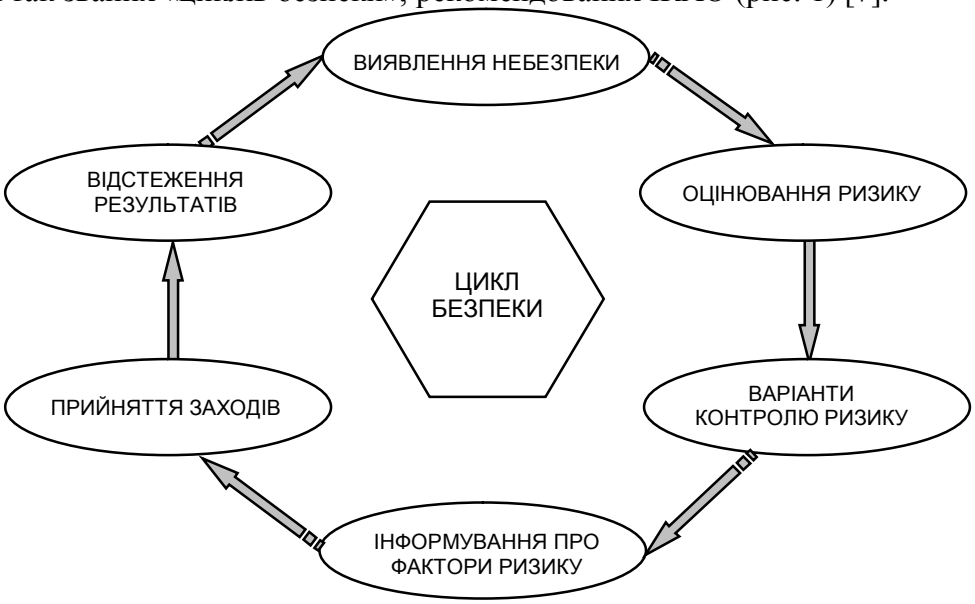


Рисунок 1 – «Цикл безпеки» ІКАО

У частині, що стосується безпосередньо членів льотного екіпажу, «цикл небезпеки», поданий на рис. 1, реалізується у вигляді так званих «золотих правил» (рис. 2) [8]. Враховуючи універсальність цих «правил», вважаємо можливим розповсюдити їх й на професійну діяльність А/Д.

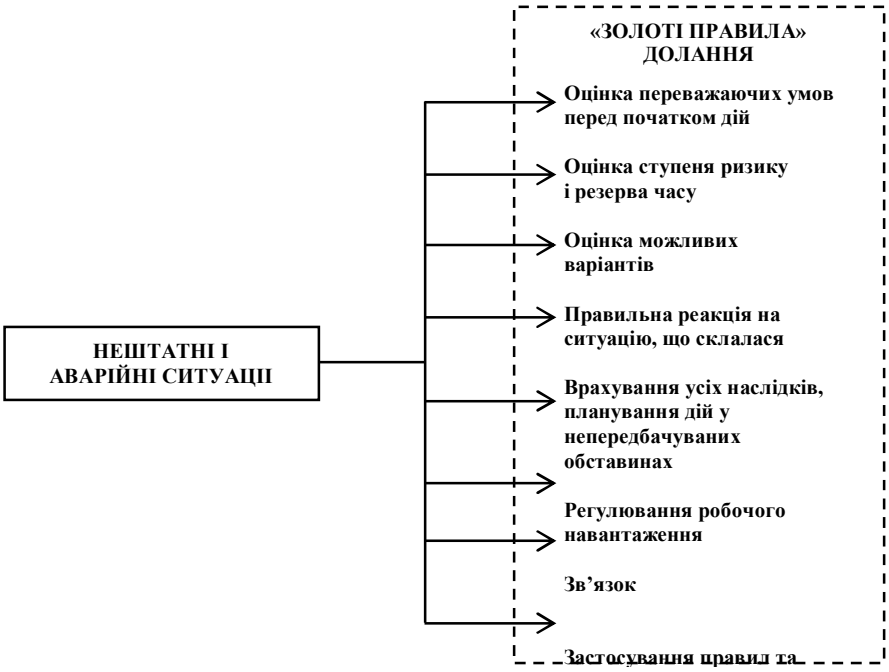


Рисунок 2 – «Золоті правила», рекомендовані льотним екіпажам для долання наслідків нештатних і аварійних ситуацій



Встановлена певна кореляція між характером помилкових дій та особистісними якостями АО. У зв'язку з цим головним напрямком психологічних досліджень при розслідуванні АП стає виявлення негативних індивідуальних психологічних особливостей АО та їх психологічної сумісності у сформованому льотному екіпажі чи диспетчерській зміні. Психологічне обстеження АО, неправильні дії яких призвели до АП, дозволило виявити такі їх психічні функції та характерологічні особливості [9]:

- направленість особи (рівень домагань (РД), адекватність самооцінки);
- інтелектуальні риси (швидкість протікання розумових процесів, кмітливість, здібність оперувати просторовими уявленнями);
- увага (уміння концентрувати її при наявності перешкод, розподіляти і переключати увагу);
- емоційні риси (емоційна стійкість та емоційна збудливість);
- оперативна пам'ять.

З роботи [10] витікає, що найменш дослідженими з перелічених психічних функцій та характерологічних особливостей є РД та самооцінки (СО). У працях [10-13] доведено, що РД АО можуть бути визначені у зрозумілих у фізичному сенсі показниках, зокрема йдеться про кількість повітряних суден (ПС), що одночасно знаходяться на управлінні в А/Д, та відстані між ПС при заході на посадку (ЗП). Однак, вважаємо, що на теперішній час в аеронавігаційних системах більш актуальними були б відповідні дослідження на показниках норм ешелонування повітряного простору.

Виходячи з наведеного, **метою** нашого дослідження є встановлення РД А/Д при оцінці бажаності відстані між ПС при порушенні норми ешелонування S=10 km, що встановлена для диспетчерського району APP (Approach Control диспетчерське обслуговування ЗП) TMA (Terminal Control Area, – вузловий диспетчерський район) з використанням автоматизованої системи (АС) управління повітряним рухом (УПР).

Результати досліджень з визначення та аналізу рівнів домагань авіадспетчерів на континуумі відстані між повітряними судами S=10 km. Як показує досвід досліджень [10–14], шуканий РД зручно визначати, спираючись на аналіз оцінної функції корисності-безпеки (ОФПБ), яка будується для відкритої задачі прийняття рішень (рис. 3).

Як можна побачити з прикладу на рис. 3, по-перше, побудова ОФПБ не викликає труднощів, по-друге, вони є такими, що зростають, по-третє, при їх аналізі доцільно досліджувати такі три характерні точки:

- S^* – тобто РД, під яким у контексті наших досліджень розумітимемо таку відстань між ПС, що відповідає максимальному приросту показника корисності (бажаності);
- S_- – відстань між ПС, що відповідає максимальному негативному стрибку корисності в уяві випробуваного А/Д;
- S_0 – відстань між ПС, що відповідає переходу від негативного її сприйняття до позитивного.

До досліджень були залучені 70 професійних А/Д – співробітників Головного центру єдиної системи управління повітряним рухом держпідприємства AZANS Азербайджанської Республіки. Результати статистичної обробки показників вищезазначених характерних точок, що були отримані при аналізі їх індивідуальних ОФПБ подані у табл. 1.

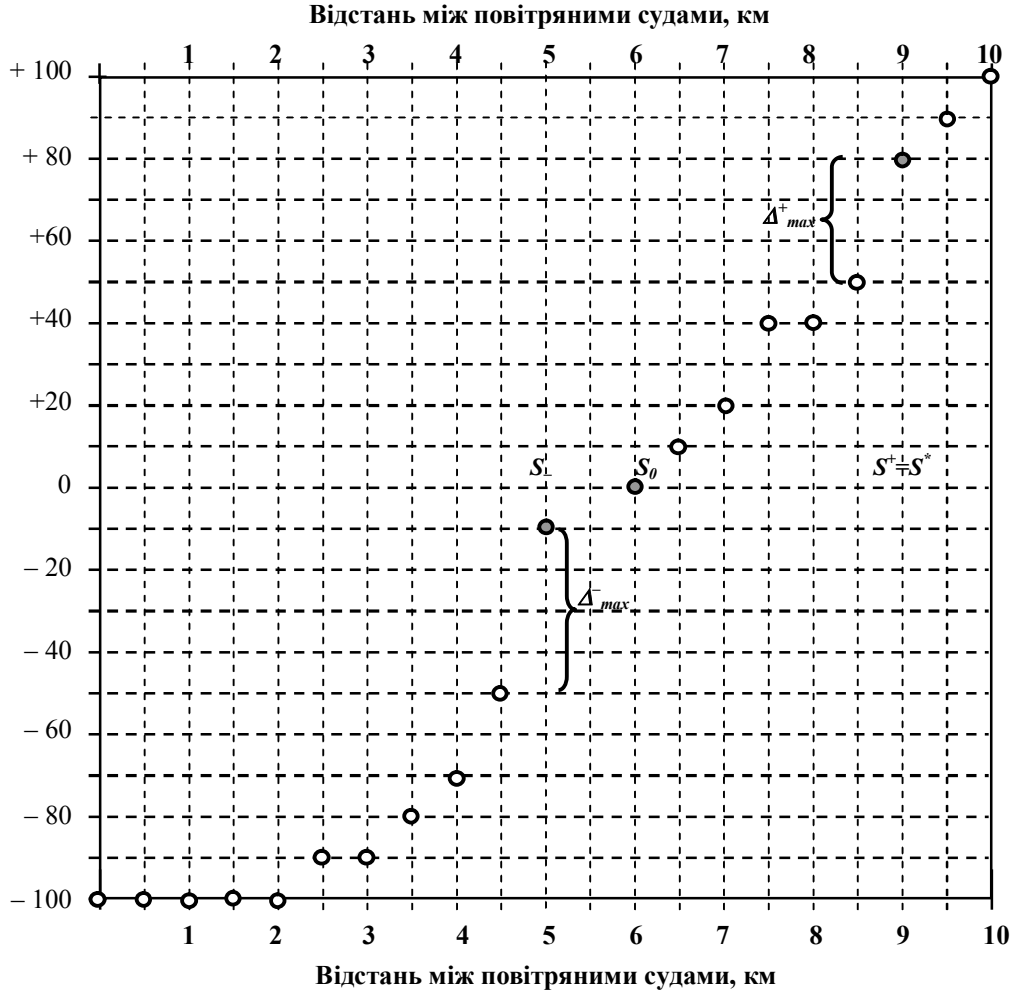


Рисунок 3 – Парадигма оцінної функції корисності-безпеки бажаності відстані між повітряними судами в зоні відповідальності АРР ТМА

Таблиця 1 – Результати статистичної обробки показників характерних точок оцінних функцій корисності-безпеки норми ешелонування S=10 km.

№ з/п	*Характерна точка оцінної функції корисності-безпеки*	*Статистичні показники*					
		$\overline{S}$	*D*	*s*	*As*	*Ex*	*u*, %
1	$S_{\perp}$	4,44	1,68	1,29	0,01	2,35	29,15
2	S_0	5,84	1,81	1,35	0,33	3,80	23,03
3	S^{*}	8,40	2,12	1,46	–0,56	2,67	17,32
ПРИМІТКА: $\overline{S}$ – середнє значення показника; *D* – дисперсія; *s* – середнєквадратичне відхилення; *As* – асиметрія; *Ex* – ексцес; *u* – коефіцієнт варіації							

Як можна побачити з табл. 1, середній рівень переходу негативного сприйняття відстані між ПС у позитивний майже точнісенько дорівнює половині досліджуваної норми ешелонування. Що відповідає також критеріям ІКАО щодо небезпечного зближення ПС [2, 14]. Отримані результати обчислень підтверджують високий рівень узгодженості думок випробуваних експертів-А/Д, про що свідчать невеликі значення коефіцієнтів варіації і низькі значення асиметрії. Значення ексцеса для характерної точки S_0 свідчать про островершинність розподілу думок, для РД, S^{*} майже нормальний, а для характерної точки $S_{\perp}$ – проміжне між нормальним і плосковершинним.

Узагальнене значення РД складає 84 % від встановленої норми ешелонування. Таким чином, А/Д, здійснюючи СО індивідуальних знань, навичок, вмінь, тим самим висловлюють думку щодо можливості забезпечення належного рівня БП при погіршенні

повітряної обстановки.

Отримані значення характерних точок доцільно застосовувати при проведенні професійного навчання, розборів та організації особистісно-орієнтованої тренажерної підготовки А/Д. При цьому, враховуючи досвід досліджень [13, 15], уявляється можливим розв'язання «трикутника ризиків» ІКАО [7], спираючись на ці точки (табл. 2).

Таблиця 2 – Розв'язання «трикутника ризиків» ІКАО, спираючись на характерні точки оціночної функції корисності-безпеки

№ з/п	*Критерії небезпеки (ризику)*		*Відстань між повітряними судами, км*
	якісні	*кількісні*	
1	Неприйнятний	$S \le S_0$	$S \le 5{,}84$
2	Припустимий	$S_0 < S \le S^*$	$5{,}84 < S \le 8{,}40$
3	Прийнятний	$S > S^*$	$S > 8{,}40$

Таким чином, слід констатувати факт розв'язання «трикутника ризиків» у поняттях відстаней між ПС, які мають добре зрозумілий фізичний сенс.

Висновки. Визначено, що одним із важливих ПФНЧП є РД як показник СО АО мотивації на дотримування безпечних SOP під час УПР. Адже неадекватність РД може призвести до дезадаптивної поведінки, неефективності виконання АО SOP, до ускладнень у міжособистісних стосунках. Заниження РД, яке розвивається внаслідок дефіциту соціально значущого успіху в професійній діяльності АО, може спричинити зниження мотивації, невпевненість та загальний страх перед труднощами, що може негативно вплинути на БП.

Розроблена і подана процедура побудови ОФПБ для відкритих задач прийняття рішень, в яких досліджується порушення норми ешелонування повітряного простору S=10 km в зоні відповідальності АРР ТМА. Аналіз цих функцій дозволяє виявити не тільки РД, але ж і характерні показники переходу негативного сприйняття відстані між ПС в позитивне, а також відстань, яка відповідає максимальному негативному уявленню А/Д щодо можвивості забезпечення в такому випадку належного рівня БП.

Грунтовний статистичний аналіз отриманих показників показує узгодженість думок випробуваних, що дозволяє застосовувати отримані результати при проведенні професійного навчання, розборів, а також особистісно-орієнтованої тренажерної підготовки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Основные принципы учета человеческого фактора в руководстве по проведению проверок безопасности полетов : Doc. ICAO 9806 – AN / 763. – Монреаль, Канада, 2002.

2. Плотников Н. И. Проектирование транспортных комплексов. Воздушный транспорт / Н. И. Плотников. – Новосибирск : ЗАО ИПЦ АвиаМенеджер, 2010. – 393 с.

3. Руководство по предотвращению авиационных происшествий : Doc. ICAO 9422 – AN / 923. – Изд-е первое. – Монреаль, Канада, 1984.

4. Козлов В. В. Безопасность полетов : от обеспечения к управлению / В. В. Козлов. – М., 2010. – 270 с.

5. Shappell S. A. The Human Factors Analysis and Classification System (HFACS) / S. A. Shappell, D. A. Wiegmann // FSF Flight Safety Digest. – 2001, Feb. – P. 15-28.

6. Человеческий фактор. В 6 т. – Т. 1. Эргономика – комплексная научно-техническая дисциплина : пер. с англ. / [Ж. Кристенсен, Д. Мейстер, П. Фоули и др.] ; под. ред. Г. Салвенди. – М. : Мир, 1991. – 599 с.

7. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП) : Doc. ICAO 9859 – AN / 474. – Монреаль, Канада, 2009.

8. Материалы международного семинара по сокращению количества авиационных происшествий при заходе на посадку и посадке (ALAR Tool Kit –

Руководство ALAR). – Россия, Москва, 29-30 июля 2003 г.

9. Правила медичного розслідування авіаційних подій – Затв. Наказом Державної служби України з нагляду за забезпеченням безпеки авіації 05.12.2005, № 919.

10. Рева А. Н. Человеческий фактор и безопасность полетов : (Проактивное исследование влияния) : монография / А. Н. Рева, К. М. Тумышев, А. А. Бекмухамбетов ; науч. ред. А. Н. Рева, К. М. Тумышев. – Алматы, 2006. – 242 с.

11. Козелецкий Ю. Психологическая теория решений : пер. с польск. Г. Е. Минца, В. Н. Поруса / Ю. Козелецкий ; под ред. Б. В. Бирюкова. – М. : Прогресс, 1979. – 504 с.

12. Рева А. Н. Людський фактор та безпека польотів : рівень домагань авіадиспетчерів у професійній діяльності / А. Н. Рева, Г. М. Селезньов // Створення системи забезпечення психологічної та психофізіологічної надійності персоналу. Організація та проведення психопрофілактичної роботи в органах внутрішніх справ України : м-ли III Всеукр. наук.-практ. семін. – К. : КЮІ МВС України, 2005. – С. 121-128.

13. Рева О. М. Рівень домагань авіадиспетчерів на показниках робочого навантаження / О. М. Рева, Б. М. Мірзоєв, П. Ш. Мухтаров, Ш. Ш. Насіров // Авіаційно-космічна техніка і технологія : наук.-техн. ж. – Х. : Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», 2013. – № 8 (105). – С. 273-281.

14. Руководство по методике планирования воздушного пространства для определения минимумов эшелонирования : Doc. ICAO 9689 – AN / 953. – Изд-е первое. – Монреаль, Канада, 1998.

15. Актуальные направления разработки проактивных моделей решения «треугольника рисков» ИКАО / [А. Н. Рева, В. И. Вдовиченко, С. П. Борсук, В. А. Шульгин, Б. М. Мирзоев, П. Ш. Мухтаров, Ш. Ш. Насиров] // Сучасні енгергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування : 4-та Всеукр. наук.-практ. конф. (9–11 жовтня 2013 р., Херсон) – Херсон : ХДМА, 2013. – С. 334-338.

Мухтаров П.Ш. ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ФАКТОР В АЭРОНАВИГАЦИИ: УРОВНИ ПРИТЯЗАНИЙ АВИАДИСПЕТЧЕРОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ВОЗДУШНЫМИ СУДАМИ

Учитывая влияние человеческого фактора на безопасность полетов, рассмотрен уровень притязаний авиадиспетчеров как более важный показатель индивидуальной оценки опасности нарушения нормы эшелонирования S=10 km в зоне ответственности APP TMA. Проведен анализ характерных точек оценочных функций полезности, которые были построены 70-ю профессиональными авиадиспетчерами – работниками азербайджанской аэронавигационной системы. Разработаны предложения по учету показателей уровней притязаний и других характерных точек функций полезности для проведения профессиональной учебы и организации личностно ориентированной подготовки на тренажерах.

Ключевые слова: аэронавигационные системы, безопасность полетов, человеческий фактор, риски нарушения нормы эшелонирования, характерные точки оценочных функций полезности, уровень притязаний авиадиспетчеров.

Mukhtarov P.Sh. HUMAN FACTOR IN AIR NAVIGATION: LEVELS OF PRETENSIONS OF AIR TRAFFIC CONTROLLER DURING VALUATION OF DESIRABILITY OF THE DISTANCE BETWEEN AIRCRAFTS

Taking into account human factor on flight safety, was considered level of pretensions of air traffic controllers as a more important indicator of individual valuation of danger of breaching norms of echelonment by S=10 km in zone of responsibility APP TMA. Was held analysis of characteristic points of evaluation function of utility, which were built by 70 professional air traffic controllers – workers of Azerbaijan System of Air navigation. Was worked out suggestion on account of indicators of levels of pretensions and other characteristic points of function of utility for holding of professional training and organization of individually oriented training on training simulator.

Keywords: air navigation systems, flight safety, human factor, risks of breaching norms of echelonment, characteristic points of evaluation functions of utility, level of pretension of air traffic controller.

Статтю прийнято
до редакції 23.04.14.

УДК 658.62.018:004.9

СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СИНТЕЗА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ДОБЫЧИ, ПЕРЕРАБОТКИ И ТРАНСПОРТА ГАЗА

Нефедов Л.И., Шевченко М.В., Кудырко О.Н.
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

В статье рассмотрено существующее направление разработки информационных технологий и их роль в управлении качеством. Разработанная структурная модель информационной технологии может быть использована для синтеза системы управления качеством добычи, переработки и транспорта газа.
Ключевые слова: синтез, управление, система качества, информационная технология, структурная модель.

Постановка проблемы и анализ публикаций. Разработка систем управления качеством (СУК) в настоящий момент приобретает все большее значение, поскольку рыночная борьба и конкуренция заставляет предприятия выходить на новые уровни. Возможность использования персональных компьютеров при моделировании и в работе систем управления качеством ставит перед исследователями новые задачи, связанные с разработкой информационных технологий и систем. В общем случае СУК – это система управления для направленности и контроля деятельности организации относительно качества [1]. Следовательно, для осуществления управления качеством и адекватного функционирования СУК, необходимо разрабатывать новые информационные технологии, которые позволят повысить эффективность при управлении структурами, процессами и ресурсами.

Современные информационные технологии – это процессы, использующие совокупность средств и методов сбора, обработки и передачи данных (первичной информации) для получения информации нового качества о состоянии объекта, процесса или явления (информационного продукта), целью которых является производство информации для ее анализа человеком и принятия на его основе решения по выполнению какого-либо действия [2]. Информационные технологии позволяют управлять большими потоками информации с применением вычислительной техники, проникая во все сферы производства. Они представляют собой, в общем случае, комплекс технических наук, обеспечивающих организацию современного общества.

Основные исследования в сфере газовой промышленности по синтезу информационных автоматизированных технологий направлены на разработку SCADA-систем (Supervisory Control And Data Acquisition – супервизорное/диспетчерское управление и сбор данных) [3, 4], поскольку оно предназначено для функциональной поддержки на автоматизированном рабочем месте диспетчера верхнего уровня автоматизации, в том числе и на газодобывающих предприятиях [3] и обеспечивает интерфейс «человек–машина». Оказалось, что большинство задач, стоящих перед создателями программного обеспечения верхнего уровня автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) различных отраслей промышленности, достаточно легко поддается унификации, потому что функции оператора/диспетчера практически любого производства достаточно унифицированы и легко поддаются формализации.

Таким образом, базовый набор функций SCADA-систем предопределен ролью этого программного обеспечения в системах управления и реализован практически во всех пакетах. Это:

- сбор информации с устройств нижнего уровня (датчиков, контроллеров);
- приём и передача команд оператора-диспетчера на контроллеры и исполнительные устройства (дистанционное управление объектами);

− сетевое взаимодействие с информационной системой предприятия (с вышестоящими службами);

− отображение параметров технологического процесса и состояния оборудования с помощью мнемосхем, таблиц, графиков и т.п. в удобной для восприятия форме;

− оповещение эксплуатационного персонала об аварийных ситуациях и событиях, связанных с контролируемым технологическим процессом и функционированием программно-аппаратных средств АСУ ТП с регистрацией действий персонала в аварийных ситуациях;

− хранение полученной информации в архивах;

− представление текущих и накопленных (архивных) данных в виде графиков (тренды);

− вторичная обработка информации;

− формирование сводок и других ответных документов по созданным на этапе проектирования шаблонам.

Тем самым SCADA-системы отображают только одно из направлений использования компьютерных технологий для систем управления качеством, связанное с использованием такого типа систем для обеспечения автоматизации технологических процессов с использованием интерфейса пользователя на диспетчерском пункте.

Вопросам использования информационных технологий для управления и мониторинга качества добычи, переработки и транспорта газа, а также вопросам синтеза таких систем уделяется недостаточное внимание.

Формулировка целей и постановка задачи. Целью статьи является повышение эффективности добычи, переработки и транспорта газа за счёт разработки структурной модели информационной технологии автоматизированного синтеза системы управления качеством.

Для определения информационной технологии автоматизированного синтеза (ИТАС) системы управления качеством (СУК) на первом этапе производится анализ особенностей процессов добычи, переработки и транспорта газа и необходимости принятия решения по синтезу СУК. Необходимо произвести синтез системы управления качеством добычи, переработки и транспорта газа для газодобывающих предприятий и газотранспортной системы на участках подачи газа от газораспределительных пунктов до потребителей на основе анализа состояния, и выявления сильных и слабых сторон технического оснащения газодобывающих и газотранспортных систем.

Результаты исследований. Эффективность применения современных информационных технологий определяется соответствием уровней управления качеством и областей применения компьютерных технологий [5].

К наиболее важным направлениям использования компьютерных технологий на различных уровнях систем качества относят:

− контрольное место (диспетчерский пункт). На контрольном месте компьютерные технологии используют для управления и определения измеренных значений при работе с контрольными автоматами и измерительными машинами. Помимо этого они используются и в работе с простыми измерительными приборами для приема измеренных значений, исключая при этом возникновение ошибок передачи, обусловленных человеческим фактором. Повышение степени автоматизации приводит к более широкому использованию компьютерных технологий. При этом, граница между человеком и обрабатывающей компьютерной системой для определения величин проверяемых признаков становится все более четкой;

− управление контролем качества. Уровень управления контролем качества обеспечивает передачу необходимой информации и служит для уплотнения полученных на отдельном контрольном месте данных. Такое уплотнение может осуществляться тремя способами:



a) с помощью определения величин проверяемых признаков из измеренных значений за счет расчета или сравнения с заданными значениями;

b) обработкой проверяемых признаков по статистическим методам;

c) выводом корректировочных параметров для регулировки процесса. Задачи уровня управления контролем можно выразить алгоритмами и вследствие этого хорошо выполнить с помощью компьютеров;

− управление организацией. На этом уровне, включающем сохранение полученных в ходе контроля данных, определение расходов на контроль и анализ продукции, информационные технологии используются для передачи информации. При этом, необходимо осуществлять процесс по исследованию рынков, изменения потребностей и определению необходимых требований к продукции;

− управление качеством. Основной задачей на уровне управления качеством является оценка данных, полученных контролем. Как правило, этим занимается персонал организации, который использует в своей деятельности данные компьютерных программ. В рамках заводских сетей необходимо интегрировать систему передачи данных о качестве и делать акцент на мультимедийные компьютерные технологии [6].

Кроме того, модель информационной технологии автоматизированного синтеза системы управления качеством добычи, переработки и транспорта газа должна удовлетворять следующим требованиям:

− адекватно отражать цели объектов и процессов анализа и синтеза в целом и отдельных их частей, а также обладать полнотой отображения их функций;

− использовать методы представления, обеспечивающие учет профессионального опыта специалистов и пользователей в сочетании с формализованными методами описания отдельных этапов анализа и синтеза, адекватность которых должна соответствовать полноте и достоверности исходной информации;

− быть информативной как с точки зрения разработки объектов и процессов анализа и синтеза, так и с точки зрения оценок их инженерно-экономических и социально-экологических характеристик;

− обеспечивать разрешимость задач анализа и синтеза управленческих решений и их преемственность, означающую, что каждое последующее решение не должно приводить к необходимости принципиальной корректировки ранее принятых;

− быть формальной, что предполагает применение методов, обеспечивающих внесение структуры (логической и процедурной последовательности операций) в слабоструктурированный процесс синтеза, развития и реинжиниринга системы мониторинга качества и системы поддержки принятия решений;

− быть конструктивной, т.е. позволять ее реально использовать при создании как системы в целом, так и отдельных ее элементов. Это означает, что отдельные элементы (фрагменты) такой модели должны допускать нисходящую декомпозицию до уровня отдельных процедур и операций [7].

Первым этапом информационной технологии (рис. 1) является анализ исходной информации о добыче газа, которая определит необходимые процессы переработки и этапы транспорта газа и требования к СУК, а также позволит сформулировать следующий этап – формирование целей и задач СУК добычи, переработки и транспорта газа (ДПТГ). Основой СУК ДПТГ, в свою очередь, будут выступать система мониторинга ДПТГ, которая позволит получать все необходимые сведения об основных показателях качества газа, и система поддержки принятия решений (СППР), которая позволит формулировать рекомендации для управления качеством ДПТГ. После этапа формирования целей и задач СУК ДПТГ необходимо декомпозировать процессы добычи, переработки и транспорта газа на подпроцессы, выделив особенности каждого из подпроцессов. Это позволит выделить и определить основные критерии качества и показатели процессов для системы мониторинга качества.

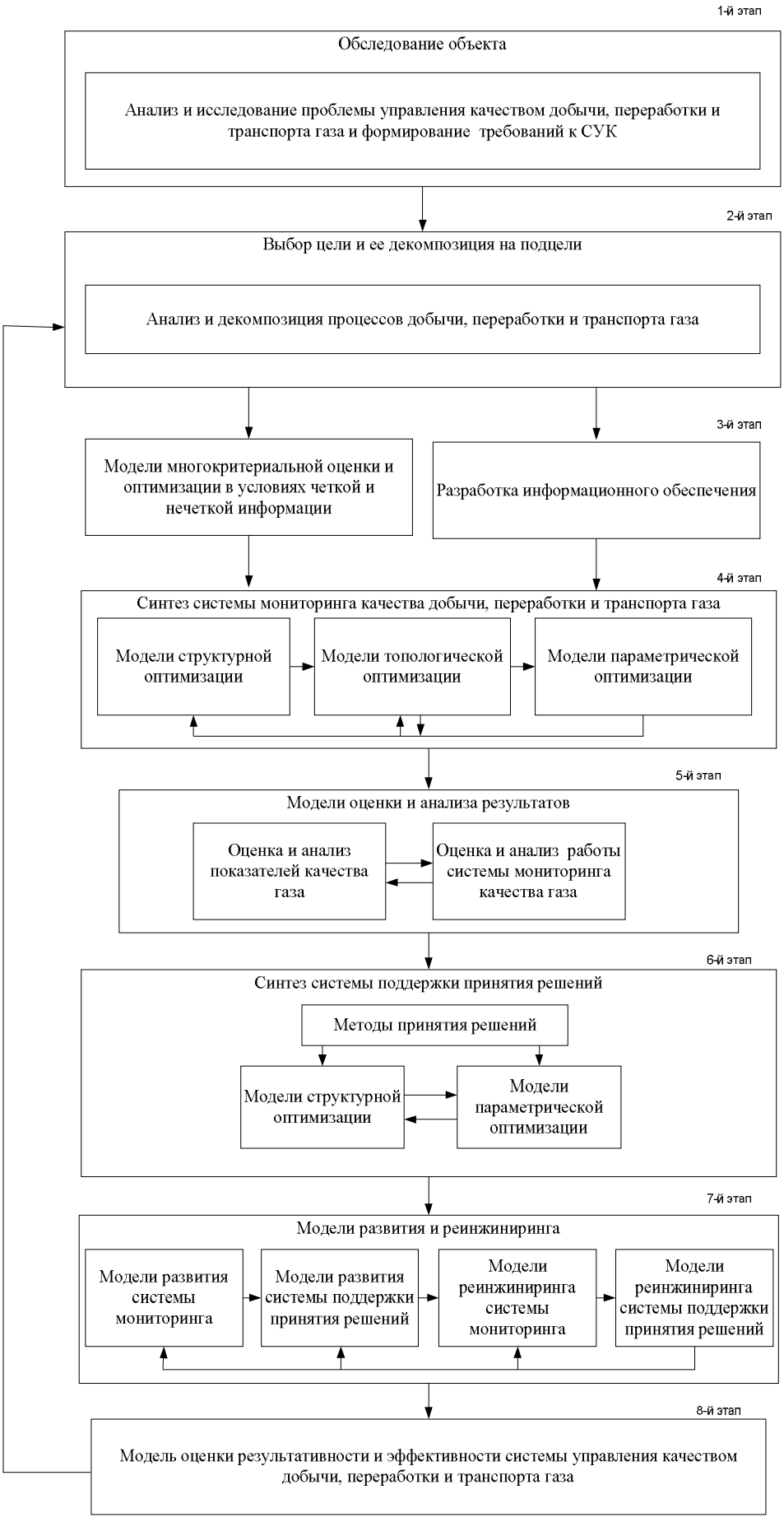


Рисунок 1 – Структура ИТАС СУК



Далее выбираются модели многокритериальной оценки и оптимизация параметров для системы мониторинга и системы поддержки принятия решений в условиях четкой и нечеткой информации, что определяется на первом этапе при анализе исходных данных [7, 8]. Проводится оценка и выбор оптимального решения в многокритериальной ситуации для частных задач исследования. Примерами ситуации, при которых возникает нечеткость информации, служат проектирование разработки месторождения по данным, полученным на нескольких разведочных скважинах, выбор метода и параметров обработки призабойной зоны пласта и т.д. Помимо естественной неопределенности, такой, например, как коллекторские свойства пласта, неопределенность обусловливается также невозможностью проведения полного обследования фонда скважин вследствие ограниченности времени и материальных и людских резервов [9].

На следующем этапе разрабатывается информационно-нормативное обеспечение процесса управления качеством, представляющее собой автоматизированный банк данных, включающий в себя базы данных различной направленности и систему управления, регулирующую механизм доступа к ним в зависимости от запросов и требований системы мониторинга и системы поддержки принятия решений. Информационно-нормативное обеспечение ориентировано главным образом на хранение, выбор и модификацию постоянно существующей информации. Разработка эффективного автоматизированного банка данных (АБД) – совокупности структурированных данных в виде баз данных (БД) и системы управления базами данных (СУБД) – состоит из нескольких этапов [10]. Процесс начинается с анализа требований к системе мониторинга качества добычи, переработки и транспорта газа и СППР, и выявления элементов БД. Для создания базы данных необходимо располагать описанием выбранной предметной области, охватывающим реальные объекты и процессы, а также определить все необходимые источники информации для удовлетворения предполагаемых запросов пользователей и потребности в обработке данных. На основе такого описания определяются состав и структура данных предметной области, которые должны находиться в базе и обеспечивать выполнение необходимых запросов и задач пользователей. Структура данных предметной области может отображаться информационно-логической моделью, на основе которой легко создается реляционная база данных. На втором шаге необходимо создать логическую структуру БД и провести процесс нормализации отношений для эффективной работы БД. Физическое проектирование – заключительный шаг, на котором отдельные элементы данных получают атрибуты и в зависимости от назначения БД определяется их форма [10, 11].

В конце процесса проектирования должна образоваться не только гибкая БД, но и продуктивная, в которой комплекс программных и языковых средств, СУБД организует поиск необходимой информации, а также обеспечивает управление базой моделей.

Существующие в данный момент системы мониторинга ориентированы в основном на транспорт и не учитывают особенности добычи и переработки. Следовательно, на следующем этапе, необходимо разработать и реализовать модель синтеза системы мониторинга ДПТГ, которая будет отслеживать и фиксировать в реальном времени в заданных точках выбранные на предыдущих этапах показатели качества и направлять полученную информацию на пункты контроля для ее сбора, а затем на диспетчерский пункт. Обобщенная модель синтеза системы мониторинга обладает большой размерностью, поэтому проводится ее декомпозиция на модели структурной оптимизации, топологической и параметрической оптимизации, следуя основным принципам декомпозиционного подхода, когда каждый предыдущий этап должен сужать область допустимых решений последующего этапа, а результаты, принятые на нижележащих уровнях, учитываются при коррекции решений вышележащих уровней, так как в таком виде ее решение связано с большими вычислительными затратами. При этом каждая из моделей оптимизации структурно-топологического и параметрического синтеза также может быть декомпозирована на модели меньшей размерности [12].

На следующем этапе необходимо провести оценку и анализ полученных с помощью системы мониторинга результатов, которые позволят оценить качество поступающего после добычи и переработки продукта на транспорт. Следует учитывать, что погрешности системы мониторинга также будут оказывать влияние на качество исходного продукта. В связи с этим, следующим этапом будет оценка и анализ синтезированной системы мониторинга. Обобщение данных этих двух этапов позволит сформулировать основные требования для синтеза системы поддержки принятия решений (СППР), которая позволит формировать и реализовывать основные рекомендации и управляющие воздействия для системы управления качеством ДПТГ. Существует достаточно много определений для СППР. СППР – это система, включенная в организационную среду и оказывающая помощь лицу, принимающему решения (ЛПР) в получении приемлемых решений неструктурированных проблем и включающая в себя следующие этапы: анализ ситуаций и постановка задач, формирование и выбор вариантов решений, организация выполнения решений, контроль выполнения решений (рис. 2) [13].

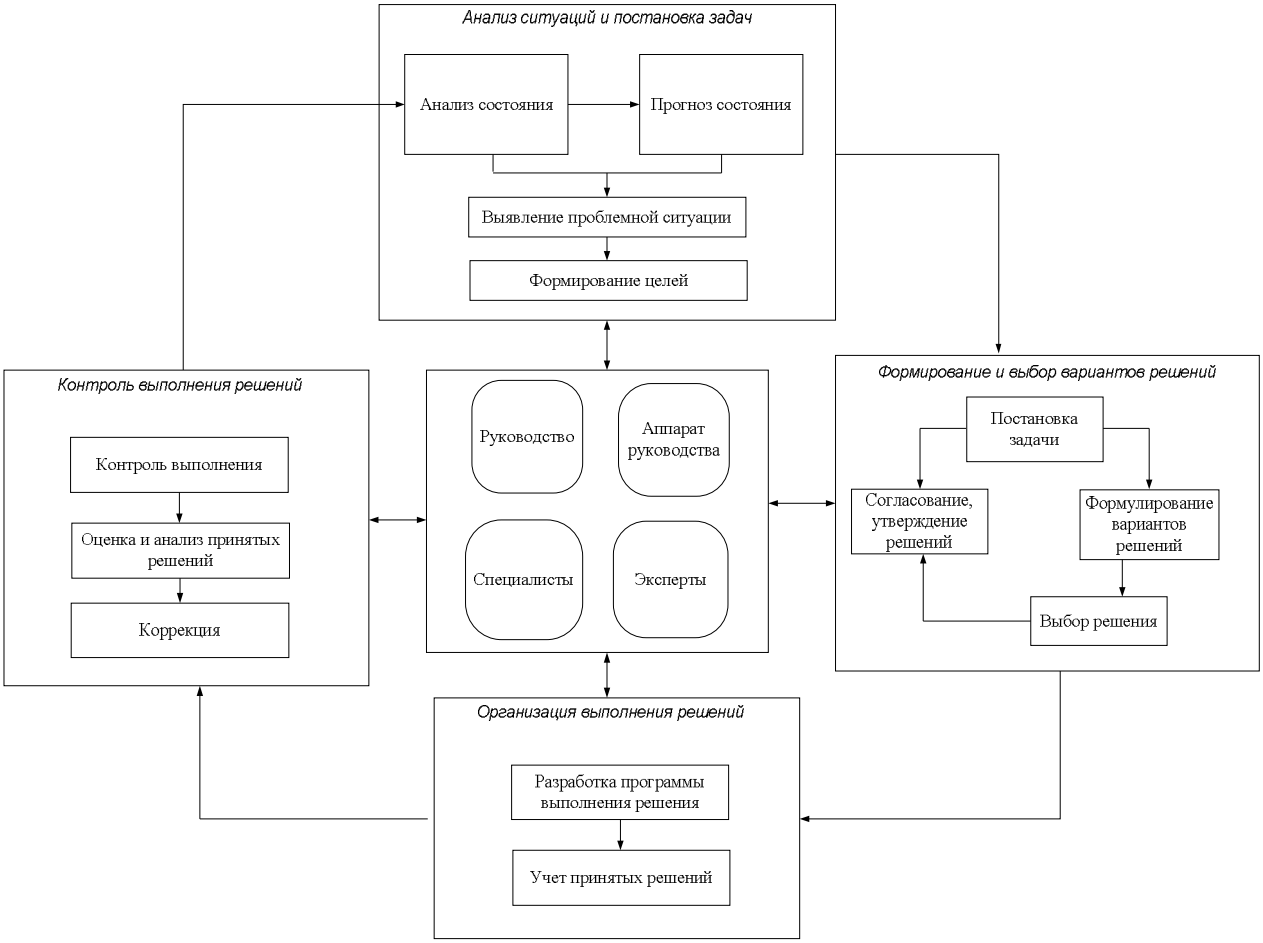


Рисунок 2 – Схема функционирования СППР

Обобщенно можно отметить, что СППР – используются для решения в режиме диалога плохо структурированных задач, для которых характерна неполнота входных данных, недостаточность имеющихся стандартных процедур принятия решений, неясность целей и ограничений. Основные задачи, решаемые в СППР, согласно [14] – ввод данных, хранение данных и анализ данных. Согласно [15] в СППР объединяются на общей основе подходы, характерные для следующих направлений исследований:

- принятие решений;
- извлечение и представление знаний;
- построение человеко-машинных (диалоговых) систем.

Таким образом, СППР являются человеко-машинными системами, которые позволяют лицам, принимающим решения, использовать данные, знания, объективные и субъективные модели для анализа и решения слабоструктурированных проблем.

Следовательно, как основу СППР возможно использовать информационно-справочное обеспечение, которое будет поддерживать диалог и с пользователем, и с системой мониторинга. СППР должна содержать ряд модулей, которые обеспечат интерфейс, управление данными, блок моделей, используемых для принятия решений и обеспечивающих, в ряде случаев, сложный многомерный и многокритериальный анализ, а также инструментальные средства моделирования.

На следующем этапе необходимо оценить эффективность синтезированных систем (мониторинга и СППР) и оценить результативность их работы, обобщенное значение которой позволит определить и результативность всей СУК.

Развитие газодобывающего промысла, бурение новых скважин и формирование «кустов» позволяет сформулировать необходимость развития систем мониторинга и СППР, соответственно, тем самым будет происходить и укрупнение СУК, развитие новых информационных технологий в области мониторинга, поддержки принятия решений, а также самих процессов добычи, переработки и транспорта газа в определенный момент сформирует этап реинжиниринга. Под развитием при этом понимаем исследование появляющихся новых подсистем, их характеристик и параметров, с целью объединения их с исходной, уже существующей системой в некоторой исходной форме с последующей реализацией. При этом под новыми подсистемами подразумеваются как появляющиеся новые скважины, так и укрупнение самой системы мониторинга и появление новых диспетчерских пунктах (для децентрализованных систем). Под реинжинирингом понимаем исследование (изучение, обследование) и перестройку исходной системы с целью ее воссоздания в новой форме с последующей реализацией этой новой формы.

Укрупнение первоначальной газодобывающей системы поставит проблему, связанную со старением унаследованных (исходных) систем мониторинга и СППР. Унаследованные системы не смогут обеспечивать такую же эффективность работы и быстродействие как новые, появляющиеся после развития элементы. Следовательно, завершающим этапом в развитии СУК ДПТГ будет этап разработки и реализации модели реинжиниринга системы мониторинга и СППР, а также оценка и анализ этих систем после реинжиниринга. Задачи, решаемые при развитии и реинжиниринге, подразумевают разработку обобщенных моделей и их декомпозицию на частные модели структурной оптимизации, топологической и параметрической оптимизации, следуя основным принципам декомпозиционного подхода и в соответствии с процедурой синтеза.

Все задачи оптимизации принятия решений помимо многокритериальности на всех этапах, являются задачами линейного дискретного программирования с булевыми переменными.

Разработана прикладная информационная технология автоматизированного синтеза системы управления качеством добычи, переработки и транспорта газа, позволившая, в отличии от известных подходов, структурировать процесс синтеза и определить последовательность процедур принятия решений по структурно-топологической и параметрической оптимизации комплексно по многим критериям.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів (ISO 9000:2005, IDT) : ДСТУ ISO 9000-2007 – К. : Держспоживстандарт України. – [Чинний від 2008-01-01] – 2008. – 29 с. – (Національний стандарт України).

2. Румянцева Е. Л. Информационные технологии / Е. Л. Румянцева, В. В. Слюсарь – М. : Форум, Инфра-М, 2007. – 256 с.

3. Андреев Е. Б. Автоматизация технологических процессов добычи и подготовки нефти и газа : учебное пособие для вузов / [Е. Б. Андреев, А. И. Ключников, А. В. Кротов и др.]. – М. : ООО «Недра-Бизнесцентр», 2008. – 399 с.

4. Маргулов Р. Д. Организация управления газодобывающим предприятием / Р. Д. Маргулов, В. Г. Тагиев, Ш. К. Гергедава. – М. : Недра, 1981 – 239 с.

5. Фомичев С. К. Основы управления качеством : учеб. Пособие / С. К. Фомичев, А. А. Старостина, Н. И. Скрябина. – К. : МАУП, 2002. – 192 с.

6. Применение информационных технологий в управлении качеством [Электронный ресурс] – Режим доступа : http://www.znaytovar.ru/new1122.html.

7. Нефедов Л. И. Методологические основы синтеза офисов по управлению программами и проектами : монография / Л. И. Нефедов, Ю. А. Петренко, М. В. Шевченко, А. Б. Биньковская. – Харьков : ХНАДУ, 2012 – 296 с.

8. Петров Э. Г. Территориально распределенные системы обслуживания / Э. Г. Петров , В. П. Писклакова, В. В. Бескоровайный – К. : Техніка,1992 – 208 с.

9. Мирзаджанзаде А. Х. Основы технологии добычи газа / А. Х. Мирзаджанзаде, О. Л. Кузнецов, К. С Басниев, З. С. Алиев. – М. : ОАО «Издательство Недра», 2003. – 880 с

10. Хомоненко А. Д. Базы данных : учебник для высших учебных заведений / А. Д. Хомоненко, В. М. Цыганков, М. Г. Мальцев ; под ред. проф. А. Д. Хомоненко. – СПб. : КОРОНА-Век, 2009. – 736 с.

11. Базы данных : учеб. Пособие / А. В. Кузин, С. В. Левонисова. – М. : Издательский центр «Академия», 2012. – 320 с.

12. Нефедов Л. И. Структурная модель информационной технологии автоматизированного синтеза системы мониторинга транспорта газа / Л. И. Нефедов, М. В. Шевченко, О. В. Василенко // Восточно-европейский журнал передовых технологий – 2009. – № 6/2 (42)– С. 12-15.

13. Блюмин С. Л. Модели и методы принятия решений в условиях неопределенности / С. Л. Блюмин, И. А. Шуйкова. – Липецк : ЛЭГИ, 2001. – 138 с.

14. Методы и модели анализа данных : OLAP и Data-mining / [А. А. Барсегян, М. С. Куприянов, В. В. Степаненко и др.] – СПб. : БХВ-Петербург, 2004. – 336 с.

15. Ларичев О. И. Система поддержки принятия решений : современное состояние и перспективы развития / О. И. Ларичев, А. Б. Петровский // Итоги науки и техники. – М. : ВИНИТИ, 1987, – Т. 21. – С. 131-164.

Нефьодов Л. И., Шевченко М. В., Кудирко О. М. СТРУКТУРНА МОДЕЛЬ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ АВТОМАТИЗОВАНОГО СИНТЕЗУ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ВИДОБУТКУ, ПЕРЕРОБКИ І ТРАНСПОРТУ ГАЗУ

У статті розглянуто існуючий напрямок розробки інформаційних технологій та їх роль в управлінні якістю. Розроблена структурна модель інформаційної технології може бути використана для синтезу системи управління якістю видобутку, переробки та транспорту газу.

Ключові слова: синтез, управління, система якості, інформаційна технологія, структурна модель.

Nefedov L. I., Shevchenko M. V., Kudyrko O. N. STRUCTURAL MODEL OF INFORMATION TECHNOLOGY AUTOMATED SYNTHESIS OF THE QUALITY MANAGEMENT SYSTEM OF EXTRACTION, PROCESSING AND TRANSPORT OF GAS

The current direction of development of information technologies and their role in quality management have been examined. A structural model of information technology can be used for the synthesis of the quality management extraction system, processing and gas transportation.

Keywords: synthesis, management, quality control system, information technology, structural model.

Статтю прийнято
до редакції 9.04.14.



УДК 378.147

ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНИЙ МЕТОД УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ІНФОРМАЦІЇ В БАЗАХ ДАНИХ

Сафонов М.С., Яковенко О.Є.
Херсонський політехнічний коледж Одеського національного політехнічного університету

У статті визначені основні недоліки існуючих підходів реінжинірингу інформаційних систем. Розглянутий об'єктно-орієнтований метод реінжинірингу інформаційної системи з використанням об'єктів управління. Приведені часові характеристики роботи об'єктно-орієнтованого методу управління потоками даних. Представлена тривимірна модель даного методу та визначені основні параметри її побудови. Основною характеристикою роботи інформаційної системи, згідно даної моделі, виступає довжина побудованої тривимірної спіралі, порядок розрахунку якої представлений у статті. Саме цей спіральний шлях характеризує часові параметри роботи об'єктно-орієнтованого метода управління потоками інформації в мережевих базах даних. Модель дозволяє оперативно визначати характеристики навантаження в інформаційній системі та своєчасно виявляти причини затримки потоків даних, за рахунок ведення накопичуваної бази знань попередніх результатів роботи методу.
Ключові слова: реінжиніринг, об'єктно-орієнтований метод, управління потоками даних

Постановка проблеми в загальному виді і її зв'язок з важливими науковими або практичними завданнями. Дослідження проектів інформатизації, і, у першу чергу, проектів розробки інформаційних систем (ІС) показують, що створення нової інформаційної системи в більшості випадків передбачає зміну стану існуючих ІС.

Наслідком даної ситуації стає об'єктивна потреба в дослідженні, перегляді й переосмисленні існуючих підходів, методологій і технологій розробки ІС, що, у свою чергу, може потребувати їхньої модернізації, а можливо, і розробки нових рішень.

У процесі аналізу багатьох ІС, були визначені типові їх недоліки:

- дублювання інформації, що надається (як правило, однакову інформацію кожного разу доводитися вводити вручну, що займає багато часу);
- невчасність надання інформації;
- інформація може не доходити до адресата;
- після здобуття може знадобитесь уточнення інформації від інших підрозділів.

Важливим завданням даної роботи стає вдосконалення системи інформаційних потоків, зміна алгоритмів проходження даних, автоматизація передачі інформації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій і виділення невирішених завдань проблеми. Підхід, запропонований Т. Сандером та С. Дукассом у своїх працях визначає наступні кроки процесу об'єктно-орієнтованого реінжинірингу:

- аналіз вимог для виявлення конкретних цілей реінжинірингу успадкованої системи;
- відновлення моделі, у тому числі документування й розуміння структури успадкованої системи;
- аналіз проблем, що включає вибір архітектури, що дозволяє усунути виявлені в успадкованій системі дефекти;
- реорганізація, що включає вибір і застосування оптимального підходу трансформації успадкованої системи [1, 2].

Формулювання цілей статті. Стандартні програмні засоби роботи не передбачують імпорт інформації з невідомої БД. Тому для вирішення даної проблеми знадобиться організація об'єктів управління, які будуть брати на себе роботу по перенесенню потрібної інформації від однієї БД до іншої, навіть якщо вони будуть мати різну архітектуру, що в повній мірі розкриває сутність об'єктно-орієнтованого підходу. Це у значній мірі полегшить процедурі реінжинірингу існуючих ІС та процес об'єднання незв'язаних систем в одне ціле.

Виклад матеріалів дослідження. Основними об'єктами дослідження в ІС будуть виступати бази даних (БД). У процесі роботи з різними БД у межах однієї організації однакова інформація може використовуватись та зберігатись багатьма БД. Через це виникає потреба в отриманні інформації, яка знаходиться в іншій БД на віддаленому комп'ютері.

Аналіз процесів автоматизації багатьох організацій показав, що даний процес проходить поступово і виконується різними групами програмістів з використанням різних мов програмування і, навіть, БД з різними архітектурами. Як правило, ці системи використовують для автоматизації окремих функцій в певному підрозділі. Завдання дослідження полягає в знаходженні такого методу реінжинірингу, який би в повній мірі задовольняв потреби більшості організацій.

Всі правила для потоків інформації повинні зберігатись в головній системі управління (ГСУ) та дублюватись для кожної підсистеми управління.

Нехай для кожного з N об'єктів управління існує своя множина правил P= $A[i, j]$, $A = A[i, j] = \begin{cases} 1, \text{вершина с номером } i \text{ смежна с вершиной с номером } j \\ 0, \text{вершина с номером } i \text{ не смежна с вершиной с номером } j \end{cases}$. Згідно з кожним набором правил для всіх об'єктів управління формується потік інформації $I_c, c \in (1, N)$. Функціональну залежність можна представити так:

$$\begin{bmatrix} P_1\{p_{11}, p_{12}, ..., p_{1m}\} \\ P_2\{p_{21}, p_{22}, ..., p_{2m}\} \\ ... \\ P_n\{p_{n1}, p_{n2}, ..., p_{nm}\} \end{bmatrix} \Rightarrow f(I_1, I_2, ..., I_n). \quad (1)$$

При формуванні потоків інформації між парами об'єктів управління, можна визначити математичну модель їхньої залежності:

$$f\left(\begin{vmatrix} p_{11} & p_{12} & ... & p_{1m} \\ p_{21} & p_{22} & ... & p_{2m} \\ ... & ... & ... & ... \\ p_{n1} & p_{n2} & ... & p_{nm} \end{vmatrix}\right) = \begin{vmatrix} I_1 \cup I_2 & I_1 \cup I_3 & ... & I_1 \cup I_n \\ 0 & I_2 \cup I_3 & .... & I_2 \cup I_n \\ ... & ... & ... & ... \\ 0 & 0 & 0 & I_{n-1} \cup I_n \end{vmatrix}. \quad (2)$$

Управління потоками відбувається централізовано (рис. 1). У ГСУ формуються правила, які відправляються на віддалені станції. Для зберігання правил та запобігання помилок, викликаних розривом зв'язку, доцільно кожному об'єкту управління мати свою власну базу знань (БЗ).

Для формування набору правил та отримання результатів, у вигляді записів використовується SQL-орієнтована мова. Після відправки команди, ГСУ відправляє наступну іншому об'єкту і так далі. Після відсилання всіх команд відбувається збір інформації з тих же робочих станцій. Такий метод значно зменшує час T повної обробки всіх станцій, так як обробка команд на об'єктах управління відбувається майже одночасно, а не послідовно [3]:

$$T = \sum_{i=1}^{n} t'_i + t''_i, \quad (3)$$

де t' – час з'єднання зі станцією та відправлення команди, t'' – час отримання відповіді від об'єкта управління. Загальний час затримки буде залежати більшою мірою, від часу обробки об'єкта управління з найбільшим часом обробки команди, і , у меншому ступені, від часу відправлення команди й прийому відповіді.

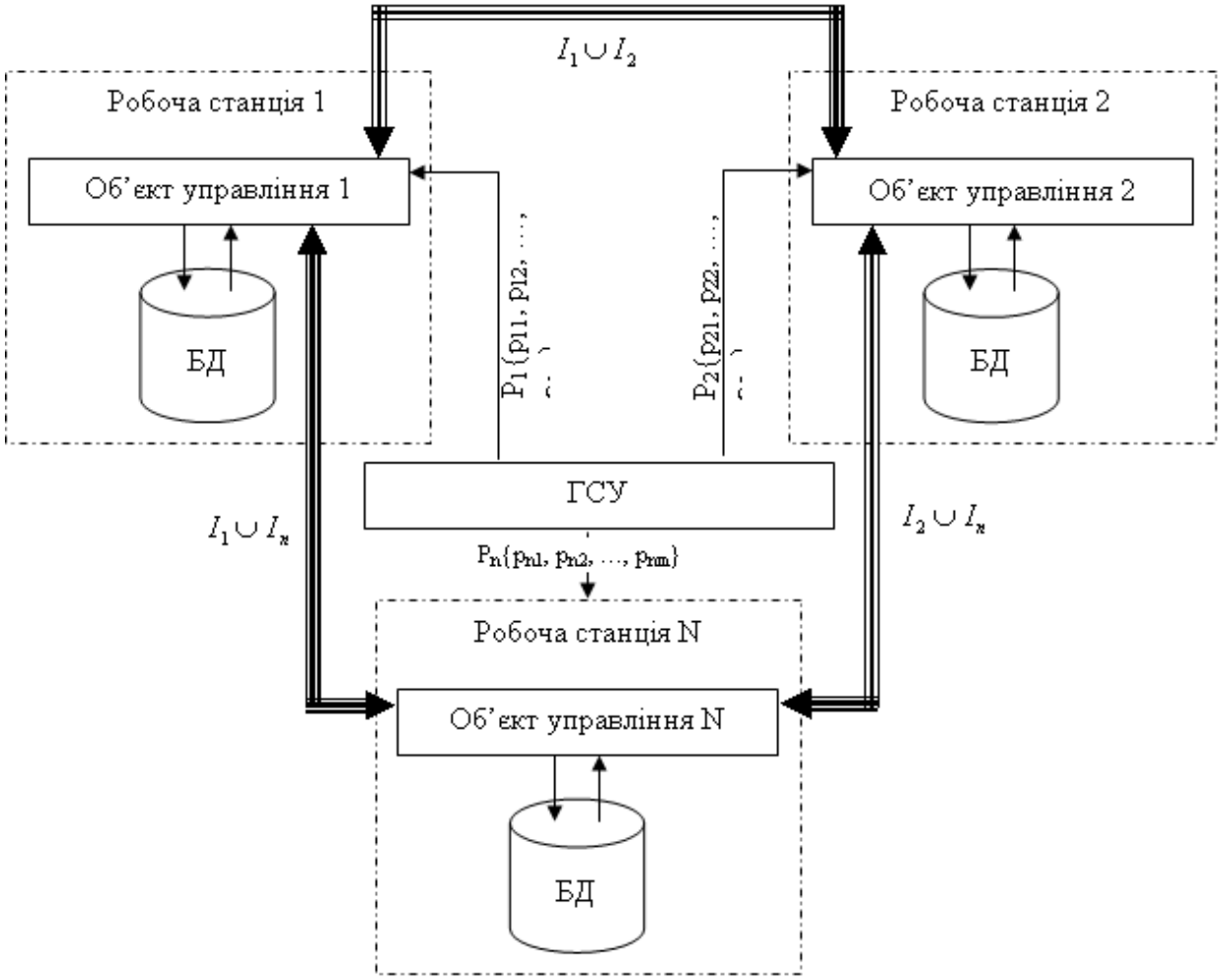


Рисунок 1 – Схема управління потоками інформації БД за допомогою об'єктно-орієнтовного метода

Формула визначення загального часу обробки всіх об'єктів виглядає наступним чином:

$$\lim_{\substack{t'\to 0 \\ t''\to 0}} T_{\text{áä}} = \max(T_i), i \in [1..n]. \qquad (4)$$

В якості тривимірної моделі візьмемо просторову спіраль (рис. 2). Для *i* станів параметрами побудови даної моделі будуть виступати радіус спіралі $t_i^{/}$, крок витка t_i, кількість витків *m*, що відповідає кількості ітерацій системи, кількість об'єктів управління *n* та висота спіралі $T_{бд}$ [4-6].

Середній час $t_{сер}$ від надсилання команди об'єкту управління до отримання від нього відповіді можна визначити як відношення загального часу обробки $T_{бд}$ до кількості повторюваних ітерацій *m*.

$$t_{сер} = \frac{T_{бд}}{m}. \qquad (5)$$

Якщо кожний виток відповідає одній ітерації системи, то при $i \in [1..m \cdot n]$ визначимо модель аналітично [7].

$$\begin{cases} x_i = t_{ni}^{'} \cdot \cos(\dfrac{\pi \cdot i}{n}) \\ y_i = t_{ni}^{'} \cdot \sin(\dfrac{\pi \cdot i}{n}) \\ z_i = \dfrac{T_{бд} \cdot i}{n \cdot m} \end{cases}. \qquad (6)$$

Основною характеристикою роботи інформаційної системи в цілому згідно даної моделі буде виступати довжина побудованої тривимірної спіралі *L*.

Тобто зміна будь яких часових характеристик спричинить автоматичну перебудову моделі, з урахуванням мінімальної довжини спірального шляху [8].

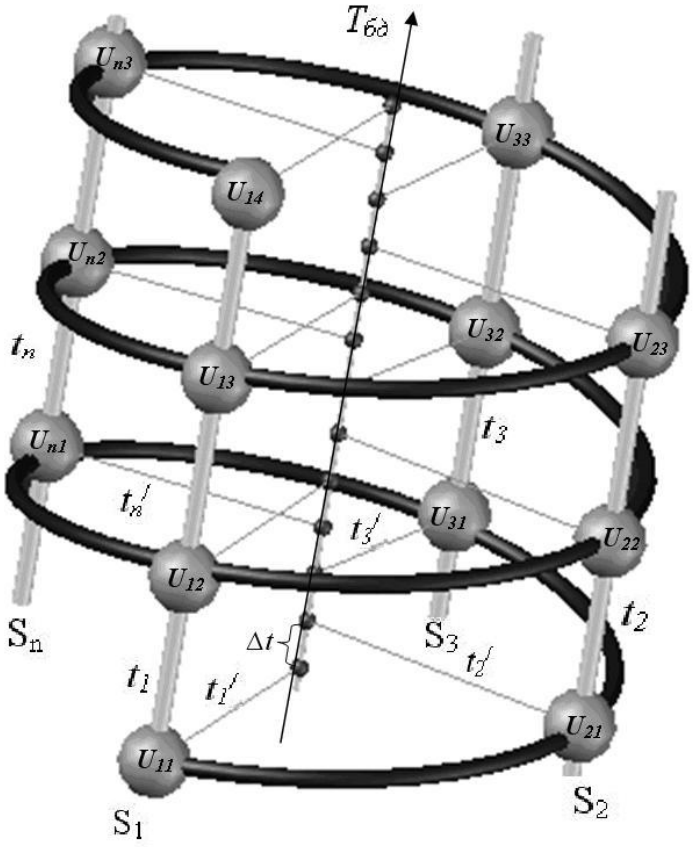


Рисунок 2 – Тривимірна модель об'єктно-орієнтовного метода управління потоками інформації в БД

Для знаходження довжини спірального шляху визначимо систему диференційних рівнянь:

$$\begin{cases} x_i^{'} = -t_{ni}^{'} \cdot \sin\left(\dfrac{\pi \cdot i}{n}\right) \\ y_i^{'} = t_{ni}^{'} \cdot \cos\left(\dfrac{\pi \cdot i}{n}\right) \\ z_i^{'} = \dfrac{T_{áä}}{m} \end{cases}. \qquad (7)$$

Якщо $i \in [0,n]$, то $\dfrac{\pi \cdot i}{n} \in [0,\pi]$. Визначимо довжину спірального шляху *L*.

$$L = \int_0^{\pi} \sqrt{\left(-t_{ni}{}' \cdot \sin\left(\frac{\pi \cdot i}{n}\right)\right)^2 + \left(t_{ni}{}' \cdot \cos\left(\frac{\pi \cdot i}{n}\right)\right)^2 + \left(\frac{T_{áä}}{m}\right)^2} d\left(\frac{\pi \cdot i}{n}\right). \quad (8)$$

У рівнянні (6) зробимо заміну виразу $\frac{\pi \cdot i}{n}$ на змінну x.

$$L = \int_0^{\pi} \sqrt{(-t_{ni}{}' \cdot \sin(x))^2 + (t_{ni}{}' \cdot \cos(x))^2 + (\frac{T_{áä}}{m})^2} d(x). \quad (9)$$

Спростимо дане рівняння:

$$L = \int_0^{\pi} \sqrt{((t_{ni}{}')^2 \cdot (\sin(x)^2 + \cos(x)^2) + (\frac{T_{áä}}{m})^2} d(x) = \pi \sqrt{(t_{ni}{}')^2 + (\frac{T_{áä}}{m})^2}. \quad (10)$$

Висновки та перспективи використання. Представлене рівняння (10) дозволяє розрахувати загальну довжину спірального шляху *L*, який характеризує часові параметри роботи об'єктно-орієнтованого метода управління потоками інформації в мережевих БД.

Рівняння (10) дозволяє оперативно визначати характеристики стану інформаційної системи та дозволяє своєчасно виявляти причини затримки потоків даних, за рахунок ведення накопичуваної бази знань попередніх результатів роботи методу.

Визначена математична модель (6) допоможе у розв'язанні складних ситуацій та врегулюванні потоків інформації в БД.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Sander T. Modeling Object-Oriented Software for Reverse Engineering and Refactoring / T. Sander // Thesis, University of Bern, 2001.

2. Ducasse S. Rretro-Conception d'Application `a Objets Reengineering Object-Oriented Applications / S. Ducasse // Universitre Pierre et Marie Curie, 2001.

3. Сафонов М. С. Використання об'єктів керування для оптимізації потоків інформації в мережевих базах даних з різною архітектурою / М. С. Сафонов, О. Є. Яковенко, С. О. Савченко // Збірник наукових праць. Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві – Вип. 1. – Одеса, 2012 – С. 60-62.

4. Патрикеев Ю. Н. Объектно-ориентированный анализ. Программирование / Ю. Н. Патрикеев // Московский государственный университет экономики, статистики и информации – 2002.

5. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон – М. : Наука, 1978.

6. Аноприенко А. Я. Универсальные моделирующие среды / А. Я. Аноприенко, В. А. Святный // Сб. тр. Донецк. гос. технич. ун-та. Сер. : Информатика, кибернетика и вычислительная техника. – 1996. – Вып. 1.

7. Концепция универсальной системы имитационного моделирования [Електронний ресурс] / В. В. Таранов. – Режим доступу : http://www.az.ru/natlieb/articles/1/USIM.htm.

8. Сафонов М. С. Моделирование управления потоками данных в информационной системе / М. С. Сафонов, А. Е. Яковенко // Сборник научных трудов / Труды Одесского политехнического университета. Компьютерные и информационые сети и системы. – Вип. 1. – Одесса, 2013. – С. 97-103.

Сафонов М.С., Яковенко А.Е. ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ ИНФОРМАЦИИ В БАЗАХ ДАННЫХ

В статье определены основные недостатки существующих подходов реинжиниринга информационных систем. Рассмотрен объектно-ориентированный метод реинжиниринга информационной системы с использованием объектов управления. Приведены часовые характеристики работы объектно-ориентированного метода управления потоками данных. Представлена трехмерная модель данного метода и определены основные параметры ее построения. Основной характеристикой работы информационной системы, согласно данной модели, выступает длина построенной трехмерной спирали, порядок расчета которой представлен в статье. Именно этот спиральный путь характеризует часовые параметры работы объектно-ориентированного метода управления потоками информации в сетевых базах данных. Модель позволяет оперативно определять характеристики нагрузки в информационной системе и своевременно обнаруживать причины задержки потоков данных, за счет ведения накапливаемой базы знаний предыдущих результатов работы метода.

Ключевые слова: реинжиниринг, объектно-ориентированный метод, управление потоками данных.

Safonov M.S, Yakovenko A.E. OBJECT-ORIENTED METHOD OF MANAGEMENT BY STREAMS OF INFORMATION IN DATABASES

In article the basic lacks of existing approaches of reengineering of information systems are defined. The object-oriented method of reengineering of information system with use of objects of management is considered. Hour characteristics of work of an object-oriented management method are resulted by data flows. The three-dimensional model of the given method is presented and key parametres of its construction are defined. The basic characteristic of work of information system, according to the given model, the length of the constructed three-dimensional spiral which procedure of payments is presented in article acts. This spiral way characterises hour parametres of work of an object-oriented management method information streams in network databases. The model allows to define operatively loading characteristics in information system and in due time to find out the reasons of a delay of data flows, at the expense of conducting the accumulated knowledge base of the previous results of work of a method.

Keywords: reengineering, an object-oriented method, control of data flows.

Статтю прийнято
до редакції 17.04.14.

УДК 004.925.8

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕТВОРЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ОБРАЗІВ САПР ОДЯГУ

Сафонова Г.Ф.
Херсонський політехнічний коледж Одеського національного політехнічного університету

У статті розглянуті існуючі проблеми процесу автоматизованого проектування одягу. Метою дослідження є формалізація процесу перетворення геометричних образів САПР одягу. Описані особливості геометричних перетворень деталей одягу. Розглянута формалізація процесу перетворення геометричного образу при конструюванні одягу. Контур розгортки деталей одягу був представлений у вигляді замкнутої кривої гомеоморфного колу. Процес перетворення розгортки розглянутий як деяке гомеоморфне перетворення f кривої G в криву $G^{/}$. Була описана формула формалізації процесу перетворення геометричної інформації при конструюванні одягу, яка представляє собою гомотетію кривої G в криву $G^{/}$. На прикладі продемонстровано використання властивостей гомеоморфних фігур топології для чисельного контролю правильності додаткових побудов при моделюванні геометричних образів. Була застосована топологічна інваріанта – число вершин графа індексу n ≠ 2. Створення математичної моделі на основі розглянутої формалізації дає перспективу вдосконалення існуючих алгоритмів реалізації САПР, що має вирішити проблеми автоматизованого проектування конструкцій одягу.
Ключові слова: контур розгортки, гомеоморфне перетворення, топологічна інваріанта.

Постановка проблеми в загальному виді і її зв'язок з важливими науковими або практичними завданнями. Відомо, що процес проектування конструкцій одягу є досить витратним і потребує неодноразового виготовлення макетів та зразків виробів, які проектуються, що не дозволяє здійснювати наскрізне автоматизоване проектування. Причиною цього є складність об'єкта проектування, обумовлена як мінімум наступними факторами: необхідністю розглядати об'єкт проектування в системі з фігурою, швидкою змінюваністю моди й надзвичайно великою різноманітністю швейних матеріалів з різними властивостями, великою долею робіт творчого характеру, досить низьким організаційним і інженерно-технічним рівнем швейних підприємств тощо [1].

У зв'язку з цим удосконалювання процесів проектування конструкцій одягу, що забезпечують оптимізацію вимог виробництва й споживачів на основі проектування САПР, є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій і виділення невирішених завдань проблеми. Не дивлячись на значні переваги існуючої автоматизації процесу проектування одягу [1], залишається не до кінця вирішеною низка питань. Так, зокрема, більшість САПР одягу, які при проектуванні враховують індивідуальні особливості фігури потребують введення детальної інформації про об'єкт проектування з залученням обладнання значної вартості [2]. Це можуть дозволити собі в основному великі швейні підприємства, які використовують лекала стандартних розмірів і САПР такого плану не потребують [3]. А для невеликого швейного виробництва, яке займається також індивідуальним пошивом необхідно мати недороге в функціонуванні програмне забезпечення, яке врахує ці вимоги, при цьому має бути просте і зрозуміле у використанні [4].

Все вище сказане зумовлює необхідність подальшого вивчення алгоритмів реалізації існуючих САПР одягу [5] з метою вдосконалювання та спрощення.

Формулювання цілей статті. Складанню алгоритмів функціонування будь-якої системи передує математична формалізація, на основі якої створюються моделі їх реалізації [6]. На етапі математичної обробки й зберігання геометричної інформації про деталі швейних виробів виконуються наступні задачі: математичний опис контурів деталей у зручному й компактному вигляді, заснований на використанні методів апроксимації; геометричного перетворення плоского відображення деталей (геометричного образу) з однієї форми в іншу, що включає операції зсуву зображень,

стиснення або розтягання, повороту відсіченої частини зображення, переносу окремих ділянок деталі тощо; проектування нових контурів заданих вихідними умовами [7].

Метою дослідження є формалізація процесу перетворення геометричних образів, що є невід'ємною складовою процесу моделювання. Це дасть змогу в подальшому побудувати його математичну модель та вдосконалити алгоритм реалізації, що частково вирішить існуючи проблеми автоматизованого проектування конструкцій одягу.

Виклад матеріалів дослідження. У результаті проведення евристичного експерименту по вивченню процесів конструктивного моделювання, градації, одержання основних, похідних і допоміжних лекал було встановлено, що геометричні перетворення деталей одягу мають наступні особливості:

- у всіх випадках основою перетворення є зміна положення кутових точок, які можуть бути точно задані у випадку градації й одержання похідних деталей або ж утворюватися в результаті апріорних міркувань при конструктивному моделюванні;
- перетворення криволінійних ділянок контурів може бути задане переміщенням або тільки двох крайніх точок, або двох крайніх й однієї або більше проміжних точок;
- при градації лекал перетворені криволінійні ділянки контурів зберігають характер оригіналу, тоді як в інших випадках вони можуть переходити в зовсім інші криві (крива може перейти в пряму й навпаки);
- при конструктивному моделюванні й побудові допоміжних лекал, після перетворення, число кутових точок може змінюватися;
- дуже часто при побудові лекал застосовуються операції з урахування припусків по контуру деталі (на шви, вільне облягання), які являють собою побудову еквідістанти до вихідної кривої контуру [7].

Формалізуємо розглянутий процес перетворення геометричного образу при конструюванні одягу, використовуючи поняття топології.

Представимо контур розгортки деталей одягу у вигляді замкнутої кривої гомеоморфної колу (дві гомеоморфні між собою фігури розглядаються як однакові, які топологічно не відрізняються одна від одної). Наглядно гомеоморфізм можна представити собі як таке відображення однієї множини на іншу, яке відбувається і без розривів, і без склеювань [8]. Позначимо контур через *G* (рис. 1).

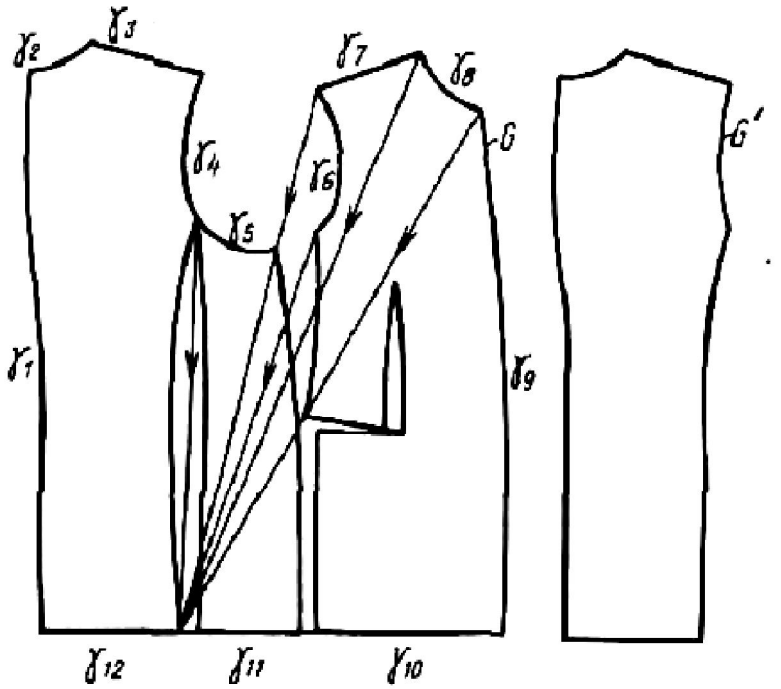


Рисунок 1 – Узагальнений контур розгортки виробу і його перетворення з метою виявлення окремої деталі



Крива ця склеєна з окремих криволінійних секцій $(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, ... \gamma_k)$, гомеоморфних відрізків. Таким чином, криву можна записати у вигляді.

$$G = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3 + ... + \gamma_k . \quad (1)$$

Назвемо криву G узагальненим контуром розгортки.

Представимо процес перетворення розгортки як деяке гомеоморфне перетворення f кривої G в криву $G^{/}$ ($f : G \to G'$).

При цьому кожна з секцій γ_i кривої G зазнає свого гомеоморфного перетворення f_i, що можна записати у вигляді

$$f(G) = f_1(\gamma_1) + f_2(\gamma_2) + f_3(\gamma_3) + ... + f(\gamma_k), \quad (2)$$

$$f(G) = G' . \quad (3)$$

Вираз (3) є формалізацією процесу перетворення геометричної інформації при конструюванні одягу, яка представляє собою з точки зору топології гомотетію кривої G в криву $G^{/}$ або, інакше кажучи, неперервне відображення (рух) кривої G в $G^{/}$. Гомотетію ще називають також деформацією [8].

Формалізація охоплює всі етапи перетворень, починаючи з отримання розгортки, що являється гомеоморфним перетворенням просторової кривої G на площині, і закінчуючи перетворенням кривої $G^{/}$ на площині.

Щоб наглядно проілюструвати графічний образ узагальненого контуру розгортки, його можна представити як криву, яка отримується, якщо олівцем обвести всі деталі одягу, не відриваючи його від паперу. Тим самим буде описана замкнена однозв'язна область, яка гомеоморфна кругу. При цьому, олівець може по декілька разів проходити через одні й ті ж точки або лінії, а при переході з контуру однієї деталі на іншу, якщо вони не дотикаються, утворюються з'єднувальні містки, як це показано на рис. 1. Тепер для отримання з цієї фігури однієї деталі, наприклад спинки, перетворюють непотрібну частину контуру у фізичну точку, яка лежить на цій же кривій, яка стає однією з кутових точок спинки. Ця «точка» являється фізичною в тому змісті, що вона для нас не відрізняється від точки, але при цьому в достатньо малій околиці зберігає всі особливості побудови свого прообразу, являючись ніби зачатком, з якого за допомогою оберненого перетворення можна відтворити початкову картину. Таке стиснення можна ототожнити поступовому зменшенню масштабу частини зображення, доки воно для нашого ока поступово не перетвориться у точку. Таким чином, подібним перетворенням можна отримати будь-яке різноманіття деталей при різних варіантах розчленування, вводити або прибирати у деталей різні елементи, виточки тощо.

Вихідними даними для моделі є координати кутових точок та параметри перетворення. Для процесу градації лекал і отримання лекал похідних деталей координати кутових точок однозначно визначені та задані у вигляді приросту до відповідних точок прообразу. При технічному моделюванні нема жорсткого алгоритму знаходження нових положень кутових точок. Конструктор кожний раз визначає їх виходячи з умов конкретної задачі на основі досвіду та інтуїції. Тому розв'язок цієї задачі можливий тільки в інтерактивному діалоговому режимі.

Розглянута формалізація дозволяє також використати властивості гомеоморфних фігур топології для чисельного контролю правильності додаткових побудов при моделюванні геометричних образів. Мова йде про топологічні інваріанти, властивості фігур, які зберігаються при переході від фігури до гомеоморфної до неї фігури [8].

Для прикладу розглянемо наступну задачу перетворення геометричного образу при конструюванні одягу. Нехай під час моделювання основи ліфа постала необхідність реалізувати переведення нагрудної виточки (рис. 2, фігура G) до пройми основи (рис. 2, фігура G'). Для здійснення такого переведення необхідно виконати додаткову

побудову рис. 2, відрізок *AB*). Від правильності виконання даної побудови залежить чи отримаємо ми необхідний результат (рис. 2, фігура G'). Використовуючи подану формалізацію маємо наступне: якщо можливо довести, що на етапі побудови отримаємо фігуру гомеоморфну фігурі результату, то побудова виконана правильно, якщо ні, то – не вірно.

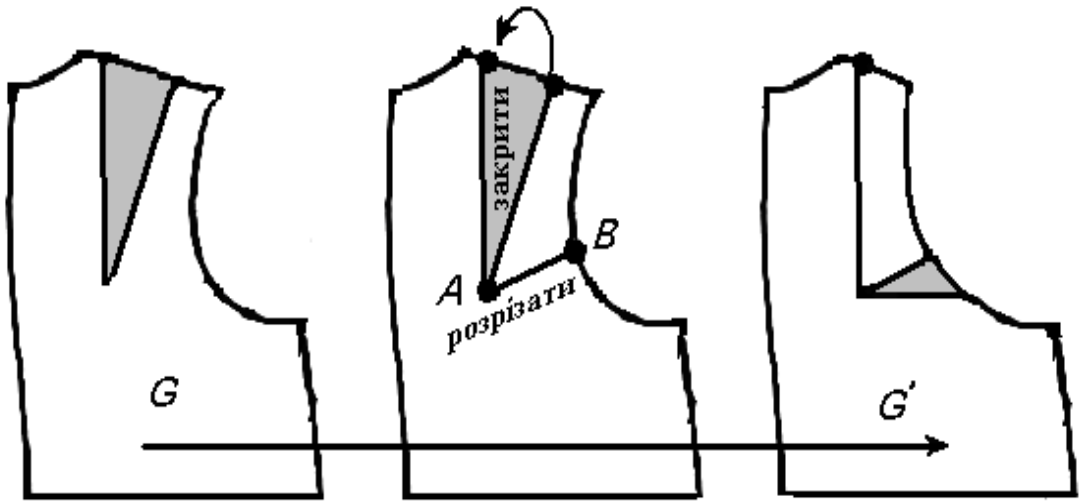


Рисунок 2 – Схема переведення нагрудної виточки у пройму основи ліфу

Представимо контур розгортки виробу (деталі виробу) у вигляді графу. На рис. 3 зображено три такі графи G_1, G_2, G'. Графи G_1, G_2 представляють варіанти додаткових побудов відрізка *AB*, граф G' – необхідний результат.

Індекс, наприклад, вершини *A* графа *G* за визначенням – число ребер, які сходяться в вершині A [8], дорівнює 1, а вершини C того ж графа – 3.

Використаємо наступну топологічну інваріанту: число вершин графа індексу $n \neq 2$ [8], для визначення гомеоморфності графів G_1, G_2, G'. Позначимо через $a_k(G_1)$, $a_k(G_2)$, $a_k(G')$ – число вершин, які мають індекс *k* відповідно графи G_1, G_2, G'.

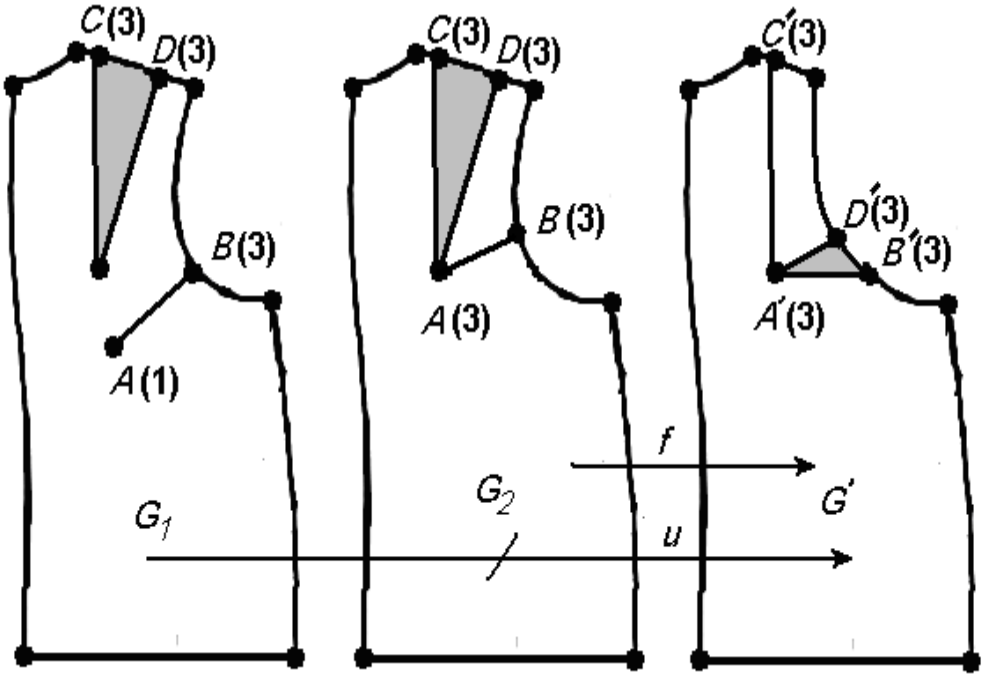


Рисунок 3 – Графи побудовані на основі контуру частини розгортки виробу на етапах моделювання



Згідно рис. 3, число вершин графа G_1 індексу 3 (вершини C, D, B) – $a_3(G_1)=3$, індексу 1 (вершина A) – $a_1(G_1)=1$; число вершин графа G_2 індексу 3 (вершини A, C, D, B) – $a_3(G_2)=4$; індексу 1 (жодної вершини) – $a_1(G_2)=0$; число вершин графа G' індексу 3 (вершини A', B', C', D') – $a_3(G')=4$; індексу 1 (жодної вершини) – $a_1(G')=0$. Тобто графи G_2 та G' мають однакові інваріанти $a_3(G_2)=a_3(G')=4$; $a_1(G_2)=a_1(G')=0$, це означає, що вони являються гомеоморфними, тобто можна побудувати гомеоморфізм $f:G_2\to G'$ а графи G_1 та G' не мають однакових інваріантів $a_3(G_1)\neq a_3(G')$; $a_1(G_1)\neq a_1(G')$, тобто $u:G_1\to G'$ не можливо побудувати. Таким чином правильну побудову містить граф G_2.

Висновки та перспективи використання. Представлений варіант формалізації процесу перетворення геометричних образів, лекал (3) дозволяє узагальнити та пов'язати між собою всі гомеоморфні перетворення контуру розгортки, а також здійснювати чисельний контроль виконання додаткових побудов при конструюванні одягу. Створення математичної моделі на основі розглянутої формалізації дає перспективу вдосконалення існуючих алгоритмів реалізації САПР, що має вирішити проблеми автоматизованого проектування конструкцій одягу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. САПР Одежды [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://sapr-odezda.ru.
2. Сафонова Г. Ф. Аналіз існуючих САПР конструювання та моделювання одягу / Г. Ф. Сафонова // Збірник наукових праць / Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві. – Вип. 3 (4). – Одеса, 2013. – С. 76-83.
3. Кочесова Л. В. Сравнительный анализ принципов разработки модельных конструкций в различных САПР одежды / Л. В. Кочесова // Технико-технологические проблемы сервиса : сборник научных трудов. – Вип. 1(11). – НИИТТС, 2010. – С. 81-84.
4. Анализ систем автоматизированого проектирования одежды [Електронний ресурс] / О. Н. Микрюкова. – Режим доступу : https://sites.google.com/site /ictdistanceconference/home.
5. Проказникова Е. Н. Математическое моделирование и алгоритмы формирования чертежей выкроек женской одежды для САПР швейного производства / Е. Н. Проказникова, А. Н. Пылькин // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. Международный журнал экспериментального образования. – 2012. – Вып. 2. – С. 72-74.
6. Черунова И. В. Развитие положений математического моделирования при проектировании одежды / И. В. Черунова // Социально-экономические и технико-технологические проблемы развития сферы услуг : сб. науч. трудов. – Ростов на Дону : РИС ЮРГУЭС, 2006. – Вып. 5. – Ч. 2. – Т. 2. – С. 185-190.
7. Мязина Ю. С. САПР одежды : учебное пособие / Ю. С. Мязина, Л. Н. Лисиенкова. – Челябинск : ЮУрГУ, 2007. – 48 с.
8. Болтянский В. Г. Наглядная топология / В. Г. Болтянский, В. А. Ефремович // Главная редакция физико-математической литературы – М. : Наука, 1983. – 160 с.

Сафонова А. Ф. ФОРМАЛИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОБРАЗОВ САПР ОДЕЖДЫ

В статье рассмотрены существующие проблемы процесса автоматизированного проектирования одежды. Целью исследования является формализация процесса преобразования геометрических образов САПР одежды. Описаны особенности геометрических преобразований деталей одежды. Рассмотрена формализация процесса преобразования геометрического образа при конструировании одежды. Контур развертки деталей одежды был представлен в виде замкнутой кривой гомеоморфной окружности. Процесс преобразования развертки рассмотрен как некоторое гомеоморфное преобразование f кривой G в кривую $G^{/}$. Была описана формула формализации процесса преобразования геометрической информации при конструировании одежды, которая представляет собой гомотетию кривой G в кривую $G^{/}$. На примере продемонстрировано использования свойств гомеоморфных фигур топологии для численного контроля правильности дополнительных построений при моделировании геометрических образов. Была применена топологическая инварианта — число вершин графа индекса $n \neq 2$. Создание математической модели на основе рассмотренной формализации дает перспективу усовершенствования существующих алгоритмов реализации САПР, что должно решить проблемы автоматизированного проектирования конструкций одежды.

Ключевые слова: контур развертки, гомеоморфное преобразование, топологическая инварианта.

Safonova A. F. FORMALIZATION OF GEOMETRIC IMAGE CAD CONVERSION CLOTHING

The article discusses the existing problems process aided design clothes. The purpose of this study is to formalize the process of converting CAD geometric images of clothing. The features of geometric transformations of clothing details. Considered the formalization of the geometric image transformation process when designing clothes. Process of transformation of development is considered as some homeomorphic transformation f by curve G in curve $G^{/}$. The formula of theoretic-mathematical model of process of transformation of the geometrical information has been described at designing of clothes which represents homothety curve G in curve $G^{/}$. Gives the example of the use of the properties of topology homeomorphic figures for numerical accuracy control of additional constructions in modeling geometric images. Was applied topological invariant - the number of vertices of index $n \neq 2$. Creating a mathematical model based on the formalization gives perspective to improve existing algorithms implementing CAD, which should solve the problem of computer-aided design clothing designs.

Keywords: circuit sweep, homeomorphic transformation, the topological invariant.

Статтю прийнято
до редакції 28.04.14.



УДК 004.81

УСЛОВИЕ ИНВАРИАНТНОСТИ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ К НЕСТАЦИОНАРНЫМ ВОЗМУЩЕНИЯМ

Соколова О.В.

Херсонский национальный технический университет

В статье рассмотрены вопросы систематизации методов построения систем распознавания образов. Приведена классификация методов распознавания. Выполнен анализ условий инвариантности систем распознавания по отношению к возмущениям объекта и внешней среды. Получено условие инвариантности системы к нестационарным возмущениям: система должна иметь контур обратной связи, который воспроизводит по гипотезе входную информацию.

Постановка проблемы. В настоящее время для моделирования процесса обучения применяется очень большое количество моделей, основанных на различных теориях. Однако можно утверждать, что исчерпывающих результатов в области компьютеризации обучения не достигнуто. Это связано с большой сложностью и динамичностью объекта управления. При этом предполагается, что процесс обучения представляет собой последовательную совокупность освоения отдельных разделов учебного материала, для каждого из которых формируется информационный поток. При рассмотрении процесса обучения будем исходить из концепции информационной технологии, и рассматривать задачу обучения как задачу обработки информационного потока, что предложено в [1]. Формирование знаний рассматривается как «отложенные» реакции для системы без обратной связи. Данный подход реализует фиксированную траекторию обучения. В этом случае производится периодическая проверка результатов обучения, и, при необходимости, производится повторный цикл обучения. Достоинством такой схемы является упрощение и удешевление обучения. Не останавливаясь на недостатках, подчеркнем второе существенное достоинство – структура обеспечивает идеальный результат при постоянных внешних условиях и соответствии траектории обучения объекту обучения. Собственно, это принцип управления по возмущению, где внешняя среда всегда известна, а объект стационарен. При контроле объект обучения рассматривается как источник сигнала – сообщения. В этом случае для простой схемы обработки информации имеем источник информации – учитель (обучающий), формирующий прообраз, и приемник информации – обучаемый, формирующий образ. При этом источник информации – учитель, выступает как источник внешнего воздействия, компенсируемого реакцией обучаемого. В этом случае объект охвачен обратной связью, и реализуется система управления по отклонению [2]. Данная схема предполагает рассмотрение обучения в виде процесса накопления информации о формировании реакции обучаемого как компенсирующего воздействия. При таком подходе естественно возникает проблема измерения рассогласования между образом и прообразом, первой частью которой можно считать проблему распознавания. Начать следует с систематизации методов построения систем распознавания образов и анализа условий инвариантности систем распознавания по отношению к возмущениям объекта и внешней среды.

Анализ последних исследований и публикаций. Говоря о распознавании образов как о «разделе математической кибернетики, разрабатывающий принципы и методы классификации, а также идентификации предметов, явлений, процессов, сигналов, ситуаций – всех тех объектов, которые могут быть описаны конечным набором некоторых признаков или свойств, характеризующих объект» [3], рассмотрим подходы к систематизации методов построения систем данного класса. Для начального периода становления теории характерна попытка систематизации по структурным признакам [4].

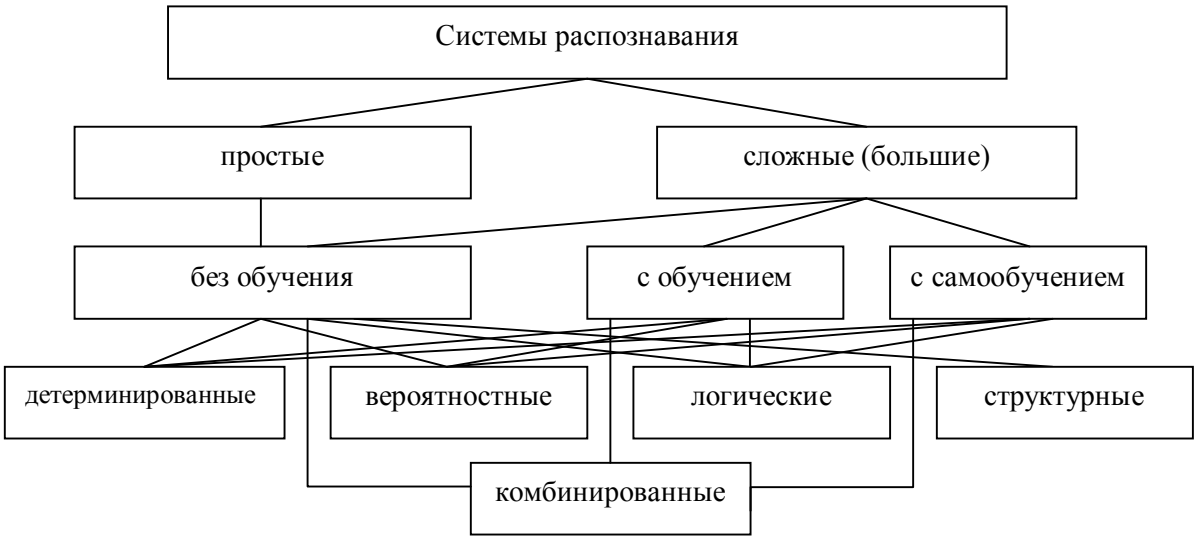


Рисунок 1 – Классификация методов распознавания

В дальнейшем ощущение неполноты потребовало новых подходов к классификации методов и систем в данной области.

Так разделив все методы по отношению к описанию объекта [5], было получено разделение на два класса:

- интенсиональные методы, основанные на операциях с признаками.
- экстенсиональные методы, основанные на операциях с объектами.

Данная классификация представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Классификация методов распознавания

Интенсианальные методы распознавания	Методы, основанные на оценках плотностей распределения значений признаков (или сходства и различия объектов)
	Методы, основанные на предположениях о классе решающих функций
	Логические методы
	Лингвистические (структурные) методы
Экстенсионльные методы распознавания	Метод сравнения с прототипом
	Метод k ближайших соседей

В данном случае классификация мало изменилась и практически это перечисление сформировавшихся методов, таким образом, за достаточно большой период времени классификация методов практически не менялась, оставаясь недостаточной для оценки возможностей метода.

Цель статьи. Целью данной статьи является систематизация методов построения систем распознавания образов и анализ условий инвариантности систем распознавания по отношению к возмущениям объекта и внешней среды.

Основная часть. Исходя из наиболее общих позиций, рассмотрим множество объектов Ω, подлежащих распознаванию. Задание множества Ω является делом нетривиальным. Действительно, задать Ω стандартными формальными методами: перечислительным, предикатным и алгебраическим, невозможно. Декларируется, что имеются знания о каждом из элементов этого множества. Однако, есть тонкость – элемент множества Ω, ω_i не является физическим объектом – это определение, описание или, если угодно, наименование объекта. Действительно, «объект» как элемент множества объектов – это утверждение о наличии объекта, соответствующего определению свойств, однако в данном случае предполагается достаточность информации о данном объекте. Таким образом, каждому образу соответствует его реализация f, зависящая от образа и параметра ρ в пространстве реализации:

$$\begin{aligned} &\varpi_i \in \Omega; \\ &\varpi_i \to f_i(\rho). \end{aligned} \tag{1}$$

Например, объект в евклидовом пространстве описывается функцией от тройки *x*, *y*, *z*, а речевой сигнал зависит от времени *t*, единственное, что их объединяет это то, что в множество объектов входит факт наличия и описание, а реально существует физическая реализация. Естественно, образ может иметь структуру, описываемую логической функцией $L(a_1,\ldots a_n)$. Это естественно порождает ряд свойств объекта, но не является основополагающим, так как учтено в задании множества как ограничения. Следовательно, главным является наличие знаний об объекте. Так как знания есть основа представления объекта, то можно говорить о наличии модели объекта f_i^* или эталона объекта, создаваемого на основе этих знаний.

Естественно, если мы знаем об объекте все, то и модель как эталон будет описывать все элементы и свойства объекта. При этом, если мы можем построить эталон, то знаем его структурные связи, описываемые логическими функциями.

При реализации измерений имеет место дискретизация. Ведем решетку δ и выполним дискретизацию реализации, например, для плоского изображения:

$$\begin{aligned} &\delta = \delta(x - \Delta x \cdot i, \quad y - \Delta y \cdot j) \\ &f_{ij} = \iint_s \delta_{ij} f dx dy. \end{aligned} \tag{2}$$

Наличие искажений реализации образа порождает проблему совмещения решетки дискретизации сигнала образа, и эталона. Обычно предполагается достаточность аффинного преобразования для совмещения эталона и сигнала образа, что порождает метод нормализации изображения [4]:

$$\begin{aligned} &\mathbf{x} = D\mathbf{x}_0; \\ &D^* \to \inf \mu\left\{f_i(\mathbf{x}), f_i^*(D\mathbf{x}_0)\right\}, \end{aligned} \tag{3}$$

где *D* – матрица аффинного преобразования, μ – метрика в пространстве сигналов.

Существенно, что в реальных системах первичные информационные преобразователи имеют определенный закон преобразования изображения. Так для телевизионной системы преобразование точек изображения в последовательный сигнал определяется «телевизионной разверткой»:

$$\begin{aligned} &x_i = \Delta x \cdot i, \quad i = \overline{1,n}, \quad k = k+1 \quad if \quad i = n; \\ &y_i = \Delta y \cdot l, \quad l = \overline{1,m}; \\ &\dim i = k = m \cdot n. \end{aligned} \tag{4}$$

Однако, кроме пространственных искажений присутствуют случайные возмущения – шумы и сигнал, получаемый от первичных преобразователей информации, будет отличаться от эталона даже при точной нормализации.

Следовательно, при измерении для нормализованного сигнала имеем реализации сигнала образа:

$$\begin{aligned} &Y_i = f_i(\mathbf{x}); \\ &Y_i^* = f_i^*(A\mathbf{x}_0). \end{aligned} \tag{5}$$

Таким образом, мы получаем *k* отсчетов теоретической и наблюденной функции. Так как при соответствии модели и объекта существует функциональная связь между моделью и объектом используем регрессию модели на объект:

$$Y_i = a_0 + a_1 Y_i^* + a_2 Y_i^{*2} + \ldots + S. \tag{6}$$

Коэффициенты регрессии для центрированных сигналов модели и объекта:

$$m_y = M\{Y\}, \quad m_{y*} = M\{Y*\}, \quad \overset{o}{Y}_i = Y_i - m_y, \quad \overset{o}{Y}{}^*_i = Y_i* - m_{y*} / \tag{7}$$

определяются соотношениями

$$a_0 = m_y - a_1 m_{y*} = M\left\{Y_i - a_1 Y_i^*\right\}, \quad a_1 = \frac{\sum_{i=1}^{k} \overset{o}{Y}_i \cdot \overset{o}{Y}_i^*}{\sum_{i=1}^{R} \overset{o}{Y}_i^2} = R_{yy*} \tag{8}$$

При этом в случае полного совпадения сигналов объекта и эталона получаем:

$$\begin{aligned} &Y_i = Y_i^*; \\ &a_0 = 0; \\ &R_{yy*} = 1. \end{aligned} \tag{9}$$

Следовательно, остаток S должен быть равен нулю и можно выделить два типа критериев близости – критерии первого порядка:

$$\eta_1 = \varphi\left(M\left\{Y_i - a_1 Y_i^*\right\}\right), \tag{10}$$

и критерии второго порядка:

$$\eta_2 = \varphi\left(R_{yy*}\right). \tag{11}$$

Причем, при несовпадении эталона и объекта ни один из этих критериев не является достаточным, так как следует учитывать остаток регрессии

$$Y_i - a_0 - a_1 Y_i^* = S_i \neq 0. \tag{12}$$

Однако, этот факт игнорируется практически всегда, и рассматриваются отдельно корреляционные методы, отдельно методы сравнения с эталоном и естественно эвристические методы, которых как видно из уравнения регрессии, можно сочинить много.

Таким образом, можно выделить необходимые операции:

- нормализация,
- фильтрация,
- определение меры близости с эталоном.

Относительно меры близости системы можно классифицировать, опираясь на используемые при представлении зависимости члены регрессии (6).

Однако, существует проблема инвариантности систем распознавания. Суть проблемы в сохранении характеристик системы при изменении внешних условий и изменении собственно объектов распознавания Ω. Предположим конечность, счетность и наличие информации $I_{\omega i}$ о каждом объекте ω_i, достаточной для его реализации. В таком случае мы получаем возможность ставить задачу нахождения оптимального, с точки зрения выбранного критерия ζ, соответствия A, описывающего связь между множеством объектов Ω и множеством решений Y_r. Вводя множество истинных решений Y_0:

$$\begin{aligned} &A : \Omega \to Y_r; \\ &A^*(I_\omega) \to opt\xi\left(Y_0, Y_r\right) = \zeta^*. \end{aligned} \tag{13}$$

В такой постановке условием сохранения качества системы ζ^* является неизменность или стационарность элементов множества объектов Ω. При этом зависимость соответствия от полноты информации о распознаваемых объектах существенна, так как точное построение эталона требует знания всех значимых коэффициентов регрессии (6).



Поскольку нас интересует наиболее общее свойство – условие существования решения класса задач, воспользуемся описанием задачи в рамках теории множеств. Кроме множества известных объектов Ω на результат влияют элементы множества возмущений G. Предположение о счётности, конечности и определенности множества G позволяют рассматривать множества I_g и I_ω, информации о возмущениях и объектах, как задания этих множеств.

В общем случае, множества Ω и G, находятся в общем положении, что позволяет рассматривать наиболее общий случай. Однако пересечение множества объектов Ω и множества возмущений G порождает множество неразличимых входных состояний S и разумно доопределить одно из входных множеств. Но это равносильно устранению общей части этих множеств, включение общей части в одно из множеств тоже изменяет задачу, приводя к задаче с непересекающимися входными множествами:

$$\Omega \cap G = \varnothing. \tag{14}$$

В этом нет противоречия, так как отсутствие пересечения, к сожалению, не делает задачу проще, так как это означает только неразличимость, а возможность одновременного предъявления элемента множества образов и возмущений сохраняется. Свойство отсутствия пересечения входных множеств не упрощает задачу, так как входная ситуация не сводится к прямому произведению из-за неопределенности связи объектов и возмущений.

Тогда соответствие A будет зависеть от информации о обеих множествах и задача принимает вид:

$$\begin{aligned} &A:(\Omega \cup G) \to Y_r; \\ &A^*(I_\omega, I_g) \to opt\xi = \zeta^*. \end{aligned} \tag{15}$$

При этом, как определено ранее, ограничения в данной задаче неявно содержаться в определении множеств Ω и G. Условие инвариантности или независимости от внешних возмущений при стационарности множества объектов выглядит просто условием независимости от возмущений:

$$A^*:(\Omega \cup G) = A^*:(\Omega) \to \inf\left|\overline{Y}\right|. \tag{15'}$$

Таким образом, основным условием достижимости инвариантности является конечность и определенность установленного соответствия для множества объектов, возмущений, и решений, и как следствие, их стационарность.

Однако, на практике на первом этапе реализации системы объединение множества объектов Ω и множества известных возмущений G воспринимаются как единое множество объектов $\Omega_г$. Однако вскоре выясняется, что не все возмущения учтены и возникает желание дополнить систему процедурой коррекции решения. Тогда, используя информацию о возмущениях I_g , учитывается влияние множества возмущений при помощи отдельного соответствия Q, определяющего множество Z, корректирующее решения при наличии возмущений:

$$Q(I_g):G = Z. \tag{16}$$

Так как при наличии возмущений оптимальность системы нарушается и даже для оптимального соответствия (15) получаем ошибочное решение $Y_г$:

$$A^*:(\Omega \cup G) \to Y/. \tag{17}$$

Формально учитывая свойства соответствия можно записать

$$A^*:(\Omega \cup G) = (A^*:\Omega) \cup (A^*:G) \to Y_r = Y \cup Z. \tag{18}$$

Собственно условие (18) означает раздельное наблюдение объектов и помех, точнее предположение о разделимости описаний объектов и возмущений. Данное предположение, как правило, положено в основу методов распознавания, где прослеживается стремление устранения влияния возмущений.

Для получения необходимого результата необходимо определение соответствия по каналу возмущения таким, что бы выполнялось условие:

$$Y_r /(Q^* : G) = Y . \tag{18}$$

Следовательно, для работы системы в условиях воздействия возмущений необходимо определить композицию соответствий:

$$\left[(A^*(I_\omega) : \Omega) \cup (Q^*(I_g) : G)\right] \setminus (Q^*(I_g) : G) \to Y_r \setminus Z = Y . \tag{19}$$

Естественно, оба соответствия могут быть определены наилучшим – оптимальным образом:

$$\begin{aligned} &A^* : (\Omega \cup G) = A^* : (\Omega) \to \inf\left|\overline{Y}\right|; \\ &Q^* : G \to \inf|Z|. \end{aligned} \tag{20}$$

Однако, условие сохранения качества системы выполнимо только в случае полного знания о возможных возмущениях, то есть когда полностью исключены случайности. Верно и обратное: в условиях неопределенности возмущений и нестабильности объекта система будет ошибаться. Структурно получаем достаточно простое устройство, структура которого изображена на рис. 2.

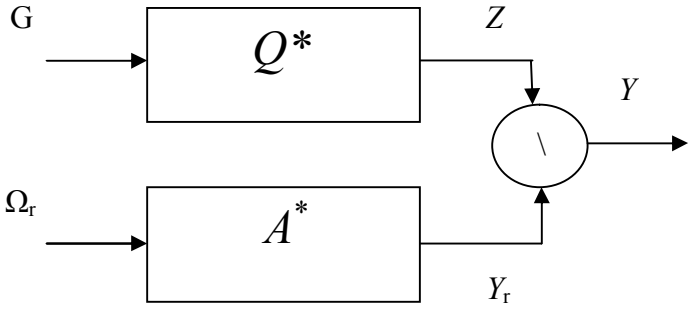


Рисунок 2 – Структура системы распознавания при коррекции возмущений

Таким образом, к сожалению, в реальной системе, построенной на основе выбора фиксированного оптимального соответствия в условиях неопределенности возмущений, ошибки неизбежны.

Естественное желание сохранения инвариантности приводит к известному в теории искусственного интеллекта принципу сравнения с истинным решением [4]. Предполагая наличие источника истинного множества решений Y_0, как учителя или внешней системы, получаем возможность вычисления ошибки, и создавать системы адаптации, однако эти системы учатся на своих ошибках, а это слабое утешение в реальных нестационарных процессах, так как система будет допускать ошибки. С другой стороны, предположение знания множества объектов I_ω позволяет предположить существование обратного соответствия, позволяющего на основе множества решений восстановить описание входных объектов – множества объектов:

$$A^{*-1} : Y \to \Omega.. \tag{21}$$

Естественно, рассматривать это обратное преобразование как ассоциативную память, при этом предположение существования обратного соответствия определяется полнотой информации об объекте. Однако, наличие возмущения порождает ошибку в обратном соответствии:

$$A^{*-1}: Y_r \to \Omega_s;$$
$$\Omega_s = \Omega \cup S, \tag{22}$$

где S – это множество предполагаемых, при обратном соответствии, возмущений.

Тогда предполагая, что множество образов известно и существует обратное соответствие, переводящее множество решений в множество объектов, можно записать:

$$A^{*-1}: Y \to \Omega, \quad A^{*-1}: Z \to S;$$
$$\Omega_s = \Omega \cup S. \tag{23}$$

Следовательно, реально множество ошибки воспроизведения образа $\Omega_s \setminus \Omega = \Delta\Omega$ не пусто. Естественно условие $\Omega = \Omega_r$ обеспечивает выполнение условия $\Delta\Omega = \varnothing$, которое можно трактовать как полное знание системой входной ситуации. Поэтому процедура минимизации мощности множества ошибки позволяет построить алгоритм восстановления истинного множества решений.

Тогда для гипотезы Y_r , используя обратное преобразование A^{*-1} определим ошибку решения:

$$A^{*-1}: Y_r \setminus \Omega_r \to \Delta\Omega = \Omega_s \setminus \Omega_r;$$
$$(\Omega \cup S) \setminus (\Omega U G) = S \setminus G = \Delta\Omega. \tag{24}$$

Следовательно, обратное соответствие не может быть просто обратным соответствием распознающей системы. Предположив существование соответствия B, обеспечивающего правильное распознавание получим:

$$B: Y_r = (A^{*-1}: Y) \cup (C: Z) \to \Omega \cup G. \tag{25}$$

Следовательно, для независимых соответствий, обладающих свойством:

$$A^{*-1}: Y \to \Omega, \quad A^{*-1}: Z \to \varnothing$$

$$C: Z \to G, \quad C: Y \to \varnothing.$$

Тогда получаем формирование ошибки:

$$B: Y_r \setminus \Omega_r = ((A^{*-1}: Y) \cup (C: Z)) \setminus \Omega_r \to (\Omega \cup S) \setminus (\Omega \cup G) = S \setminus G = \Delta\Omega..$$

Представив формирование соответствия C как последовательную процедуру снижения ошибки:

$$(C_1: Z) \setminus G \to \Delta\Omega_1, (C_2: Z) \setminus G \to \Delta\Omega_2, \ldots, (C_n: Z) \setminus G \to \Delta\Omega_n;$$
$$|\Delta\Omega_1| > |\Delta\Omega_2| >, \ldots, > |\Delta\Omega_n| = 0. \tag{26}$$

Таким образом, получаем простое условие инвариантности системы к нестационарным возмущениям – система должна иметь контур обратной связи, компенсирующий входную информацию и для полной инвариантности относительно возмущений, необходимо и достаточно, что бы контур обратной связи мог воспроизвести по гипотезе любую входную ситуацию. Структура системы, инвариантной по отношению к возмущению, приведена на рис. 3.

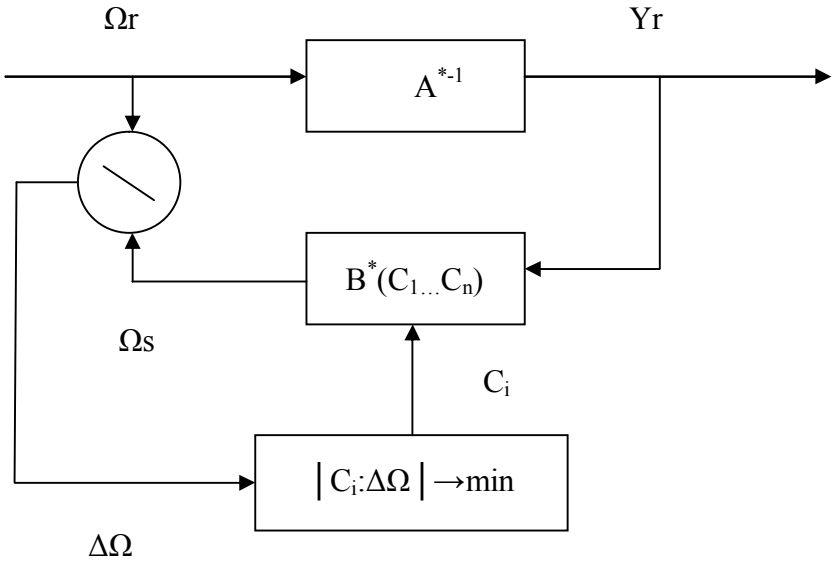


Рисунок 3 – Структура системы распознавания, допускающей инвариантность

Выводы. Таким образом, рассмотрены вопросы систематизации методов построения систем распознавания образов. Приведена классификация методов распознавания. Выполнен анализ условий инвариантности систем распознавания по отношению к возмущениям объекта и внешней среды. Получено простое условие инвариантности системы к нестационарным возмущениям – система должна иметь контур обратной связи, компенсирующий входную информацию и для полной инвариантности относительно возмущений, необходимо и достаточно, чтобы контур обратной связи мог воспроизвести по гипотезе любую входную ситуацию.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов А. Е. Формализация составляющих процесса обучения / А. Е. Соколов, Е. О. Махова // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2009. – № 1 (34). – С. 508-512.

2. Соколов А. Є. Комбінована модель управління процесом комп'ютеризованого навчання / А.Е. Соколов // Вісник Житомирського державного технологічного університету. – 2010. – № 1 (52). – С. 157-160.

3. Энциклопедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_mathematics/4665/.

4. Горелик А. Л. Методы распознавания / А. Л. Горелик, В. А. Скрипкин. – М. : Высшая школа, 1984, 2004. – 262 с.

5. Симанков В. С. Адаптивное управление сложными системами на основе теории распознавания образов / В. С. Симанков, Е. В. Луценко. – Краснодар : Кубан. гос. технолог. ун-та, 1999. – 318 с.

Соколова О.В. УМОВА ІНВАРІАНТНОСТІ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ ДО НЕСТАЦІОНАРНИХ ЗБУРЕНЬ

У статті розглянуті питання систематизації методів побудови систем розпізнавання образів. Приведено класифікацію методів розпізнавання. Виконано аналіз умов інваріантності систем розпізнавання по відношенню до збурень об'єкту і зовнішнього середовища. Отримано умову інваріантності системи до нестаціонарних збурень: система повинна мати контур зворотного зв'язку, який відтворює за гіпотезою вхідну інформацію.

Ключові слова: інваріантність системи розпізнавання, аналіз системи.

Sokolova O.V. CONDITION OF INVARIANCE RECOGNITION SYSTEM TO NON-STATIONARY PERTURBATIONS

The article discusses the systematization of methods for constructing recognition systems. A classification of methods of recognition. The analysis of the conditions of invariance recognition systems with respect to perturbations of the object and the environment. A condition of invariance of the system to non-stationary perturbations: the system must have a feedback loop that plays on the hypothesis of input information.

Keywords: invariance recognition, analysis of the system.

Статтю прийнято
до редакції 30.04.14.

УДК 004.896

МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ЛИНИЯМИ ПРОКАТА ЛИСТОВОЙ СТАЛИ

Тимофеев В.А., Самер Лага
Харьковский национальный университет радиоэлектроники

В статье рассматривается подход к мониторингу качества управления технологическими процессами проката листовой стали с применением нейросетевой модели. Разработан метод диагностики состояния линии травления полосового проката с использованием индекса качества, определяемого с помощью нейросетевой модели. Первый шаг предлагаемой процедуры состоит в определении класса качества продукции в соответствии с выходной динамикой техпроцесса. Вторым шагом является построение имитационной модели. Оптимальное качество продукции соответствует минимальному метрическому расстоянию между средним значением оптимального остатка и его фактическим значением. Полученные зависимости позволяют оценивать состояние травильного агрегата без его остановки. Результаты моделирования подтверждают эффективность применения предложенного подхода для получения гарантированной точности идентификации и уменьшения отклонения выходных параметров от заданных значений.

Ключевые слова: качество управления, анализ остатков, нейросетевая модель, прокат листовой стали.

Введение. Одним из перспективных путей повышения эффективности непрерывных широкополосных станов прокатки является совершенствование систем автоматизированного управления ключевыми стадиями, определяющими качество выпускаемой продукции – стального проката.

Мониторинг качества работы контуров регулирования процессов производства холоднокатанной листовой стали является нетривиальной задачей, решение которой может быть основано на анализе средних значений и отклонений остатков (ошибок управления) [1]. Остатки определим, как разность между оптимальным и реальным значениями регулируемого выходного параметра. Если отклонение (взвешенное значение остатков на некотором временном интервале) превышает порог, то диагностируется сбойная (нештатная) ситуация. Такой процесс может быть реализован с помощью процедуры обнаружения нештатных ситуаций (ОНС), которая предполагает получение данных от датчиков и их предварительную обработку для выявления и классификации диагностирующих симптомов. Если отклонение (взвешенное значение остатков на некотором временном интервале) превышает порог, то диагностируется сбойная (нештатная) ситуация. Такой процесс может быть реализован с помощью двухшаговой процедуры обнаружения нештатных ситуаций (ОНС).Обнаружение нештатных ситуаций предполагает получение данных от датчиков и их предварительную обработку для выявления и классификации диагностирующих симптомов. Регистрируемая последовательность сигнатурных значений таких симптомов может далее использоваться другой моделью, которая принимает во внимание значимость дефектов и вероятность отказа. *Целью статьи* является разработка алгоритма мониторинга качества управления технологическими линиями проката листовой стали и нейросетевое моделирование рассматриваемого подхода (применительно к управлению процессом травления).

Алгоритм обнаружения нештатных ситуаций с применением индекса качества. Процедура ОНС основана на анализе остатков, которые определяются разностью выходов моделей для нормальных и нештатных ситуаций. При оценке качества используется метрическое расстояние между статистическими данными о процессе и их влиянием на качество продукции. Оптимальный режим работы задают для оптимизации качества продукции; корреляция между ними рассчитывается с применением ИНС. Рис. 1 иллюстрирует принцип обнаружения и диагностики нештатных ситуаций, а также оценивания качества управления процессом, в соответствии со значимостью остатков.

Первый шаг предлагаемой процедуры состоит в определении класса качества поверхности стальной полосы в соответствии с выходной динамикой процесса. Стабильность такой динамики свидетельствует о высоком качестве прокатной продукции. Вторым шагом является построение имитационной модели. Оптимальное качество продукции соответствует минимальному метрическому расстоянию между средним значением оптимального остатка и его фактическим значением. Затем определяется вид функциональной зависимости между значимостью дефекта, найденной по остаткам, и влиянием дефекта на производственные отказы. Статистические свойства остатков обычно используют как инструмент для диагностики. Последствия возникновения дефектов в смысле их влияния на качество стального проката зависят от динамичных изменений остатков. Рассмотрим вопросы адаптивного вычисления средних значений остатков и их отклонений, которые коррелированы с коэффициентом качества прокатной продукции.

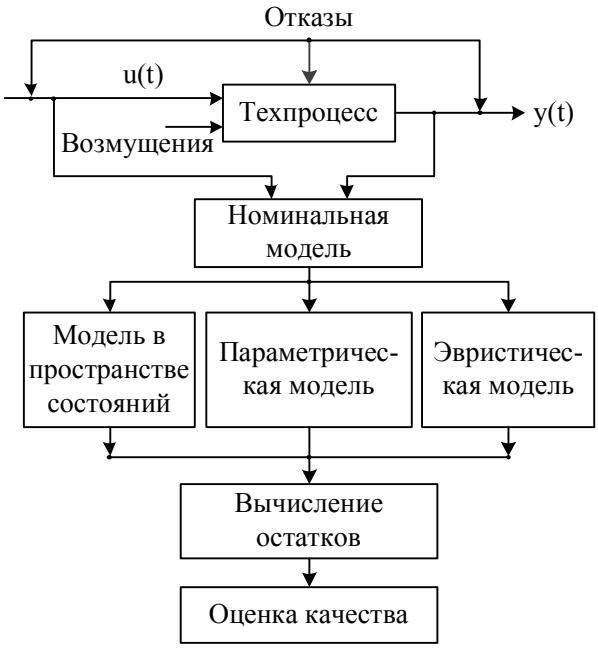


Рисунок 1 – Принцип оценивания качества с использованием остатков

Процедура локальной диагностики основана на адаптивном методе расчета средних значений остатков и их отклонений. Средние значения каждой суммарной статистики обновляются по следующему правилу:

$$\bar{x}_n = \lambda \bar{x}_{n-1} + (1-\lambda)x_n, \qquad (1)$$

где $\bar{x}_n$ – рассчитанное по n точкам среднее значение остатка; x_n – данные для новой точки; λ – фильтрующий коэффициент, который для рассматриваемого далее модельного примера принимается равным 0.5.

Величина отклонения для каждой суммарной статистики рассчитывается рекурсивно как среднеквадратическое отклонение:

$$\sigma_n = \sqrt{(\sigma_{n-1})^2 \left[\frac{n-2}{n-1}\right] + \frac{1}{n}\left(x_n - \bar{x}_{n-1}\right)^2}, \qquad (2)$$

где σ_n – среднеквадратическое отклонение, рассчитанное по n точкам; $\bar{x}_{n-1}$ – предыдущее среднее значение. При моделировании можно использовать 10 точек. Рассчитанные относительные изменения средних значений остатков и их отклонений могут быть использованы в качестве входных сигналов нейронной сети при оценивании

коэффициента качества прогноза и классификации (Q_n). Этот коэффициент предлагается вычислять следующим образом:

$$Q_n(t) = F_{ИНС}\left(\sigma_n(t), \bar{x}_n(t)\right), \tag{3}$$

где $F_{ИНС}$ – нейросетевая модель; $\sigma_n(t)$ и $\bar{x}_n(t)$ – соответственно среднеквадратичное отклонение и среднее значение остатка в рабочем окне *n*.

Качественное выделение признаков основано на определении тренда информации. Анализ тренда и прогнозирование – важные компоненты процесса мониторинга и супервизорного (диспетчерского) управления. Моделирование тренда может быть использовано для диагностики сбоев и предсказания будущих состояний. Статистические свойства остатков *ε(t)* можно использовать как инструмент для оценивания качества. Для этого обычно применяют несколько индексов качества, характеризующих динамику остатков. Остаток должен быть нормированным по отношению к оптимальному режиму работы. Используя модель процесса и новые входные данные, соответствующие разным состояниям процесса, можно получить графики изменения остатков. Качество проката зависит от динамики изменения длины петли, так как эти изменения могут привести к деформации металлического листа и к перетраву или недотраву стальной полосы. Определим индекс качества Q как функцию от среднего значения и дисперсии остатка:

$$Q = f\left(\bar{\varepsilon}, \sigma_\varepsilon\right) = \alpha\bar{\varepsilon} + \beta\sigma_\varepsilon, \tag{4}$$

где

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\varepsilon_i, \tag{5}$$

$$\sigma_\varepsilon = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(\varepsilon_i - \bar{\varepsilon}\right)^2}, \tag{6}$$

где α и β – постоянные коэффициенты.

В структуре модели индекс качества, как функция свойств остатка, определяется уравнением (3). Очевидно, что сбои оборудования приводят к прямым или косвенным потерям качества продукции. В общем случае, технологический процесс осуществляется с применением целого ряда технологических блоков. При этом производственный цикл может быть ориентирован на различные режимы работы технологической линии. Качество конечной продукции зависит от текущего состояния этих блоков. Мы предполагаем, что общее состояние линии или состояние каждого блока *j* можно определить по значению остатка $\varepsilon_j(t)$. Последствия изменения качества на *j-м* шаге техпроцесса обозначим как $q_j(t)$.

Глобальный индекс качества *Q(t)* является сложной функцией от $q_j(t)$. Мы рассматриваем лишь часть техпроцесса травления листовой стали, связанную с возможностью возникновения сбоев, определяемых остатком *ε(t)*, и вызывающих опасность механической деформации стальной полосы.

Нейросетевая диагностика качества управления длиной петли стальной полосы в травильных ваннах. Рассмотрим задачу диагностики качества управления длиной петли стальной полосы в травильных ваннах с применением процедуры ОНС. Процесс движения стальной полосы описывается нейросетевой критической моделью [2]. Управление травлением осуществляется путем изменения скорости вращения V_{s1} в соответствии с заданной скоростью V_{s2}. Выходными переменными регуляторов скорости (1) и (2) являются, соответственно, измеряемые скорости вращения V_{r1} и V_{r2},

а выходной переменной всей замкнутой системы управления является измеряемая длина петли $L_П$. Анализ данных показывает, что ограниченные возможности управления скоростью вращения механизма (1) не позволяют поддерживать требуемую производительность линии. Целесообразно осуществить моделирование процесса диагностики неисправностей с помощью ИНС, обучаемой на реальных данных техпроцесса. Особый интерес представляет построение динамической модели, отражающей зависимость между измеряемой длиной петли, реальными скоростями и задающими воздействиями для регуляторов скорости механизмов вращения (1) и (2). Рассмотрим следующую структуру такой модели:

$$L_П(t) = F_{ИНС}\left[L_П(t-1), L_П(t-2), V_{r1}(t-1), V_{r1}(t-2), V_{r2}(t-1), V_{r2}(t-2), V_{s1}(t), V_{s2}(t)\right], \qquad (7)$$

где $F_{ИНС}$ – структура ИНС, полученная в процессе обучения по данным для нормальных режимов работы технологической линии. Ошибка работы системы управления длиной петли определяется разностью:

$$\varepsilon(t) = L_П(t) - \hat{L}_П(t), \qquad (8)$$

где $L_П(t)$ и $\hat{L}_П(t)$ – текущие значения реальной и заданной длины петли.

В нормальном режиме $\varepsilon(t) \in D_{норм}$, $D_{норм}$ – допустимая область, которая обеспечивает оптимальное качество проката; $\varepsilon(t)$ – нормально распределенная величина, характеризуемая средним значением $\bar{\varepsilon}$ и дисперсией σ. Нештатная ситуация характеризуется попаданием величины $\varepsilon(t)$ в недопустимый диапазон $D_{сб.}$, т.е. $\varepsilon(t) \in D_{сб}$. Переход процесса в такой режим вызывает соответствующие структурные и параметрические изменения рассматриваемой модели, т.е.:

$$\Delta F_{ИНС} = F_{ИНС}^{сб.} - F_{ИНС}, \qquad (9)$$

где $F_{ИНС}^{сб.}$ – модель для нештатных (сбойных) ситуаций.

Если $\lim\limits_{t\to 0} \Delta F_{ИНС} \to 0$, то ошибка является устранимой в установившемся состоянии; если $\lim\limits_{t\to 0} \Delta F_{ИНС} \to \Delta F_{ИНС}^{0}$, то ошибка является статической. Изменения $\Delta F_{ИНС}$ вызывают эквивалентные изменения остатка, что оказывает соответствующее влияние на качество проката. Структура и процесс обучения ИНС были заданы при следующих параметрах: размерности вектора входа и вектора выхода – 3 и 1 соответственно; количество слоев – 2; количество нейронов в первом и выходном слоях – 8 и 1 соответственно; импульс – $\alpha = 0.65$; скорость обучения – $\eta = 0.75$. По модели процесса и новым входным данным для разных состояний процесса были получены графики изменения остатков (рис. 2).

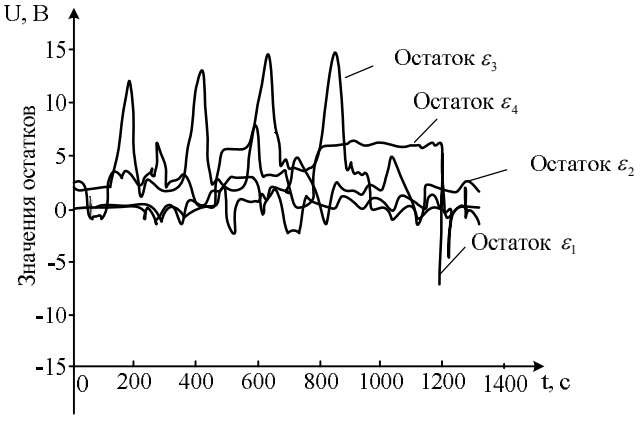
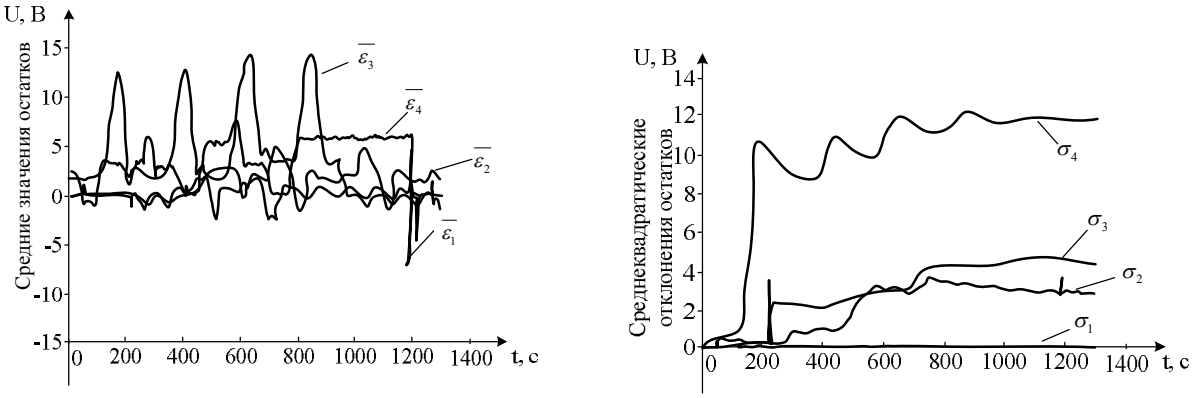


Рисунок 2 – Состояние остатков

Качество проката оценивалось по значению индекса качества *Q*, заданного как функция от среднего значения и дисперсии остатка. Очевидно, что сбои оборудования приводят к прямым или косвенным потерям качества продукции. В общем случае, технологический процесс содержит ряд технологических блоков. Качество конечной продукции зависит от текущего состояния этих блоков. Общее состояние линии или состояние каждого блока *j* можно определить по значению остатка $\varepsilon_j(t)$. Последствия изменения качества на *j-м* шаге техпроцесса обозначим как $q_j(t)$. Глобальный индекс качества $Q(t)$ является сложной функцией от $q_j(t)$. Мы рассматриваем лишь часть техпроцесса травления листовой стали, связанную с возможностью возникновения сбоев, определяемых остатком $\varepsilon(t)$, и вызывающих опасность механической деформации стальной полосы. Тестирование оценок качества осуществляются по новым наборам данных. Результаты тестирования для различных режимов приведены на рис. 3.



а) б)

Рисунок 3 – Оценка качества продукции: адаптация средних значений $\bar{\varepsilon}_n$ остатков – а); адаптация среднеквадратичного отклонения σ_n остатков – б); расчетные и измеренные значения индекса качества Q_n

Выводы. Очевидно, что индекс качества зависит от колебаний стальной петли, определяемых статистическими свойствами (например, $\bar{\varepsilon}_n$ и σ_n). Индекс качества Q_n является индикатором, который классифицирует локальный дефект качества в рабочем окне *n*. Последствия возникновения сбоев оборудования и их влияние на качество продукции могут быть оценены путем анализа исходных данных и результатов моделирования. Полученные зависимости между статистическими характеристиками данных и индексом качества позволяют оценить текущее состояние линии без ее останова, что в итоге сокращает общую стоимость обслуживания рассматриваемого технологического комплекса.

Перспективой дальнейших исследований является проведение дополнительного тестирования предложенных моделей в различных режимах и обоснование целесообразности их включения в структуру компьютерной автоматизированной системы управления технологическим процессом травления.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский. – М. : Финансы и статистика, 2002. – 344 с.

2. Илюнин О. О. Система нечеткого управления травлением стали с компараторной идентификацией дефектов проката / О. О. Илюнин, А. А. Шамраев, С. Г. Удовенко, А. И. Лазарев // Системні технології. – 2011. – № 3 (86). – С. 151-159.

Тимофеєв В.А., Самер Лага МОНІТОРИНГ ЯКОСТІ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ЛІНІЯМИ ПРОКАТА ЛИСТОВОЇ СТАЛІ

У статті розглядається підхід до моніторингу якості управління технологічними процесами прокату листової сталі із застосуванням нейромережевої моделі. Розроблено метод діагностики стану лінії травлення смугового прокату з використанням індексу якості, який розраховується за допомогою нейромережевої моделі. Перший крок запропонованої процедури полягає у визначенні класу якості продукції згідно з виходною динамікою техпроцесу. Другим кроком є побудова імітаційоної моделі. Оптимальна якість продукції відповідає мінімальній метричній відстані між середнім значенням оптимального залишку та його фактичним значенням. Отримані залежності дозволяють оцінювати стан травильного агрегату без його зупинки. Результати моделювання підтверджують ефективність застосування запропонованого підходу для отримання гарантованої точності ідентифікації та зменшення відхилення вихідних параметрів від заданих значень.

Ключові слова: якість управління, аналіз залишків, нейромережева модель, прокат листової сталі.

Timofeev V.A., Samer Laga MONITORING OF QUALITY OF THE AUTOMATED CONTROL BY TECHNOLOGICAL LINES OF PICKLING OF BAND STEEL

In this paper the approach to process control rolling strip steel using diagnosis neural network was considered. An approach to automated control of metal loop length in pickling bath was proposed. A method for diagnosing the state of pickling line using quality index, which is determined by using the neural network model was designed. The first step of the offered procedure consistsof determination of class of quality of products in accordance with the output dynamics of process. The second step is a construction of simulation model. Optimal quality of products corresponds to minimum metrical distance between the mean value of optimal remain and his actual value.Obtained dependencies allow assessing the condition of the pickling unit without it stopping. The simulation results confirm the effectiveness of the proposed method to obtain the guaranteed accuracy of identification and reduce the deviation of output parameters from preset values.

Key words: control quality, analysis of bits, neural network model, pickling of band steel.

Статтю прийнято
до редакції 10.06.14.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Аппазов Е.С., к.т.н., доцент кафедри транспортних технологій	Херсонський національний технічний університет
Безлуцька О.П., к.і.н., доцент кафедри гуманітарних дисциплін	Херсонська державна морська академія
Бень А.П., к.т.н., доцент, проректор з науково-педагогічної роботи	Херсонська державна морська академія
Бідюк П.І., д.т.н., професор, професор Інституту прикладного системного аналізу	Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
Богдан Ю.О., аспірант кафедри суднових енергетичних установок, допоміжних механізмів суден та їх експлуатації	Київська державна академія водного транспорту імені гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного
Борисенко К.І., аспірантка кафедри управління судном та безпеки життєдіяльності на морі	Херсонська державна морська академія
Браїло М.В., аспірант кафедри технічної механіки, інженерної та комп'ютерної графіки	Херсонська державна морська академія
Букетов А.В., д.т.н., професор, звідувач кафедри експлуатації суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки	Херсонська державна морська академія
Вороненко С.В., аспірант	Херсонська державна морська академія
Горбатюк Є.В., к.т.н.,доцент, доцент кафедри будівельних машин	Київський національний університет будівництва і архітектури
Гулієва Н.М., асистент кафедри комп'ютерне проектування верстатів та технології машинобудування	Луцький національний технічний університет
Даник В.В., аспірант	Херсонська державна морська академія
Дорогань О.І., асистент кафедри теретичної електротехніки та електронних систем	Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв
Євдокимова В.А., к.т.н., викладач Морського коледжу Херсонської державної морської академії	Херсонська державна морська академія



Зайцева Т.Г., к.пед.н., доцент, доцент кафедри гуманітарних дисциплін	Херсонська державна морська академія
Ісаєв Є.О., д.т.н., професор, професор кафедри експлуатації суднового електрообладнання і засобів автоматики	Херсонська державна морська академія
Іщенко І.М., к.т.н., доцент, професор кафедри експлуатації суднового електрообладнання і засобів автоматики	Херсонська державна морська академія
Казак В.М., д.т.н., професор	Національний авіаційний університет, м. Київ
Калинчак В.В., д.т.н., проф., завідувач кафедри теплофізики	Одеський національний університет ім. І.І.Мечнікова
Караюз І.В., аспірантка Інституту прикладного системного аналізу	Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
Клементьєва О.Ю., аспірантка кафедри технічної механіки, інженерної та комп'ютерної графіки	Херсонська державна морська академія
Клюєв О.І., к.т.н., доцент кафедри транспортних технологій	Херсонський національний технічний університет
Коробко В.В., к.т.н., доцент	Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв
Котило О.В., аспірант	Херсонська державна морська академія
Кошевой В.М., д.т.н., професор, завідувач кафедри морського радіозв'язку	Одеська національна морська академія
Кудирко О.М. аспірантка кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій	Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Лещенко А.М., к.філос.н., доцент, доцент кафедри гуманітарних дисциплін	Херсонська державна морська академія
Малигін Б.В., д.т.н., професор кафедри суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки	Херсонська державна морська академія
Мисковець С.В., асистент	Луцький національний технічний університет

Московко А.А., аспірант кафедри суднових енергетичних установок	Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв
Мухтаров П.Ш., інструктор тренажерного центра	Головний центр Єдиної системи управління повітряним рухом держпідприємства AZANS, Азербайджанська Республіка
Настасенко В.О., к.т.н., доцент, професор кафедри суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки	Херсонська державна морська академія
Нефьодов Л.І., д.т.н., професор, завідувач кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій	Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Парменова Д.Г., к.т.н., доцент кафедри безпеки життєдіяльності	Одеська національна морська академія
Пелевін Л.Є., к.т.н., професор, завідувач кафедри будівельних машин	Київський національний університет будівництва і архітектури
Просянок В.В., к.т.н., доцент	Азовський морський інститут Одеської національної морської академії
Русанов С.А., к.т.н., доцент, доцент кафедри обладнання промислових підприємств	Херсонський національний технічний університет
Рябенький В.М., д.т.н., професор, завідувач кафедри теретичної електротехніки та електронних систем	Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв
Савчук В.Д., к.т.н., професор	Одеська національна морська академія
Савчук П.П., д.т.н., професор, завідувач кафедри	Луцький національний технічний університет
Сапронов О.О., асистент кафедри технічної механіки, інженерної та комп'ютерної графіки	Херсонська державна морська академія
Сафонов М.С., викладач	Херсонський політехнічний коледж Одеського національного політехнічного університета



Сафонова Г.Ф., викладач	Херсонський політехнічний коледж Одеського національного політехнічного університета
Селіванов С.Є., д.т.н., професор, завідувач кафедри управління судном та безпеки життєдіяльності на морі	Херсонська державна морська академія
Скирденко В.О., аспірант кафедри технічної механіки, інженерної та комп'ютерної графіки	Херсонська державна морська академія
Смирнов І.В, д.т.н., доцент	Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»
Соколова Н.А., д.т.н., професор, завідувач кафедри економічної кібернетики та управління проектами	Херсонський національний технічний університет
Соколова О.В., асистент економічної кібернетики та управління проектами	Херсонський національний технічний університет
Соловей О.С., аспірант	Херсонська державна морська академія
Спешилов В.М., старший викладач кафедри судноводіння, охорони праці та навколишнього середовища	Херсонська державна морська академія
Степкова В.В., асистент кафедри судноводіння, охорони праці та навколишнього середовища	Херсонська державна морська академія
Тетерятник О.А., асистент кафедри будівельних машин	Київський національний університет будівництва і архітектури
Товстокорий О.М., к.т.н., доцент кафедри управління судном та безпеки життєдіяльності на морі	Херсонська державна морська академія
Тригуб С.М., к.т.н., директор Морського коледжу	Херсонська державна морська академія
Троцан Г.М., аспірантка кафедри технічної механіки, інженерної та комп'ютерної графіки	Херсонська державна морська академія
Ушкаренко О.О., к.т.н., доцент, доцент кафедри теретичної електротехніки та електронних систем	Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв
Хомяков В.Ю., аспірант	Одеська національна морська академія

Худяков І.В., аспірант	Херсонська державна морська академія
Черненко В.В., асистент кафедри суднових енергетичних установок та загальноінженерної підготовки	Херсонська державна морська академія
Черненко О.С., к.ф.-м.н., старший викладач кафедри теплофізики	Одеський національний університет ім. І.І.Мечнікова
Чернова Л.С., аспірантка	Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Миколаїв
Шевченко М.В., к.т.н., доцент кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій	Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Шишкін О.В., к.т.н., доцент кафедри морського радіозв'язку	Одеська національна морська академія
Щеголькова В.О., викладач	Шосткінський інститут Сумського державного університету, м. Шостка
Яковенко О.Є., к.т.н., доцент, директор коледжу	Херсонський політехнічний коледж Одеського національного політехнічного університета

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

А
Аппазов Е.С., 132

Б
Безлуцька О.П., 80
Бень А.П., 262
Бідюк П.І., 276
Богдан Ю.О., 138
Борисенко К.І., 16
Браїло М.В., 148
Букетов А.В., 158

В
Вороненко С.В., 164

Г
Годованюк С.П., 4
Горбатюк Є.В., 223
Гулієва Н.М., 170

Д
Даник В.В., 164
Дорогань О.І., 85

Є
Євдокімова В.А., 16

З
Зайцева Т.Г., 94
Запорожець О.І., 268

І
Ісаєв Є.О., 176
Іщенко І.М., 184

К
Казак В.А., 194
Казак В.М., 194
Калінчак В.В., 121
Караюз І.В., 276
Клементьєва О.Ю., 184
Клюєв О.І., 132
Коробко В.В., 201
Короленко О.В., 16
Котило О.В., 116
Кошевой В.М., 22
Кудирко О.М., 289
Кузьмін О.А., 121

Л
Лазарчук П.Г., 194
Лещенко А.М., 80

М
Малигін Б.В., 116
Мисковець С.В., 208
Московко А.А., 201
Мухтаров П.Ш., 283

Н
Настасенко В.О., 213
Нефьодов Л.І., 289

П
Парменова Д.Г., 30
Пелевін Л.Є., 223
Приходько К.О., 36
Просянок В.В., 231

Р
Русанов С.А., 132
Рябенький В.М., 43, 85

С
Савчук В.Д., 64
Савчук П.П., 208
Самер Лага, 309
Сапронов О.О., 237
Сафонов М.С., 297
Сафонова Г.Ф., 303
Селіванов С.Є., 4, 121
Сєліверстов І.А., 249
Сєліверстова С.Р., 249
Скирденко В.О., 158
Смірнов І.В., 249
Соколова Н.А., 100
Соколова О.В., 309
Соловей О.С., 262
Спєшилов В.М., 51
Степкова В.В., 51

Т
Тетерятник О.А., 223
Тимофеєв В.А., 309
Тіщенко О. Ю., 106
Товстокорий О.М., 16, 57
Тригуб С.М., 121
Троцан Г.М., 249

У
Ушкаренко О.О., 43, 85

Х
Хомяков В.Ю., 64
Худяков І.В., 255

Ч
Черненко В.В., 184
Черненко О.С., 121
Чернова Л.С., 71

Ш
Шевченко М.В., 289
Шишкін О.В., 22
Шкільнюк А.О., 116

Щ
Щеголькова В.О., 100

Я
Яковенко О.Є., 297

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 її 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 12 сторінок, включаючи всі матеріали, у т. ч. таблиці, рисунки, графіки та список літературних джерел. Сумарний обсяг рисунків і таблиць повинен бутине 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 (для іноземних учасників – держава) – курсивом, по центру, 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 2.0, 3.0. 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 в тексті. 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 1 2 пт.

Таблиці набираються у Microsoft Word.

Рисунки повинні бути чорно-білими. і вставлені у файл і роздруківку статті. Формат рисунків (tif, pcx, 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 подальшого дослідження; список використаних літературних джерел. Основні розділи можуть мати назви, відмінні від приведених вище найменувань.

Список використаної літератури подається загальним списком у кінці рукопису (послідовність – у порядку згадування по тексту) згідно зі встановленими вимогами стандарту ДСТУ ГОСТ 7.1 та вимогами, викладеними у Бюлетені ВАК України № 5 (2009).

Структуровані анотації українською, російською та англійською мовами обсягом від 100 до 250 слів, в яких відображається актуальність статті, основні результати дослідження та висновки. Анотації надаються на мові оригіналу статті перед вступом, на двох інших мовах – після тексту статті. У кінці анотацій наводяться ключові слова.

Документи, що подаються до редакції.

Для публікації автор повинен надати до відділу інноваційних технологій ХДМА:

– комп'ютерний варіант статті – файл, набраний у редакторі Microsoft| Word| 2000 for| Windows|. Машинописні рукописи не приймаються;

– файл кожного малюнка, включеного в статтю, окремо;

– рукопис статті (на паперовому носії), підписаний автором(ами) – 2 примірники.

Крім тексту статті автором(ами) надаються:

– 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);

– відомості про авторів (прізвище, ім'я, по батькові, вчений ступінь, вчене звання, місце роботи, посада, домашня або службова адреса, контактний телефон, e-mail (якщо є), наукові інтереси авторів) – на окремій сторінці.

Редакційна колегія залишає за собою право як не публікувати роботи у разі їх відхилення, так і приймати рішення щодо їх відповідності напрямам журналу. Рукописи авторам не повертаються.

ЗМІСТ

МОРСЬКИЙ ТА РІЧКОВИЙ ТРАНСПОРТ

ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ МОРСКОЙ ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ В ЗОНЕ ОТВЕТСТВЕННОСТИ УКРАИНЫ **4**
Годованюк С.П., Селиванов С.Е.

ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПРИ РАБОТЕ НА ТРЕНАЖЕРНОМ СИМУЛЯТОРЕ **16**
Евдокимова В.А., Короленко А.В., Товстокорый О.Н., Борисенко Е.И.

NOVEL FUNCTION OF ECDIS FOR SMART VHF COMMUNICATION **22**
Koshevoy V.M., Shishkin A.V.

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ФАКТОРОВ ОПАСНОСТИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ПРОФИЛЯ РИСКА СУДОВЫХ РАБОТ **30**
Парменова Д.Г.

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ОЦЕНКИ РИСКА В ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ **36**
Приходько Е.А.

ФОРМАЛЬНОЕ ОПИСАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАБОЧЕГО МЕСТА ОПЕРАТОРА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ **43**
Рябенький В.М., Ушкаренко А.О.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ УСИЛЕННОЙ И РЕЗОНАНСНОЙ БОРТОВОЙ КАЧКИ СУДНА НА ТРАНСОКЕАНСКОМ УЧАСТКЕ МАРШРУТА ПЕРЕХОДА **51**
Спешилов В.М., Степкова В.В.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПОЛЮСА ПОВОРОТА ПО ТАНГЕНЦИАЛЬНЫМ СКОРОСТЯМ НОСА И КОРМЫ **57**
Товстокорый О.Н.

ЗАГРУЗКА СУДНА ТИПА «КОАСТЕР» НАВАЛОЧНЫМ ГРУЗОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА «ЕСТЕСТВЕННОЙ» СЕПАРАЦИИ **64**
Хомяков В.Ю., Савчук В.Д.

ПРОЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ПОДХОДЫ ПОВЫШЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ НА ПРИМЕРЕ НАУКОЕМКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ **71**
Чернова Л.С.



ПРОБЛЕМИ ВИЩОЇ ШКОЛИ

МЕНЕДЖМЕНТ МОРСЬКИХ РЕСУРСІВ» ЯК СКЛАДОВА ПРОФЕСІЙНОЇ ПІДГОТОВКИ МАЙБУТНІХ МОРСЬКИХ ОФІЦЕРІВ **80**
Безлуцька О.П., Лещенко А.М.

СРЕДСТВА ПОЭТАПНОЙ ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВОГО ОБОРУДОВАНИЯ **85**
Дорогань О.И., Рябенький В.М., Ушкаренко А.О.

ЩОДО ПРОБЛЕМИ З УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОФЕСІЙНОЇ ПСИХОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ СУЧАСНОГО МОРЯКА **94**
Зайцева Т.Г.

ПОСТРОЕНИЕ ПРЕДМЕТНОЙ МОДЕЛИ ОБУЧАЕМОГО НА ОСНОВЕ УЧЕБНОГО ТЕКСТА МЕТОДОМ ОСТРОВНОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ **100**
Соколова Н.А., Щеголькова В.А.

НОВЫЙ МЕТОД ОРГАНИЗАЦИИ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО МИКРОПРОЦЕССОРНЫМ СУДОВЫМ СИСТЕМАМ **106**
Тищенко А.Ю.

РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

ЗМЕНШЕННЯ ГІДРОАБРАЗИВНОГО ЗНОСУ НАПІРНИХ СТАЛЕВИХ ПУЛЬПОПРОВОДІВ ЗА РАХУНОК МАГНІТНО-ІМПУЛЬСНОЇ ОБРОБКИ **116**
Котило О.В., Малигін Б.В., Шкільнюк А.О.

САМОВОСПЛАМЕНЕНИЕ, ГОРЕНИЕ И САМОПРОИЗВОЛЬНОЕ ПОГАСАНИЕ ПОРИСТОЙ САЖИСТОЙ ЧАСТИЦЫ ПРИ ПОГЛОЩЕНИИ ТЕПЛОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ **121**
Селиванов С.Е., Тригуб С.Н., Калинчак В.В., Черненко А.С., Кузьмин А.А.

ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ТА ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ПЕРЕДПУСКОВІЙ ПІДГОТОВЦІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДВИГУНІВ **132**
Аппазов Е.С., Клюєв О.І., Русанов С.А.

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОЩНОСТИ КОГЕНЕРАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ СУДОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ **138**
Богдан Ю.А.

ДОСЛІДЖЕННЯ УДАРНОЇ В'ЯЗКОСТІ ЕПОКСИКОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ **148**
Браїло М.В.

ОПТИМІЗАЦІЯ ЧАСУ ОБРОБКИ ФЕРОМАГНІТНИХ НАПОВНЮВАЧІВ ТА ЕПОКСИДНИХ КОМПОЗИЦІЙ У ВИСОКОЧАСТОТНОМУ МАГНІТНОМУ ПОЛІ З УРАХУВАННЯМ ЯВИЩА МАГНІТНОЇ В'ЯЗКОСТІ **158**
Букетов А.В., Скирденко В.О.

СИСТЕМА УТИЛІЗАЦІЇ ТЕПЛА ВИХЛОПНИХ ГАЗІВ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ З АСИНХРОННИМ ТУРБОГЕНЕРАТОРОМ **164**
Вороненко С.В., Даник В.В.

ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОРИСТИХ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПИТНИХ ВОД **170**
Гулієва Н.М.

ДИНАМИКА УПЛОТНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТАРНОГО ОБЪЕМА СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА **176**
Исаев Е.А.

АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТА РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОГО ПРИВІД-ГЕНЕРАТОРНОГО АГРЕГАТУ **184**
Іщенко І.М., Черненко В.В., Клементьєва О.Ю.

МОДЕЛЬ ТЕЛЕВІЗІЙНОЇ СИСТЕМИ САМОНАВЕДЕННЯ КУЛІ **194**
Казак В.А., Казак В.М., Лазарчук П.Г.

ИНТЕНСИВНОСТЬ ТЕПЛООБМЕНА КАК ФАКТОР, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕРМОАКУСТИЧЕСКИХ ТЕПЛОВЫХ МАШИН **201**
Коробко В.В., Московко А.А.

ЗНОСОСТІЙКІСТЬ БРОНЗОВИХ ДЕТАЛЕЙ ПАЛИВНОЇ АПАРАТУРИ В СЕРЕДОВИЩІ ДИЗЕЛЬНИХ ПАЛИВ **208**
Мисковець С.В., Савчук П.П.

НОВЫЕ ОСНОВЫ ДЛЯ СТРОГОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЛНОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ И ОБЪЕДИНЕНИЯ ГРАВИТАЦИОННОГО И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЕЙ **213**
Настасенко В.А.

АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ СХЕМ ІСНУЮЧИХ ТРАНШЕЄКОПАЧІВ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ РОЗВИТКУ **223**
Пелевін Л.Є., Горбатюк Є.В., Тетерятник О.А.



ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ДЕЙДВУДНЫХ КАПРОЛОНОВЫХ ПОДШИПНИКОВ **231**
Просянок В.В.

ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТІВ СЕУ МЕТОДОМ МАТЕМАТИЧНОГО ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ **237**
Сапронов О.О.

ИССЛЕДОВАНИЯ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ Fe-Al **249**
Селиверстов И.А., Троцан Г.Н., Смирнов И.В., Селиверстова С.Р.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ДАТЧИКОВ ДАВЛЕНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РАБОЧИМ ПРОЦЕССОМ В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ **255**
Худяков И.В.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ПОДЪЕМНОГО УГЛА (HOISTING ANGLE) ВО ВРЕМЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ОПЕРАЦИЙ С ТЯЖЕЛЫМИ И НЕГАБАРИТНЫМИ ГРУЗАМИ НА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СУДАХ **262**
Бень А.П., Соловей А.С.

GIS-MONITORING OF THE ENVIRONMENT IN AIRPORT VICINITY **268**
Zaporozhets O.I.

ПРОГНОЗУВАННЯ ОБ'ЄМІВ ІМПОРТУ ПРИРОДНОГО ГАЗУ В УКРАЇНУ З ВИКОРИСТАННЯМ ФІЛЬТРА КАЛМАНА **276**
Караюз І.В., Бідюк П.І.

ЛЮДСЬКИЙ ЧИННИК В АЕРОНАВІГАЦІЇ: РІВНІ ДОМАГАНЬ АВІАДИСПЕТЧЕРІВ ПРИ ОЦІНЦІ БАЖАНОСТІ ВІДСТАНІ МІЖ ПОВІТРЯНИМИ СУДАМИ **283**
Мухтаров П.Ш.

СТРУКТУРНАЯ МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СИНТЕЗА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ДОБЫЧИ, ПЕРЕРАБОТКИ И ТРАНСПОРТА ГАЗА **289**
Нефедов Л.И., Шевченко М.В., Кудырко О.Н.

ОБ'ЄКТНО-ОРІЄНТОВАНИЙ МЕТОД УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ІНФОРМАЦІЇ В БАЗАХ ДАНИХ **297**
Сафонов М.С., Яковенко О.Є.

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ПЕРЕТВОРЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ОБРАЗІВ САПР ОДЯГУ **303**
Сафонова Г.Ф.

УСЛОВИЕ ИНВАРИАНТНОСТИ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ К НЕСТАЦИОНАРНЫМ ВОЗМУЩЕНИЯМ **309**
Соколова О.В.

МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ЛИНИЯМИ ПРОКАТА ЛИСТОВОЙ СТАЛИ **318**
Тимофеев В.А., Самер Лага

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ **324**

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК **329**

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ **330**

ДЛЯ НОТАТОК

ДЛЯ НОТАТОК

ДЛЯ НОТАТОК

Науковий журнал

НАУКОВИЙ ВІСНИК

ХЕРСОНСЬКОЇ ДЕРЖАВНОЇ МОРСЬКОЇ АКАДЕМІЇ

№ 1 (10), 2014

Відповідальний за випуск *Врублевський Р.Є.*
Технічний редактор *Клементьєва О.Ю.*
Коректор *Надточій К.О.*
Друк, фальцювально-палітурні роботи *Удов В.Г.*

Підписано до друку 26.08.2014. Формат 84×108/32.
Папір офсетний. Друк цифровий.
Ум. др. арк. 29,75. Наклад 100 прим.

Видавництво ХДМА
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 4312 від 10.05.2012
73000, м. Херсон, пр. Ушакова, 20, к. 224