

ISSN 2077-3617

Міністерство освіти і науки України

Херсонський державний морський інститут

НАУКОВИЙ ВІСНИК

**ХЕРСОНСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО МОРСЬКОГО
ІНСТИТУТУ**

Науковий журнал

№ 1 (2)

Херсон
2010

Науковий вісник ХДМІ : Науковий журнал. – Херсон : Видавництво ХДМІ,
2010. – № 1 (2). – 244 с.

Засновник і видавець – ВНЗ «Херсонський державний морський інститут».

Рекомендовано до друку на засіданні Вченої Ради Херсонського державного морського інституту 02.07.2010 р., протокол № 13.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Ходаковський Володимир Федорович, к.і.н., професор, головний редактор;
Бардачов Юрій Миколайович, д.т.н., професор, заступник головного редактора;
Кулікова Лілія Борисівна, д.пед.н., професор, заступник головного редактора;
Бень Андрій Павлович, к.т.н., доцент, заступник головного редактора;

Члени редакційної колегії:

Букетов Андрій Вікторович, д.т.н., професор;
Голобородько Євдокія Петрівна, д.пед.н., професор;
Євтух Микола Борисович, д.пед.н., професор;
Ісаєв Євгеній Олексійович, д.т.н., професор;
Леонов Валерій Євгенович, д.т.н., професор;
Малигін Борис Вадимович, д.т.н., професор;
Мармуль Лариса Олександрівна, д.е.н., професор;
Соколова Надія Андріївна, д.т.н., професор;
Ходаков Віктор Єгорович, д.т.н., професор.

Адреса редакційної колегії:

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

Національна бібліотека Укра...

імені В.І.Вернадського

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

ISSN 2077-3617

© ВНЗ «Херсонський державний морський інститут», 2010

МОРСЬКИЙ ТА РІЧКОВИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 629.128.72:539.4

ИССЛЕДОВАНИЕ УЧАСТИЯ ПРОДОЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ КОРПУСА КОМПОЗИТНОГО ДОКА В ВОСПРИЯТИИ УСИЛИЙ ОТ ОБЩЕГО ИЗГИБА

Алексенко В.Л.,

Херсонский государственный морской институт,

Коростылев Л.И.,

Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, г. Николаев

Рассматриваются вопросы формирования эквивалентного бруса для композитных доков с разрезными понтонами. Анализируются результаты определения редуцированных коэффициентов настила стапель-палубы и обшивки днища дока с концевыми понтонами проекта 17750.

Ключевые слова: композитные плавучие доки, общая прочность, напряженно-деформированное состояние (НДС).

Введение. Строительство композитных доков с разрезными понтонами позволяет унифицировать процесс изготовления железобетонных понтонов с последующим соединением их выше строительной ватерлинии для формирования дока необходимой грузоподъемности. Упрощение технологии (исключение стыковки в кессоне) усложняет решение задачи обеспечения прочности. Так, например, центральный понтон дока и концевые понтоны аналогичны надстройкам (перевернутым) и к их расчету применима соответствующая теория [1]. Такой подход требует надлежащего конструктивного оформления концов понтонов в местах разрезки, т.е. срезания их под некоторым углом, что, с одной стороны, приведет к потере части плавучести – одного из главных качеств дока, с другой, усложнит технологию изготовления.

Постановка задачи. Необходимо найти компромиссное решение, позволяющее в наибольшей степени удовлетворить требованиям прочности и технологичности.

Для достижения поставленной цели необходимо решить ряд задач:

- исследовать влияние конструктивных особенностей дока на величину внешних сил в условиях эксплуатации и при перегоне;
- разработать методику расчета внешних сил при общем продольном изгибе на перегоне;
- исследовать напряженно-деформированное состояние и дать рекомендации по конструктивному оформлению узлов в районе разрезки понтонов;
- разработать специфические принципы формирования эквивалентного бруса (поперечного сечения), учитывающие конструктивные

особенности, направленные на включение разрезных понтонов в общий изгиб и особенности работы бетона при растяжении-сжатии.

Цель исследований. В данной статье рассматриваются наиболее важные вопросы последней из упомянутых задач – вовлечения в общий продольный изгиб настила стапель-палубы и обшивки днища.

Результаты исследований. *Взаимодействие элементов конструкции композитного дока с концевыми понтонами при общем изгибе.*

На рисунке 1 изображена схема взаимодействия основных продольных вертикальных и горизонтальных связей корпуса дока при восприятии усилий от общего изгиба. Для удобства, диаметральной и миделевым сечениями выделена 1/4 часть корпуса, а башня и понтон условно отделены друг от друга.

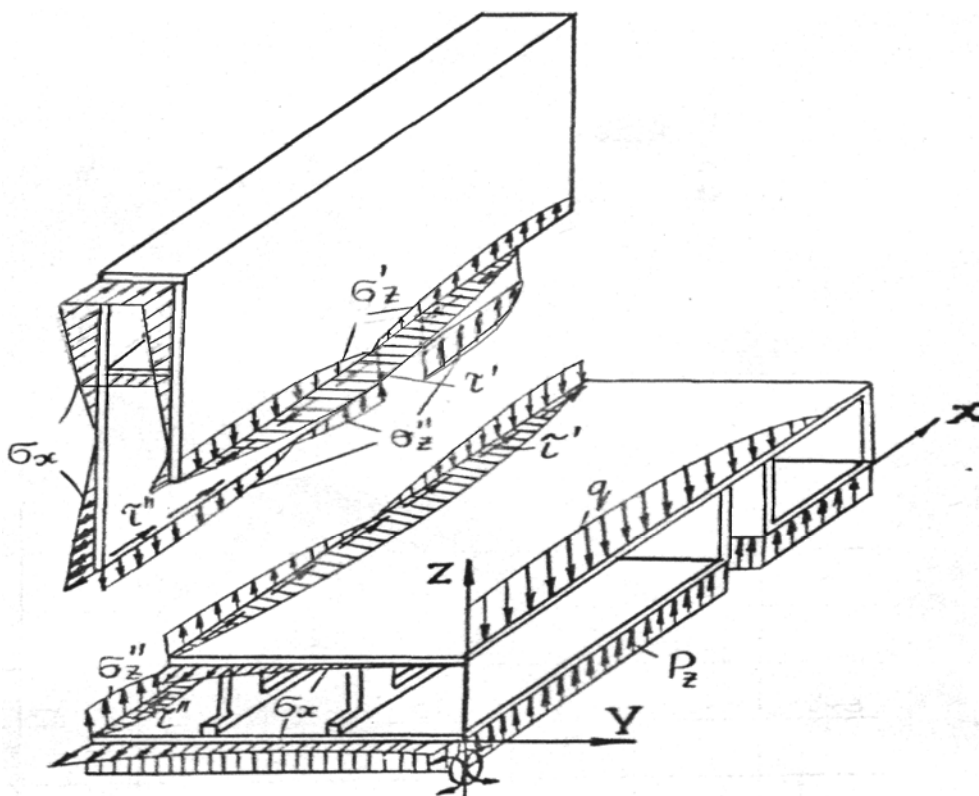


Рисунок 1. Схема взаимодействия основных конструктивных элементов дока с концевыми понтонами при общем изгибе

При эксплуатации изгиб, в основном, обусловлен действием нагрузок: q – от веса докуемого судна (на рис. 1 приложена по килевой дорожке); p_z – вертикальной составляющей гидростатического давления (силы поддержания). Эти усилия через понтон, вызывая его поперечный изгиб, передаются напряжениями σ_z' и σ_z'' к внутреннему (ВБ) и наружному (НБ) бортам соответственно, вызывая изгиб бортов.

Совместная работа бортов и горизонтальных связей (днище, палуба) обуславливает появление по линиям их соединения касательных усилий взаимодействия. Соответствующие этим усилиям касательные напряжения τ' (по линии соединения стапель-палубы и внутреннего борта) и τ'' (по линии

соединения днища и наружного борта) обеспечивают при изгибе равенство линейных деформаций по линиям стыка.

Исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) дока при общем изгибе по уточненной расчетной схеме свидетельствует о том, что изгиб башен на участках, не имеющих особенностей (разрезы, вырезы, концевые сечения), с приемлемой точностью описывается балочной теорией. Однако степень вовлечения в общий изгиб продольных горизонтальных элементов неравномерна и имеет тенденцию к снижению по мере удаления от НБ и ВБ (рис. 1). При расчете на изгиб корпусов судов в рамках балочной теории это обстоятельство учитывается путем редуцирования площадей указанных связей [1, 2].

Методика расчета присоединенных поясков стапель-палубы и обшивки днища понтона дока. Учитывая конструктивное оформление [3-6] и характер вовлечения в общий изгиб, рассмотренный выше, для стапель-палубы и обшивки днища принимается единая расчетная схема: прямоугольная конструктивно-ортотропная пластина, нагруженная по линиям соединения с бортами (башнями) касательными усилиями (рис. 2).

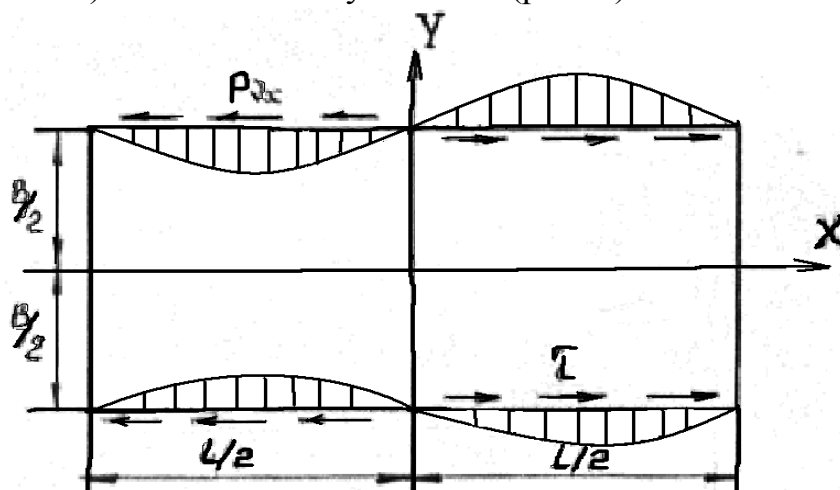


Рисунок 2. Расчетная схема стапель-палубы и днища понтона в задаче определения ширины присоединенного пояска

Поскольку геометрические характеристики поперечных сечений дока меняются мало и рассматриваемые элементы лежат на постоянных расстояниях от нейтральной оси, закон распределения касательных напряжений следует закону перерезывающих сил. Точнее этот закон может быть установлен с использованием предложенной авторами методики [7]. Однако следует учитывать, что редуциционные коэффициенты относительно малочувствительны к указанному закону [2]. По соображениям симметрии для вычисления ширины присоединенных поясков представляется возможным взамен пластины, изображенной на рисунке 2, рассматривать ее

четвертую часть, но уже с граничными условиями, представленными на рисунке 3.

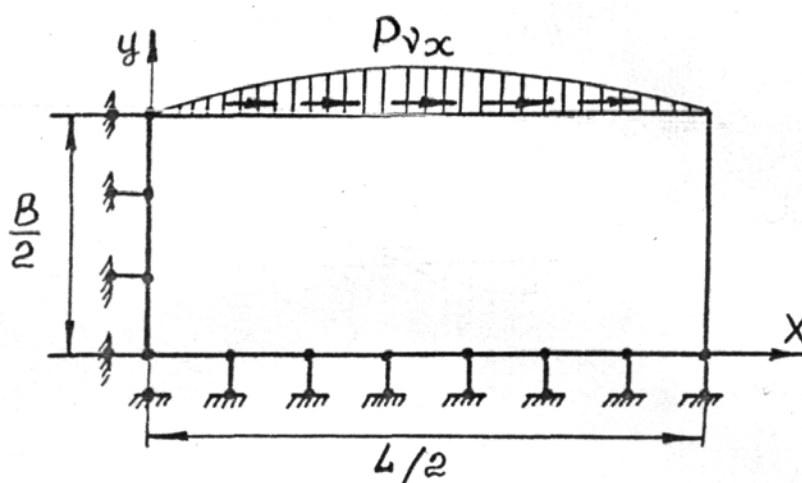


Рисунок 3. Расчетная схема

Множество элементарных связей (шарнирных стерженьков), наложенных в сечениях $x = 0$ и $y = 0$, обеспечивают выполнение имеющих в этом случае место зависимостей $u(0, y) = 0$ и $v(x, 0) = 0$. Влияние жесткости транцевой переборки (h – ее высота) учитывается введением в расчетную схему (рис. 4) усилий взаимодействия p_{vy} .

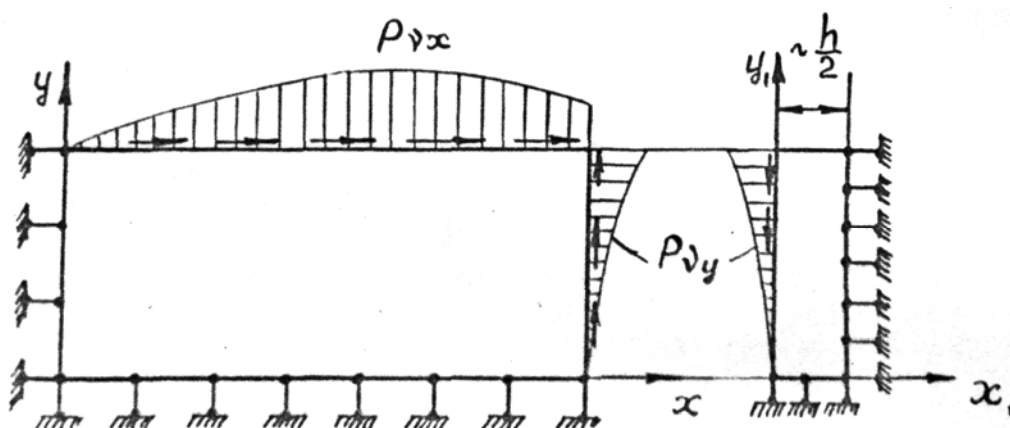


Рисунок 4. Расчётная схема, позволяющая учесть жесткость транца

Для расчёта прямоугольной конструктивно-ортотропной пластины в рамках принятой расчетной схемы наиболее эффективен и прост в реализации конечно-разностный метод решения дифференциального уравнения, описывающего её напряженно-деформированное состояние.

Краткие теоретические предпосылки, сводная таблица конечно-разностных операторов, сведение задачи к алгебре, использование в граничных условиях рамной аналогии и программная реализация алгоритма приведены в [7]. После того, как параметры НДС определены во всех

узловых точках, ширина присоединенного пояска в любом сечении определяется по формуле:

$$S = \frac{\int_a^b \sigma_x dy}{\sigma_{xk}} = \frac{\Delta y}{\sigma_{xk}} \left[\frac{\sigma_{x1} + \sigma_{xn}}{2} + \sum_{i=2}^{i=n-1} \sigma_{xi} \right] \quad (1)$$

где σ_{xi} – продольное нормальное напряжение в i -ом узле сетки данного сечения; σ_{xk} – то же на контуре ($\sigma_{xk} = \sigma_{xn}$); Δy – шаг сетки по направлению оси Y .

Результаты расчётов ширины присоединенного пояска стальной палубы и обшивки днища. Расчёты выполнены применительно к конструкциям композитного дока с концевыми понтонами проекта 17750. Учитывая несущественное отличие в армировании стальной палубы и обшивки днища в продольном и поперечном направлениях, материал при расчетах принимался изотропным. Взаимодействие с транцами не учитывалось. Рассматривались три варианта передачи усилий от бортов к стальной палубе и днищу.

Способ 1. Касательные напряжения меняются по закону изменения поперечных сил при доковании судна длиной 160 м [8].

Способ 2. Касательные напряжения меняются по линейному закону.

Способ 3. То же по синусоидальному закону.

Таблица 1. Результаты расчёта редуцированного коэффициента $\psi = s/L$

Отстояние сечения от миделя в долях от L	0	0.1	0.2	0.3	0.4
Способ 1, $\psi = s / V_{сп}$, $\gamma = V_{сп} / L = 0,174$	0,87	0,90	1,0	1,0	1,0
Способ 2, $\psi = s / V_{сп}$, $\gamma = V_{сп} / L = 0,174$	0,842	0,941	0,937	0,918	0,806
Способ 3, $\psi = s / B$, $\gamma = B / L_{ц} = 0,312$	0,751	0,770	0,853	1,0	1,0
Способ 3, $\psi = s / L_{к}$, $\gamma = B / L_{к} = 2,44$	0,1306	0,1314	0,1342	0,1405	0,1579

Примечание. Здесь для дока проекта 17750: $L=180$ м, $L_{ц}=141$ м, $L_{к}=18$ м, $B=44$ м, $V_{сп}=31,4$ м.

Выводы и рекомендации.

Анализ НДС прямоугольных пластин, нагруженных согласно схеме на рисунке 2, показал известную тенденцию [2] к уменьшению вовлеченности в деформации по мере удаления от нагруженных кромок для области, прилегающей к сечению $x = 0$. Ширина присоединенного пояска оказывается при этом слабо связанной с формой нагрузки [2] и зависит преимущественно от параметра удлиненности $\gamma = B / L$.

В периферийных областях пластин (ближе к свободным от нагрузки кромкам $x = \pm L/2$), ширина присоединенных поясков зависит как от γ , так и от формы нагрузки.

При синусоидальной нагрузке ширина присоединенных поясков имеет тенденцию к росту по мере удаления от миделевого сечения. При нагрузках с возрастанием интенсивности от сечения $x = 0$ к сечениям $x = \pm L/2$ – к уменьшению (табл. 1).

На практике усилия взаимодействия между бортами и горизонтальными продольными связями корпуса дока меняются по закону близкому к синусоидальному.

Поэтому при проверке прочности сечений дока между миделем и транцами следует принимать, по крайней мере, то же значение редуцированного коэффициента, что и на миделе.

Если армирование стапель-палубы и днища выполнено в продольном и поперечном направлениях с близкими коэффициентами армирования, то редуцированные коэффициенты могут быть взяты согласно [2, стр. 141, табл. 6.3], как для изотропного материала.

При существенно разных коэффициентах армирования следует выполнить специальный расчет по методике, предложенной в данной работе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Короткин Я.И., Ростовцев Д.М., Сивере Н.Л. Прочность корабля. – Л.: Судостроение, 1974. – 432 с.
2. Строительная механика корабля и теория упругости: учеб. для вузов. – в 2 т. – Л.: Судостроение, 1987.
- Т. 1. Постнов В.А., Суслов В.П. Теория упругости и численные методы решения задач строительной механики корабля. – 228 с.
3. Конструкция и прочность железобетонных судов / [Синцов Г.М., Либов Ю.А., Антипов В.А., Лакин Е.И.]. – Л.: Судостроение, 1969. – 384 с.
4. Слуцкий Н.Г. Оптимизация железобетонных конструкций понтона композитного плавучего дока // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2009. – № 4(427). – С. 78-83.
5. Коростылёв Л.И., Клименков С.Ю., Слуцкий Н.Г. Расчёт прочности железобетонных конструкций понтона композитного плавучего дока методом конечных элементов // Збірник наукових праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2009. – № 5(428). – С. 3-8.
6. Правила постройки корпусов судов и плавучих сооружений. Регістр судноплавства України. – К.: Регістр судноплавства України, 2007. – 120 с.
7. Отчёт о научно-исследовательской работе «Исследование прочности корпуса композитного дока с концевыми понтонами при эксплуатации и перегоне» (заключительный), № гос. рег. 01890035234. – Николаев, НКИ, 1989. – 234 с.
8. Расчет общей прочности дока при эксплуатации. 17750-ОП-002. – Херсон: ЦКБ «Изумруд», 1987.

Алексенко В.Л., Коростильов Л.І. ДОСЛІДЖЕННЯ УЧАСТІ ПОДОВЖНИХ ЗВ'ЯЗКІВ КОРПУСУ КОМПОЗИТНОГО ДОКА У СПРИЙНЯТТІ ЗУСИЛЬ ВІД ЗАГАЛЬНОГО ВИГИНУ

Розглядаються питання формування еквівалентного бруса для композитних доків із розрізними понтонами. Аналізуються результати визначення редуційних коефіцієнтів настилу стапель-палуби та обшивки днища доку з кінцевими понтонами проекту 17750.

Ключові слова: композитні плавучі доки, загальна міцність, напружено-деформований стан.

Aleksenko V.L., Korostylyov L.I. RESEARCH OF PARTICIPATION OF LONGITUDINAL BRACES OF THE COMPOSITE DOCK HULL IN PERCEPTION OF EFFORTS FROM THE OVER-ALL BENDING

Some problems of formation of the equivalent girder for composite docks with cutting pontoons are considered. The results of determination of reduction factors of the pontoon deck flooring and plating of the dock bottom with trailer pontoons of the project 17750 are analyzed.

Key words: composite docks, general durability, stressedly-deformed stage.

СИСТЕМА ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ТА КОНТРОЛЮ НАВІГАЦІЙНОЇ СИТУАЦІЇ ПРИ УПРАВЛІННІ РУХОМ СУДЕН У СКЛАДНИХ ОБСТАВИНАХ

Баранов Г.Л.,

ДП «Центральний науково-дослідний інститут навігації і управління», м. Київ,

Носовський А.М.,

Київська державна академія водного транспорту

ім. гетьмана Петра Конашевича-Сагайдачного,

Васько С.М.,

Національний транспортний університет, м. Київ

У статті проводяться дослідження, спрямовані на побудову системи гарантованого адаптивного управління об'єктами водного транспорту з забезпеченням її функціональної стійкості у складних обставинах. У межах системи, яка пропонується, вирішується задача раціонального розподілу функцій між оператором, як особою, що приймає рішення, та автоматом, як прогресивним бортовим багатофункціональним комплексом навігації і управління рухом суден.

Ключові слова: об'єкти водного транспорту, адаптивне управління, функціональна стійкість, складні динамічні системи.

Вступ. У сучасних умовах підвищуються вимоги щодо безпеки руху суден у складних обставинах прояву факторів впливу природного та соціотехнічного середовища, які разом визначають поточні умови судноводіння. Безпека життя пасажирів та екіпажу, цілісність і своєчасність постачання вантажів, екологічна якість та економічна ефективність транспортної роботи – це далеко не повний перелік головних цільових критеріїв, що впливають на рішення безперервної адаптації до поточних умов взаємодії, які змінюються [1] у зоні плавання.

Актуальність досліджень. Статистика аварій та аварійних подій на водних шляхах свідчить, що, незважаючи на значні зусилля щодо вдосконалення процесів судноводіння, лєвова їх частка відбувається з причин «навігаційних ситуацій» та «людського фактору» [1-3]. Саме це визначає актуальність досліджень, що спрямовані на побудову систем гарантовано адаптивного управління (ГАУ) об'єктами водного транспорту (ОВТ), яка забезпечує функціональну стійкість [4, 5] її у складних обставинах. У межах системи ГАУ ОВТ, яка пропонується, вирішується задача раціонального розподілу функцій між оператором, як особою, що приймає рішення (ОПР), та автоматом, як прогресивним бортовим багатофункціональним програмно-апаратним комплексом (ПАК) навігації і управління рухом суден [6, 7].

Постановка задачі. Складні динамічні системи (СДС) [6] ГАУ ОВТ мають відповідні визначальні підсистеми: природне навколишнє середовище, фактори якого змінюються та за збігом обставин формують збурення й перешкоди; соціотехнічне середовище, яке охоплює об'єкт управління, який безперервно витрачає ресурси та реагує на зовнішні та внутрішні силомоментні взаємодії <корпуса>, <двигуна>, <гвинта> у нестационарній

аерогідравлічній контактній зоні руху судна; бортовий ПАК ОВТ, який у різних експлуатаційних ситуаціях забезпечує телекомунікаційний інтерфейс взаємодії між ОПР та системою автоматики ОВТ; інтелектуальна частина діалогового інтерфейсу з візуалізацією всіх впливових чинників та зонами дії, а також мовою визначення рішень людини, що в екстремальних умовах необхідно безпосередньо виконувати засобами ГАУ ОВТ; знання закономірностей процесів та явищ у СДС, які використовують засоби технічної діагностики та контролю (ЗТДК) кожної навігаційної ситуації при управлінні рухом суден у просторі та часі; вимірювальні прилади, датчики та чутливі елементи, які розподілені у просторі та одночасно разом реєструють первинні параметри, а також похибки й шуми функціонування СДС; засоби телекомунікації, мережного зв'язку та Інтернет, які пов'язують усіх комунікантів та забезпечують оперативний обмін повідомленнями між ними в єдиному інформаційному просторі [3, 6].

З метою раціонального розподілу функцій в ергатичній (поліергатичній) системі та гарантування високого рівня функціональної стійкості управління ОВТ у складних умовах пропонується побудова спеціальної підсистеми технічної діагностики та контролю реальних станів і переходів між ними. ЗТДК у межах СДС здійснюють поточну обробку даних стосовно відповідності планової та фактичної траєкторії у єдиному інформаційному просторі. Процедури кваліфікації та класифікації у кожній навігаційній поточній ситуації потребують оптимальної обробки багатоканальних потоків даних стосовно неперервних та дискретних процесів у межах СДС.

Результати досліджень. Складність реальних динамічних систем з багатоконтурними засобами ГАУ ОВТ характеризуються: певною ієрархією координаційної взаємодії між горизонтальними рівняннями пошарової організації; паралельністю реалізації синхронних та асинхронних різномісцевих процесів у складних системах; розподіленістю учасників взаємодії та впливових чинників у просторі навколишнього середовища; збігом великої кількості обставин, що якісно та кількісно змінюють параметри поточного стану та обумовлюють відповідні переходи в інші (можливо передаварійні або аварійні) стани; ймовірністю прояву відмов техніки, різкого збільшення шуму, завад та перешкод, а також значних втрат певних ресурсів (речовини, енергії, інформації – РЕІ), що впливають на функціональну стійкість СДС [4, 5].

Таким чином, специфікація ГАУ ОВТ у зоні плавання визначається як складністю динаміки кожного учасника руху на водних шляхах зі звивистістю шляхового ходу, а також ймовірністю виникнення різного роду подій, що в залежності від моменту їх прояву майже миттєво (дискретно) змінюють динаміку СДС унаслідок структурного та параметричного варіювання. Саме це дозволяє класифікувати ГАУ ОВТ як гібридну континуально-дискретну (ГКД) модель даного складного реального об'єкта на водних шляхах судноплавства.

Реальна СДС відображається як ГКД модель, що поєднує часткові модулі різної природи. Класичні динамічні системи описуємо у вигляді систем диференціально-інтегральних рівнянь. Об'єкти з переключаємими

логіко-динамічними властивостями формалізуємо за рахунок дискретних та рекурентних моделей з відповідними кроками моделювання [6, 8]. Поведінка цілісної ГКД моделі визначається як послідовність змін станів у неперервному інтервалі системного часу. Кожний з можливих (нормальний, передаварійний, аварійний, перехідний, кризовий) експлуатаційних станів має поточну тривалість $t_{0i} \leq t_i \leq t_{0i} + T_i$ часу. Стрибокподібна зміна ситуацій $S_i \rightarrow S_j$ за стислий перехідний момент часу $\tau_{ij} \leq T_{\min i}$ визначається як дискретний процес відповідно до логіко-динамічного алгоритму (ЛДА) переходу згідно з фіксованими умовами зміни поведінки.

Повна множина зміни поведінки СДС формалізується у вигляді графу $G(B, Q)$, де вузли $b_k \in B$, $\forall_k \in \overline{1, n}$ визначають конкретний стан стосовно функції моделювання процесу поведінки за поточний інтервал T_i , а кожна гілка $q_{ij} \in Q$ визначає як ЛДА, так і результат його застосування щодо конкретного переходу $S_i \rightarrow S_j$ у просторі можливих альтернатив, які заздалегідь зафіксовані у пам'яті ПАК ГАУ ОВТ.

Вузлова модель b_k має вхідні та вихідні гілки q_{ij} , що конкретизують функціональну роль даного модуля та його вплив на інші вузли цілісної ГКД моделі.

Кожен вузол $b_k \in B$ можливо формалізувати як багатополіусник, що забезпечує відповідні неперервні перетворення параметрів поточного стану у вихідні змінні. Системна функція кожного багатополіусника спрямована на чисельне визначення вихідних параметрів, для чого розв'язуємо відповідні рівняння, коли даний вузол активізований. У цілісній ГКД моделі ГАУ ОВТ можливі активізовані та неактивізовані вузли (модулі). Неактивізовані модулі характеризують фізичні компоненти СДС, які на даному інтервалі моделювання, з різних причин, не виконують цільові функції, наприклад, задач навігації та управління рухом ОВТ у випадках відмов (виходу з ладу) конкретної частини ПАК.

У загальному випадку структурний граф СДС має вигляд:

$$G(B, Q) = \{G^0, G^1(G_{i1}^0), \dots, G^k(G_{ik}^{k-1}), \dots, G^{n+1}(G_{in+1}^n)\}, \quad (1)$$

де $G^k \cap G^l \equiv \emptyset$, $\forall(k, l) \in N$ – окремі модулі відповідного рівня організації окремої підсистеми;

$G^k(G_{ik}^{k-1})$ – граф k -го рівня, що побудований шляхом суперпозиції з-під графів $G_{ik}^{k-1}(V_{ik}^{k-1}, H_{ik}^{k-1})$ окремого графа $G^{k-1}(V^{k-1}, H^{k-1})$ нижчого $(k-1)$ -го рівня організації.

Множина $B = \bigcup_{i=0}^{n+1} V^i$ характеризує базис структурного графу, де $\sum ik$ – кількість його складових елементів. Вузли B пов'язані відношенням $B = \bigcup_{k=1}^{n+1} \bigcup_{ik=1}^l H_{ik}^{k-1}$, які можливо однозначно визначити заздалегідь для будь-якої

компоненти СДС та ГАУ ОВТ. Наприклад, $G^0(V^0, H^0)$ – це нуль-граф з

вузлами $v_{i1}^1 \in V^1$, які визначені формально за допомогою підграфів $G_{i1}^0(V_{i1}^0, H_{i1}^0)$ за відношенням H_{i1}^0 на множині V_{i1}^0 . За правилами індукції при послідовності $\forall k = \overline{0, n}$ отримуємо графи k -го рангу з відповідними відношеннями. $G^k(V^k, H^k)$ – граф k -го рангу з вузлами $v_k^k \in V^k$, які визначені підграфами $G_{i(k-1)}^{k-1}(V_{ik}^{k-1}, H_{ik}^{k-1})$ у G^{k-1} з відношеннями H_{ik}^{k-1} на відповідній множині V^{k-1} , яка має ik кількість елементів у V^k множині. Конкретизація онтології графа $G(B, Q)$ дозволяє фіксувати рівень знань щодо об'єкта класу СДС. Потужність елементів графа $G(B, Q)$ породжує потужність базових множин, що відображають реальні об'єкти та мають атрибут у вигляді унікальної назви (ім'я, символ, код) та визначення як лінгвістичної змінної. Стандартний формат абстрактного опису будь-якого об'єкта має наступний синтаксичний вигляд:

<об'єкт> ::= <зовнішні зв'язки об'єкта> <внутрішні зв'язки між підсистемами> <підсистема> <підсистема α > ... <підсистема γ >;

<зв'язок> ::= <об'єкт поєднання> <опис початку (джерело) – опис кінця (термінал)>;

<об'єкт поєднання> ::= <об'єкт> <функція> <логічна умова>;

<функція> ::= <процедура реалізації поєднання>;

<логічна умова> ::= <предикат ЛДА з переключеннями та відключеннями>.

Шаблон логічної операції [7] з трійкою вихідних рішень має вигляд:

$$C_{kj} = \begin{cases} y_{k1}, & \bar{x} > \varepsilon_k \\ y_{k2}, & \bar{x} = \varepsilon_k \\ y_{k3}, & \bar{x} < \varepsilon_k \end{cases}, \quad (2)$$

де k – індекс C_{kj} процедури прийняття рішення стосовно процедур діагностики та контролю поточної ситуації на j -ому рівні функціонування ПАК ГАУ ОВТ;

y_{k1}, y_{k2}, y_{k3} – відповідно три можливих варіанти рішення, вибір одного визначається лише при виконанні конкретної умови при реалізації порівняння вхідного вектору багатомісних даних \bar{x} з граничною множиною, ε_k , яка обґрунтована та верифікована для даних формальних обставин реалізації конкретної процедури. При необхідності гранична множина ε_k може бути диференційована на більш точніші (менші) градації. Це дозволяє підвищувати глибину та точність можливих альтернатив. Гілки, що реалізують відношення Q або H_{ik}^{k-1} на відповідному k -ранзі ієрархії, як це формалізовано вище, забезпечують механізми поєднання між конкретними полюсами різних багатополісників [8], лише якщо виконуються відповідні умови за збігом багатьох обставин функціонування СДС у просторі та часі.

Формалізація неперервного потоку єдиного часу для всіх процесів, що паралельно відбуваються у СДС, дозволяє визначати послідовність часових інтервалів, наприклад:

$$T_0 \tau_0 T_1 \tau_1 T_2 \tau_2 \dots T_{n-1} \tau_{n-1} \dots, \quad (3)$$

де $T_0, T_1, T_2, \dots, T_{n-1}$ формують множину $T_i \subset T_{\text{sup}}$, яка характеризує тривалість існування гладких функцій $f_i(t)$, $\forall T_{i-1} < t \leq T_i$ з еволюційним розвитком процесів функціонування кожного з вузлів (модулів) СДС, що охоплює декілька ОВТ;

$\tau_0, \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_{n-1}$ формують множину $\tau_i \subset \tau_{\text{sup}} \ll T_{\text{sup}}$, яка характеризує тривалість існування стрибкоподібних дуже швидких (дискретних) змін або переключень у вигляді фазових переходів, що здійснюються завдяки ЛДА та прийняттю формальних (автоматних) рішень [7].

Завершення інтервалу T_k та початок інтервалу τ_k реалізують ЗТДК, які шляхом аналізу динаміки параметрів, що контролюються, та використання методів прогнозу наступних подій, визначають об'єктивну реальність існування майбутнього порушення норм та допусків, що характеризують умови ефективної експлуатації як ГАУ, так і ОВТ у зовнішньому середовищі, де відбулися $z(t) \subset Z$ збурення, перешкоди, відмови або проява загроз безпеки судноплавства.

Завдяки рішенням ЗТДК визначаються не лише клас поточної прикінцевої ситуації на інтервалі T_k , а також й перелік чітких дій системної автоматики та захисту функціональної стійкості протягом дискретного перехідного процесу τ_k для гарантування досягнення цільових критеріїв, щодо ефективного маневрування ОВТ.

Запропонована формалізація фіксує розвиток динамічних процесів у часі та просторі відповідно до впливу наявних трьох визначальних підсистем СДС. Зовнішнє середовище або зона судноплавства конкретного ОВТ формує випадкові $z(t) \subset Z$ небажані й загрозливі впливи. ОВТ та ОПР реагують на ці нестаціонарні збурення і тому змушений робити активні дії для запобігання лиха у складних обставинах.

ГАУ ОВТ разом з ПАК, який реалізує функції ЗТДК, своєчасно отримує дані стосовно небажаних майбутніх відхилень від планової програмної траєкторії руху та визначає послідовність (алгоритм) швидких дискретних дій [3] для того, щоб ОВТ виконав повільні процедури маневрування та повернувся у стан нормального режиму реалізації рейсового завдання та транспортної роботи [5].

ГКД модель цілісної СДС з різними підсистемами [1] адекватно відображає події [3] у реальних складних обставинах судноплавства в конкретній зоні підвищеного ризику плавання. З цією метою алгоритми функціонування ЗТДК повинні у прискореному масштабі часу одночасно визначати [2] першопричини (поглиблену діагностику поточного збуреного стану) та прогнозні наслідки руху ОВТ. У залежності від варіантів вирішення ситуацій із запобігання аварій у складних обставинах оперативно синтезується закон автоматичного управління за час перехідного процесу. Значна різноманітність динаміки перехідних процесів дозволяє у межах ГКД моделі ефективно моделювати на базі застосування диференціальних перетворень функцій і рівнянь за нелінійними параметрами [8, 9].

Особлива увага приділяється логічним предикатам відображення знань стосовно процедур узагальнення цілісних фрагментів деталізованого моделювання та процедур прийняття рішень [2] за шаблонами <якщо {ε ситуація}, тоді {активізуються перелічені дії}>. Заміна графових моделей (1) стосується як вузлів B , так і гілок Q , що в цілому характеризують робочу розрахункову модель із забезпеченням усіх вимог щодо ефективності моделювання при розв'язанні задач діагностики та контролю змінних навігаційних ситуацій при реальному ухиленні суден у складних обставинах руху багатьох ОВТ.

Таким чином, ГКД модель СДС з декількома конфліктуючими між собою ОВТ дозволяють адаптуватись до поточних умов та збігу складних обставин. Діагностика, прогноз та контроль за багатьма параметрами дозволяють структурувати опис складної поведінки учасників руху та своєчасно й гарантовано визначити моменти τ_k стрибкоподібних дій, що забезпечують зміну параметрів стану й запобігання зіткнень та аварій. Але такі показники результуючої ефективності досягаються лише за рахунок функціонування системи технічної діагностики та контролю ключових параметрів навігаційної ситуації (дистанція між конфліктуючими ОВТ, швидкостями та курсами їх руху, поточні обмеження тощо) при управлінні рухом судна, яке маневрує для запобігання лиха та забезпечення безпеки плавання.

Висновки.

1. Безпека руху об'єктів водного транспорту суттєво залежить від багатьох факторів, включаючи збіг обставин у зовнішньому та внутрішньому середовищах, які значно змінюються та мають певну невизначеність особливо у зонах підвищеного ризику плавання.

2. Сучасні засоби навігації та управління рухом суден не задовольняють вимог раціонального розподілу функцій між людиною-оператором та автоматом у вигляді програмно-апаратних комплексів навігації і управління рухом, кількість яких зростає, що спричиняє додаткові навантаження на людину.

3. Підвищення рівня безпеки руху та суттєве зменшення «навігаційно-людських» аварій можливо забезпечити шляхом раціонального розподілу функцій за умов упровадження спеціалізованої підсистеми технічної діагностики, прогнозування та контролю поточних ситуацій разом із засобами гарантовано-адаптивного управління рухом суден, швидкодія яких задовольняє вимоги на реалізацію оперативного реагування й маневрування рухом ОВТ у складних обставинах, що ситуативно варіюються та змінюються.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лукомский Ю.А. Навигация и управление движением судов: учебник / Ю.А. Лукомский, В.Г. Пешехонов, Д.А. Скороходов. – СПб.: «Элмор», 2002. – 360 с.
2. Гофман-Велленгоф Б. Навігація. Основні визначення місцеположення та скеровування / Гофман-Велленгоф Б., Легат К., Візер М.; пер. з

англ. за ред. Я.С. Яцківа. – Львів: Львівський національний університет ім. Івана Франка, 2006. – 443 с.

3. Баранов Г.Л. Телекомунікаційні технології на транспорті: навч. посіб. / Г.Л. Баранов, П.Р. Левковець. – К.: НТУ, 2007. – 448 с.

4. Машков О.А. Методы построения функционально устойчивых сложных динамических систем : збірка наукових праць у трьох томах міжнар. наук.-практ. конф. [«Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій ISDMIT`2007»]. – Євпаторія, 2007. – С. 184-186.

5. Баранов Г.Л. Концепція побудови функціонально стійкого навігаційного обслуговування об'єктів водного транспорту в зонах підвищеного ризику плавання / Баранов Г.Л., Тихонов І.В. // Системи управління, навігації та зв'язку. – К.: ЦНДІНУ, 2009. – Вип. 2 (10). – С. 17-21.

6. Баранов Г.Л. Структурное моделирование сложных динамических систем / Г.Л. Баранов, А.В. Макаров. – Киев: Наукова думка, 1986. – 272 с.

7. Кормен Т. Алгоритмы: построение и анализ / Кормен Т., Лейзерсон Ч., Ривест Р. – М.: МЦНМО, 2000. – 960 с.

8. Пухов Г.Е. Дифференциальные преобразования функций и уравнений / Пухов Г.Е. – К.: Наукова думка, 1980. – 419 с.

9. Пухов Г.Е. Фомализация перехода к чебышевскому базису в дифференциально-тейлоровских преобразованиях / Г.Е. Пухов, Ю.В. Корольов // Электронное моделирование. – 1988. – Вып. 10, № 3. – С. 89–91.

Баранов Г.Л., Носовский А.М., Васько С.М. СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ И КОНТРОЛЯ НАВИГАЦИОННОЙ СИТУАЦИИ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ДВИЖЕНИЕМ СУДОВ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ

В статье проводятся исследования, направленные на построение системы гарантированного адаптивного управления объектами водного транспорта с обеспечением ее функциональной стойкости в сложных обстоятельствах. В пределах предлагаемой системы решается задача рационального распределения функций между оператором как лицом, которое принимает решение, и автоматом как прогрессивным бортовым многофункциональным комплексом навигации и управления движением судов.

Ключевые слова: объекты водного транспорта, адаптивное управление, функциональная стойкость, сложные динамические системы.

Baranov G.L., Nosovskii A.M., Vasko S.M. THE SYSTEM OF TECHNICAL DIAGNOSTICS AND MONITORING OF THE NAVIGATIONAL SITUATION IN THE MANAGEMENT OF VESSEL TRAFFIC UNDER COMPLICATED CONDITIONS

Investigations aimed at creating the system of guaranteed adaptive control of water transport facilities providing its functional reliability under complicated conditions are given in this paper. Within the frames of the proposed system the problem of rational distribution of functions between the operator, as a particular decision maker, and automatic, as a progressive multifunctional on-board set of navigation and vessel traffic management is solved. Key words: water transport facilities, adaptive control, functional reliability, complex dynamic systems.

МОДЕРНИЗАЦІЯ СУДОВИХ СРЕДНЕОБОРОТНИХ ДВИГАТЕЛІЙ С ЦЕЛЮ РЕАЛІЗАЦІЇ В НИХ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОННОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕССОМ ТОПЛИВОПОДАЧІ

Белоусов Е.В.,

Херсонський державний морський інститут

Рассматриваются вопросы модернизации топливных систем среднеоборотных двигателей, с целью их перевода на электронное управление параметрами топливоподачи и рабочего процесса. Такая модернизация позволит при минимальных затратах обеспечить выполнение норм по выбросам окислов азота, которые вводятся в действие с 2011 года. Наиболее актуальна данная модернизация для двигателей, которые отработали большую часть своего ресурса, что позволит снизить расходы на их эксплуатацию за счет уменьшения расхода топлива и сокращения портовых сборов.

Ключевые слова: топливный насос высокого давления (ТНВД), высокооборотные дизели (ВОД), среднеоборотные дизели (СОД), модернизация топливной системы.

Введение. В продолжение двух последних десятилетий ведущими двигателестроительными компаниями, производителями средне- и высокооборотных двигателей, был успешно решен комплекс достаточно противоречивых задач. С одной стороны неуклонное подорожание нефти и продуктов ее переработки потребовало интенсификации исследовательских и проектно-конструкторских работ по переводу данных классов двигателей на дешевые тяжелые топлива. С другой стороны растущие требования по защите окружающей среды ставили перед разработчиками комплекс проблем по снижению эмиссии отработавших газов, а ужесточение конкуренции на мировых рынках требовало повышения надежности и эффективности двигателей, снижения эксплуатационных расходов и повышения их долговечности.

В результате этих работ, на рынке появилось принципиально новое поколение высоко- (ВОД) и среднеоборотных дизелей (СОД), которые по многим показателям могут успешно конкурировать с малооборотными дизелями [1]. Одним из лидеров в данной области является немецкая фирма МаК, входящая в промышленную группу Caterpillar.

Актуальность проблемы. В 2011 году ожидается очередное ужесточение норм по содержанию в отработавших газах окислов азота (NO_x) (рис. 1). Кроме того, порты некоторых стран мира самостоятельно вводят ограничения на содержание вредных выбросов судовыми ДВС и взимают дополнительную плату за их превышение или вообще ограничивают вход в свою акваторию [2]. Такое положение дел ограничивает возможности использования судов с СОД, построенных 10...15 лет назад, или ведет к увеличению эксплуатационных расходов на уплату портовых сборов. Как видно из примера на рисунке 1, только последние модели двигателей фирмы МаК смогут соответствовать перспективным нормам. Все остальные

двигатели данные нормы не выполняют. В то же время их масштабная модернизация в большинстве случаев может оказаться нецелесообразной, учитывая то, что эти двигатели на сегодня уже выработали значительную часть своего ресурса. В этой связи особую актуальность приобретают разработки по модернизации двигателей, не требующие больших материальных затрат и позволяющие выполнить действующие и перспективные нормы по токсичности отработавших газов.

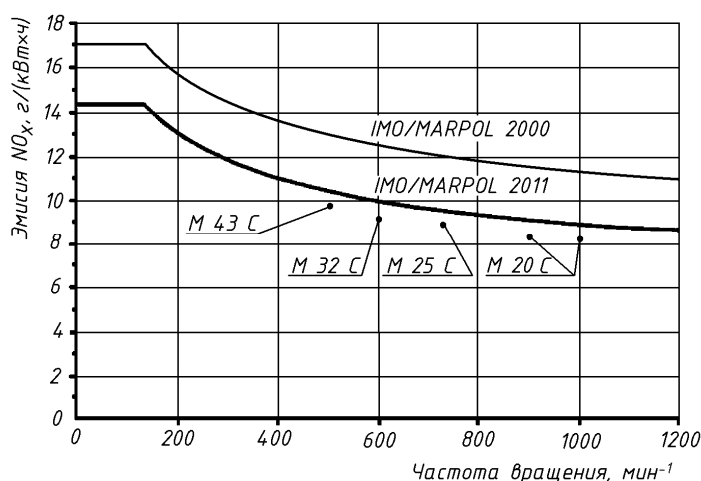


Рисунок 1. Нормы выбросов IMO/MARPOL 2011

Анализ литературных источников. На сегодня можно выделить два основных подхода к сокращению вредных выбросов судовыми ДВС и, в первую очередь, выбросов оксида азота.

К первому подходу относятся внецилиндровые методы снижения токсичности с использованием каталитических нейтрализаторов. Преимущество таких методов в том, что двигатель в этом случае не требует каких-либо переделок. Недостаток состоит в высокой стоимости каталитических нейтрализаторов и их больших размерах, порой сопоставимых с размерами двигателя. Понятно, что в ограниченном пространстве машинного отделения существующего судна разместить такую установку достаточно сложно [1].

Ко второму подходу относятся методы, направленные на изменение рабочего процесса двигателя, позволяющие снизить максимальную температуру цикла T_z . К таким методам относятся: управление процессом подвода теплоты путем выбора оптимального закона подачи топлива; впрыск воды на входе в рабочий цилиндр или непосредственно в камеру сгорания. [1, 2].

Все перечисленные методы имеют разную степень технического риска и требуют различных затрат на свою реализацию. Однако, наиболее приемлемым, применительно к модернизации двигателей, уже находящихся в эксплуатации, на наш взгляд, является переоборудование их топливной системы из объемной в аккумуляторную.

На сегодня основные производители судовых СОД считают, что именно такая система впрыска с электронным управлением, получившая в западной литературе название common rail [1-7], позволяет решать задачи снижения токсичности, повышения экономичности и надежности вновь создаваемых двигателей.

Такой интерес к аккумуляторным системам впрыска, в первую очередь, объясняется тем, что они позволяют управлять процессом подачи топлива в камеру сгорания в широком диапазоне нагрузок, изменяя такие параметры, как опережение и продолжительность впрыска, а также закон подачи.

В частности, фирма MAN применила аккумуляторную систему впрыска на 6-цилиндровых двигателях двух типоразмеров 32/40 и 48/60В [7]. Фирма Wärtsilä успешно использовала систему common rail на среднеоборотных двигателях аналогичных размерностей [5, 6]. Фирмой Caterpillar Motoren проведены исследования в данной области, результатом которых стало переоборудование топливной системы двигателя MaK M32С из объемной в аккумуляторную.

В этой связи модернизация топливных систем, которая не затрагивает основных элементов конструкции двигателя, на наш взгляд, является вполне обоснованной. В качестве объекта модернизации нами был выбран двигатель M43, который на сегодня является безусловным лидером рынка для контейнеровозов вместимостью до 1000 TEU, а также занимает прочное положение в других сегментах рынка, например, на рынках круизных судов и паромов [3]. Двигатель имеет цилиндковую мощностью 1000 кВт и разработан для работы на тяжелых топливах до 700 сСт при 50°С, топливо класса до CIMAC H55 K55, ISO 8217, 1996 (E), ISO-F-RMH55 RMK55.

Предложенная модернизация модели MaK M43 ориентирована в основном на двигатели, которые уже отработали более половины своего ресурса, и вносить какие либо кардинальные изменения (со значительными капитальными вложениями) в его конструкцию не имеет смысла.

Цель данной работы – на примере двигателя MaK M43 разработать концепцию модернизации топливной системы из объемной в аккумуляторную с минимальными изменениями в конструкции основных узлов и элементов при минимальных затратах материальных средств.

Решение проблемы. Анализ существующих схемных решений аккумуляторных систем впрыска показал, что для модернизации топливной системы рассматриваемого двигателя, наиболее целесообразно переоборудование существующей системы объемной подачи в аккумуляторную с использованием аккумуляторов малого объема. Такие аккумуляторы, имея малые габариты, достаточно легко могут быть интегрированы в существующую систему впрыска без существенного изменения конструкции основных узлов и базовых деталей. На рисунке 2 показана штатная система подвода топлива от ТНВД к форсунке. С нашей точки зрения, наиболее рационально разместить аккумулятор

непосредственно на проушине кожуха магистрали высокого давления, как это показано на рисунке 3.

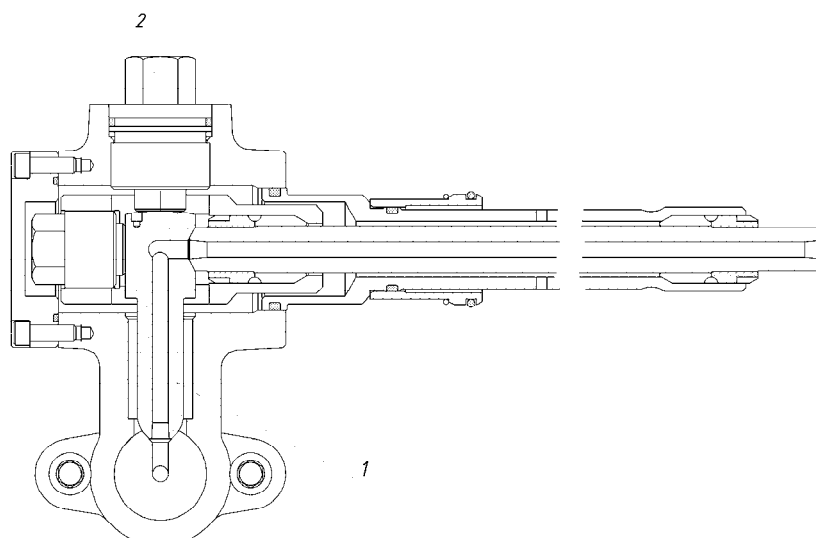


Рисунок 2. Штатный топливопровод двигателя MaK 6M43C

Конструкция штатного топливопровода двигателя MaK M43 (рис. 2) позволяет применить механический аккумулятор давления поршневого типа с пружинным упругим элементом, состоящим из набора тарельчатых пружин (рис. 3). При этом аккумулятор устанавливается вместо упорной пробки 1 (рис. 2), прижимая топливопровод 2 высокого давления к нагнетательной магистрали ТНВД.

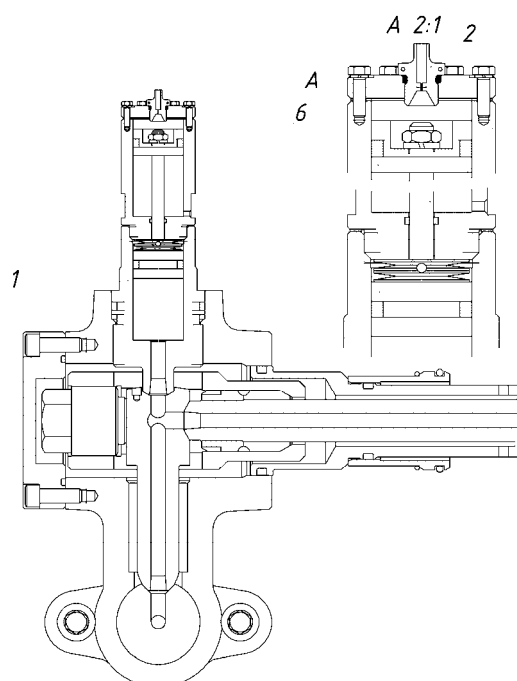


Рисунок 3. Модернизированный топливопровод двигателя MaK M43

Такая конструкция аккумулятора позволяет совместить в нем функции аккумуляирования топлива под давлением и управления подачей топливного насоса необходимой для поцикловой дозарядки аккумулятора. Для этого

поршень топливного аккумулятора необходимо жестко соединить с поршнем гидропривода топливной рейки ТНВД с помощью штока. Двигаясь под воздействием давления топлива, поршень, находящийся в топливном аккумуляторе, передвигает поршень гидроцилиндра, управляющего рейкой насоса (рис. 4). Для сглаживания пульсаций давления в системе гидропривода рейки ТНВД на выходе из гидроцилиндра необходимо установить дросселирующее устройство. Благодаря такому каналу обратной связи штатный ТНВД будет на каждом ходе плунжера подавать в аккумулятор такое количество топлива, которое было использовано в предыдущем цикле. Если за счет изменения времени открытия форсунки, цикловая подача изменится, система гидропривода переместит рейку насоса в сторону увеличения или уменьшения подачи пропорционально величине изменения цикловой подачи.

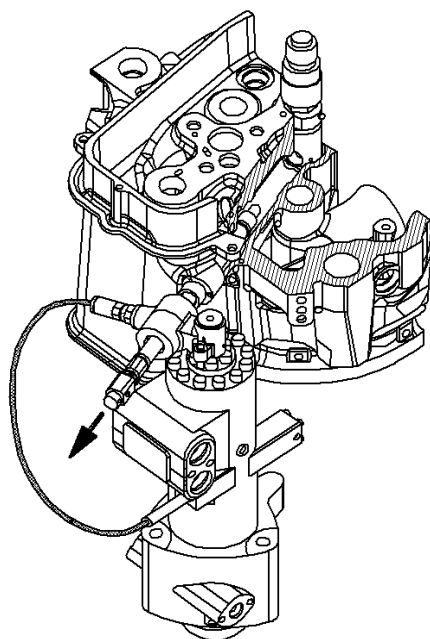


Рисунок 4. Общий вид модернизированной части двигателя

Для возможности электронного управления впрыском топлива, штатная форсунка оборудуется соленоидным клапаном, который поставляется фирмой DUAP AG. При этом, как видно из рисунка 5, корпус форсунки не претерпевает изменения, а соленоидный клапан устанавливается через специально изготовленную проставку. Для обеспечения жесткой связи между соленоидным клапаном и иглой распылителя, штатную пружину необходимо заменить на проставку, выполненную в виде толстостенного цилиндра, устанавливаемого на штатные бурты упоров под пружину. Такая модернизация позволяет поднять начальное давление впрыска с 46,5 до 80 МПа, поскольку именно на такое давление открытия рассчитан соленоидный клапан. Для управления форсунками могут быть использованы существующие системы коммутации с соответствующим программным

обеспечением. Таким образом, отпадает необходимость в штатном регуляторе базового двигателя Woodward UG 40 DG.

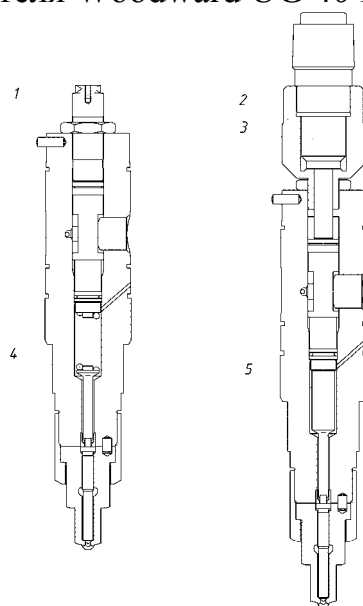


Рисунок 5. Модернизация форсунки двигателя MaK M43

Применение штатных ТНВД и форсунок дает возможность снизить капитальные затраты на модернизацию, при этом расширив возможности управления рабочим процессом через регулирование параметров впрыска. Предложенный комплекс мероприятий позволит довести штатную систему впрыска до уровня систем common rail и в полной мере реализовать в двигателе преимущества, свойственные этим системам.

Выводы. Рассмотренные в данной работе подходы к модернизации топливных систем на примере двигателя M43 фирмы MaK позволяют без значительных материальных затрат применить электронные системы управления процессом впрыска.

К преимуществам предложенной в данной работе системы топливоподачи также относится:

- возможность аккумулировать топливо непосредственно в топливопроводе, существенно не изменяя конструкцию всей системы топливоподачи;
- при выходе из строя одного топливного насоса или аккумулятора, другие цилиндры продолжают работать (в отличие от существующих аккумуляторных систем);
- обслуживание такой топливной системы не намного сложнее, чем штатной;
- использование управляемого впрыска позволит снизить токсичность отработавших газов и выполнить действующие и перспективные нормы по токсичности, что автоматически ведет к сокращению эксплуатационных затрат;
- более гибкое регулирование рабочего процесса свойственное системам с электронным управлением позволит оптимизировать рабочий процесс двигателя в широком диапазоне режимов работы, что приведет к снижению расхода топлива;

– подобная модернизация топливной системы, применима не только к рассмотренному двигателю, но и к среднеоборотным судовым двигателям других производителей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Возницкий И.В. Современные судовые среднеоборотные двигатели: учебное пособие по специальности 2405. – 2 изд. – СПб.: ГМА, 2005. – 147 с.
2. Возницкий И.В. Топливная аппаратура судовых дизелей: учебное пособие по специальности 2405. – 2 изд. – СПб.: ГМА, 2005. – 133 с.
3. Caterpillar Motoren GmbH & Co. KG Engine Operating Instructions Type M43C. – Rostock, Germany, Caterpillar Motoren Rostock GmbH, 2007. – 2737 p. (Marlow Navigation)
4. Caterpillar Motoren GmbH & Co. KG MaK M43C Project Guide Propulsion. – Kiel, Germany, Caterpillar Motoren GmbH P.O. Box, 2003. – 114 p. (Marlow Navigation)
5. Marine Technology Society Power Generation Stability and Response in DP Applications. – Houston, Texas Session Chair. – Don Wilkes, GlobalSantaFe, 2003. – 34 p.
6. SO_x en NO_x abatement Today's technologies Frank Dames Wärtsilä Nederlands. – Wärtsilä FJM Dames, 2007. – 22 p.
7. MAN B&W New HFO Common Rail System for Medium speed Diesel Engines. – Kyoto/Japan: CIMAC Congress, 2004. – 12 p.

Белоусов Є.В. МОДЕРНІЗАЦІЯ СУДНОВИХ СЕРЕДНЬООБОРОТНИХ ДВИГУНІВ З МЕТОЮ РЕАЛІЗАЦІЇ В НИХ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОННОГО УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ПОДАЧІ ПАЛИВА

Розглядаються питання модернізації паливних систем середньооборотних двигунів, з метою їхнього переведення на електронне керування параметрами паливостачання й робочого процесу. Така модернізація дозволить при мінімальних витратах, забезпечити виконання норм по викидах окислів азоту, які вводяться в дію з 2011 року. Найбільш актуальна дана модернізація для двигунів, які відпрацювали більшу частину свого ресурсу, що дозволить знизити витрати на їхню експлуатацію за рахунок зменшення витрати палива та скорочення портових зборів.

Ключові слова: паливний насос високого тиску (ПНВТ), високооборотні дизелі (ВОД), середньооборотні дизелі (СОД), модернізація паливної системи.

Belousov E.V. MODERNIZATION OF SHIP'S MEDIUM-SPEED ENGINES IN ORDER TO REALIZE IN THEM ELECTRONIC CONTROL SYSTEM FOR A FUEL FEED PROCESS

Problems of modernization of fuel systems in medium-speed engines, for the purpose of their transfer to electronic control of parameters of fuel feed and working process are considered. Such modernization will allow, at the minimum expenses, to provide observance of norms as to the emissions of nitrogen oxides which will be put into force since 2011. The given modernization for the engines that have fulfilled the most part of their resource will allow cut expenses on their operation at the expense of reduction of fuel consumption and reduction of port duties is most timely.

Key words: high-pressure fuel pump (HPFP), high-speed diesels (HSD), medium-speed diesels (MSD), fuel system modernization.

ВЫХОД В ИСХОДНУЮ ТОЧКУ ПОИСКА В КРАТЧАЙШЕЕ ВРЕМЯ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ

Бень А.П., Плющ В.Н.

Херсонский государственный морской институт

В статье рассматривается проблема сокращения времени поиска объекта спасения, при осуществлении поисково-спасательных операций. Представлена методика расчета радиуса круга погрешностей и определения границ квадрата вероятного местонахождения объекта поиска. Предложено аналитическое и графическое решение задачи определения оптимальной траектории движения судна-спасателя для выхода в точку поиска.

Ключевые слова: поисково-спасательная операция, точка поиска, зона поиска, бедствие в море, дрейф от ветра и течения.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными практическими задачами. Эффективность поисково-спасательных операций в первую очередь зависит от времени между моментами подачи сигнала SOS аварийным судном и началом спасательных операций. Опыт показывает, что своевременный выход судна-спасателя в исходную точку поиска позволяет с большей эффективностью проводить поисково-спасательные работы, однако перед капитаном судна, принявшим сигнал SOS, возникает проблема выхода в исходную точку поиска в кратчайшее время. Аварийное судно или его спасательные средства подвержены суммарному дрейфу от ветра, волнового течения, ветрового течения, приливо-отливных и постоянных течений. Поэтому следование судна-спасателя в точку места аварии приведет к потере времени выхода в исходную точку поиска. Рассчитав суммарный дрейф, можно произвести коррекцию курса и скорости с некоторыми погрешностями. Однако к моменту выхода в эту новую точку судно под воздействием дрейфа перемещается уже в другое положение. Таким образом, выполняя ряд последовательных графических измерений, можно априори определиться с курсом следования в исходную точку поиска. Однако такой способ решения неэффективен и недостаточно точен.

В статье предлагается математическая модель решения задачи выбора оптимальной траектории движения судна-спасателя для выхода в точку поиска и методика ее практической реализации с помощью маневренного планшета.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение переменных ранее частей одной проблемы. Считается общепринятой нормой для моряков и прямой обязанностью капитанов морских судов принимать все возможные меры для оказания помощи в тех случаях, когда люди терпят бедствие в море. Эти

обязанности излагаются в правиле V/10 СОПАС-74, а вопросы организации поисково-спасательных операций – в специальных руководствах ИМО: IMCOSAR, MERSAR, IAMSAR [1-3].

Эффективность поиска терпящих в значительной степени зависит от правильного определения границ района, в котором находится терпящее бедствие судно. Чем быстрее судно-спасатель окажется в исходной точке, тем меньше будут границы наиболее вероятного района поиска. Основой для расчета границ района поиска являются погрешности в определении координат. В большинстве случаев спасатели располагают лишь координатами (φ_0, λ_0) места бедствия, известными с определенными среднеквадратичными погрешностями (СКП), зависящими от способа определения места бедствия, такими как: погрешности выставления координат места бедствия в автоматическом передатчике сигнала тревоги АПСТБ, СКП определения координат непосредственно на бедствующем судне перед передачей сигнала SOS, СКП системы КОСПАС-САРСАТ.

Располагая координатами места бедствия с определенными СКП, капитану необходимо определить исходную точку поиска – наиболее вероятное место объекта поиска в заданный момент времени T с учетом предполагаемого воздействия дрейфа с того момента, когда было установлено первоначальное место бедствия. Этот вопрос подробно рассматривается в специальных руководствах ИМО по организации поисково-спасательных операций. В этих пособиях даются рекомендации по определению углов дрейфа и их скоростей с помощью специальных эмпирических формул, графиков и таблиц для различных плавсредств, которые находятся под воздействием изменяющихся внешних условий.

Так, для определения скорости ветрового дрейфа судна или спасательной шлюпки, рекомендуется использовать уравнение (1):

$$V_{др} = K_v \times W, \quad (1)$$

где W – скорость ветра в районе действия (м/с); K_v – коэффициент скорости дрейфа, зависящий от парусности судна и соотношения надводной и подводной боковой поверхности, для большинства судов $K_v = 0,12-0,15$.

Наиболее вероятное направление дрейфа принимается совпадающим с направлением ветра. Для определения влияния ветрового течения, время развития которого (6-20 часов, зависит от H – глубины моря), скорость в узлах определяется по формуле:

$$V_{в.т.} = \frac{A_\sigma}{\sqrt{\sin \varphi}} \times W \quad (2),$$

где φ – широта места; A_σ – ветровой коэффициент ($\sim 0,025$ при $W \leq 7$ м/с и $\sim 0,045$ при $W = 8-20$ м/с).

Направление ветрового течения отклоняется от линии действия ветра:

- вправо – в северном полушарии – на $\alpha \leq 45^\circ$ в открытом море;
- влево – в южном полушарии – на $\alpha \leq 20 - 30^\circ$ вблизи берега.

При развитом волнении на малые суда (шлюпки) действует также «волновое течение». Кроме того, объект подвержен сносу существующими в данном районе постоянными или приливо-отливными течениями V_T .

Таким образом, суммарная скорость дрейфа объекта V_Σ определяется геометрическим сложением всех составляющих:

$$V_\Sigma = \overline{V_{op}} + \overline{V_{BT}} + \overline{V_{волн}} + \overline{V_T}, \quad (3)$$

а суммарный снос ΣS определится по формуле:

$$\Sigma S = V_\Sigma \times t. \quad (4)$$

Отложив от точки действия A_0 вектор $\overline{S_\Sigma}$, получим исходную точку поиска – точка A_I (рис. 1).

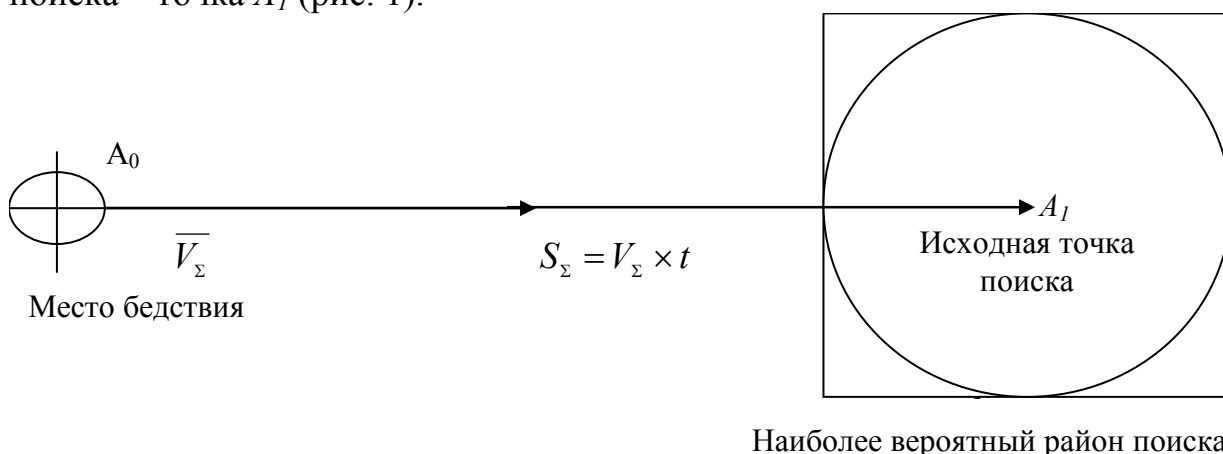


Рисунок 1. Определение возможной зоны поиска при бедствии

СКП оценки суммарного дрейфа объекта поиска может быть определено как:

$$M_{op} = t \times \sqrt{m_v^2 + \left(\frac{m_\tau \times V_\Sigma}{57.3^0} \right)^2} \text{ (мили)}, \quad (5)$$

где t – время в часах и десятых долях часа, истекшее с момента определения φ_0, x_0 до выхода поискового судна в исходную точку поиска; m_v, m_τ – СКП оценки скорости (узлы) и направления (градусы) вектора суммарного дрейфа объекта поиска. Отсюда радиус вероятного района поиска определится по формуле:

$$R = \sqrt{M_0^2 + M_{op}^2}, \quad (6)$$

где M_0 – СКП обсервованного места аварийного судна; M_{op} – СКП определения величины суммарного дрейфа аварийного судна.

На этом этапе возникает проблема выхода в исходную точку поиска судна-спасателя в кратчайшее время $T_{кр}$. Как отмечалось ранее, положение исходной точки рассчитывалось на некоторый заданный момент времени $T_{зад}$, которое определялось исходя из расстояния до места бедствия. Однако, из-за дрейфа объекта поиска, заданное расстояние $D_{зад}$ до объекта поиска изменится, исходная точка поиска переместится в новое положение. В

результате возникает необходимость определения оптимального курса, которым судно-спасатель должно следовать для сближения с объектом спасения в кратчайшее время.

Эта часть проблемы в общем комплексе поисково-спасательных операций не рассматривается ни в одном руководстве ИМО по организации поисково-спасательных операций, хотя при определенных обстоятельствах, задержка с выходом в исходную точку поиска может иметь решающее значение в эффективном оказании помощи судну, терпящему бедствие.

Цель статьи – дать теоретическое обоснование проблемы сближения с объектом спасения в кратчайшее время $T_{кр}$, разработать математическую модель определения оптимальной траектории судна-спасателя и методику расчета траектории движения судна для выхода в исходную точку поиска в кратчайшее время с помощью маневренного планшета.

Изложение основного материала исследования. Задача выхода в исходную точку поиска в кратчайшее время с учетом гидрометеорологических факторов представляет собой сложную проблему, решение которой требует комплексного подхода.

Однако, учитывая то, что проблема имеет важное практическое значение, процесс решения задачи должен быть минимизирован по времени, а методика решения – приведена к форме, удобной для практического использования.

Положим в основу решения задачи постоянство пеленга с судна-спасателя на объект спасения в течение всего периода сближения судов (рис. 2).

Непосредственно из рис. 2 (а) следует, что при известном курсе дрейфа $K_{др}$ и суммарной скорости дрейфа $\overline{V_{др}}$ объекта спасения, а также скорости полного хода судна-спасателя $\overline{V_л}$, задача сводится к определению курса судна спасателя K_c , которым оно должно следовать полным ходом и при этом сохранять постоянный пеленг ИП на объект спасения.

Для определения курса судна-спасателя, обеспечивающего выход в исходную точку поиска в кратчайшее время $T_{кр}$, рассмотрим рис. 2 (б).

Непосредственно из рисунка следует, что курс судна спасателя равен:

$$K_{СП} = ИП + (\pm q); \quad (7)$$

где q – представляет собой угол между ИП на объект спасения и курсом судна-спасателя.

Для определения курсового угла q опустим перпендикуляр из точки А на линию истинного пеленга ИП, основание перпендикуляра Р обозначим буквой С. Точка С делит вектор относительной скорости V_0 на две неравные части d и e .

Для определения длины отрезка e воспользуемся тригонометрическими зависимостями между катетом и гипотенузой в прямоугольном треугольнике, а также углом α , который определится из выражения:

$$\alpha' = 180 - \alpha,$$

$$\alpha = K_{др} - ИП,$$

где $K_{др}$ – курс сноса объекта поиска от воздействия суммарного дрейфа.

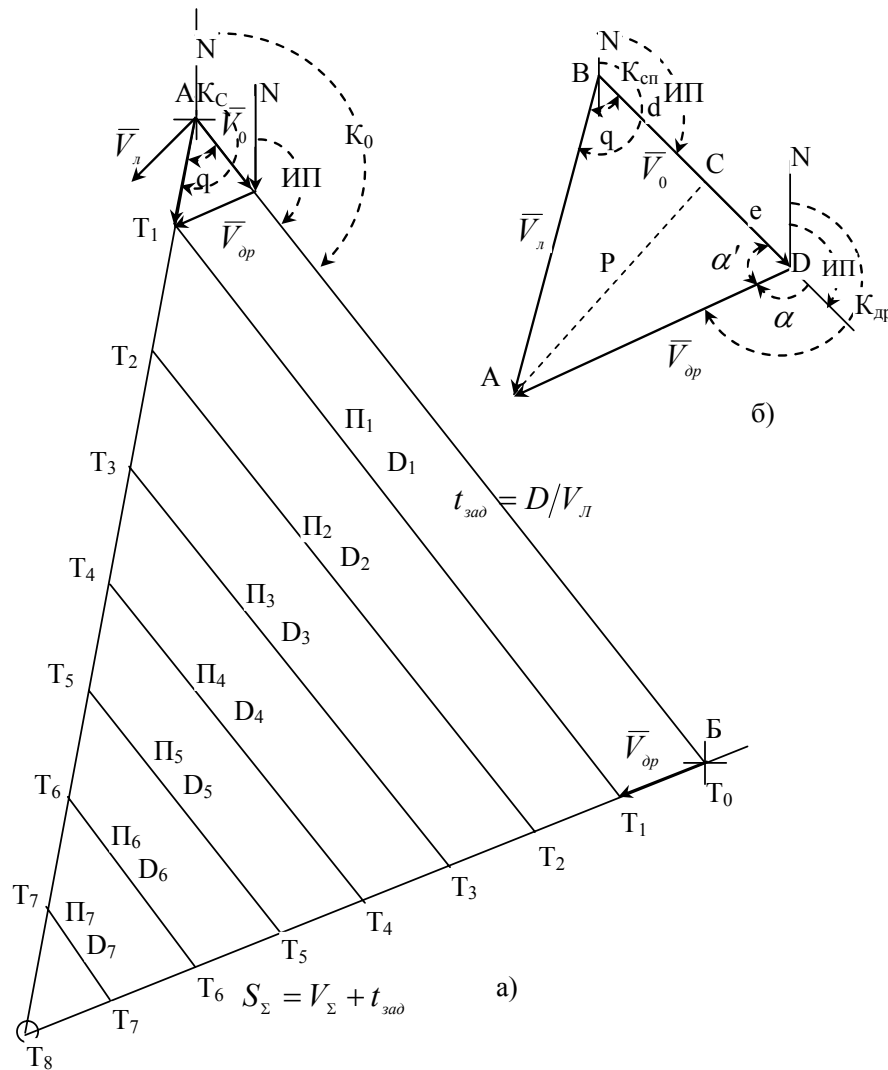


Рисунок 2. Определение параметров сноса судна

Принимая во внимание, что угол α' есть величина постоянная в силу постоянства пеленгов с судна-спасателя на объект спасания, определим длину отрезка e и перпендикуляр P :

$$E = V_{др} \times \cos \alpha', \tag{8}$$

$$P = \overline{V_{др}} \times \sin \alpha'.$$

Теперь угол g определится из выражения:

$$\sin g = \frac{P}{V_{л}}, \text{ или } g = \arcsin \frac{\overline{V_{др}} \times \sin \alpha'}{V_{л}}.$$

Таким образом, для выхода судна-спасателя в исходную точку поиска, оно должно лечь на курс:

$$K_{cn} = ИП + \arcsin \frac{\overline{V_{dp}} \times \sin \alpha'}{V_{\Lambda}}. \quad (9)$$

Заменим отношение $\frac{\overline{V_{dp}}}{V_{\Lambda}}$ через m , тогда уравнение (9) примет вид:

$$K_{СП} = ИП + \arcsin(m \times \sin \alpha'),$$

где $ИП$ – истинный пеленг с судна-спасателя на объект спасания; m – отношение скорости суммарного дрейфа $\overline{V_{\Sigma}}$ к скорости судна-спасателя V_{Λ} ; α' = дополнение угла α до 180° .

Для определения времени T выхода в исходную точку поиска, необходимо определить вектор относительной скорости сближения судов $\overline{V_0}$, который всегда направлен на объект спасания, то есть

$$K_0 = ИП_{AB}; \quad (10)$$

где K_0 – относительный курс, $ИП_{AB}$ – направление на объект спасания.

Для определения скалярной величины относительной скорости выразим отрезки d и e (рис. 2 (б)) через тригонометрические формулы:

$$\begin{aligned} d &= V_{\Lambda} \times \cos g; \\ E &= V_{dp} \times \cos \alpha'. \end{aligned} \quad (11)$$

Из рисунка следует, что V_0 равен сумме отрезков d и e , то есть

$$V_0 = V_{\Lambda} \times \cos g + V_{dp} \times \cos \alpha'. \quad (12)$$

Определив величину вектора относительной скорости V_0 , можно вычислить время выхода в исходную точку поиска A_1 , по формуле:

$$t_{cbl} = D_{AB} / V_0, \quad (13)$$

где D_{AB} – расстояние от судна-спасателя до объекта спасания в первоначальный момент времени; V_0 – относительная скорость.

Координаты исходной точки поиска могут быть определены путем прокладки на карте отрезков S_{Λ} или S_{dp} по направлениям от судна-спасателя или объекта спасания на $K_{СП}$ и K_{dp} соответственно. Отрезки S_{Λ} и S_{dp} определяются из уравнений:

$$\begin{aligned} S_{\Lambda} &= V_{\Lambda} \times t_{cbl}; \\ S_{dp} &= V_{dp} \times t_{cbl}. \end{aligned} \quad (14)$$

Проложенные на карте отрезки от первоначальных положений судов должны соединиться в одной точке, которая и будет исходной точкой поиска. Если концы проложенных на карте отрезков не совпадают, это свидетельствует о наличии ошибок или погрешностей в расчетах.

Координаты исходной точки поиска могут быть определены и по формулам счисления аналитически. Так как координаты судна-спасателя и объекта поиска известны с определенной погрешностью M_o , то координаты исходной точки поиска определяются из уравнений:

$$\varphi_{ИТП} = \varphi_{СП} + PШ_A; \quad \lambda_{ИТП} = \lambda_{СП} + PД_A;$$

или

$$\varphi_{ИТП} = \varphi_{ОП} + PШ_B \quad \lambda_{ИТП} = \lambda_{ОП} + PД_B; \quad (15)$$

где – $\varphi_{ИТП}$ и $\lambda_{ИТП}$ – координаты исходной точки поиска; $\varphi_{СП}$ и $\lambda_{СП}$ – координаты спасателя; $\varphi_{ОП}$ и $\lambda_{ОП}$ – координаты объекта поиска; $PШ_A$ и $PД_A$ – разность широт, и разность долгот относительно судна-спасателя; $PШ_B$ и $PД_B$ – разность широт и разность долгот относительно объекта поиска.

$PШ_A$ и $PШ_B$ – определяются из уравнений:

$$\begin{aligned} PШ_A &= S_{\lambda} \times \cos K_{СП}; \\ PШ_B &= S_{\partial p} \times \cos K_{\partial p}. \end{aligned} \quad (16)$$

$PД_A$ и $PД_B$ – определяются из уравнений:

$$\begin{aligned} PД_A &= OTШ_A \times \sec \varphi_m, \\ PД_B &= OTШ_B \times \sec \varphi_m, \end{aligned} \quad (17)$$

где φ_m – средняя широта.

$OTШ_A$ и $OTШ_B$ могут быть получены по формулам письменного счисления:

$$\begin{aligned} OTШ_A &= S_{\Lambda} \times \sin K_{СП}; \\ OTШ_B &= S_{\partial p} \times \sin K_{\partial p}; \end{aligned} \quad (18)$$

где $K_{СП}$ и $K_{\partial p}$ – курсы спасателя и объекта спасания соответственно; S_{Λ} и $S_{\partial p}$ – плавание спасателя и объекта спасания за период сближения.

Координаты исходной точки поиска, полученные от положения судна-спасателя и объекта спасания, не должны отличаться на величину, большую предельных погрешностей. Поэтому в обязательном порядке должна производиться оценка точности места исходной точки поиска.

Точность, с которой определяется исходная точка поиска, зависит от многих факторов. В частности, от точности координат объекта спасания введенных в АПСТБ, времени истекшего с момента ввода до передачи сигнала SOS, от точности координат, полученных по системе КОСПАС-САРСАТ, от точности учета гидрометеорологических факторов и расчета вектора суммарной скорости дрейфа $\overline{V_{\partial p}}$ и плавания $S_{\partial p}$ и т.д. В дополнение к вышперечисленным факторам, влияющим на точность определения исходной точки поиска, следует отнести погрешности счисления, возникающие при движении судна-спасателя в исходную точку выбранным курсом.

Таким образом, радиальная средняя квадратическая погрешность спасания выразится следующим уравнением:

$$M_c = \sqrt{M_0^2 + M_{c(t)}^2 + M_{\partial p}^2}, \quad (19)$$

где M_0 – СКП обсервованного места объекта поиска.

$M_{c(t)}$ – СКП счисления, определяется по формуле:

$$M_{c(t)} = K_c \times \sqrt{t}, \quad (20)$$

где t – время счисления; K_c – коэффициент счисления, определяется по формуле:

$$K_c = \sqrt{2 \left[\left(\frac{m_{\text{ну}\alpha}}{57,3} \times V \right)^2 + \left(\frac{m_v}{100} \times V \right)^2 + \left(\frac{m_{KT}}{57,3} \times V_T \right)^2 + m_{VT}^2 \right]}, \quad (21)$$

где $m_{\text{ну}\alpha}$ – СКП суммарного путевого угла дрейфа объекта спасания; V – суммарная скорость дрейфа объекта спасания; m_v – СКП в лаговой скорости судна-спасателя; V – скорость судна спасателя; m_{KT} – СКП в определении направления течения; V_T – скорость течения; m_{VT} – СКП в определении скорости течения.

Радиальная СКП счисления M_c представляет собой 95% радиус круга погрешностей, которым описывается окружность вокруг исходной точки поиска с целью очерчивания границ района поиска.

На основании изложенной методики разработан пакет прикладных программ, с помощью которых можно рассчитывать не только оптимальные курсы следования в исходную точку поиска, но и производить контроль и коррекцию курса на основании текущей информации о координатах объекта спасания.

Использование маневренного планшета для определения курса и плавания судна-спасателя в исходную точку поиска.

Опыт показывает, что аналитические методы решения задач судовождения, хотя и имеют преимущества в точности перед графическими, все-таки уступают место более простым и наглядным способам решения задач на картах или маневренных планшетах.

Задача определения оптимального курса и скорости для следования в исходную точку поиска может быть быстро и эффективно решена с помощью маневренного планшета.

Порядок решения задачи выхода в исходную точку поиска при заданной скорости движения.

1. При центре планшета строим вектор скорости суммарного дрейфа объекта поиска $\overline{V_\Sigma}$ в выбранном масштабе (например 1:10).

2. По обратному пеленгу и расстоянию в выбранном масштабе наносим на планшет положение судна-спасателя.

3. Восстанавливаем вектор скорости суммарного дрейфа объекта поиска в точку положения судна-спасателя. Начало вектора обозначаем буквой F .

4. Из точки F , как из центра, раствором циркуля равным выбранной скорости делаем засечку на линии истинного пеленга на объект спасания

(направление в центр планшета) и получаем вектор скорости судна-спасателя $\overline{V_{cc}}$.

5. Перенеся вектор $\overline{V_{cc}}$ в центр планшета, на периферии снимаем курс следования спасателя в исходную точку поиска.

6. Проводим линию курса судна-спасателя от начальной точки нахождения спасателя O параллельно вектору скорости $\overline{V_{cc}}$.

7. Сняв с планшета вектор относительной скорости (отрезок, заключенный между начальной точкой O и засечкой, точка 1 по линии ИП), получаем, в выбранном масштабе, относительную скорость в выбранном масштабе, относительную скорость сближения судна-спасателя с объектом спасания.

8. Разделив первоначальную дистанцию между судами $D_{ав}$ на относительную скорость V_0 , получаем время выхода в исходную точку поиска $t_{сбл}$.

9. Умножив заданную скорость сближения $V_{сбл}$ на $t_{сбл}$ получим величину плавания в исходную точку поиска $S_{сбл}$.

10. Отложив на карте от позиции судна наблюдателя по линии курса величину $S_{сбл}$, получаем положение исходной точки поиска A .

11. Рассчитав радиальную круговую погрешность R , определяем район поиска и производим поиск способом расширяющегося квадрата или способом по секторам.

Пример. В момент приема сигнала SOS от аварийного судна истинный пеленг на объект спасания 150^0 , дистанция $D_0=90,0$ ммиль. Путевая скорость судна-спасателя 15,0 узл. Суммарная скорость дрейфа $V_{др}=4,0$ узл. Определить оптимальный курс судна-спасателя, которым оно должно следовать в исходную точку поиска, если суммарный курс дрейфа $K_{др}=250,0^0$.

Решение задачи с использованием маневренного планшета.

1. Помещаем объект спасания в центр планшета.

2. Выбираем удобный масштаб с учетом расстояния до объекта спасания (в нашем случае 1:10).

3. Учитывая, что суммарная скорость дрейфа $V_{др} = 4$ узл., изображаем его отрезком, длиной 0,4 мили по направлению $250,0^0$.

4. По обратному истинному пеленгу ОИП= $150+180^0=330,0^0$ и расстоянию до объекта спасания $D=90$ ммиль, наносим на планшет положение судна-спасателя относительно объекта спасания. В выбранном масштабе ($D=9.0$ мили) обозначаем эту точку на планшете символом «0».

5. Восстанавливаем суммарный вектор скорости дрейфа в нулевую точку, обозначая его начало буквой F .

6. Из точки F , как из центра, раствором циркуля равным скорости судна-спасателя $V_{cc}=15$ узл. (1,5 мили), делаем засечку на линии ИП= $150,0^0$

(обозначаем засечку цифрой 1). Отрезок, заключенный между цифрами 0 и 1, является вектором относительной скорости судна-спасателя $\overline{V_{0cc}}$, а линия ИП – линией относительного сближения судов ЛОС. ($V_{0cc} = 15.0$ узл.)

7. Соединив точку F с точкой 1, получим направление вектора скорости судна-спасателя, обеспечивающего движение судна по МОС. Перенеся вектор скорости судна-спасателя в центр планшета, на периферии планшета снимем курс судна-спасателя $K_{cc} = 166,0^0$ (согласно аналитическому расчету $K_{cc} = 165,3^0$).

8. Сняв с планшета величину вектора относительной скорости 1,5 мили, переводим ее в скорость в узлах $V_0 = 1.5 \times 10 = 15.0$ узл. (аналитически $V_0 = -15.2$ узл.).

9. Рассчитываем время кратчайшего сближения судов $T_{кр} = D_0 / V_0$, т.е. $T_{кр} = 90 \text{ миль} : 15 \text{ узл} = 6,0 \text{ часа}$.

10. Из нулевой точки прокладываем путевую линию, параллельную вектору скорости судна-спасателя V_{0cc} , и по ней откладываем расстояние, которое пройдет судно-спасатель за $T_{кр} = 6,00$.

$$S_{cc} = V_{cc} \times T_{кр}, \text{ т.е.}$$

$$S_{cc} = 15.0 \text{ узл} \times 6,00 = 90 \text{ м.миль} \quad (22)$$

$$S_{cc} = 15.0 \text{ узл} \times 5.84 \text{ часа} = 88,8 \text{ мили}$$

Полученная точка является исходной точкой поиска.

11. Для контроля точности расчета и прокладки из центра планшета по направлению суммарного вектора скорости дрейфа объекта спасания прокладываем отрезок, равный величине дрейфа за $T_{кр} = 06,00$, т.е.

$$S_{др} = V_{др} \times T_{кр}$$

$$S_{др} = 4,0 \text{ узл} \times 6,00 = 24,0 \text{ мили} \quad (23)$$

$$S_{др} = 4,0 \text{ узл} \times 5,92 = 23,68 \text{ мили}$$

При отсутствии ошибок и погрешностей в расчетах и прокладке, расстояние, проложенное по направлению дрейфа, должно дать точку, совпадающую с исходной точкой поиска (ИТП). Нанесение исходной точки на маневренный планшет позволяет судить о точности графической прокладки на планшете.

Для определения вероятных границ района поиска рассчитывается суммарная радиальная погрешность от ошибок в определении места объекта поиска M_0 , ошибок счисления судна-спасателя $M_{e(t)}$ и ошибок в определении суммарного угла дрейфа $M_{др}$. Таким образом, радиус круга погрешностей с центром в исходной точке поиска определится по формуле:

$$R = \sqrt{M_0^2 + M_{e(t)}^2 + M_{др}^2}, \quad (24)$$

где M_0 – радиальная погрешность обсервации места объекта поиска; $M_{c(t)}$ – радиальная погрешность счисления судна спасателя; M_{op} – суммарная радиальная погрешность дрейфа объекта поиска.

Если принять, что при определении места по системе КОСПАС-САРСАТ СКП определения места аварийного судна $\pm 2,7$ мили и, учитывая, что при плавании более 2 часов накопление ошибок в счислимом месте пропорционально корню квадратному из времени счисления, т.е.

$$M_{c(t)} = K_c \times \sqrt{t_{час}}, \quad (25)$$

где K_c – коэффициент счисления, как правило, не выходящий за границы 3 миль/час.

Поэтому с учетом времени счисления $t = 6$ часов, получим $M_{c(t)} = 3 \times \sqrt{6} = 3 \times 2.45 = 7.35$ мили.

Радиальная погрешность при учете дрейфа определится по формуле:

$$M_{op} = t_{час} \times \sqrt{m_Q^2 + \left[\frac{m_t \times V_{\Sigma}}{57.3} \right]^2} \quad (26)$$

Если принять, что $m_Q = \pm 1.0$ узел, а $m_t = \pm 5^0$, то

$$M_{op} = 6 \text{ час} \times \sqrt{1^2 + \left(\frac{\pm 5^0 \times 4}{57,3} \right)^2} = 6,34 \text{ мили}.$$

Подставив полученные результаты в уравнение (24), получим радиальную погрешность выхода в исходную точку поиска:

$$R = \sqrt{2.7^2 + 7.35^2 + 6.34^2} = 10.0 \text{ мили}$$

На карте из исходной точки поиска, как из центра, описываем окружность радиусом 10.0 миль. Проведя касательные к окружности, параллельно параллелям и меридианам, получаем границы района поиска, в котором осуществлен поиск методом расширяющегося квадрата или по секторам.

Выводы. Решающим фактором эффективности поисково-спасательных операций является их своевременность. Для обеспечения начала спасательных операций в кратчайшее время необходимо обеспечить выход судна-спасателя в исходную точку поиска оптимальным курсом. В работе предложен аналитический и графический методы расчета оптимального курса, в том числе и с использованием маневренного планшета.

Использование предложенной в статье методики расчета радиуса круга погрешностей и определения границ квадрата вероятного местонахождения объекта поиска позволяет значительно уменьшить площадь района поиска, и соответственно, сократить время по спасению терпящих бедствие.

Учитывая исключительную важность обсуждаемого вопроса, которому посвящены международные конвенции, кодексы и национальные документы, предложенные методики проведения поисково-спасательных работ могут оказать существенную помощь капитанам при решении вопроса о выходе в

исходную точку поиска в кратчайшее время и эффективном проведении поисковых операций внутри квадрата поиска.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Merchant ship search and rescue manual : (MERSAR). – 5. ed. – Publisher: London, 1993. MERSAR-MERCHANT SHIP SEARCH AND RESCUE MANUAL NMO 1969/1995. Руководство по поиску и спасению. – 68 р.
2. IAMSAR Manual: International aeronautical and maritime search and rescue manual [Text]. – London; Montreal : IMO/ICAO, 20. IAMSAR-INTERNATIONAL AERONAUTICAL AND MARITIME SEARCH AND RESCUE MANUAL. – IMO, 2006. – pages var.
3. Міжнародна конвенція з охорони людського життя на морі 1974 р. (СОЛАС-74) (SOLAS). – Лондон, 1.11.1974.
4. Катенин В.А., Дмитриев В.И. Навигационное обеспечение судовождения. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. – 372 с.
5. Михайлов В.С., Кудрявцев В.Г. Обеспечение навигационной безопасности плавания. – К.: Аристей, 2006. – 380 с.

Бень А.П., Плющ В.Н. ВИХІД У ВИХІДНУ ТОЧКУ ПОШУКУ В НАЙКОРОТШИЙ ЧАС ПРИ ЗДІЙСНЕННІ ПОШУКОВО-РЯТУВАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙ

У статті розглядається проблема скорочення часу пошуку об'єкта порятунку при здійсненні пошуково-рятувальних операцій. Представлено методику розрахунку радіуса кола погрішностей і визначення меж квадрата ймовірного місцезнаходження об'єкта пошуку. Запропонований аналітичний і графічний розв'язок завдання визначення оптимальної траєкторії руху судна-рятувальника для виходу в точку пошуку.

Ключові слова: пошуково-рятувальна операція, точка пошуку, зона пошуку, нещастя в морі, дрейф від вітру й плину.

Ben A.P., Pljushch V.N. ARRIVAL AT THE INITIAL POINT OF SEARCH IN THE SHORTEST TIME POSSIBLE WHILE REALIZING SEARCH-AND-RESCUE OPERATIONS

In the paper a problem of time reduction in the search of rescued object is considered, while carrying out search-and-rescue operations. The design method of radius of a circle of errors and determination of boundaries of square of the probable searched object location are submitted. The analytical and graphical solution of a task to determine an optimum search pattern for movement of the rescue vessel to arrive at the point of search is offered.

Key words: search-and-rescue operation, a point of search, a zone of search, distress in the sea, drift caused by winds and currents.

РОЛЬ СУДОХОДСТВА В ПОВЫШЕНИИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА УКРАИНЫ

Гацан Е.А.,

Международный университет бизнеса и права, г. Херсон

Рассматриваются современные проблемы флота Украины и кадровой политики в сфере судоходства, предлагаются пути их решения с точки зрения судовладельца.

Ключевые слова: флот, судоходство, кадры, морские специалисты, экипаж, энергетические ресурсы, морской и речной транспорт.

Постановка проблемы. Анализируя нынешнее состояние судоходства в Украине, можно сделать вывод, что позиции национальных судоходных компаний, как государственных, так и частных, слабеют с каждым годом – падают объемы перевозок, осуществляемых флотом под украинским флагом, и надежды на изменение ситуации к лучшему невелики [1]. Вместе с тем, на сегодняшний день в Украине остро стоит проблема отсутствия флота, а значит, и рабочих мест для морских специалистов, получивших образование в морских учебных заведениях. В результате идет отток квалифицированных кадров из Украины в иностранные судоходные компании, а трудовая миграция является одним из многочисленных аспектов глубокого и всеохватывающего системного кризиса в нашей стране.

Украина занимает пятое место в мире среди стран, которые поставляют плавсостав на морской торговый флот. Более 100 тысяч украинских моряков работают за границей. С одной стороны, этим можно гордиться, так как каждый двадцатый моряк в мире – украинец, а с другой – это свидетельствует о том, что если мы не начнем строить собственный новый флот и готовить для него морские кадры, мы никогда не сможем возобновить статус Украины как морского государства, лидера судоходной отрасли.

В настоящее время наблюдается повышение спроса на морские и речные суда. Это происходит из-за роста экспорта зерна, древесины, металлолома и стали из Азовского и Черноморского регионов [2], что обуславливает острую необходимость в постройке нового разнотоннажного флота. В Украине насчитывается 18 морских торговых, 4 рыбных и 13 речных портов. Основные морские порты Украины: Ильичевск, Южный, Мариуполь, Одесса, Рени, Херсон, Николаев. Основная внутренняя речная магистраль – река Днепр [3]. Крайне необходимо, чтобы эта инфраструктура эффективно использовалась в национальных интересах и для флота под украинским флагом.

Целью исследования является выявление существующих проблем флота Украины и определение стратегических инновационных мероприятий в изменении кадровой политики судоходных компаний.

Анализ последних исследований и публикаций. Украина получила в наследство достаточный потенциал сфере торгового судоходства – она имела возможность стать третьей страной на постсоветском пространстве, где государственный бюджет формируется в основном за счет поступлений от перевозки грузов морем, но быстро утратила его в результате неудачных действий по реорганизации национального торгового мореплавания. Поэтому ускоренное развитие в стране этой сферы экономики создаст необходимые условия увеличения темпов экономического роста нашего государства. Вместе с тем, к сожалению, на сегодняшний день в Украине не существует ни одной действующей программы, направленной на восстановление судоходной отрасли. Принятая «Морская доктрина Украины (на период до 2035 г.)» от 23.02.2009 г. рассчитана на слишком большой период времени, за который страна может потерять не только флот, но и все морские кадры. Уже сегодня возраст судов флота Украины превысил 27-летний рубеж, а, следовательно, украинский флот «постарел» и не сможет конкурировать на мировом рынке уже сегодня и в ближайшем будущем, так как суда не смогут заходить в ведущие морские порты мира. Имеющиеся перспективы украинского флота не вселяют надежду для моряков и страны в целом. В то же время в странах СНГ развитию собственного флота начинают уделять значительное внимание. Так, 19 ноября 2009 г. в Москве состоялась конференция «Инвестиционная привлекательность морского и речного транспорта РФ» в рамках Международного транспортного форума «Транспорт России: становление, развитие, перспективы», которая затронула вопросы строительства флота для обеспечения добычи углеводородного сырья, совершенствования кадрового потенциала отрасли [2]. Проблемам развития собственного флота значительное внимание стали уделять также страны Прибалтики и черноморского бассейна [4]. В создавшейся ситуации определение эффективных путей антикризисного менеджмента судоходных компаний Украины, осуществляемое путем разработки инновационных подходов по изменению кадровой политики судоходных компаний, в условиях обновления собственного флота представляет собой актуальную научную и практическую проблему.

Основная часть. Анализ текущего состояния транспортного флота Украины показывает, что большую его часть составляют старые суда. Многие из них достигли предельного возраста эксплуатации, а экипаж состоит большей частью из людей предпенсионного или пенсионного возраста – молодые и перспективные специалисты предпочитают иностранные суда с более высокой оплатой труда. Вместе с тем, если рассматривать украинскую школу обучения специалистов морского транспорта, то она имеет большую историю и фундаментальную профессиональную базу подготовки кадров в различных областях судоходства. Более двух десятков высших и средних учебных заведений выпускают ежегодно морских специалистов, но, к сожалению, сейчас они также преимущественно пополняют кадровый состав иностранных морских

судоходных компаний. Украинские судовладельцы и моряки не чувствуют себя защищенными своим государством на международном рынке, что ярко показывает практика ареста судов под украинским флагом, которую мы наблюдаем последние годы. Инертность и равнодушие наших властей приводят к тому, что судно остается в затруднительных ситуациях за рубежом один на один со своими проблемами.

С другой стороны, Украина владеет важнейшими внутренними водными путями международного значения, и перспективы успешного экономического развития страны напрямую связаны с эффективной работой компаний транспортного и логистического бизнеса, прежде всего судоходных компаний. Транзитный потенциал Украины, который, согласно объемам проходящих грузов и инфраструктуры транспортных коммуникаций является наибольшим в Европе, используется сейчас только на 60 %. Вследствие его неполноценного использования наша страна ежегодно недополучает около 2,5 млрд. долл. Его эффективное использование станет возможным только в случае реновации собственного флота, восстановления нормальной работы судоходной, судоремонтной и судостроительной отраслей. Реализация мероприятий восстановления судоходной отрасли невозможна без объединения усилий всех предприятий морехозяйственного комплекса.

Исследование состояния судоходной области Украины, которая находится в кризисном положении, позволило определить наиболее перспективные направления относительно ее реновации.

Для решения поставленной задачи автором была разработана Концепция управления судоходством в Украине, в результате внедрения которой на государственном уровне возможно достичь:

- увеличение налоговых поступлений в бюджет;
- увеличение доходной части Пенсионного фонда страны;
- повышение контроля работы украинских моряков на судах, которые работают под иностранными флагами;
- уменьшение количества проблем, связанных с выплатой компенсаций морякам и их семьям в момент ареста или захвата судна пиратами через страховые компании;
- повышения эффективности использования морских кадров в экономике страны;
- постоянной загруженности украинского флота;
- получение валютной выручки государством от новообразованного Центрального брокерского управления в виде налогов.

При реализации данной Концепции в украинский бюджет будет зачислено не менее 0,5 % от фрахта, полученного через ЦБУ в Украине (по данным Государственного статистического управления в 2008-2009 гг. было переработано 180-190 млн. тонн грузов), а пенсионный фонд получит не менее 15% от заработка моряка, полученного за границей.

Автором также разработана система антикризисного менеджмента судоходных компаний Украины, в основу которой входят мероприятия по обновлению украинского флота: создание Акционерной судоходной компании для строительства судов согласно новым экологически безопасным технологиям, направления изменения кадровой политики судоходных компаний Украины с помощью систем стимулирования, таких как увеличение заработных плат и введение дополнительного страхования от пиратских нападений.

Создание Акционерной судоходной компании поможет полностью восстановить судоходную область в Украине, остановить отток квалифицированных морских кадров, вернуть Украине конкурентное преимущество в сфере международных торгово-экономических отношений, использовать нововыстроенные суда для рационального природопользования, используя высококвалифицированные морские кадры и потенциал в полном объеме для обеспечения энергетической независимости нашего государства при добыче полезных ископаемых (например, сероводорода) из глубин Черного моря.

Выводы. Анализ проблем современного торгового флота Украины и его роли в экономическом развитии страны позволяет сделать следующие выводы.

1. Чтобы пользоваться своим флотом самостоятельно, нужна национальная грузовая база в виде балкеров, танкеров, газовозов и других типов судов разного тоннажа. Государственная политика, заручившись банковским обеспечением, должна реально повернуться лицом к проблеме развития отечественного судоходства как важнейшего источника пополнения государственного бюджета. Необходимо обеспечить государственный заказ на новые суда, которые будут работать на народное хозяйство с низкой кредитной ставкой (до 5%) на 5-7 лет. Только одно универсальное судно дедвейтом 10000 тонн при таких условиях кредитования за 7 лет принесет чистую прибыль в размере трёх миллионов долларов США.

2. Необходимо наличие механизма квотирования перевозок внешнеторговых грузов, чтобы какая-то их часть (от 20 до 40%) гарантированно предназначалась для отечественного тоннажа. И только в случае отсутствия свободного флота под украинским флагом, эта доля шла иностранным перевозчикам.

3. Действенной инвестиционной программой будет сосредоточение всего украинского флота в одном управлении на основе согласия и равноправия заинтересованных сторон в виде Акционерной судоходной компании, в состав которой должны войти не менее 30 предприятий, заинтересованных в развитии всех сфер морехозяйственного комплекса Украины.

4. При запуске (восстановлении) отрасли морских перевозок, она сможет приносить в бюджет государства около 40 млрд. гривен в год,

вернуть утраченные квалифицированные морские кадры для работы на благо экономики Украины.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Как помочь отечественному судовладельцу? [Электронный ресурс] / А.Н. Гацан // Порты Украины. – Режим доступа: <http://www.blackseatrans.com/ru/2000-6/sudohod-3.htm>.

2. Инвестиционная привлекательность морского и речного транспорта РФ [Электронный ресурс] // Морское инженерное бюро. – Режим доступа: <http://www.meb.com.ua>.

3. Фрахтові ставки на коротких маршрутах Європи зросли // Транспорт – 10.02.2010. – № 6 (590). – С. 21-23.

4. Голиков А.П. Розміщення продуктивних сил і регіоналістика: [навч. посіб.] / А.П. Голиков, А.Г. Дейнека, Н.А. Казакова. – Харків: Олант, 2002. – 320 с.

Гацан О.А. РОЛЬ СУДНОПЛАВСТВА У ПІДВИЩЕННІ ЕКОНОМІЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ УКРАЇНИ

Розглядаються сучасні проблеми флоту України і кадрової політики у сфері судноплавства та пропонуються шляхи їх вирішення з точки зору судовласника.

Ключові слова: флот, судноплавство, кадри, морські спеціалісти, екіпаж, енергетичні ресурси, морський та річковий транспорт.

Gatsan E.A. A ROLE OF SHIPPING IN INCREASING THE ECONOMICAL POTENTIAL OF UKRAINE

Modern problems of Ukrainian fleet and manpower policy in the sphere of shipping and ways of their solving from ship-owner's point of view are considered.

Key words: fleet, shipping, staff, sea professionals, crew, energy resources, sea and river transport.

ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ КОМЕРЦІЙНОЇ ШВИДКОСТІ ТРАНСПОРТНОГО СУДНА

Гончаренко А.В.,

Херсонський державний морський інститут

За технічними даними на судно та його двигун розглянуто економічні режими експлуатації суднової енергетичної установки з головним двигуном 6S50MC-C. Проведено математичне моделювання оптимальної комерційної швидкості судна. У якості критерію оптимізації обрано мінімум експлуатаційних витрат за рейс. До уваги бралися питома ефективна витрата палива та постійні загальносуднові витрати. Отримано аналітичні вирази параметрів, що використовуються для оптимізації. Залежності проілюстровано графіками.

Ключові слова: комерційна швидкість, оптимальні значення, експлуатація суднової енергетичної установки, головний двигун, математичне моделювання.

Вступ. Проблема оптимізації режимів роботи суднової енергетичної установки (СЕУ) пов'язана з край важливими науковими техніко-економічними завданнями. Показники економічності експлуатації СЕУ свідчать про неухильне прагнення судноплавних компаній до зменшення витрат, через поглиблення енергетичної кризи, насамперед на паливо. Пошуку додаткових джерел економії сприяє наявність фінансово-економічної кризи. При цьому, безумовним пріоритетом має бути безаварійна робота устаткування. Для прийняття управлінських рішень потрібно мати науково обґрунтовані теоретичні критерії.

Актуальність досліджень. На теперішній час, для морського транспортного флоту, в умовах фінансово-економічної кризи та посилення тенденцій до зростання цін на нафтопродукти, дуже гостро стоять питання економії взагалі та мінімізації експлуатаційних витрат зокрема. Новий імпульс задає брак коштів на сплату заробітної плати моряків та загальносуднові потреби. Тому актуальною стає задача виконання транспортних перевезень з мінімумом рейсових витрат при відповідному моніторингу та підтриманні стану головного двигуна та суднової енергетичної установки.

Постановка даної проблеми у загальному вигляді має зв'язок з оптимізацією техніко-економічної політики транспортної компанії в умовах обмеженості ресурсів при обранні альтернативної стратегії задля заощадження коштів та при збереженні належного технічного стану СЕУ.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. У роботі [1, с. 114] йдеться про оптимізацію потужності встановленого на судні головного двигуна (ГД). Там же [1, с. 152-156] розглядається зміна показника теплової економічності – питомої ефективної витрати палива (ПЕВП) для малообертового двигуна (МОД) за номограмою фірми МБД. За результатами визначення зниження ПЕВП, для відповідних потужностей оптимізованого у

певних точках двигуна, будується графік, показаний на рисунку 1 [1, с. 156, рис. 51], який демонструє характер залежності ПЕВП від навантаження.

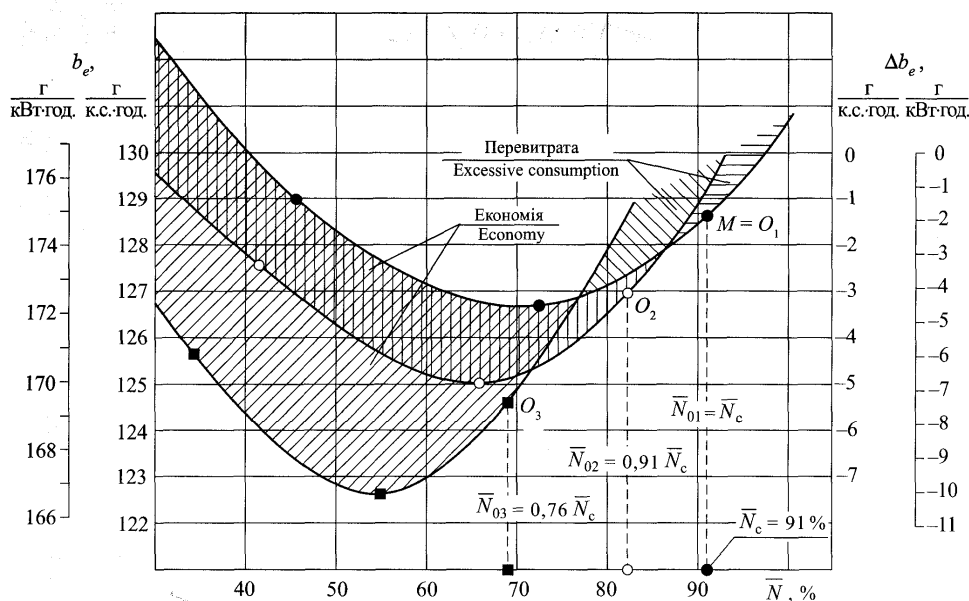


Рисунок 1. Питома витрата палива залежно від ступеня навантаження МОД, оптимізованого у точках O_1 , O_2 або O_3 (відносно потужності у точці L_1)

Питома витрата палива (ПВП) установки на одиницю здоланого шляху, як один із техніко-економічних показників енергоефективності та автономності експлуатації СЕУ, розглядається в роботі [2, с. 15-18]. Тут, так само [2, с. 17, рис. 1.1], простежуються мінімальні значення витрати палива, а також максимальні – коефіцієнту корисної дії (ККД).

За інформацією, наведеною у роботі [3, с. 189-190], останніми роками почали застосовуватися на морському флоті «... системи електронного керування (з мікропроцесорами) робочим процесом судових дизелів, котрі, забезпечують їхню роботу на оптимальних (з точки зору питомої витрати палива на 1 милю шляху при заданій швидкості судна) режимах».

Невирішеною частиною загальної проблеми оптимізації експлуатаційних витрат залишається поєднання у єдиному техніко-економічному критерії концепцій паливозаощадження за рахунок енергоефективності та збереження, забезпечення належного технічного стану СЕУ та ГД, а також врахування фінансової складової загальносуднових витрат.

Постановка завдання. Метою даної статті є пошук оптимуму комерційної швидкості морського транспортного судна на прикладі навалочника дедвейтом 75 000 т, швидкість 14,4 вузла, з ГД 6S50MC-C, максимальна тривала потужність 9480 кВт, частота обертання 127 об./хв., за умови мінімальних експлуатаційних витрат за рейс при постійних доходах.

Основний матеріал. Після побудови та апроксимації залежності ПЕВП від навантаження ГД за номограмами для МОД, визначається годинна

витрата палива при певному навантаженні та відповідній частоті обертання колінчастого валу двигуна. Далі здійснюється перехід з апроксимацією до залежностей між витратами та швидкістю ходу судна. Причому, спочатку розглядаються дві складові годинних витрат. А саме, такі, що залежать від швидкості ходу судна, та інші, котрі не залежать від неї. Знаючи дальність рейсового переходу, отримуємо тривалість рейсу. У найпростішій постановці, при постійній швидкості ходу судна та незмінних у часі доходах, мінімум рейсових витрат показує оптимальну комерційну швидкість транспортного перевезення вантажу, яку слід розглянути на предмет можливості прийняття у даному рейсі за умови її прийнятності з огляду на технічну можливість та фактичний стан СЕУ.

Постановка задачі. Мета експлуатації транспортного судна – це отримання прибутку. Прибуток визначається як різниця між доходами та витратами

$$Pr = D - R, \quad (1)$$

де Pr – прибуток, D – доходи, R – витрати.

Мінімізуючи витрати на експлуатацію при заданих доходах від неї, отримується максимум прибутку

$$Pr_{\max} = \arg \min_{Pr} R. \quad (2)$$

Так само при заданих обсягах витрат, для максимального прибутку потрібно збільшувати доходність експлуатації

$$Pr_{\max} = \arg \max_{Pr} D. \quad (3)$$

У даній постановці приділяється увага розгляду впливу на прибутковість експлуатації саме витратної складової формули для формування прибутку (1), оскільки експлуатація СЕУ пов'язана із витратами палива, що є одним з питань, котрі підлягають розробці, і які було здійснено у [1].

Розглядається вартісна оцінка годинної

$$\$_{G_t} = f_1(G_t), \quad (4)$$

та питомої ефективної витрати палива

$$\$_{g_e} = f_2(g_e), \quad (5)$$

їхня залежність від швидкості ходу судна

$$G_t = f_3(v_s), \quad (6)$$

де v_s – швидкість ходу судна,

$$\$_{G_t} = f_1(f_3(v_s)) = f_4(v_s). \quad (7)$$

Визначивши структуру та обсяги загальносуднових витрат та виділивши складову, що не залежить від швидкості ходу судна,

$$\$_1(v_s) = \$_1 = const, \quad (8)$$

склавши її з витратами, що залежать від швидкості ходу судна

$$\$(v_S) = k \cdot v_S^m, \quad (9)$$

де k – коефіцієнт пропорційності, m – показник ступеня, отримуємо формулу загальної залежності швидкості вартості витрат від швидкості ходу судна

$$\$(v_S) = \$_1 + \$_2(v_S) = \$_1 + k \cdot v_S^m. \quad (10)$$

Сумарні експлуатаційні витрати за рейс у функції від швидкості ходу судна становитимуть

$$\Sigma\$(v_S) = \$(v_S) \cdot t = \$_1 \cdot t + \$_2(v_S) \cdot t = \$_1 \cdot t + k \cdot v_S^m \cdot t, \quad (11)$$

де t – тривалість рейсу.

Тривалість рейсу

$$t = \frac{Dis}{v_S}, \quad (12)$$

де Dis – дистанція або дальність рейсу або переходу.

Тоді

$$\Sigma\$(v_S) = \$_1 \cdot \frac{Dis}{v_S} + k \cdot v_S^m \cdot \frac{Dis}{v_S} = \$_1 \cdot \frac{Dis}{v_S} + k \cdot v_S^{m-1} \cdot Dis. \quad (13)$$

Звідки, вочевидь, перша складова буде гіперболічною залежно від швидкості ходу судна, тобто зі збільшенням швидкості ходу вона зменшуватиметься, друга ж складова збільшуватиме сумарні експлуатаційні витрати за рейс, оскільки $m \approx 3$. Тому сумарні експлуатаційні витрати за рейс матимуть екстремум за швидкістю ходу судна у вигляді мінімуму. Відповідна швидкість буде оптимальною комерційною. Вона може бути обрана у даному рейсі, виходячи із рейсового завдання, але при цьому потрібно враховувати обмеження на прийнятні діапазони параметрів при експлуатації СЕУ. Насамперед робоча точка ГД повинна знаходитися у полі вибору робочих параметрів відповідно до навантажувальної діаграми, як показано у [1].

Такі теоретичні міркування проілюстровано графіками, показаними на рисунку 2.

Відшукати оптимальну комерційну швидкість, маючи фінансово-економічні дані з експлуатаційних витрат на судно, можна графічним, як це продемонстровано на рисунку 2, так і аналітичним способами.

При використанні аналітичного способу знаходження оптимальної комерційної швидкості застосовується необхідна умова існування екстремуму функції

$$\frac{d\Sigma\$(v_S)}{dv_S} = 0. \quad (14)$$

Перша похідна сумарних експлуатаційних витрат з (11-13) за швидкістю ходу судна:

$$\frac{d\S$(v_S)}{dv_S} = -\$_1 \cdot \frac{Dis}{v_S^2} + k \cdot (m-1) \cdot v_S^{m-2} \cdot Dis. \quad (15)$$

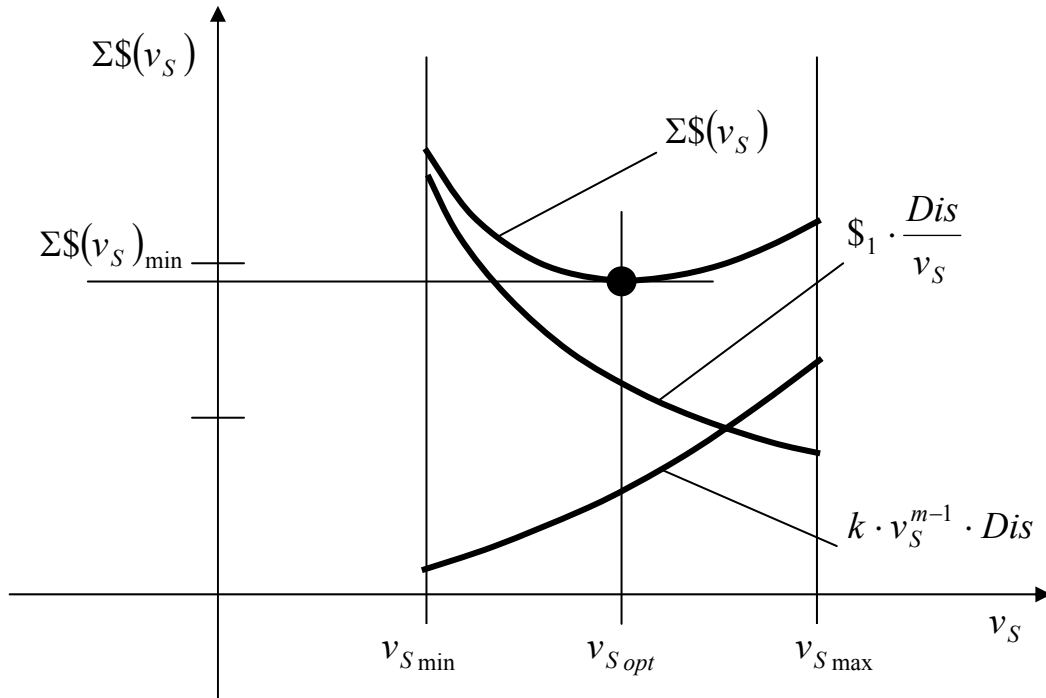


Рисунок 2. Залежності сумарних експлуатаційних витрат за рейс від швидкості ходу судна та оптимальна комерційна швидкість

Звідки, застосувавши (14) після порівнювання нулеві, отримаємо

$$\$_1 \cdot \frac{Dis}{v_{S_{opt}}^2} = k \cdot (m-1) \cdot v_{S_{opt}}^{m-2} \cdot Dis. \quad (16)$$

Скоротивши вираз (16) на

$$\frac{Dis}{v_{S_{opt}}^2}, \quad (17)$$

матимемо

$$v_{S_{opt}}^m = \frac{\$_1}{k \cdot (m-1)}. \quad (18)$$

Звідки оптимальна комерційна швидкість

$$v_{S_{opt}} = \sqrt[m]{\frac{\$_1}{k \cdot (m-1)}}. \quad (19)$$

Розв'язання задачі. Для визначення залежності (9) потрібно знайти ПЕВП. Застосовуючи положення [1], знаходимо залежність ПЕВП від

потужності при оптимізації у певній точці. Для двигуна 6S50MC-C, оптимізованого у точці L_1 поля вибору робочих параметрів, ПЕВП залежно від відносного навантаження апроксимується рівнянням

$$g_e = -0,0394 \cdot \bar{N}_e^5 + 0,155 \cdot \bar{N}_e^4 - 0,229 \cdot \bar{N}_e^3 + 0,2053 \cdot \bar{N}_e^2 - 0,1233 \cdot \bar{N}_e + 0,2024. \quad (20)$$

Достовірність апроксимації $R^2 = 1$.

Годинна витрата палива

$$G_t = N_e \cdot g_e. \quad (21)$$

Апроксимаційний поліном для залежності від частоти обертання колінчастого валу

$$G_t = 0,001030 \cdot n^3 - 0,052890 \cdot n^2 + 2,905047 \cdot n - 1,275962. \quad (22)$$

Достовірність апроксимації $R^2 = 0,999549$.

Годинна витрата палива залежно від швидкості ходу судна апроксимована поліномом

$$G_t = 0,7066 \cdot v_s^3 - 4,1139 \cdot v_s^2 + 25,62 \cdot v_s - 1,276. \quad (23)$$

Достовірність апроксимації $R^2 = 1$.

Для отримання вартісної оцінки годинних витрат від швидкості ходу судна ціна враховує всі витрати, пов'язані зі швидкістю. Результати, при приведеній ціні 500 \$ за тону палива, апроксимуються рівнянням

$$\$_2(v_s) = 0,3533 \cdot v_s^3 - 2,057 \cdot v_s^2 + 12,81 \cdot v_s - 0,638. \quad (24)$$

Достовірність апроксимації $R^2 = 1$.

Сумарні експлуатаційні витрати за рейс відповідно до формул (8-13) у функції від швидкості ходу судна становитимуть

$$\Sigma\$(v_s) = \$_1 \cdot \frac{Dis}{v_s} + (0,3533 \cdot v_s^3 - 2,057 \cdot v_s^2 + 12,81 \cdot v_s - 0,638) \cdot \frac{Dis}{v_s}. \quad (25)$$

Після очевидних перетворень рівняння (25) набуває вигляду

$$0,3533 \cdot v_s^2 - 2,057 \cdot v_s + 12,81 + \frac{\$_1 - 0,638}{v_s} = \frac{\Sigma\$(v_s)}{Dis}. \quad (26)$$

Перша похідна рівняння (26)

$$2 \cdot 0,3533 \cdot v_s - 2,057 - \frac{\$_1 - 0,638}{v_s^2} = \frac{d\left(\frac{\Sigma\$(v_s)}{Dis}\right)}{dv_s}. \quad (27)$$

Після порівнювання першої похідної виразу (27) нульові

$$2 \cdot 0,3533 \cdot v_{s\,opt}^2 - 2,057 \cdot v_{s\,opt} - (\$_1 - 0,638) = 0. \quad (28)$$

Отримано кубічне рівняння. З метою спрощення розв'язання корені можливо відшукати графічним способом, обравши ті, що мають фізичний сенс.

Постійну складову (8), яка не залежить від швидкості ходу судна, знайдемо за спрощеною структурою. При витратах, приведених до кількості

членів екіпажу у розмірі 50 \$/(год.×чл. екіп.) та для кількості членів екіпажу, котра становить 25 осіб, постійна складова

$$\$_1 = 50 \text{ $/(год.} \cdot \text{особу)} \cdot 25 \text{ осіб} = 1250 \text{ $/год.} \quad (29)$$

Результати розв'язання рівняння (28) після підстановки до нього (29) проілюстровано на рисунку 3.

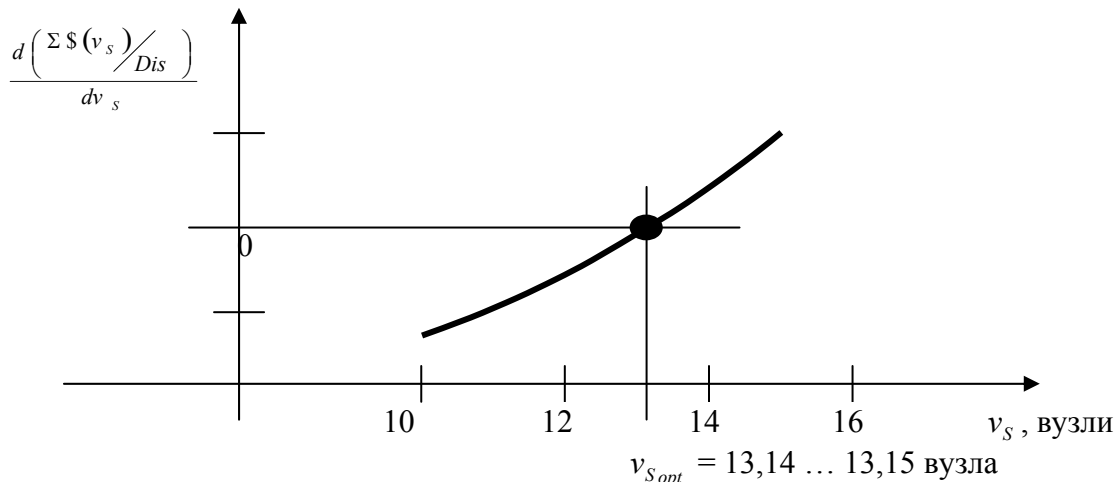


Рисунок 3. Графічний розв'язок рівняння оптимальної швидкості

При дальності переходу 10 000 миль сумарні витрати за рейс у залежності від швидкості ходу судна проілюстровано графіком на рисунку 4.

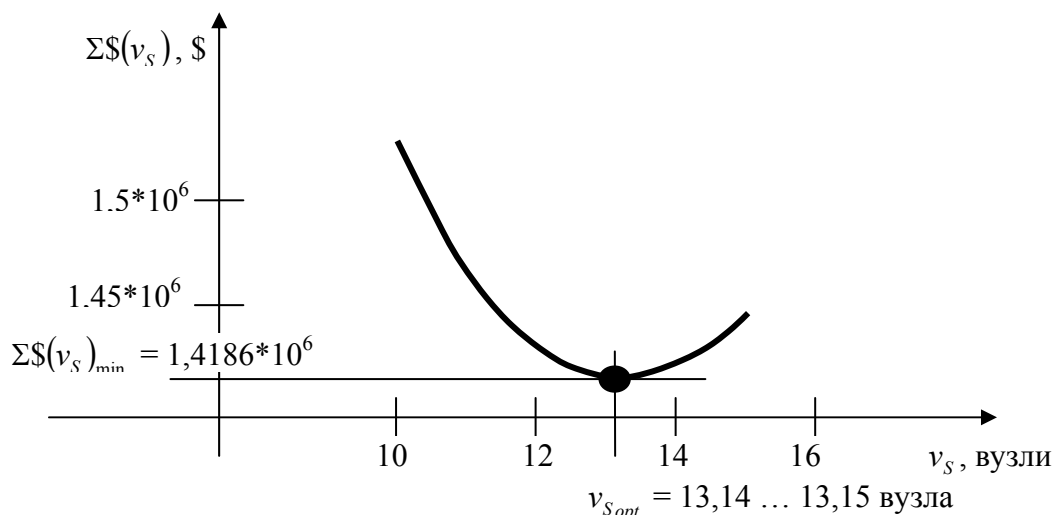


Рисунок 4. Графік сумарних витрат залежно від швидкості

Практичне застосування розв'язку задачі. Згідно з полем вибору робочих параметрів приблизний діапазон потужності ГД 6S50MC-C при роботі за номінальною гвинтовою характеристикою становить

$$N_e \approx 5\,000 \dots 9\,480 \text{ кВт.} \quad (30)$$

При цьому відповідна швидкість руху

$$v_s \approx 11,5 \dots 14,4 \text{ вузла.} \quad (31)$$

Знайдена оптимальна комерційна швидкість ходу судна, вказана на рисунку 4.

$$v_{S_{opt}} = 13,14 \dots 13,15 \text{ вузла.} \quad (32)$$

Вона не виходить за граничні допустимі значення, обмежені середнім ефективним тиском та частотою обертання колінчастого валу двигуна.

Якщо, до того ж, знайдена оптимальна комерційна швидкість ходу балкера DWT 75 000 т не потрапляє до заборонених зон за швидкістю ходу судна; оскільки обмеження можуть бути накладені ще й з огляду на технічний стан та досконалість елементів СЕУ, їхню узгодженість для роботи на обраних режимах, наприклад, зони критичних обертів ГД, помпажу турбокомпресорів, температурні діапазони та тиски тощо; то тоді, така швидкість ходу є прийнятною з точки зору моніторингу та підтримки технічного стану СЕУ. Таким чином, слід обрати оптимальну комерційну швидкість (32).

Результати досліджень. За даними на судно та двигун розглянуто економічні режими експлуатації енергетичної установки з ГД 6S50MC-C. Оптимальна комерційна швидкість, знайдена за умови мінімальних експлуатаційних витрат, не виходить за межі діапазону, обумовленого середнім ефективним тиском та частотою обертання колінчастого валу двигуна для стійкої та надійної роботи головного суднового двигуна 6S50MC-C. Режими роботи елементів СЕУ вважаються прийнятними з технічної точки зору.

У результаті проведеного математичного моделювання ефективності виконання морських транспортних вантажоперевезень на прикладі навалочника дедвейтом 75 000 т, швидкість 14,4 вузла, з ГД 6S50MC-C, максимальна тривала потужність 9480 кВт, частота обертання 127 об./хв., за умови мінімальних експлуатаційних витрат за рейс при постійних прибутках отримано оптимальну комерційну швидкість судна.

Задача у найпростішій постановці передбачала роботу ГД за номінальною гвинтовою характеристикою, оптимізацію суднового дизеля у точці L_1 поля вибору робочих параметрів, постійну у часі швидкість судна та незмінні прибутки за рейс, що відповідає умовам сьогодення за наявної енергетичної та фінансово-економічної кризи.

Комплексний критерій мінімальних рейсових експлуатаційних витрат, заданий виразами (1, 2) після застосування процедур (4-7), (8-13), (14-19), (20-24), (25-28), з урахуванням (29), при виконанні умов (30-32) призводить до оптимальної комерційної швидкості.

Висновки. За наведених умов та накладених обмежень оптимальна комерційна швидкість ходу судна навалочника дедвейтом 75 000 т, з ГД

6S50MC-C, яка складає $v_{S_{opt}} = 13,14 \dots 13,15$ вузла, може бути обрана у даному рейсі. Робоча точка двигуна не виходить за межі діапазону вибору робочих параметрів МОД.

Врахована робота дизеля за номінальною гвинтовою характеристикою, ПЕВП, а також модельовані у явному вигляді загальносуднові витрати, величина яких не залежить від швидкості ходу судна.

У подальших дослідженнях доцільно розглянути комплексний критерій рівняння (2), змінні швидкості, зміну прибутковості рейсу залежно від швидкості, прибутковість з урахуванням кількості рейсів за певний час експлуатації, роботу ГД за неномінальною гвинтовою характеристикою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Проектування пропульсивної установки суден з прямою передачею потужності на гвинт / [В.П. Шостак, В.І. Гершанік, В.П. Кот, М.С. Бондаренко]; за ред. В.П. Шостака : навчальний посібник. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 500 с.

2. Артемов Г.А., Горбов В.М. Суднові енергетичні установки: навчальний посібник. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – 356 с.

3. Суворов П.С. Рабочие процессы и режимы судовых двигателей внутреннего сгорания: учебное пособие. – Одесса: ОНМА, 2007. – 192 с.

Гончаренко А.В. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ КОММЕРЧЕСКОЙ СКОРОСТИ ТРАНСПОРТНОГО СУДНА

По техническим данным на судно и его двигатель рассмотрены экономичные режимы эксплуатации судовой энергетической установки с главным двигателем 6S50MC-C. Проведено математическое моделирование оптимальной коммерческой скорости судна. В качестве критерия оптимизации выбран минимум эксплуатационных расходов за рейс. Во внимание приняты удельный эффективный расход топлива и постоянные общесудовые расходы. Получены аналитические выражения параметров, используемых для оптимизации. Зависимости проиллюстрированы графиками.

Ключевые слова: коммерческая скорость, транспортное судно, оптимальные значения, эксплуатация судовой энергетической установки, главный двигатель, математическое моделирование.

Goncharenko A.V. A CHOICE OF OPTIMAL COMMERCIAL SPEED OF A TRANSPORT VESSEL

According to the ship's and her engine technical data, economical modes of the ship's power plant operation with the main engine of 6S50 MC-C are considered. A mathematical modeling of the ship's optimal commercial speed has been carried out. Minimum of the operational expenses for a voyage was chosen as the criterion of the optimization. Attention was paid to specific fuel consumption and constant general ship's expenditures. Analytical expressions of parameters used for the optimization have been obtained. Dependences are illustrated by graphs.

Key words: commercial speed, transport vessel, optimal values, ship's power plant operation, main engine, mathematical modeling.

ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВ В РЕЖИМЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ РЕЙСОВ

Панкова О.В., Некрасов В.А.,

Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова (г. Николаев)

Рассмотрены особенности эксплуатации судов в режиме последовательных рейсов. Данные особенности эксплуатации используются при составлении математических моделей функционирования судов с последующей оптимизацией главных элементов и характеристик на начальных стадиях проектирования.

Ключевые слова: эксплуатация судов, режим последовательных рейсов, экономическая эффективность работы судна.

Введение и постановка проблемы. Организация движения судов морского флота сложилась в виде двух основных форм: линейного плавания и рейсового плавания.

Суда линейного плавания, или линейные, работают на определенных направлениях в течение длительного периода.

Суда рейсового плавания для работы на линии между определенными портами не закрепляются: их движение осуществляется по направлениям, устанавливаемым на каждый отдельный рейс.

Линейная форма судоходства целесообразна на направлениях с устойчивыми грузопотоками большого размера.

В практике эксплуатации транспортных судов по режиму работы флота принято следующее подразделение линий: линии с работой судов по расписанию и линии с работой судов последовательными рейсами.

Работа флота последовательными рейсами представляет собой такую форму судоходства, при которой обеспечивается регулярная перевозка товаров на заданном направлении, исходя из потребностей клиентуры на основе длительных межправительственных или торгово-экономических соглашений [1].

Для повышения эффективности исследований эксплуатации данного типа судов требуется инновационный поиск нетиповых научных направлений с учетом общих перспектив судостроения и судоходства [2].

Актуальным является переориентация задач проектирования с принципа минимизации затрат на принцип максимизации продуктивного использования.

Различные аспекты современной теории оптимизации судна разрабатывались в трудах А.И. Ракова, В.М. Пашина, А.Н. Вашедченко, М.В. Войлошникова [3] и других ученых, в области теории экономических обоснований судна в работах В.И. Краева и других.

Цель статьи – рассмотреть основные особенности эксплуатации судов в режиме последовательных рейсов.

Изложение основного материала. Линейная форма организации движения является более прогрессивной: упрощается планирование работы флота, более рационально используются суда, сокращаются балластные пробеги и время обработки судов в портах.

Линейные суда имеют преимущественное право на внеочередную грузообработку в портах, повышаются быстрота и ритмичность перевозок, что в итоге повышает провозоспособность флота и снижает эксплуатационные расходы.

Поскольку линейные суда в мелкие порты обычно не заходят, осадку и остальные размерения таких судов, как правило, не лимитируют. Это позволяет строить их более крупными [4].

Крупные суда, как правило, экономичнее мелких, поскольку строительная стоимость одной тонны дедвейта у крупнотоннажных судов значительно ниже. Меньше у них и удельные эксплуатационные расходы, связанные с первоначальной стоимостью судна (в основном, ремонт и амортизационные отчисления).

Кроме того, и другая часть эксплуатационных расходов, зависящая от мощности энергетической установки (топливо, ремонт механизмов, содержание машинной команды), отнесенная к одной тонне дедвейта, у крупных судов окажется меньше, поскольку при постоянной скорости хода судна рост мощности его механизмов отстает от роста водоизмещения.

Линии с работой судов последовательными рейсами – движение судов определяется графиком, зависящим от наличия грузов [5].

Для таких грузопотоков характерны невысокая стоимость груза и его упаковки, переменный характер грузопотока (сезонный или по долгосрочному контракту).

Именно такие свойства грузопотоков определяют работу флота последовательными рейсами.

Формой организации работы флота последовательными рейсами называется такая организация перевозок, при которой одно или несколько судов определенный период времени работают на перевозках массовых грузов между постоянными портами.

При работе последовательными рейсами закрепленный тоннаж должен с минимальными эксплуатационными затратами обеспечить заданный объем перевозок, поддерживая наиболее целесообразный режим движения.

Работа флота последовательными рейсами в самом общем виде представляет форму судоходства, основной задачей которой является максимальное обеспечение перевозок предъявляемых грузов, исходя из потребностей клиентуры. Цель компании-судовладельца при осуществлении подобных перевозок направлена на получение максимальной прибыли за счет оптимизации перевозок предъявляемого количества груза.

Это говорит о том, что наиболее важное место в организации работы флота последовательными рейсами занимает изучение грузопотоков.

Грузовой базой для работы флота последовательными рейсами служат всевозможные грузы, которые определяются межправительственными или торгово-экономическими соглашениями.

Основу грузопотоков массовых грузов в Украине составляют металлы, такие навалочные грузы, как химические, минеральные удобрения, руда, уголь, стройматериалы, зерно.

За последние 20 лет перевозки морем насыпных и навалочных грузов характеризуется тенденцией устойчивого роста. С 1988 по 2008 г. ежегодный рост их морских перевозок составлял около 5 % [6].

Три крупнейшие категории навалочных грузов – это железная руда, уголь, зерно. Особенно быстрым темпом росли перевозки этих грузов в последние четыре года, когда среднегодовой рост объема перевозок составлял 8,3 % [7].

В результате значительного роста мировых перевозок морем бокситов и глинозема (сырье для производства алюминия) их объемы в 2008 г. достигли 82 млн. т. Основная доля производства алюминия из руды приходится на Канаду и Бразилию.

В Европе производство алюминия почти полностью основано на утилизации использованного металла и не ориентируется на привозное сырье.

Объем перевозок прочих навалочных грузов (более мелких в количественном отношении), включающих сахар, лес, руды цветных металлов, металлопрокат и т. п., составил в 2007 г. около 340 млн. т. Средний рост объема перевозок этих грузов в последние годы был порядка 3,5 % .

Объемы перевозок морем насыпных и навалочных грузов составляют около 30 % от общего объема морских перевозок различных грузов [8].

В перспективе объем перевозок в направлении стран Азии к 2015 г. достигнет уже 57 % от мирового рынка данных грузов. Перевозки железной руды за последние пять лет росли ежегодно в среднем на 9,5 %, а угля – на 6 % [9].

Работа флота последовательными рейсами применяется на постоянных грузопотоках массовых грузов. Такая организация работы флота позволяет добиваться высокой специализации всего перевозочного процесса, начиная со специализации перегрузочных комплексов в портах погрузки и выгрузки и заканчивая строительством узкоспециализированного флота для этих перевозок.

Работа флота последовательными рейсами содержит в себе возможности ритмичности перевозок и равномерной загрузки портов.

Оплата за доставку грузов, как и всякая цена, зависит от спроса и предложения, но факторы, которые влияют на формирование фрахтовых ставок в морском судоходстве, по-видимому, более многочисленны, чем в других видах промышленности и обслуживания.

Как и в любом виде транспорта, потребности в судоходстве возникают исходя из потребностей в товарах, и поэтому неразрывно связаны с этими

потребностями. При этом возникает конкуренция как между перевозчиками при работе на одном направлении, так и между отправителями однородных грузов на разных направлениях. Другими словами, на каждом конкретном направлении возникает соревнование между разными перевозчиками на этом направлении, а также между перевозчиками, работающими на альтернативных направлениях по доставке грузов к одному получателю.

При работе флота последовательными рейсами судовладельцы имеют большее влияние и, хотя некоторые из отправителей являются довольно крупными фирмами, основу таких перевозок составляют грузы многочисленных мелких отправителей. В этих условиях для судовладельцев более удобно оценивать возможности отправителей в оплате и устанавливать их собственные ставки. Эти ставки называются тарифными ставками и устанавливаются линейной конференцией судоходной компании.

К основным характеристикам грузопотоков, определяемым по данным генерального соглашения или долгосрочного контракта на перевозку грузов, как основы для организации работы флота последовательными рейсами, относятся род груза и его масса в тоннах с распределением по портам отправления и назначения. Для легких кубатурных грузов количество перевозок выражается также в объемных единицах (кубических метрах, кубических футах). Перевозки, которые состоят из стандартных, укрупненных и отдельных крупногабаритных неупакованных мест – пакетов, контейнеров, трейлеров и т. д., выражаются их числом. При наличии мест с различными параметрами количество перевозок выражают эквивалентным числом стандартных мест.

Интенсивность грузопотоков:

$$\bar{Q} = \frac{Q}{T},$$

где Q – масса грузов, тыс. т; T – период действия соглашения.

Коэффициент неравномерности перевозок по времени:

$$k_t = \frac{Q_{\text{пл}}^{\text{max}}}{\bar{Q}_{\text{пл}}},$$

где $Q_{\text{пл}}^{\text{max}}$ – максимальное значение массы груза в течение планового интервала; $\bar{Q}_{\text{пл}}$ – среднее значение массы груза в течение планового интервала.

Густота движения выражает напряженность грузопотока на отдельных участках. Эта характеристика имеет постоянное значение в случае простых грузопотоков между двумя портами, а для сложных она является переменной и определяется для каждого межпортового участка:

$$\Gamma = \frac{Q \cdot l}{l},$$

где l – протяженность участка.

Коэффициент неравномерности грузопотоков по направлениям отражает степень загрузки обратного направления по отношению к прямому:

$$k_{\text{обр}} = \frac{Q_{\text{обр}}}{Q_{\text{пр}}}.$$

Основным фактором, определяющим конкурентоспособность судна или иного морского объекта, является экономическая эффективность работы [10].

Показателем эффективности коммерческого судна в условиях конкурентной среды является прибыль, которая получается из эксплуатации судна:

$$\Pi = D - \text{ЭР},$$

где D – доход за эксплуатационный период; ЭР – эксплуатационные расходы [11].

Тогда задача оптимального проектирования судна может быть сформулирована следующим образом:

Найти

$$\Pi = D - \text{ЭР} \rightarrow \max$$

при

$$E_k(x) = 0, k = 1, 2, \dots, K;$$

$$R_l(x) \geq 0, l = 1, 2, \dots, L;$$

$$x \leq x_1,$$

где x – вектор независимых переменных; x_1 – вектор ограничений на независимые переменные.

В роли независимых переменных выступают главные элементы судна.

Равенства $E_k(x) = 0, k = 1, 2, \dots, K$ и неравенства $R_l(x) \geq 0, l = 1, 2, \dots, L$ являются функциональными ограничениями способности выполнения судном основных операций.

Преобладающую часть их составляют ограничения на мореходные качества судна, такие как плавучесть, остойчивость, ходкость и мореходность, включающая требования к обеспечению прочности судна.

Два из этих ограничений – ограничения плавучести и ходкости – в явном виде определяют экономическую полезность судна, остальные свидетельствуют об ограниченности его способности противостоять негативным факторам эксплуатации – воздействию внешних сред и ошибкам судовождения.

Выводы. Рассмотренные особенности эксплуатации судов в режиме последовательных рейсов предназначены для использования при составлении математических моделей функционирования судов с последующей оптимизацией главных элементов и характеристик на начальных стадиях проектирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лапкин А.И. Организация и управление работой флота последовательными рейсами. – Одесса: ОГМУ, 2000. – 200 с.
2. Кодекс торговельного мореплавства України. – Одеса: ЧМП ИнтерБио, 1996. – 92 с.
3. Войлошников М.В. Морские ресурсы и техника: эффективность, стоимость, оптимальность. – Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2002. – 586 с.
4. Ветренко Л.Д. Управление работой морского порта. – СПб.: “Элмор”, 1995. – 80 с.
5. Бакаев В.Г. Эксплуатация морского флота. – М.: Транспорт, 1965. – 559 с.
6. Щербанин Ю.А. Международный обмен и транспорт. – СПб.: Лики России, 2003. – 64 с.
7. Alderton P. M. Sea Transport: operation and economics. London: Thomas reed, 1986. – 226 p.
8. Review of Maritime Transport 2007: UN New York and Geneva, 2007. – 86 p.
9. Трихунков М.Ф. Транспортное производство в условиях рынка: качество и эффективность. – М.: Транспорт, 1993. – 225 с.
10. Астахов В.Е., Горобец В.С. Техничко-экономические обоснования проектирования промысловых судов. – Л.: Судостроение, 1982. – 247 с.
11. Краев В.И. Экономические обоснования при проектировании морских судов. – Л.: Судостроение, 1981. – 292 с.

Панкова О.В., Некрасов В.О. ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ СУДЕН У РЕЖИМІ ПОСЛІДОВНИХ РЕЙСІВ

Розглянуто особливості експлуатації суден у режимі послідовних рейсів. Дані особливості експлуатації використовуються при складанні математичних моделей функціонування суден з подальшою оптимізацією головних елементів і характеристик на початкових стадіях проектування.

Ключові слова: експлуатація суден, режим послідовних рейсів, економічна ефективність роботи судна.

Pankova O.V., Nekrasov V.A. FEATURES OF SHIPS OPERATION IN THE MODE OF CONSECUTIVE VOYAGES

The features of ships operation in the mode of consecutive voyages are considered. These features of operation are used for making up mathematical models of ships functioning with consequent optimization of main elements and characteristics at the initial stages of designing.

Key words: ships operation, the mode of consecutive voyages, economical efficiency of ship's operation.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ДЛИНЫ ЛОКСОДРОМИИ И ОРТОДРОМИИ ДЛЯ ПРОТЯЖЕННЫХ МАРШРУТОВ ПЛАВАНИЯ С УЧЕТОМ СФЕРОИДИЧНОСТИ ЗЕМЛИ

Спешилов В.М.,

Херсонский государственный морской институт

Расчет длины ортодромии с помощью формул сферической тригонометрии с использованием Таблиц натуральных значений тригонометрических функций сопряжен с определенными трудностями, если ортодромия пересекает земной экватор или разность долгот начальной и конечной точек ортодромии превышает 90° . В этом случае возникает необходимость преобразования формул с учетом «правил знаков». В судовых условиях для математических расчетов целесообразно применение упрощенных (прикладных) математических формул, которые не являются приближенными, но более удобны при применении в целях снижения вероятности ошибок, связанных с применением «правил знаков» при решении тригонометрических уравнений.

Ключевые слова: ортодромия, расчет длины локсодромии и ортодромии, маршрут плавания, сфероидичность земли.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными практическими задачами. Одной из главных задач судовождения является обеспечение безопасности перехода судна из порта отхода в порт назначения по наиболее экономически выгодному пути. Существенным фактором экономической эффективности эксплуатации судна является сокращение ходового времени, так как суточная стоимость судна на ходу значительно больше, чем суточная стоимость на стоянке. Определяющим фактором экономии ходового времени является оптимизация пути судна на трансокеанском участке маршрута перехода, так как прибрежное плавание лимитировано опасностями рельефа морского дна, границами опасных и запретных для плавания районов, а также системой пассивного и активного управления движением судов. Оптимизация трансокеанского пути судна сводится к выбору кратчайшего и наивыгоднейшего пути судна с учетом гидрометеорологической обстановки в районе плавания. Выбор кратчайшего пути судна производится в сравнении локсодромического и ортодромического расстояния между начальной и конечной точками трансокеанского участка маршрута перехода. Во всех учебниках по навигации изложен порядок вычисления длины локсодромии и ортодромии на сфере. Для повышения точности расчета кратчайшего пути судна на трансокеанском участке маршрута перехода необходимо вычислять длину локсодромии и ортодромии с учетом сфероидичности Земли.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Формулы для расчета локсодромического и ортодромического

расстояний ($S_{лок}$ и $D_{орт}$) приведены во многих учебниках по навигации [1-3]. При этом формула для расчета ортодромического расстояния, приведенная в этих изданиях, удобна для применения, если расчет ведется с помощью счетно-решающего устройства компьютера или научного калькулятора (scene-traffic calculator). Если расчет производится с помощью Таблиц натуральных значений тригонометрических функций, то порядок расчета длины ортодромии с помощью приведенной в учебниках по навигации формулы усложняется, если разность долгот начальной и конечной точек ортодромии превышает 90° и если эти точки находятся в разных полушариях земного шара (в северном полушарии и южном полушарии). В учебнике по навигации [4] приведены приближенные формулы аналитического счисления локсодромического пути судна с учетом сфероидичности Земли. Однако эти формулы имеют ограничение в применении, так как они практически точны для разностей широт начальной и конечной точек прямолинейного локсодромического пути не более, чем 20° ($\Delta\varphi \leq 20^\circ$)

В мореходных таблицах ГУНиО МО РФ [5, 7] изложен порядок вычисления длины ортодромии с учетом сфероидичности Земли с применением специальной поправки, которую выбирают из таблицы для вычисления длины и азимута геодезической линии [6]. Однако таблица не входит в конвенционный перечень судовой коллекции навигационных руководств и пособий для плавания и поэтому на судах отсутствует.

Цель статьи. Целью данной статьи является определение порядка вычисления в судовых условиях длины локсодромии и ортодромии для протяженных маршрутов плавания с учетом сфероидичности Земли.

Изложение основного материала исследования. Базовой формулой для расчета ортодромического расстояния между двумя точками А и В является известная формула:

$$D_{ОРТ} = \arccos(\sin \varphi_A \sin \varphi_B + \cos \varphi_A \cos \varphi_B \cos \Delta \lambda_{AB}), \quad (1)$$

где φ_A и φ_B – географические широты точек А и В; $\Delta \lambda_{AB}$ – разность долгот точек А и В.

Если учесть возможность пересечения ортодромии земного экватора, а также возможную разность долгот начальной и конечной точек ортодромии более 90° ($\Delta \lambda_{AB} > 90^\circ$), то формула (1) удобна для применения, если расчет длины ортодромии производится с помощью компьютера или научного калькулятора, так как счетно-решающее устройство этих приборов учитывает все зависимости тригонометрических функций, в том числе и такие:

$$\sin(-\varphi) = -\sin \varphi \quad (2)$$

$$\cos(-\varphi) = \cos \varphi \quad (3)$$

$$\cos \Delta \lambda = -\cos(180^\circ - \Delta \lambda), \text{ если } \Delta \lambda > 90^\circ \quad (4)$$

$$\arccos(-n) = 180^\circ - \arccos(+n). \quad (5)$$

Таким образом, при использовании компьютера или научного калькулятора достаточно ввести аргумент φ_A или φ_B со знаком минус ($-\varphi_A$) или ($-\varphi_B$), если точка А или В расположена в южном полушарии земного шара.

При использовании Таблиц натуральных значений тригонометрических функций, формула (1) видоизменяется, если разность долгот начальной и конечной точек ортодромии превышает 90° ($\Delta \lambda_{AB} > 90^\circ$) или если ортодромия пересекает земной экватор:

- если $\Delta \lambda_{AB} > 90^\circ$ и при этом ортодромия не пересекает земной экватор, то формула (1) приобретает следующий вид:

$$D_{OPT} = \arccos\{\sin \varphi_A \sin \varphi_B + \cos \varphi_A \cos \varphi_B [-\cos(180^\circ - \Delta \lambda_{AB})]\}; \quad (6)$$

- если ортодромия пересекает земной экватор и при этом $\Delta \lambda_{AB} < 90^\circ$, то формула (1) приобретает следующий вид:

$$D_{OPT} = \arccos[\sin(\pm \varphi_A) \sin(\pm \varphi_B) + \cos \varphi_A \cos \varphi_B \cos \Delta \lambda_{AB}]; \quad (7)$$

- если ортодромия пересекает земной экватор и при этом $\Delta \lambda_{AB} > 90^\circ$, то формула (1) приобретает следующий вид:

$$D_{OPT} = \arccos\{\sin(\pm \varphi_A) \sin(\pm \varphi_B) + \cos \varphi_A \cos \varphi_B [-\cos(180^\circ - \Delta \lambda_{AB})]\}; \quad (8)$$

С учетом равенств (2-5) формулы (6-8) можно упростить:

- если ортодромия не пересекает земной экватор (φ_A и φ_B – одноименны), но при этом $\Delta \lambda_{AB} > 90^\circ$:

$$D_{OPT} = \arccos[\sin \varphi_A \sin \varphi_B - \cos \varphi_A \cos \varphi_B \cos(180^\circ - \Delta \lambda_{AB})]; \quad (9)$$

- если ортодромия пересекает земной экватор (φ_A и φ_B – разноименные) и при этом $\Delta \lambda_{AB} < 90^\circ$:

$$D_{OPT} = \arccos(\cos \varphi_A \cos \varphi_B \cos \Delta \lambda_{AB} - \sin \varphi_A \sin \varphi_B); \quad (10)$$

- если ортодромия пересекает земной экватор и при этом $\Delta \lambda_{AB} > 90^\circ$, то с учетом того, что числовое значение в фигурных скобках формулы (8) при любых величинах φ_A и φ_B получается со знаком минус ($D_{OPT} = \arccos\{-n\}$) – формула (8) приобретает следующий вид:

$$D_{OPT} = 180^\circ - \arccos[\sin \varphi_A \sin \varphi_B + \cos \varphi_A \cos \varphi_B \cos(180^\circ - \Delta \lambda_{AB})]. \quad (11)$$

Вычисление в судовых условиях длины локсодромии и ортодромии с учетом сфероидичности Земли целесообразно производить в следующей последовательности:

1. Вычисляют разность широт и разность долгот начальной и конечной точек трансокеанского пути судна:

$$\begin{aligned} \pm \Delta \varphi_{HK} &= (\pm \varphi_K) - (\pm \varphi_H), \\ \pm \Delta \lambda_{HK} &= (\pm \lambda_K) - (\pm \lambda_H). \end{aligned}$$

2. Вычисляют среднее значение широт начальной и конечной точек трансокеанского пути судна:

$$\pm \varphi_{CP.HK} = \frac{(\pm \varphi_H) + (\pm \varphi_K)}{2}.$$

3. Вычисляют разность меридиональных частей начальной и конечной точек трансокеанского пути судна:

$$PMЧ = (\pm MЧ_K) - (\pm MЧ_H),$$

где $MЧ_H$ и $MЧ_K$ – меридиональные части начальной и конечной точек трансокеанского пути судна, значения которых выбирают из сборника мореходных таблиц [2] или вычисляют по формуле:

$$MЧ = 7915,704468 \lg \left[\operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\varphi_H(\kappa)}{2} \right) \left(\frac{1 - e \operatorname{Sin} \varphi_H(\kappa)}{1 + e \operatorname{Sin} \varphi_H(\kappa)} \right)^{0,5e} \right],$$

где e – первый эксцентриситет референц-эллипсоида.

4. Вычисляют локсодромический курс на трансокеанском пути судна:

$$K_{\text{ЛОК}} = \operatorname{arctg} \frac{\Delta \lambda_{HK}}{PMЧ_{HK}}.$$

5. Вычисляют длину локсодромии с учетом сфероидичности Земли.

5.1. Если $\Delta \varphi_{HK} \leq 20^\circ$, то можно применить приближенную формулу:

$$S_{\text{ЛЛО}} = \frac{\Delta \varphi \operatorname{Sec} K_{\text{ЛОК}}}{1 + (\pm f)},$$

где f – коэффициент для учета сфероидичности Земли, величину которого выбирают из сборника мореходных таблиц [2] или вычисляют по формуле:

$$\pm f = -0,00180896 + 0,00669342(1 - 1,5 \operatorname{Sin}^2 \varphi_{CP.HK}).$$

5.2. Если $\Delta \varphi_{HK} = 0^\circ$, то длину локсодромии с учетом сфероидичности Земли вычисляют по формуле:

$$S_{\text{ЛЛО}} = \frac{\Delta \lambda \operatorname{Cos} \varphi_{CP.HK} \operatorname{Co} \operatorname{sec} K_{\text{ЛЛО}}}{1 + (\pm g)},$$

где g – коэффициент для учета сфероидичности Земли, величину которого выбирают из сборника мореходных таблиц [2] или вычисляют по формуле:

$$\pm g = -0,00180896 - 0,0033908 \operatorname{Sin}^2 \varphi_{CP.HK} + 0,00001269 (\Delta \varphi_{HK}^\circ)^2 (1 + 2 \operatorname{tg}^2 \varphi_{CP.HK}).$$

5.3. Если $\Delta \varphi_{HK} > 20^\circ$ и при этом $\varphi_H = 0^\circ$ или $\varphi_K = 0^\circ$, то длину локсодромии с учетом сфероидичности Земли вычисляют по формуле:

$$S_{\text{ЛОК}} = [\varphi'_{H(K)} + 0,0001337107 \varphi'_{H(K)} - 8,65896 \operatorname{Sin} 2 \varphi_{H(K)} + 0,00904 \operatorname{Sin} 4 \varphi_{H(K)}] \operatorname{Sec} K_{\text{ЛОК}}, \quad (12)$$

где $\varphi_{H(K)}$ – натуральное значение широты начальной или конечной точки трансокеанского пути судна.

5.4. Если $\Delta \varphi_{HK} > 20^\circ$ и при этом φ_H и φ_K – одноименны, то длину локсодромии с учетом сфероидичности Земли вычисляют по формуле:

$$S_{ЛОК} = [(\varphi_{\max} - \varphi_{\min})' + 0,0001337107\varphi'_{\max} - 8,65896\text{Sin}2\varphi_{\max} + 0,00904\text{Sin}4\varphi_{\max} - 0,0001337107\varphi'_{\min} + 8,65896\text{Sin}2\varphi_{\min} - 0,00904\text{Sin}4\varphi_{\min}] \text{Sec}K_{ЛОК} \quad (13)$$

где φ_{\max} – наибольшее натуральное значение широты начальной или конечной точек трансокеанского пути судна; φ_{\min} – наименьшее натуральное значение широты начальной или конечной точек трансокеанского пути судна.

5.5. Если $\Delta\varphi_{НК} > 20^\circ$ и при этом φ_H и φ_K – разноименны, то длину локсодромии с учетом сферодичности Земли вычисляют по формуле:

$$S_{ЛОК} = [(\varphi_H + \varphi_K)' + 0,0001337107\varphi'_H - 8,65896\text{Sin}2\varphi_H + 0,00904\text{Sin}4\varphi_H + 0,0001337107\varphi'_K - 8,65896\text{Sin}2\varphi_K + 0,00904\text{Sin}4\varphi_K] \text{Sec}K_{ЛОК} \quad (14)$$

где φ_H и φ_K – натуральные значения широты начальной и конечной точек трансокеанского пути судна.

Если вычисление с помощью формул (1)÷(3) производят с помощью таблиц натуральных значений тригонометрических функций, то необходимо учитывать следующие особенности:

1. Если $2\varphi > 90^\circ$ или $180^\circ > 4\varphi > 90^\circ$, то $\text{Sin}2\varphi = \text{Sin}(180^\circ - 2\varphi)$, $\text{Sin}4\varphi = \text{Sin}(180^\circ - 4\varphi)$.

2. Если $360^\circ > 4\varphi > 180^\circ$, то $\text{Sin}4\varphi = -\text{Sin}(360^\circ - 4\varphi)$.

Длину геодезической линии вычисляют по формуле:

$$S_{Г.Л.} = S_{ЛОК} - \Delta S,$$

где $S_{ЛОК}$ – длина локсодромии с учетом сферодичности Земли, ΔS – разность между длиной локсодромии с учетом сферодичности Земли и длиной геодезической линии, величину которой выбирают из таблицы 23-б сборника мореходных таблиц [5].

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению. Предложенный в статье порядок вычисления длины локсодромии и ортодромии с учетом сферодичности Земли является одним из частных вопросов навигационного планирования перехода судна с помощью бумажных навигационных карт. Использование электронных картографических систем значительно упрощает процедуру навигационного планирования перехода, если судоводитель знает, какая методика измерения расстояния между точками маршрута перехода заложена в программное обеспечение этой системы. Поэтому судоводитель должен уметь вычислять эти расстояния всеми способами, чтобы методом последовательного исключения определить, какая методика вычисления этого расстояния заложена в программное обеспечение данной электронной картографической системы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ющенко А.П., Лесков М.М. Навигация : учебник для вузов. – М.: Транспорт, 1965. – 411 с.

2. Лесков М.М., Баранов Ю.К., Гаврюк М.И. Навигация : учебник [для вузов морск. транспорта]. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1986. – 360 с.
3. Дмитриев В.И., Григорян В.Л., Катенин В.А. Навигация и лоция : учебник для вузов / В.И. Дмитриев. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 471 с.
4. Дмитриев В.И. Навигация и лоция: [учебник для вузов] / Дмитриев В.И., Григорян В.Л., Катенин В.А.; под ред. В.И. Дмитриева. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 471 с.
5. Мореходные таблицы 1975 г. (МТ-75). – Изд. ГУНиО МО РФ.
6. Таблицы для вычисления длины и азимута геодезической линии. – Изд. УГС ВМФ РФ, 1961.
7. Мореходные таблицы 2000 г. (МТ-2000). – Изд. ГУНиО МО РФ.

Спешилов В.М. ОБЧИСЛЕННЯ ДОВЖИНИ ЛОКСОДРОМІЇ ТА ОРТОДРОМІЇ ДЛЯ ПРОТЯЖНИХ МАРШРУТІВ ПЛАВАННЯ З УРАХУВАННЯМ СФЕРОІДИЧНОСТІ ЗЕМЛІ

Розрахунок довжини ортодромії за допомогою формул сферичної тригонометрії з використанням Таблиць натуральних значень тригонометричних функцій стикається з певними труднощами, якщо ортодромія пересікає земний екватор та різниця довгот початкової та кінцевої точок ортодромії перебільшує 90°. У даному випадку виникає необхідність перетворення формул з урахуванням «правил законів». У суднових умовах доцільно використання спрощених (прикладних) математичних формул, які не є приблизними, а навпаки більш зручними у використанні, з метою зменшення можливості помилок, пов'язаних з використанням «правил законів» при розв'язуванні тригонометричних рівнянь.
Ключові слова: ортодромія, розрахунок довжини локсодромії та ортодромії, маршрут плавання, сфероїдичність землі.

Speshylov V.M. CALCULATION OF LENGTH OF LOXODROMY AND ORTHODROMY FOR EXTENDED ROUTES OF SAILING IN CONSIDERATION OF EARTH SPHEROIDICITY

Calculation of the length of orthodromy by means of formulas of spherical trigonometry using Tables of natural values of trigonometric functions is associated with certain difficulties if orthodromy crosses terrestrial equator or difference of longitudes of initial and final points of orthodromy exceeds 90°. In this case a need arises to convert formulas taking into account a rule of signs. Under conditions on board a ship for mathematical calculations it is expedient to apply simplified (applied) mathematical formulas that are not, approximated, but more convenient to be applied with a purpose of decreasing a probability of errors associated with application of the “rule of signs” while solving trigonometric equations.

Key words: orthodromy, calculation of the length of locsodromy and orthodromy, routes of sailing, earth spheroidicity.

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТИПОРЯДА ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ЗАШИВКИ ПОМЕЩЕНИЙ НЕСАМОХОДНЫХ ПЛАВУЧИХ СООРУЖЕНИЙ

Щедролосев А.В., Терлыч С.В.,

*Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова,
Херсонский филиал*

В статье приведены результаты исследования, используя которые возможно проанализировать уровень технологичности и начальные экономические показатели при разработке технологий изготовления и монтажа элементов зашивки конкретных судовых помещений.

Ключевые слова: несамоходные плавучие сооружения, доки, модульная зашивка.

Постановка и актуальность задачи. Учитывая переход отечественного судостроения к рыночной экономике, отработанные годами и десятилетиями конструктивные и технологические особенности проектирования, изготовления и монтажа элементов отделки и оборудования помещений для плавучих доков и других плавучих сооружений стали неприемлемыми. Плановая экономика предусматривала заранее составленные перспективные задания на создание продукции на основе долгосрочных заявок заказчиков. Рыночные же отношения поставили разработчиков и исполнителей в условия получения заказа по принципу тендера. Из-за невозможности предварительного финансового обеспечения проектно-конструкторских работ, дизайн и технологии формирования модульных судовых помещений необходимо выполнять по сокращённой схеме на стадии предэскизного и эскизного проектирования в сжатые сроки. Особой проблемой при выполнении расчётов и разработке эскизов, монтажных схем и чертежей является разнообразие требований заказчиков, что в свою очередь сказывается на геометрических особенностях зашивочных панелей, средств оборудования и насыщения, мебели и элементов их крепления [1]. Таким образом, существующие стандартные элементы отечественных модульных систем (прежде всего М100 и ОМС) требуют доработки и усовершенствования, учитывая современные тенденции оформления и дизайна кают несамоходных судов и критерии формирования экипажа [2]. Задача должна быть направлена на максимальное удовлетворение интересов покупателя строящегося плавсредства, то есть снижение цены при увеличении технологических и качественных показателей, обеспечив при этом выполнение международных конвенций в секторе экологической и противопожарной безопасности [3, 4].

Анализ последних исследований и публикаций показал, что пути усовершенствования конструкций элементов модульной зашивки и вопрос снижения трудоемкости и монтажа модульных панелей исследовались и ранее [5, 6, 7]. В периодической и специальной литературе, начиная с 1973

года прошлого столетия, рассматривались задачи математического моделирования, механизации и автоматизации изготовления изделий из металлопласта, обоснование выбора модуля, стандартизации и унификации элементов зашивки, разработка показателей качества продукции, технологичности конструкций, систем конструкторской и технологической подготовки производства. Определялись оптимальные варианты расположения и размеров раструбов иллюминаторов. Создавались новые технологии изготовления модульных панелей, разрабатывалось технологическое оснащение. Все перечисленные разработки невозможно полностью применить на *несамоходных* плавучих сооружениях в связи с нетипичными, а иногда и уникальными размерно-конструктивными особенностями помещений на этих плавсредствах и условиями их эксплуатации.

Объектом исследования являются конструкции элементов зашивки модульных кают и служебных помещений *несамоходных* плавучих сооружений (плавучих доков, мастерских, общежитий, технических средств освоения шельфа).

Предметом исследования являются задачи численного программирования геометрических элементов конструкций зашивки, базирующиеся на известных научно-методических принципах.

Цель исследования. 1. Разработать алгоритм расчёта основных критериев технологичности элементов модульной зашивки *несамоходных* плавучих сооружений в зависимости от главных элементов плавсредства, степени обитаемости и условий комфорта.

2. Применить простую и доступную математическую базу для обеспечения численного программирования в форме электронных таблиц или электронных баз данных.

Изложение основного материала. Объём, предназначенный для жилых помещений, определяется в зависимости от комплектации судна экипажем и норматива среднего объёма на одного человека. Численность спальных мест на плавсредстве на стадии эскизного проектирования может быть оценена по зависимости [4, 5, 6]:

$$n = \frac{\Delta}{k}, \quad (1)$$

где: Δ – весовое водоизмещение (для плавдока – подъёмная сила), т;

$$k = \begin{cases} 100...120 & \text{т/чел.} & \text{для плавучих мастерских;} \\ 140...180 & \text{т/чел.} & \text{для плавучих доков} \\ 340...510 & \text{т/чел.} & \text{для плавучих офисов и самоходных судов техфлота} \end{cases}$$

Численность экипажа рассматриваемых судов, как правило, составляет 70 – 95 человек. Общую площадь помещений экипажа можно определить по формуле:

$$S_{\text{Э}} = K_K \cdot n_K + K_m \cdot n_m + K_M \cdot n_M \quad (2)$$

используются на одном и том же судне, либо являются заменяемыми объектами, позволяющими гибко менять назначение и объем выполняемых задач. Модульный подход имеет определенные преимущества [7]:

- появляются возможности заблаговременной отработки компоновочных и конструктивно-технологических решений;
- удается обеспечивать рациональную повторяемость близких по назначению и одинаковых по размерам помещений;
- могут быть снижены затраты на постройку судов и изготовление для них оборудования;
- повышается гибкость использования, поскольку отдельные помещения и (или) элементы их оборудования могут экономично заменяться.

Для формирования исходных данных были применены методы дисперсного анализа, описанные в [8, 9] и с учётом зависимостей (1) и (2), а также современных требований заказчиков относительно комплектования экипажа и обитаемости несамоходных плавучих сооружений [1] была составлена сводная таблица 1.

Таблица 1. Сводная таблица исходных данных

Параметры задания	Район эксплуатации		
	Азово-Черноморский бассейн	Дальний Восток	Заполярье
Комплектация экипажа, чел.	25...65	35...80	40...75
Мореходность (баллы)	7 баллов по волне; неограниченная по ветру	неограниченная	неограниченная
Автономность, сут.	20	30	50
Основной заказчик	Судоремонтные предприятия Болгарии и Турции	ВМФ РФ, Верфи Южной Кореи и Китая	ВМФ РФ, Скандинавские страны
Возможные интервалы основных характеристик	$L \in [145 \div 180]$ м; $B \in [20 \div 35]$ м; $\Delta \in [22000 \div 35000]$ т; $N \approx 4500$ кВт	$L \in [75 \div 100]$ м; $B \in [23 \div 36]$ м; $\Delta \in [20000 \div 40000]$ т; $N \approx 6700$ кВт	$L \in [70 \div 290]$ м; $B \in [25 \div 38]$ м; $\Delta \in [30000 \div 50000]$ т; $N \approx 6000$ кВт

Здесь L – длина наибольшая, B – ширина между внешними бортами, Δ – весовое водоизмещение (для плавдока – вес дока порожнем), N – мощность энергоустановки.

Критерием технологичности конструкции, который подтверждает правильность выбора конструктивной схемы формирования зашивки жилого либо служебного помещения, может служить следующий коэффициент [8]:

$$K = \sum_{i=1}^n A_i \cdot k_i \leq 1 ; i = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

где: n – количество технологических операций, необходимых для монтажа судового помещения;

A_i – показатель технологичности конкретного вида технологической операции;

k_i – коэффициент весомости технологической операции.

Критерий материалоемкости выражается зависимостью:

$$M - \sum_{i=1}^m m_{ij} \cdot s_j \cong m_{\max} \quad (4)$$

где: M – масса заготовок i -го элемента зашивки или формирования помещения;

m_{ij} – удельная масса ij -го элемента;

s_j – погонная длина (площадь) стандартного элемента;

m_{\max} – максимально допустимый коэффициент использования материала, принимаемый, аналитически используя данные фирм-производителей элементов зашивки, аппроксимируя их по одной из методик определения оптимума, описанных в [8], применив среду электронных таблиц (например *MS Excel*).

Технологические и прочностные особенности учитываются путём анализа габаритов заготовок, их пластических и деформационных свойств (по каталогу производителя) и фактическим наличием оборудования и рабочего инструмента на судостроительном предприятии, которое будет выполнять операции по изготовлению и/или монтажу элементов зашивки помещений. Прочностные характеристики, такие, как момент сопротивления профиля W или момент инерции I могут быть нормированы по аналогии с критерием массы (4).

Для каждого варианта зашивки помещений должна быть решена задача определения рациональных характеристик для несамостоятельного плавучего сооружения в зависимости от типа обслуживаемых объектов и капитальных вложений на его создание. В данном комплексном подходе оптимальным принимается вариант создания ряда алгоритмов, каждый из которых может быть применён к конкретному плавсредству, приняв за критерий себестоимость:

$$K_{E_1} = \sum_{i=1}^m C_{BC_i} \rightarrow \min \quad (5)$$

где: K_{E_1} – критерий эффективности (по фактической стоимости);

C_{BC} – стоимость i -го элемента,

m – количество однотипных элементов зашивки.

Использование указанного критерия эффективности ведет к тому, что задача

решена с наименьшими первоначальными капитальными вложениями.

Однако, поскольку для современного заказчика не меньшую роль при размещении заказа играют эксплуатационные (ремонтные) затраты, в исследовании была проанализирована и предусмотрена возможность оптимизации минимальных эксплуатационных затрат, которые будут произведены за конкретный интервал времени:

$$K_{E_2} = t \cdot \sum_{i=1}^m (C_{OC_i}) \rightarrow \min \quad (6)$$

где: K_{E_2} – критерий эффективности (по эксплуатационным затратам);

C_{OC} – величина эксплуатационных затрат i -го элемента зашивки;

m – количество однотипных элементов;

t – отрезок времени, за которое оцениваются затраты (срок формирования помещений, применяя модульные методы).

Таким образом, усовершенствованная технология зашивки помещений может характеризоваться по любому из этих критериев, но в целях обеспечения объективности оптимизации предпочтительным является комплексный критерий оптимизации:

$$K_E = K_{E_1} + \sum_{t_0=0}^t (K_{E_2}) \rightarrow \min \quad (7)$$

где: K_E – критерий эффективности (суммарный); t – отрезок времени, за которое оцениваются затраты.

Результаты исследования и их анализ.

1. Приведенные зависимости позволяют четко определить затраты материалов и основные количественные и весовые характеристики элементов зашивки в зависимости от принятой ширины панели.

2. С помощью результатов исследования возможно проанализировать уровень технологичности и начальные экономические показатели при разработке технологий отделки и монтажа элементов конкретных судовых помещений.

3. Полученные результаты будут использованы при анализе вариантов конструктивно-технологических решений разработки элементов модульного зашивания современных проектов композитных несамоходных плавучих сооружений.

Выводы.

1. Используя результаты исследования возможно проанализировать уровень технологичности и начальные экономические показатели при разработке технологий изготовления и монтажа элементов зашивки конкретных судовых помещений.

2. Проведенные апробационные расчеты показали удовлетворительную согласованность с данными [4, 10, 11, 12] относительно внедрения модульных методов формирования помещений на несамоходных плавучих сооружениях. Полученные результаты могут быть использованы при анализе вариантов конструктивно-технологических решений разработки элементов

модульної зашивки сучасних проектів несамоходних плавучих доків і інших плавсредств.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щедролюсов О.В., Терлич С.В. Сучасний стан модульного формування приміщень на плавучих доках // Зб. наук. праць НУК. – 2008. – № 1. – С. 94–99.

2. Терлич С.В. Проблеми модульного формування приміщень на несамохідних плавучих спорудах // Автоматизація судостроительного виробництва і підготовка інженерних кадрів: стан, проблеми, перспективи: матеріали Міжнародної науково-методическої конференції. – Ніколаєв: НУК, 2007. – С. 115–117.

3. Мамишев А.І., Терлич С.В., Щедролюсов О.В. Забезпечення пожежної безпеки при формуванні приміщень модульними методами // Тези доповідей 60-ї науково-технічної конференції «Проблеми і перспективи морського транспорту: технологія управління, економіка, логістика, право». – Одеса: ОНМУ, 2007. – С. 65–68.

4. Слуцький М.Г., Терлич С.В. Розробка типоряду плавучих композитних доків для ремонту промислових суден // Рибне господарство України. – Керч: КДМТУ, 2008. – № 1 (54). – С. 13–14.

5. Шагиданов В.И. Модульное формирование помещений судов для охраны экономических зон и их оборудования // Морской вестник, 2007. – № 1. – С. 26–31.

6. Корчевская Н.М., Мильто А.А. К вопросу о модульных методах обстройки судовых помещений // Зб. наук. праць УДМТУ. – Миколаїв: УДМТУ, 2002. – №8 (386). – С. 17–30.

7. Щедролюсов А.В. Оптимизация типоразмерных рядов переборочных панелей модульной системы М100. – ВКИ.: Модульные методы в технологии постройки судов. Часть I. Модульные методы формирования судовых помещений и надстроек судов. Тез. докл. отраслевого науч. технич. семинара / Николаев, октябрь 1987 / Науч. техн. общ. имени акад. А.Н. Крылова. – Л.: Судостроение, 1987. – С. 19–21.

8. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 205 с.

9. Кропотов Д., Ветров Д. Алгоритмы выбора моделей и построения коллективных решений в задачах классификации, основанные на принципе устойчивости. – М.: КомКнига, 2007. – 314 с.

10. Терлич С.В. Розмірний та конструктивний аналіз приміщень на плавдоках // Вісник СевНТУ. Механіка. Енергетика. Екологія. – № 88. – С. 52–55.

11. Терлич С.В., Слуцький М.Г. Використання модульної оббудови приміщень на композитних плавучих доках // Зб. наук. праць НУК. – 2008. – № 2. – С. 45–48.

12. Щедролов А.В., Терлыч С.В. Факторы экологической безопасности при формировании помещений несамоходных плавучих сооружений // Безопаса мореплавання та її забезпечення при проектуванні та будівництві суден (БМС-2007): матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. – Миколаїв: НУК, 2007. – С. 65–67.

Щедролов О.В., Терлыч С.В. ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТИПОРЯДУ ЕЛЕМЕНТІВ ДЛЯ ЗАШИВКИ ПРИМІЩЕНЬ НЕСАМОХІДНИХ ПЛАВУЧИХ СПОРУД

У статті наведено результати дослідження, використовуючи які можливо проаналізувати рівень технологічності і початкові економічні показники при розробці технологій виготовлення і монтажу елементів зашивки конкретних суднових приміщень.

Ключові слова: несамоходні плавучі споруди, доки, модульна зашивка.

Shchedrolov A.V., Terlych S.V. NUMERICAL SIMULATION OF TYPE-ROW OF ELEMENTS FOR SEALING OF SPACES IN NONPROPELLED FLOATING CONSTRUCTIONS

Results of studies are given in the article using which it is possible to analyze the level of adaptability to streamlined manufacture and initial economic indices in the development of technologies for production and assembly of elements of sealing of particular ship's spaces.

Key words: non-propelled floating constructions, docks, module sealing.

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 621.865.8-603.55:629

ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ ТРАНСПОРТНЫМ РОБОТОМ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СПЕКТРОГРАММ ПОЛУЧАЕМЫХ ИМ СИГНАЛОВ

Кук Ю.В.,

Институт кибернетики имени В.М.Глушкова НАН Украины, г. Киев

В статье рассматривается метод дальнейшего повышения уровня интеллекта транспортных роботов в процедуре принятия им решений в различных ситуациях. Предложена методика, по которой робот после предварительного обучения может анализировать с помощью спектрального анализа экспериментальные данные, получаемые им со своих датчиков, и в результате этого анализа распознать ситуацию, в которой он оказался, а затем принять правильное решение, соответствующее данной ситуации.

Реализация предлагаемого метода позволит в ряде случаев осуществлять операции принятия роботом адекватных решений со скоростью более высокой, чем это делает человек.

Ключевые слова: интеллектуальные транспортные роботы, вибродатчики, спектрограмма вибрации.

Введение. Транспортные роботы предназначены для автоматизированного транспортирования объектов, а также для управления различными транспортными системами. Различают четыре типа транспортных роботов – наземные, летающие, водоплавающие и подземные. В настоящее время наибольшее развитие получили наземные транспортные роботы, которые могут быть колесными, шагающими и гусеничными. Колесные транспортные роботы широко используются в промышленных автоматизированных транспортно-складских системах и гибких автоматизированных производствах в виде мобильных автоматических кранов, автоматических управляемых тележек, оснащаемых различными манипуляционными устройствами. Интеллектуальные транспортные роботы оборудуются автономной управляющей ЭВМ и средствами осязания. В статье приводятся результаты исследований по поддержке принятия решений интеллектуальным транспортным роботом на основе анализа спектрограмм получаемых роботом сигналов от своих датчиков.

Актуальность исследований. Разработка транспортных роботов является весьма актуальной задачей, и работы по их созданию интенсивно ведутся во всем мире. Уже в 60-е годы прошлого века в Институте кибернетики им В.М. Глушкова НАН Украины был создан аналог современных транспортных роботов в виде «тележки» Амосова. В настоящее время в области транспортной робототехники достигнуты значительные успехи. Например, машина-робот Argo, созданная в 2001 г. итальянскими учеными из университета г. Пармы, представляет собой автономное

транспортное средство в форме обычной легковой автомашины. Такая автомашина способна ездить без какого-либо управления со стороны водителя, распознавая образы, встречающиеся ей по пути. В качестве тестового пробега машина-робот Argo проехала по дорогам Италии 2000 километров. На всех участках пробега средняя скорость движения составляла около 85 км/ч. Максимальной скорости Argo достигла на автостраде между Флоренцией и Пармой (123 км/ч). Основные компоненты системы управления "Argo" состоят из двух черно-белых видеокамер с разрешением 360 линий, выполняющих функцию глаз робота, персонального компьютера с процессором Pentium 200 и 32 МВ ОЗУ, с PCI-картой от Matrox для "захвата" изображений с камер. В Argo поступает изображение видимой части дороги с частотой 25 кадров в секунду. Главная управляющая программа робота анализирует полученное стереоскопическое изображение, используя процедуру распознавания образов, затем вырабатывает воздействия на органы управления машиной. В алгоритмах Argo используется принцип обратного перспективного отображения – Inverse Perspective Mapping. За время тестового пробега (2000 км) персональный компьютер обработал 1,5 млн. изображений, объем которых составил около 330 GB видеoinформации. Argo обеспечивает формирование управляющих воздействий на рулевую колонку, акселератор и тормоза с периодом 40 мс. Это в 2,5 раза быстрее усредненного времени реакции человека, которое оценивается в 100 мс.

Калифорнийская фирма "Odetics" создала управляемый на расстоянии мобильный автономный шестиногий робот "Odex-1", названный фирмой "функционоидом" и способный, шагая по местности, преодолевать уступы до 1 м, а с помощью манипуляторов поднимать груз, массой до 1 т, и транспортировать его. "Функционоид", разработка которого обошлась в 1 млн. долл., предназначен для военных целей – обезвреживания бомб, несения караульной службы, минирования и разминирования местности, а также различных действий на поле боя. Такой робот может оказаться незаменимым средством для осуществления спасательных работ и ликвидации последствий аварий в зонах и местностях, труднодоступных или опасных для человека по причине радиационного или химического заражения, высоких температур.

Исследования в области транспортной робототехники является весьма актуальной задачей, поскольку способствуют разработке более совершенных транспортных роботов. В статье рассматривается метод дальнейшего повышения уровня интеллекта транспортных роботов в процедуре принятия им решений в различных ситуациях. Реализация предлагаемого метода в программах, управляющих роботом, позволит в ряде случаев осуществлять операции принятия роботом адекватных решений со скоростью более высокой, чем это делает человек.

Постановка задачи. Пусть транспортный робот может оказаться в одной из L ситуаций. В зависимости от вида ситуации робот должен принять то или иное решение, адекватное данной ситуации. Информация о ситуации

считывается M датчиками работа в дискретные моменты времени $t = 1, 2, 3, \dots$. Выход каждого из датчиков представляет замеры амплитуд сигналов, характеризующих данную ситуацию и являющихся значениями временного ряда. Современные роботы способны интеллектуально перерабатывать значительные объемы информации. Для распознавания ситуаций, в первую очередь, ими используется визуальная информация, которая воспринимается и обрабатывается роботами с помощью систем технического зрения. Задача состоит в том, чтобы разработать методику, по которой робот после предварительного обучения мог бы по показаниям датчиков распознать ситуацию, в которой он оказался, и затем принять правильное решение, соответствующее данной ситуации. Под предварительным обучением понимается процедура, при которой роботу предъявляются различные ситуации с указанием правильных решений для каждой из них. В результате обучения робот вырабатывает решающее правило для принятия решения в той или иной ситуации.

Результаты исследований. Для решения поставленной задачи применим метод, который был использован нами в [1] для распознавания состояний динамических объектов с нестационарными характеристиками. Обеспечим робота способностью анализировать с помощью спектрального анализа экспериментальные данные, получаемые им со своих датчиков. С помощью этого анализа обучим робота распознавать типовые ситуации, в которых он может оказаться, и принимать по ним решения, адекватные той или иной ситуации.

Экспериментальные данные временного ряда для i -го датчика и l -й типовой ситуации обозначим $X^{(i,l)}(t)$, $i = 1, \dots, M$, $l = 1, \dots, L$, $t = 1, 2, 3, \dots$. Для процедуры обучения робота каждый временной ряд $X^{(i,l)}(t)$, содержащий S замеров, разделим на Z равных отрезков, содержащих $n = S/Z$ замеров. Эти информационные отрезки будем рассматривать как некоторые первичные объекты, из описаний которых будем формировать обучающую и экзаменационную выборки для робота. Выделим исходные признаки, с помощью которых будем описывать полученные объекты. Обозначим $s_k^{(i,l)}$ k -й объект, сформированный из k -го отрезка временного ряда $X^{(i,l)}(t)$. Рассмотрим общий случай, когда наблюдаемые отрезки временных рядов представляют собой нестационарные процессы. Для нахождения признаков первичных объектов поступим следующим образом. Разложим каждый отрезок временного ряда в ряд Фурье: $X^{(i,l)}(t) = a_0 + \sum_j [a_j \cos(\lambda_j t) + b_j \sin(\lambda_j t)]$, для $j = 1, \dots, n$, $l = 1, \dots, L$. Числа λ_j называются частотами, а величины $p_j = (a_j^2 + b_j^2) * (n/2)$ – периодограммами. В качестве признаков объекта $s_k^{(i,l)}$ возьмем N характерных особенностей функции, которая описывает зависимость p_j от λ_j . Например, число максимумов этой функции, частоты λ_j , которым

соответствуют максимумы спектрограммы, а также соответствующие им значения периодограмм. Обозначим выбранные признаки $x_{1k}^{(i,l)}, x_{2k}^{(i,l)}, \dots, x_{Nk}^{(i,l)}$. В зависимости от ситуации статистические характеристики исходных признаков первичных объектов будут меняться. Каждой типовой ситуации соответствуют свои статистические характеристики исходных признаков первичных объектов. Для обучения распознавания роботом типовых ситуаций и принятия решений по ним разделим Z объектов каждого временного ряда $X^{(i,l)}(t)$, $i=1, \dots, M$, $l=1, \dots, L$, на K и W объектов, где K объектов принадлежат обучающей выборки, а W объектов – экзаменационной выборки. $K+W=Z$. В результате получим $J=M \times L$ групп объектов обучающей выборки: $G_1(l) = \{s_1^{(1,l)}, s_2^{(1,l)}, \dots, s_K^{(1,l)}\}$, ..., $G_M(l) = \{s_1^{(M,l)}, s_2^{(M,l)}, \dots, s_K^{(M,l)}\}$, $l=1, \dots, L$. Процедуру обучения робота можно описать следующим образом. Робот, осуществляя спектральный анализ информации, получаемой им с датчиков, определяет исходные признаки данного объекта. Этому исследуемому объекту соответствует некоторая известная типовая ситуация из множества возможных типовых ситуаций. Эта типовая ситуация находится роботом путем вычисления евклидовых расстояний между признаками исследуемого объекта и статистическими характеристиками каждой из возможных типовых ситуаций. В качестве искомой ситуации выбирается та типовая ситуация, для которой это расстояние оказывается наименьшим. Для каждой типовой ситуации роботу указывается, какое он должен принять решение, наиболее адекватное данной ситуации. Это решение, ассоциированное с данной типовой ситуацией, и фиксируется в памяти робота. Объекты экзаменационной выборки служат для проверки правильности обучения робота.

В качестве примера рассмотрим задачу принятия решений роботом, выполняющего роль автопилота вертолета, в различных ситуациях. При решении задачи использовались данные, которые были получены в результате виброметрирования роботом главного редуктора вертолета Ка 32N04 при различных режимах и нагрузках вертолета. Данные снимались с 6-ти датчиков вибрации для 4-х разных режимов полета вертолета. Одним из этих режимов являлся режим, когда вертолет весит в воздухе. Кроме того вертолет загружался двумя видами грузов: 8 и 11 тонн. В данном примере всего имеется 16 различных ситуаций, которые робот должен уметь распознавать и адекватно принимать решения по управлению вертолетом в распознанной ситуации.

Для обучения робота правильному распознаванию ситуаций с каждого из 6 датчиков было получено 48000 замеров. Например, для вертолета с нагрузкой 8 тонн и режима, когда вертолет завис, данные с шести датчиков вибрации представлены в таблице 1, а для вертолета с нагрузкой 11 тонн и режима, когда вертолет весит, данные представлены в таблице 2.

Таблиця 1. Данніе с датчиков вибрации (нагрузка 8 тонн, вертолет висит)

№	Vibr1	Vibr2	Vibr3	Vibr4	Vibr5	Vibr6
1	-4679	-6158	725	3956	-2429	3572
2	-2356	-6660	2779	7370	-6158	7517
3	-1981	-6094	1592	7229	-5350	5361
4	-339	-7051	-278	3463	-4496	2028
...
48001	2915	27	-582	-7242	3032	-551

Таблиця 2. Данніе с датчиков вибрации (нагрузка 11 тонн, вертолет висит)

№	Vibr1	Vibr2	Vibr3	Vibr4	Vibr5	Vibr6
1	-5330	7706	-4880	-625	-2496	-2078
2	-6607	7258	242	-764	532	-4191
3	-9131	5836	2798	1678	3150	-3497
4	-9314	3741	3466	6722	-693	-483
...
48000	-600	-8890	75	-10837	6163	-1420

В качестве примеров приведем графики временных рядов, описывающих первые 100 замеров с 1-го и 2-го датчиков для нагрузки 8 тонн и режима, когда вертолет висит. Они представлены соответственно на рисунках 1 и 2, а график временного ряда с 6-го вибродатчика для нагрузки на вертолете 8 тонн и режима, когда вертолет висит, представлен на рисунке 3.

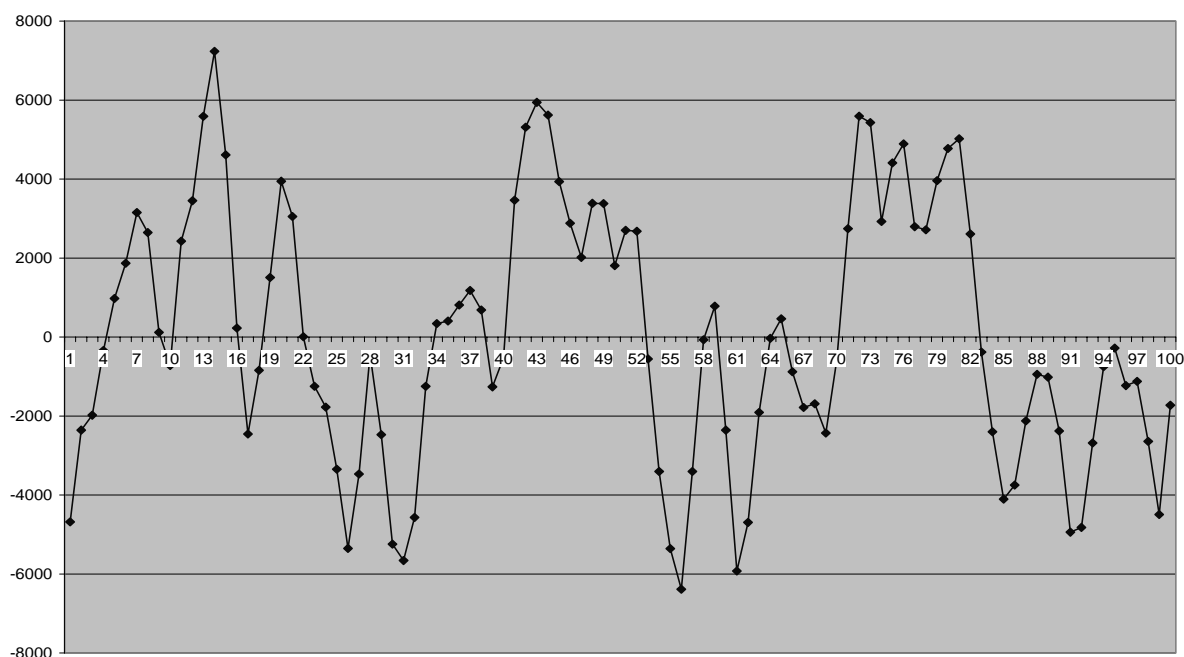


Рисунок 1. Временной ряд с 1-го вибродатчика (нагрузка 8 тонн, вертолет висит)

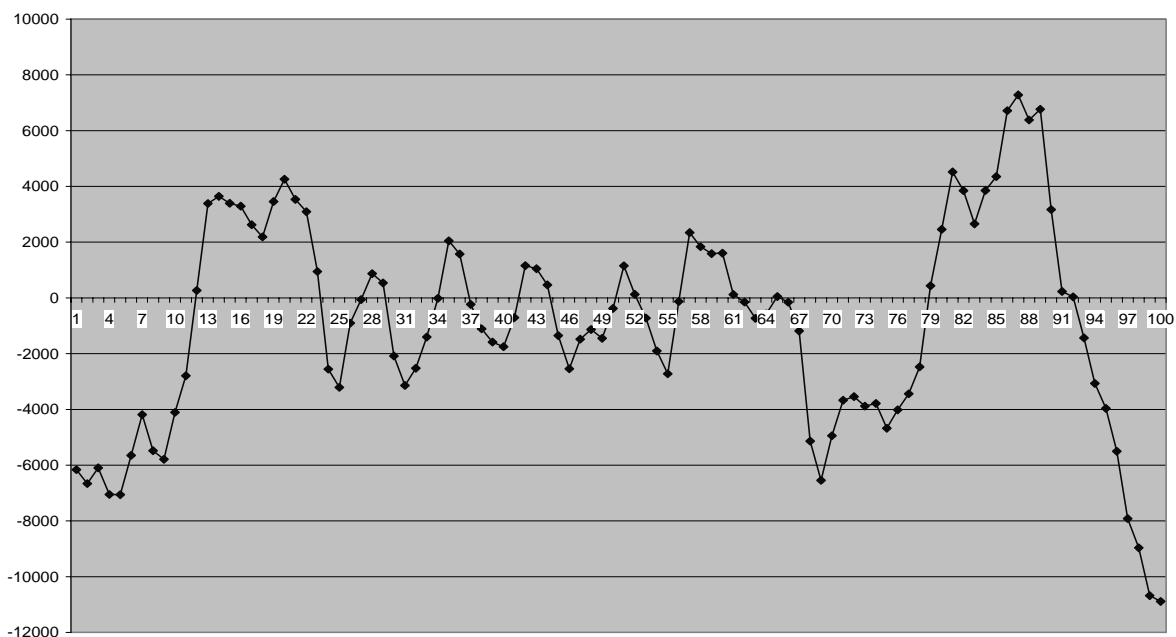


Рисунок 2. Временной ряд со 2-го вибродатчика (нагрузка 8 тонн, вертолет висит)

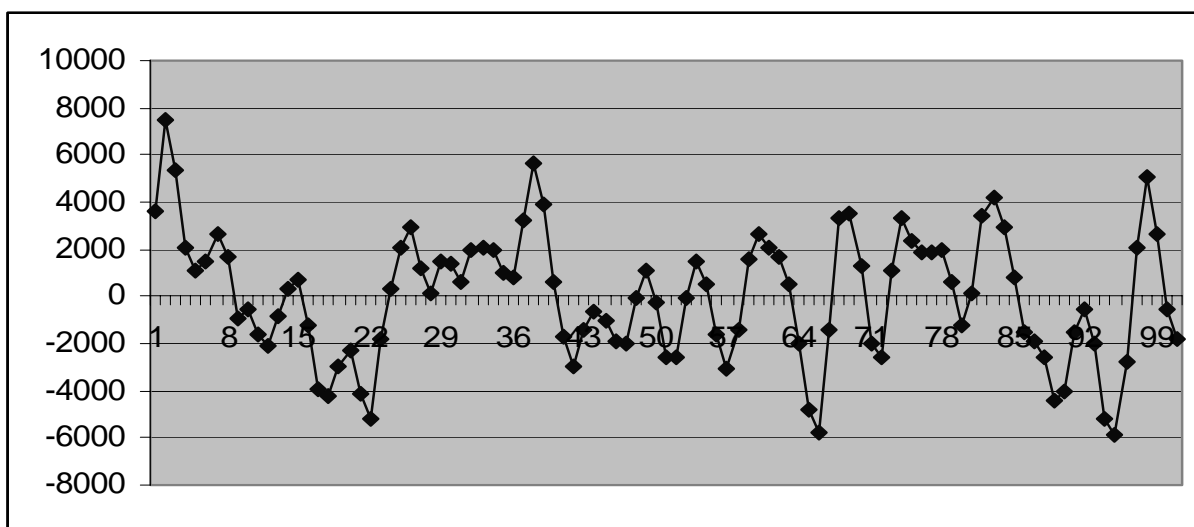


Рисунок 3. Временной ряд с 6-го вибродатчика (нагрузка 8 тонн)

Приведем лишь один из результатов, полученный в результате обучения работа распознаванию различных ситуаций. Оказалось, что для достоверного распознавания величины нагрузки на вертолет с помощью спектрограмм достаточно показаний только одного датчика, а именно шестого датчика. На рисунках 4 и 5 представлены типичные спектрограммы временных рядов с 6-го вибродатчика при различных нагрузках.

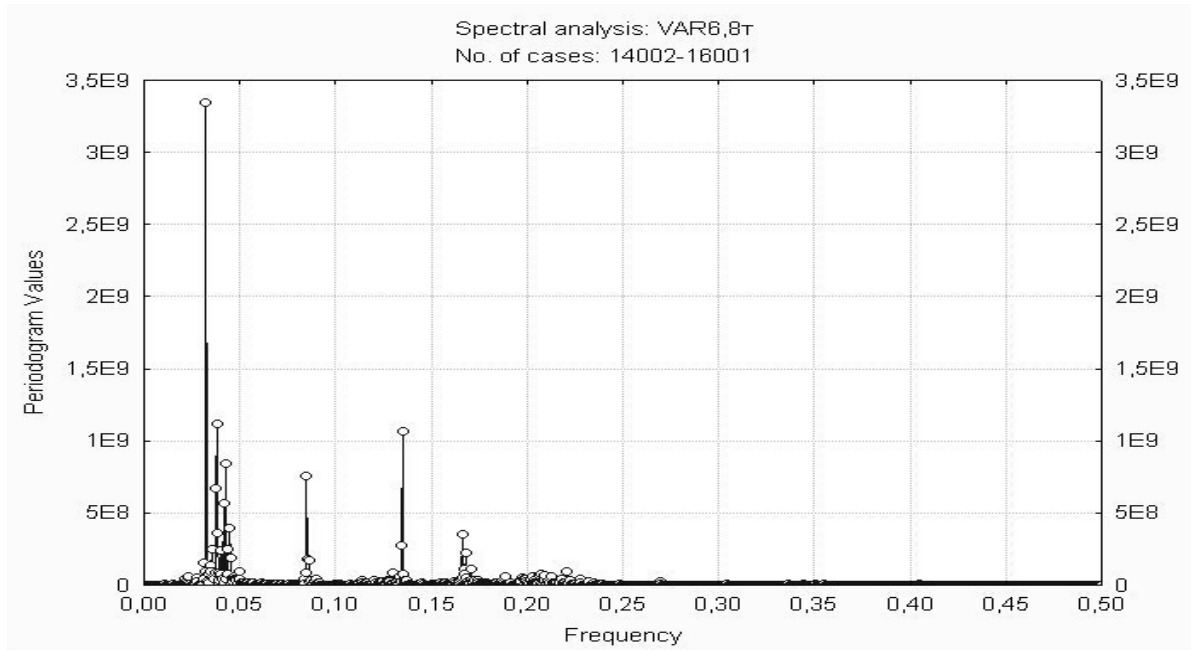


Рисунок 4. Типичная спектрограмма временного ряда с 6-го вибродатчика (нагрузка 8 тонн)

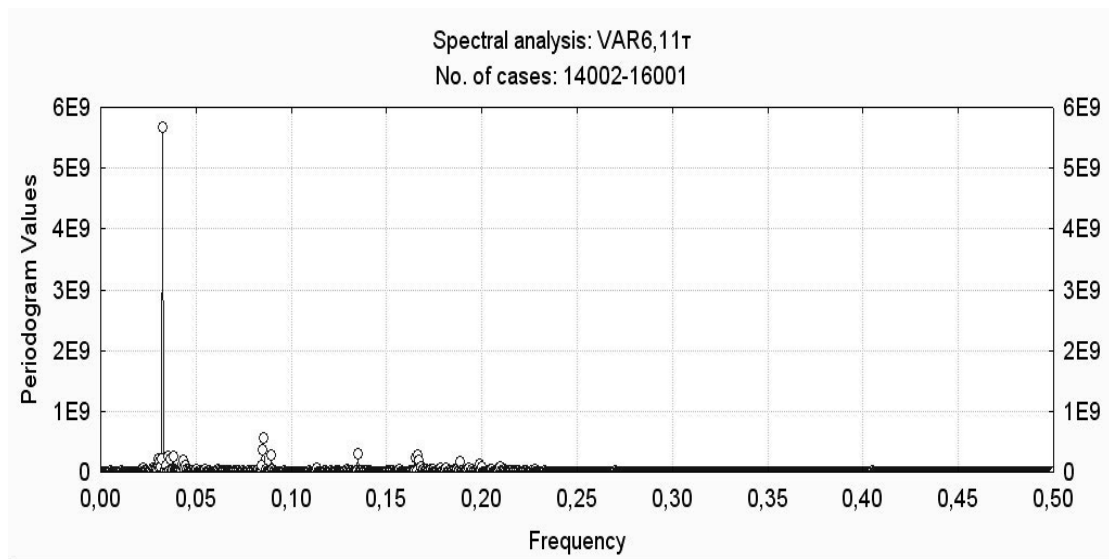


Рисунок 5. Типичная спектрограмма временного ряда с 6-го вибродатчика (нагрузка 11 тонн)

Одно из отличий спектрограммы на рисунке 4 (нагрузка 8 тонн) от спектрограммы на рисунке 5 (нагрузка 11 тонн) в том, что в интервале частот 0,1-0,15 имеется максимум, который существенно выше соответствующего максимума спектрограммы на рисунке 5 в том же интервале частот. На основании уже только этого признака робот может достоверно определить величину нагрузки на вертолет.

Распознавания других ситуаций роботом автопилотом вертолета проводится аналогичным образом, но с учетом особенностей спектрограмм уже всех шести его датчиков при различных ситуациях, которые выявляются на этапе обучения робота правильному распознаванию ситуаций и правильному принятию решений в этих ситуациях.

Выводы. Таким образом, в работе предложена методика, по которой робот после предварительного обучения может анализировать с помощью спектрального анализа экспериментальные данные, получаемые им со своих датчиков, и в результате этого анализа распознать ситуацию, в которой он оказался, а затем принять правильное решение, соответствующее данной ситуации.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кук Ю.В., Лаврикова Е.И. Интеллектуальные системы распознавания состояний динамических объектов с нестационарными характеристиками // Искусственный интеллект. – Донецк: НАНУ, Институт проблем искусственного интеллекта. – 2006. – № 4. – С. 763-773.

Кук Ю.В. ПІДТРИМКА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИМ ТРАНСПОРТНИМ РОБОТОМ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ СПЕКТРОГРАМ ОТРИМУВАНИХ НИМ СИГНАЛІВ

У статті розглядається метод подальшого підвищення рівня інтелекту транспортних роботів у процедурі прийняття ним рішень у різних ситуаціях. Запропонована методика, за якою робот після попереднього навчання може аналізувати за допомогою спектрального аналізу експериментальні дані, що отримуються ним зі своїх датчиків, і в результаті цього аналізу розпізнати ситуацію, в якій він опинився, а потім ухвалити правильне рішення, відповідне даній ситуації.

Реалізація запропонованого методу дозволить у ряді випадків здійснювати операції ухвалення роботом адекватних рішень зі швидкістю вищою, ніж це робить людина.

Ключові слова: інтелектуальні транспортні роботи, вібродатчики, спектрограма вібрації.

Kuk Yu.V. A SUPPORT OF DECISION-MAKING BY INTELLIGENT TRANSPORT ROBOT ON THE BASIS OF ANALYSIS OF SPECTROGRAMS OF SIGNALS RECEIVED BY IT

A method of further increase of intellect level of transport robots in the procedure of their decision-making in different situations is considered in the paper. A technique is proposed according to which a robot after some preliminary training may analyze by means of spectral analysis the experimental data, received by it from its sensors, and as a result of this analysis to recognize the situation in which it found itself and then to take a proper decision corresponding to this particular situation.

A realization of the proposed method will allow, in a number of cases, carry out operations of adequate decision-making by robot at the rate higher than it is done by man.

Key words: intellectual transport operations, vibration transducers, spectrogram of vibrations.

КЛЕТОЧНЫЕ АВТОМАТЫ В МОДЕЛИРОВАНИИ РАБОТЫ ПЕРЕКРЕСТКА

Петровский А.В.,

*Харьковский национальный автомобильный государственный университет,
Херсонский филиал,*

Голощанов С.С.,

Херсонский национальный технический университет

Разработана формализованная схема работы клеточных автоматов для перекрестка. Применен вектор направления, позволяющий учесть возможные состояния с учетом всех разрешенных направлений движения транспортных потоков, использующих одну и ту же позицию.

Ключевые слова: клеточные автоматы, транспортные системы, управление движением на перекрестке.

Введение. Методы современных информационных технологий находят все большее применение в различных сферах деятельности человека. При этом использование их для изучения сложных динамических систем позволяет с новой точки зрения рассматривать функционирование моделируемых систем. Клеточные автоматы, как одно из направлений развития информационных технологий, нашли устойчивое (и все более важное) применение в качестве концептуальных и практических моделей пространственно распределенных динамических систем, для которых физические системы являются первыми прототипами. Имитаторы клеточных автоматов, способные обновлять состояния миллионов клеток за предельно короткое время, становятся незаменимыми инструментами. Предельно простые модели обычных дифференциальных уравнений физики, такие как уравнение теплопроводности, волновое уравнение и уравнение Навье-Стокса, могут мыслиться как предельные случаи исключительно простых процессов комбинаторной динамики (в частности, клеточные автоматы были созданы для того, чтобы дать точные модели динамики жидкостей) [1].

Актуальность исследований. Транспортная система является одной из стратегических отраслей любого государства, поэтому оптимальное управление ею в целом или отдельными ее элементами представляет интерес для информационных технологий как объект моделирования в тех случаях, когда традиционные математические схемы не дают адекватного результата. Использование различных газодинамических или гидродинамических моделей для описания транспортных потоков не всегда позволяет учесть конфигурацию перекрестков или при этом значительно повышает требования к вычислительным ресурсам [2-5]. Применение адекватных прогностических моделей для динамического управления таким элементом транспортной системы, как организация дорожного движения, позволяет при растущей интенсивности транспортного потока, получить решение, альтернативное расширению дорожной сети городов.

Постановка задачі. Необхідно розробити моделі кліткових автоматів для моделювання організації руху на перехрестку (рис. 1), згідно заданому набору умов проїзду перехрестка (знаки пріоритету, розрешені напрямки руху [6, 7]).

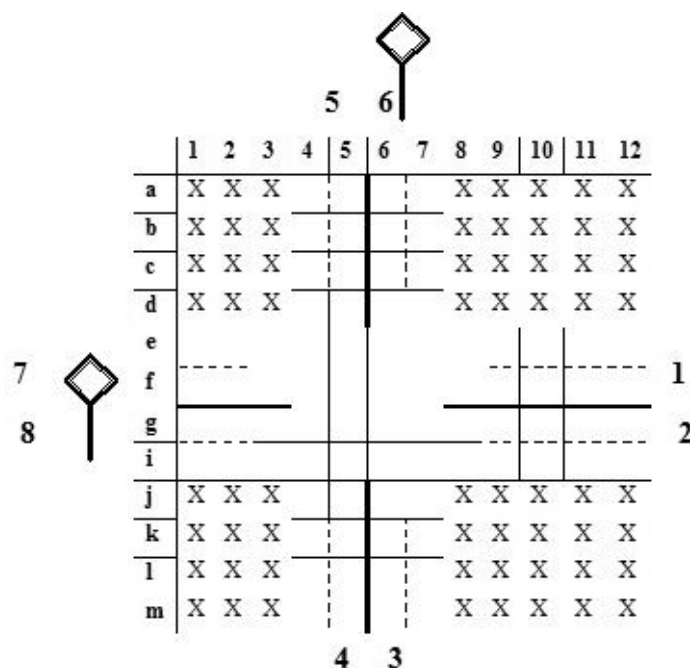


Рисунок 1. Схема перехрестка

Результати досліджень. В роботах [8, 9] вивчені одномерні автомати. В роботі [9] використовується можливість розрахунок майбутніх станів клітки на основі поточних станів кліток, розташованих за межами околиць даної клітки. В роботі [8] розроблена модель для прямолинійного руху транспортного потоку, оскільки в кожен момент часу (такт) використовується лише одна координата, в той час як моделювання транспортного потоку, зокрема на перехрестках, повинно включати також другу координату для точної ідентифікації транспортного засобу в загальному потоку. Тому пропонується в правила поведінки двовимірних кліткових автоматів, що описують поведінку елементів транспортного потоку в межах перехрестка, включити вектор напрямку для урахування взаємних перебудов або поворотів/розворотів.

Таким чином, формалізована запис кліткового автомата, що реалізує рух транспортних потоків на перехрестку:

$$A = \langle T, R, Z, N, J \rangle,$$

де T – координати автомата на площині;

R – множина правил зміни свого стану або збереження попереднього для кожної клітки автомата в залежності від її місцезнаходження;

Z – множина станів клітки, що складається з двох елементів 0 і 1;

N – множество разрешенных направлений движения на подъезде к перекрестку и на самом перекрестке (прямо, перестроение, поворот налево, поворот направо, разворот).

J – множество тактов времени.

Пусть каждая клетка представляет собой динамический размер среднестатистического легкового автомобиля (грузовой транспорт и крупный пассажирский транспорт могут быть приведены к данному типу транспорта с помощью коэффициентов приведения, при этом поведение усложняется, поскольку необходимо рассматривать локальные группы клеток в целом).

Клетки, использование которых возможно другими направлениями, должны иметь функцию определения состояния для общего случая, т.е. с учетом всех возможных разрешенных направлений. Например, для некоторых позиций состояния следующего такта могут быть определены следующими правилами:

$$i'_2 = (i_2 \wedge i_3) \vee (i_1 \overrightarrow{\rightarrow} i_2) \vee (g_1 \wedge (N = \text{перестроение}) \overrightarrow{\rightarrow} i_1) \quad (1)$$

$$i'_3 = (i_2 \overrightarrow{\rightarrow} i_3) \vee [((N = \text{прямо}_{8 \rightarrow 2}) \wedge i_4) \wedge (i_4 \wedge i_3)] \vee [(N = \text{поворот}_{8 \rightarrow 2}) \wedge (j_4 \wedge i_3)] \quad (2)$$

$$i'_4 = [((i_3 \overrightarrow{\rightarrow} i_4) \vee (i_5 \wedge i_4)) \wedge (N = \text{прямо}_{8 \rightarrow 2})] \vee [((g_4 \overrightarrow{\rightarrow} i_4) \vee (j_4 \wedge i_4)) \wedge (N = \text{прямо}_{5 \rightarrow 4})] \quad (3)$$

$$i'_5 = [((i_4 \overrightarrow{\rightarrow} i_5) \vee (i_6 \wedge i_5)) \wedge (N = \text{прямо}_{8 \rightarrow 2})] \vee [((g_5 \overrightarrow{\rightarrow} i_5) \vee (j_5 \wedge i_5)) \wedge (N = \text{прямо}_{5 \rightarrow 4})] \vee [((g_6 \overrightarrow{\rightarrow} i_5) \vee (j_5 \wedge i_5)) \wedge (N = \text{поворот}_{1 \rightarrow 4})] \quad (4)$$

$$g'_4 = [(N = \text{прямо}_{5 \rightarrow 4}) \wedge (i_2 = 0) \wedge (f_4 = 1) \wedge (g_3 = 0)] \vee [(N = \text{поворот}_{8 \rightarrow 6}) \wedge (g_3 = 1)] \quad (5)$$

$$g'_5 = (N = \text{прямо}_{8 \rightarrow 2}) \wedge (g_4 = 1) \quad (6)$$

$$g'_6 = [(N = \text{прямо}_{8 \rightarrow 2}) \wedge (g_5 = 1)] \vee [(N = \text{прямо}_{3 \rightarrow 6}) \wedge (i_6 = 1) \wedge ((g_5 = 0) \wedge (N = \text{прямо}_{8 \rightarrow 2})) \wedge ((e_5 = 0) \wedge ((N = \text{поворот}_{5 \rightarrow 2}) \vee (N = \text{разворот}_{5 \rightarrow 6}))) \wedge ((f_8 = 0) \wedge (N = \text{прямо}_{1 \rightarrow 7}) \wedge (e_9 = 0))] \quad (7)$$

$$e'_5 = [(N = \text{прямо}_{5 \rightarrow 4}) \wedge (d_5 = 1) \wedge (i_2 = 0) \wedge (g_3 = 0)] \vee [(N = \text{поворот}_{5 \rightarrow 2}) \wedge ((g_4 = 0) \wedge (N = \text{поворот}_{8 \rightarrow 6})) \wedge ((g_5 = 0) \wedge (N = \text{прямо}_{8 \rightarrow 2}))] \vee [(N = \text{разворот}_{5 \rightarrow 6}) \wedge (g_4 = 0) \wedge (N = \text{поворот}_{5 \rightarrow 2})] \quad (8)$$

Таким образом, каждый клеточный автомат имеет свой набор правил, и эти правила тем сложнее, чем больше конфликтных направлений, определенных входным набором правил проезда перекрестка, может использовать данную клетку.

Также, в случае использования дороги, не дающей приоритета при движении в заданном направлении, необходимо учесть при расчете нового состояния не только состояния близлежащих клеток (окрестность данной клетки), но и просчитать на несколько ходов (тактов) вперед состояния для лежащих на пути клеток (их количество определяется конфигурацией перекрестка). Такое отступление от общих правил задания алгоритма поведения клеточных автоматов, когда используются состояния восьми клеток – окрестности данной клетки для двумерных автоматов, позволяет исключить при моделировании возникновение заторов на самом перекрестке. Например, транспортное средство, находясь на главной дороге, не может выехать на перекресток и перекрыть движение транспортным средствам конфликтных направлений, если за пределами перекрестка в направлении его движения затор.

Клеточные автоматы можно реализовать разными способами. В данной работе применен такой подход.

1. Вводятся два массива для хранения состояний клеток: первый из них содержит текущее состояние каждой клетки, второй предназначен для хранения нового ее состояния.

2. Определяется функция переходов клетки решетки. Для выявления следующего ее состояния в качестве параметров в функцию переходов передаются текущие значения состояний клеток окрестности и, где необходимо, состояния зависимых клеток, и состояния ее самой. Эта функция задается в виде булевой формулы. Однако она не является одинаковой для всех клеток, поскольку для учета прав приоритета следующее состояние одной и той же клетки может быть не одинаковым при учете направления движения.

3. На нулевом шаге решетка (первый массив) заполняется начальными данными, что полностью определяет поведение системы для выбранных решетки и функции переходов клетки. Первоначальное распределение состояний конечных автоматов (клеток) равных 1, осуществляется в ограниченном конфигурацией перекрестка множестве клеток $W \in A$. В данном примере $W = (a_4, a_5, g_1, i_1, m_6, m_7, e_{12}, f_{12})$.

Запись состояний $\forall w \in W$ осуществляется с учетом интенсивности транспортного потока данного направления. В случае равнозначных дорог – распределение $Z_w = 1$ равновероятно, в противном случае вероятность распределения состояний $Z_w = 1$ предлагается пропорционально количеству полос в каждом направлении.

4. Для вычисления новых состояний вводится цикл. На каждой итерации для любой клетки, используя в качестве переменных элементы первого массива, определяется ее новое состояние, помещаемое во второй

массив. Значения аргументов функции переходов берутся из первого массива.

5. По завершении итерации значения из всех элементов второго массива переносятся в первый, что обеспечивает синхронное изменение значений состояний всех клеток решетки.

6. Визуализируется содержимое решетки. Последовательный переход от одной итерации к другой позволяет наблюдать динамику системы.

Выводы. Разработана формализованная схема работы клеточных автоматов для перекрестка. Применение вектора направления позволяет учесть возможные состояния с учетом всех разрешенных направлений движения транспортных потоков, использующих одну и ту же клетку. Рассмотрены ситуации, когда состояние клетки зависит не только от состояний клеток окрестности. В работе приведены примеры клеточных автоматов, частично реализующих схему проезда перекрестка.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тоффоли Т. Машины клеточных автоматов / Тоффоли Т., Марголус Н.; пер. с англ. – М.: Мир, 1991. – 280 с.

2. Хейт Ф. Математическая теория транспортных потоков. – М.: Мир, 1966. – 286 с.

3. Рейцен Е.А. Моделирование транспортных потоков в городах [Электронный ресурс]. – “Безопасность дорожного движения”. – №1(6), 2000. – Режим доступа:

<http://asud.narod.ru/ALLPROBLEM/modelir.htm>

4. Гасников А.В. Введение в математическое моделирование транспортных потоков [Электронный ресурс] : курс лекций МФТИ. – Режим доступа:

<http://fupm.fizteh.ru/studyandscience/prog/selcourse/transppotok.html>

5. Рыжков И.П. Моделирование транспортных потоков в городах при сетевых взаимодействиях [Электронный ресурс] : монография. – М., 2004. – 130 с. – Режим доступа:

<http://www.lib.ua-ru.net/diss/cont/59803.html>

6. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения. – М.: Транспорт, 1990. – 256 с.

7. Клинковштейн Г.И., Афанасьев М.Б. Организация дорожного движения: учеб. для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М: Транспорт, 2001 – 247 с.

8. Абрамова Л.С. Моделирование заторовых ситуаций по улично-дорожной сети [Электронный ресурс] // Вестник ХНАДУ, 2009. – Режим доступа:

http://www.nbuu.gov.ua/portal/natural/AvTr/texts/2009_25/pdf/Abramova_Shirin.pdf

9. Захарчук И.И. О сложности универсальных одномерных автоматов. СП.: Дискретный анализ и исследования операций. Т9 [Электронный ресурс]. – 2002. – Режим доступа:

http://www.mathnet.ru/php/archive.phtml?wshow=paper&jrnid=da&paperid=185&option_lang=rus

Петровський А.В., Голощанов С.С. КЛІТИННІ АВТОМАТИ У МОДЕЛЮВАННІ РОБОТИ ПЕРЕХРЕСТЯ

Розроблено формалізовану схему роботи клітинних автоматів для перехрестя. Застосування вектора напрямку дозволяє врахувати можливий стан із обліком усіх дозволених напрямків руху транспортних потоків, що використовують ту саму позицію.

Ключові слова: клітинні автомати, транспортні системи, управління рухом на перехресті.

Petrovskiy A.V., Goloschapov S.S. CELLULAR AUTOMATIC MACHINES IN MODELLING OF WORK OF THE CROSSROADS

The formalized scheme of work of cellular automatic machines is developed for a crossroads. The direction vector is applied, permitting to consider possible conditions taking into account all allowed directions of movement for the transport streams using the same position.

Key words: cellular automatic machines, transport systems, movement control on the crossroads.

АНАЛИЗ КРИТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ И ВЫРАБОТКА УПРАВЛЕНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ПРЕДЕЛЬНЫХ ОБОБЩЕНИЙ

Прокопчук Ю.А., Токарева Е.М.,

*Институт технической механики НАНУ и НКАУ, г. Киев,
Украинский государственный химико-технологический университет*

В статье рассматривается применение метода предельных обобщений для решения проблем, возникающих в процессе управления сложными подвижными системами (СПС) при возникновении различных, в том числе заранее не прогнозируемых критических или нештатных ситуаций.

Метод предельных обобщений, модель многоуровневых набросков образов, модель базы знаний, эмпирический оператор эволюции, информационное множество, множество обобщения создают необходимую методологическую основу для управления СПС в критических и нештатных ситуациях.

Ключевые слова: метод предельных обобщений, критическая ситуация, модель базы знаний.

Введение. В процессе управления сложными подвижными системами (СПС) достаточно часто возникают различные, в том числе заранее не прогнозируемые критические или нештатные ситуации. Примеры таких ситуаций: угроза поражения от внешних причин (механических, радиофизических, биологических и т.д.), угроза столкновения, угроза обнаружения, отказ или нештатная работа оборудования, угрожающее нарастание колебаний конструкции (например, разгонного блока КА), предельно высокие возмущения, критичная нехватка энергии для выполнения намеченной программы исследований, неконтролируемое поведение СПС [1-9].

Под критическими ситуациями (КС) будем понимать ситуации, малое изменение которых может качественно изменить состояние системы, процесса или проблемы в целом. Другими словами, КС являются окрестностями точек бифуркации процессов развития ситуаций действительности, связанных с СПС. Особенностью КС является острая нехватка ресурсов и, прежде всего, времени на принятие решений. Практика управления СПС показывает, что в ряде случаев только своевременная выдача команд немедленного исполнения (например, в сеансах связи с СПС) позволяет предотвратить угрожающее развитие критических ситуаций [1-3]. При этом следует отметить отсутствие общего методологического подхода к решению этой проблемы.

В работе показывается, как на основе метода предельных обобщений можно значительно облегчить решение указанной проблемы.

Суть метода предельных обобщений (МПО) [6-7]. В рамках данного метода предполагается, что произвольная ситуация действительности, включая критическую ситуацию, может быть описана с помощью конечного

множества элементарных тестов (тест = значение) $\{\tau/T\}$. Значения тестов τ выбираются из доменов T разного уровня общности. Домены одного теста образуют конфигурактор (ориентированный граф доменов).

Различные комбинации доменов для всех тестов определяют различные уровни общности описания ситуаций действительности. Все множество описаний для конкретной целевой задачи (связанной с диагностикой, прогнозированием, управлением) и заданной выборке примеров ситуаций действительности Ω распадается на три подмножества: критических, докритических и закритических описаний.

Критические описания являются наиболее ценными, так как обеспечивают единственность решения целевой задачи на заданной выборке ситуаций действительности Ω и обладают при этом предельными свойствами: их нельзя обобщить ни по одному тесту в рамках заданных конфигуракторов без нарушения единственности решения целевой задачи. Докритические описания также обеспечивают единственность решения на Ω , но допускают подобное обобщение. Закритические описания нарушают единственность решения целевой задачи. Для критических описаний предпринимается попытка построения истинных минимальных избыточных моделей знаний (множества закономерностей), т.е. таких моделей, которые верны для любых ситуаций действительности, связанных с СПС (инвариантных моделей).

Решение целевой задачи для новой ситуации (КС), для которой априорно неизвестно заключение, формулируется следующим образом: исходные данные преобразуются в формат критического описания, для которого предположительно построена (истинная) избыточная модель знаний. С использованием активной модели знаний находится решение.

Метод предельных обобщений, создавая дополнительные степени свободы (с помощью конфигуракторов тестов), позволяет находить инвариантные когнитивные структуры (модели знаний), что отвечает концепции и духу синергетики. Инвариантные структуры содержат минимальное число закономерностей, состоящих из минимального числа параметров (тестов) со значениями максимального уровня общности, которые позволяют однозначно решить целевую задачу.

Примеры конфигуракторов:

Температура блока химических батарей \wedge ТБХБ {D5 # D2 {Средняя и ниже \wedge С Н; Выше среднего \wedge В} D4 # D2 {Ниже среднего \wedge Н; Средняя и выше \wedge С В} D3 {Средняя \wedge С; Ниже или выше среднего \wedge Н В} D2 {Низкая \wedge Н [0; 20]; Средняя \wedge С (20; 30]; Высокая \wedge В (30; 50]} D1 {[0; 50]}}

Ток солнечных батарей \wedge ТСБ ХЗ {

2 { Низкий \wedge Н [0; 2];

Рабочий \wedge Р (2; 5]}

1 { [0; 5]}}

Диагностика состояния бортовых систем {D2 {Норма \wedge N; Имеются признаки нештатной ситуации \wedge H B} D1 {Норма \wedge N; Авария в круге солнечных батарей \wedge H; ... \wedge B}}.

Каждый конфигуратор является, по сути, множеством эмпирических аксиом, задающих, в том числе, интерпретацию результатов теста. Множество всех конфигураторов составляют основу онтологии ПрО.

Любая КС α описывается набором элементарных тестов: $\alpha = \alpha(\{ \langle J_\tau, \underline{\tau}/T, J_t \underline{t}/A \rangle \})$, где $\underline{\tau}/T$ – значение элементарного теста τ , выбранное из домена T (домен принадлежит конфигуратору); \underline{t}/A – значение времени t , выбранное из домена A ; J – оператор оценки истинности значения теста. Конструкции $\langle \underline{\tau}/T, \underline{t}/A \rangle$ и $\langle \neg \underline{\tau}/T, \underline{t}/A \rangle$ определяют элементарные события. Примеры элементарных событий (диагностика состояния энергетической системы КА): $\langle \text{Напряжение нагрузки} / \{ \text{Низкое; ...; Высокое} \} ? \text{Низкое, } \underline{t}/A1 ? 12.45 \rangle$; $\langle \neg \text{Ток нагрузки} / \{ \text{Дежурный; Рабочий; Максимальный} \} ? \text{Дежурный, } \underline{t}/A3 ? 23.02.08 \rangle$; $\langle \text{Ток солнечных батарей} / \{ \text{Низкий; Рабочий} \} ? \text{Низкий, } \underline{t}/A2 ? [9.00; 12.00] \rangle$.

Множество КС (базу прецедентов) обозначим через $\Omega = \{ \alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n \}$. Каждая КС характеризуется определенным исходом.

Дальнейшее развитие МПО состоит в построении многоуровневых набросков образов, где под образом можно понимать значение теста $\langle \text{текст} \rangle$. В таком виде представимы любые текстовые описания, изображения, аудиосигналы и произвольные перцептивные поля [4]. Модель многоуровневых набросков образов является нелинейной математической моделью восприятия образов, описывающей скачкообразные переходы внутренней модели восприятия от одного наброска образа к другому в процессе решения целевых задач. Ряд набросков разного уровня общности для произвольного образа формируется однозначно на основе индуктивной рекуррентной схемы предельных обобщений-абстракций, которая базируется на полной системе итерирующих сжимающих отображений. Пределом обобщения являются финитные наброски, состоящие из конечного множества сингулярных течек. Финитные наброски исчезают в результате применения любого из итерирующих отображений.

Следует отметить, что существует большое множество полных систем итерирующих сжимающих отображений для образов.

Репрезентация любого образа имеет вид многослойной иерархической структуры (графа набросков, кластера набросков), отражающей, подобно кольцам дерева, этапы когнитивного формирования внутренних форм образа.

Ряд набросков образа (граф, кластер) характеризуется несколькими интегральными константами, которые используются в разных схемах сравнения образов. Одной из важнейших констант является количество слоев, другими константами являются общее количество набросков во всех слоях и общее число уникальных набросков. Для входного образа

вычисляются все или часть интегральных констант, которые сравниваются с константами образов из памяти.

Во второй схеме сравнение разных образов начинается с максимального уровня общности, т.е. с финитных набросков. Если финитные наброски сравниваемых образов совпадают, то продолжается сравнение на предпоследнем слое и так до тех пор, пока не будет получено решение. Разработана программа, иллюстрирующая данный подход.

Развитая модель восприятия формирует подсистему «внутренней имитации» (виртуального многоуровневого представления) ожидаемого входного сенсорного сигнала. В такой архитектуре обработки появляется возможность циклических (рекурсивных) процессов, обеспечивающих выбор наиболее подходящей фильтрующей маски на входной образ (изображение, акустический сигнал) или более адекватной модели для анализируемого объекта, а также вычисление дополнительных признаков для получения «интегральных оценок», которые можно поставить в соответствие с процессом «осознания» сигнала [5].

Управление в критических ситуациях. Для управления СПС в критической ситуации нужны многоконтурные, разнотемповые системы управления. Один из контуров управления должен содержать базу знаний, функционирующую на основе метода предельных обобщений. Рассмотрим кратко основные принципы функционирования такой базы знаний.

Прежде всего, каждая переменная – тест, описывающая КС, должна быть задана своим конфигуратором. Анализ Ω с помощью метода предельных обобщений позволяет сформировать оптимальные неизбыточные модели знаний максимального уровня общности, допускаемого конфигураторами тестов. Совокупность значений тестов оптимальной модели знаний при заданном исходе является параметрами порядка данного класса КС и соответствующего исхода. Модели знаний могут строиться для диагностики, прогнозирования и оптимизации управления.

В общем случае модель знаний контура управления k представима следующим образом [6-7]:

$$k = \{f / \mu : k^1 \rightarrow k^2\} \cup P_k, \quad (1)$$

где f – когнитивные отображения; μ – механизмы реализации отображений (динамические паттерны, автоматизмы, синергии); k^1 – входные данные локальной задачи (теоремы); k^2 – выходные данные локальной задачи; P_k – правила композиции схем задач.

Если $W(\{c/C\})$ – некоторое многообразие на множестве результатов тестов $\{c/C\}$, то конкретизация модели знаний представима следующим образом [7]:

$$k = \{f / \mu : \{J_b b / B\} \rightarrow \{J_a a / A\}, \text{ для } \{c/C\} \in W_f(\{c/C\}), \mu \in \{\mu\}_f\} \cup P_k, \quad (2)$$

где f/μ – отображения, реализующие те или иные математические модели (μ -методы). Отображения (1) – (2) иллюстрируют многоуровневый характер

принятия решений и, в частности, разнотемповость процесса выработки решения.

С учетом конфигураторов базу знаний по диагностике состояния энергетической системы КА можно представить в таком виде:

$$\{f / \mu_f : \{x / X\} \rightarrow d / D, \mu_f \in \{\mu\}_f\}, \quad (3)$$

где $\{x/X\}$ – данные о работе солнечных и химических батарей, датчиков положения; d/D – заключения о состоянии энергетической системы.

Основной задачей диагностики работоспособности бортовой аппаратуры СПС является установление факта наличия или отсутствия признаков нештатной работы СПС. Общая схема процесса диагностирования работоспособности бортовых систем СПС включает такие этапы [3]: имитация процесса функционирования бортовых систем СПС; сравнение параметров прогнозируемой и реальной работы СПС; выявление причин нештатной ситуации; определение нештатно работающей бортовой аппаратуры; определение неисправных элементов бортовой аппаратуры; предварительное выявление причин неисправности бортовой аппаратуры; принятие решений.

Фрагмент базы знаний, содержащий имитационные модели бортовых систем, можно определить следующим образом:

$$k_{im} = \{f / \mu_f : \{\underline{r} / R, \underline{t} / \Lambda\}, \{\underline{\tau} / T, \underline{t}' / \Lambda\} \rightarrow \{\underline{x} / X, \underline{t}'' / \Lambda\}, \mu_f \in \{\mu\}_f\} \cup P_k, \quad (4)$$

где $\{\underline{\tau} / T, \underline{t}' / \Lambda\}$ – задания программы функционирования СПС; $\{\underline{r} / R, \underline{t} / \Lambda\}$ – управляющие воздействия; $\{\underline{x} / X, \underline{t}'' / \Lambda\}$ – телеметрические параметры. Конкретные расчетные схемы имитационных моделей содержатся в механизмах $\mu_f \in \{\mu\}_f$.

Обозначим через $U(\{\underline{c} / C\})$ – окрестность множества $\{\underline{c} / C\}$. Тот факт, что некоторая ситуация α удовлетворяет условиям $U(\{\underline{c} / C\})$, будем записывать следующим образом: $\alpha \nabla U(\{\underline{c} / C\})$. Эмпирический оператор эволюции $\phi()$ произвольной ситуации действительности определяет значения заданных тестов $\{a / A\}$ в момент времени \underline{t} / Λ , используя для этого базу прецедентов Ω :

$$\phi^{\underline{t} / \Lambda}(\{a / A\} / U(\{\underline{c} / C\})) = \cup_{\alpha \in \Omega} \{f / \mu : \underline{t} / \Lambda, \{\underline{J}_\tau \underline{\tau} / T, \underline{J}_t \underline{t}' / \Lambda\} \}_\alpha \rightarrow \{J_a a / A\}_\alpha \mid \alpha \nabla U(\{\underline{c} / C\}),$$

где $f / \mu \in k_c$; $\underline{t}' / \Lambda = \underline{t} / \Lambda$ или $\underline{t}' / \Lambda \in [0, \underline{t} / \Lambda]$ или $\underline{t}' / \Lambda \leq \underline{t} / \Lambda$ (выбор варианта зависит от $\{a / A\}$). Результат представляет собой мультимножество. Отметим, что множество прецедентов Ω может содержать как реальные, так и модельные ситуации. Начальные значения и параметры подобия разных ситуаций действительности, включая параметры подобия, содержатся во множестве $U(\{\underline{c} / C\})$.

Заключение. Метод предельных обобщений, модель многоуровневых набросков образов, модель базы знаний, эмпирический оператор эволюции, информационное множество, множество обобщения [9] создают

необходимую методологическую основу для управления СПС в критических и нестандартных ситуациях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оптимизация диагностики космического разгонного блока / [Филин В.М., Пчелинцев Л.А., Денчик В.Н. и др.]. – М.: УРСС, 2004. – 184 с.
2. Тарасов В.А. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений: теория, синтез, эффективность / Тарасов В.А., Герасимов Б.М., Левин И.А., Корнейчук В.А. – К.: МАКИС, 2007. – 336 с.
3. Соколов Н.Л. Принятие решений по управлению автоматическими КА в условиях нестандартных ситуаций // Успехи современного естествознания. – 2007. – № 7. – С. 33–39.
4. Zadeh L.A. Toward a Theory of Fuzzy Information Granulation and Its Centrality in Human Reasoning and Fuzzy Logic. Fuzzy Sets and Systems. – 1997. – Vol. 90. – P. 111-127.
5. Яхно В.Г. Базовые модели для описания процессов распознавания и осознания сенсорных сигналов: тезисы докладов Всероссийской конференции [«Нелинейная динамика в когнитивных исследованиях»], (г. Нижний Новгород, 13-15 мая 2009 г.). – Нижний Новгород: ИПФ РАН, 2009. – С. 196-198.
6. Прокопчук Ю.А. Метод предельных обобщений для решения слабо формализованных задач // Управляющие системы и машины. – 2009. – № 1. – С. 31-39.
7. Прокопчук Ю.А. Интеллектуальное синергетическое управление динамическими системами // Искусственный интеллект. – 2009. – № 4. – С. 12-21.
8. Прокопчук Ю.А. Организация движения шагающего аппарата по заданным следовым точкам : автореферат диссертации на присвоение научн. степени кандидата физ.-мат. наук : спец. 01.02.01. – М.: МГУ, 1987. – 27 с.
9. Прокопчук Ю.А., Дубовик Т.Н. Информационные множества и множества обобщения для произвольных ситуаций действительности: материалы Всеукраинской научно-практической конференции [«Системный анализ. Информатика. Управление»], (Запорожье, 4-5 марта 2010 года). – Запорожье: КПУ, 2010. – С. 162-164.

Прокопчук Ю.О., Токарева О.М. АНАЛІЗ КРИТИЧНИХ СИТУАЦІЙ І ПІДГОТОВКА УПРАВЛІНЬ НА ОСНОВІ МЕТОДУ ГРАНИЧНИХ УЗАГАЛЬНЕНЬ

У статті розглядається застосування методу граничних узагальнень для вирішення проблем, що виникають у процесі управління складними рухомими системами (СРС) при виникненні різних, зокрема заздалегідь не запрогнозованих критичних або позаштатних ситуацій.

Метод граничних узагальнень, модель багаторівневих нарисів образів, модель бази знань, емпіричний оператор еволюції, інформаційна множина, множина

узагальнень створюють необхідну методологічну основу для управління СРС у критичних і позаштатних ситуаціях.

Ключові слова: метод граничних узагальнень, критична ситуація, модель бази знань.

Prokopchuk Yu.A., Tokareva E.M. ANALYSIS OF CRITICAL SITUATIONS AND WORKING OUT A MANAGEMENT ON THE BASIS OF METHOD OF BOUNDARY GENERALIZATIONS

Application of method of boundary generalizations is considered in the paper in order to solve problems arising in the process of control of complex moving systems (CMS) in case of different unforeseen critical or extraordinary situations.

Method of boundary generalizations, a model of multi-level sketches, a model of fundamentals of knowledge, empiric operator of evolution, information multitude, a set of generalizations create a necessary methodological basis for CMS control in case of critical and extraordinary situations.

Key words: method of boundary generalizations, critical situation, knowledge base.

КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИИ О ГРАНИЦЕ ОБЛАСТИ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

Саушев А.В., Шошмин В.А.,

Санкт-Петербургский государственный университет водных коммуникаций

Рассматривается метод контроля состояния электротехнических систем транспортных средств, основанный на информации о границе области работоспособности. Метод обеспечивает высокую достоверность контроля и позволяет решать задачу оценки состояния системы и задачу определения запаса ее работоспособности.

Ключевые слова: электротехнические системы, электротехнические устройства, контроль работоспособности, запас работоспособности.

Введение. Основу повышения эффективности процесса эксплуатации электротехнических систем (ЭТС) транспортных средств составляет переход к проведению технического обслуживания и ремонтов по фактическому уровню их технического состояния. Для определения уровня технического состояния ЭТС в различные моменты времени используют методы диагностирования. В докладе рассматривается метод определения состояния электротехнических транспортных систем, основу которого составляет информация о границе области работоспособности. При этом обеспечивается высокая точность идентификации состояния системы и решается задача определения ее запаса работоспособности.

Актуальность исследований. Возрастающая сложность ЭТС, изменчивые условия эксплуатации транспортных средств обуславливают необходимость регулярного контроля и прогнозирования состояния этих систем. Особую актуальность при этом приобретает разработка методов и технических средств, обеспечивающие высокую достоверность полученных результатов, которая в значительной степени определяется точностью аппроксимации области работоспособности системы. В докладе рассматривается один из возможных подходов к решению задачи, предполагающий высокоточное задание области работоспособности на основе использования логических R-функций.

Постановка задачи. Под ЭТС будем понимать упорядоченную совокупность взаимосвязанных и взаимодействующих электротехнических устройств (ЭТУ), образующих единое функциональное целое, предназначенное для решения определенной задачи. Любое ЭТУ с системных позиций также состоит из совокупности связанных между собой элементов. Отдельные элементы – это части или компоненты ЭТУ, предназначенные для выполнения определенных функций и не подлежащие дальнейшему разбиению на части. К таким элементам можно отнести резисторы, конденсаторы, индуктивности, микросхемы и т.п. Такими

елементами могут быть усилители, преобразователи, фильтры, корректирующие устройства, которые, в свою очередь, являются элементами ЭТС.

Состояние ЭТС в любой фиксированный момент времени характеризуется некоторым набором или вектором параметров. К их числу относятся: *входные параметры* $\mathbf{u} = (u_1, u_2, \dots, u_k, \dots, u_e)$, характеризующие задающие воздействия $\mathbf{u}(t)$ и наблюдаемые на входах ЭТС; *параметры внешних условий* $\mathbf{v} = (v_1, v_2, \dots, v_p, \dots, v_f)$, характеризующие возмущающие воздействия $\mathbf{v}(t)$; *внутренние параметры* $\mathbf{X} = (X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_N)$, характеризующие состояние комплектующих элементов ЭТС и называемые *первичными параметрами* (величины сопротивлений, индуктивностей, емкостей, коэффициенты усиления, постоянные времени); *внутренние параметры* $\mathbf{u}^v = (u_1^v, u_2^v, \dots, u_k^v, \dots, u_e^v)$, $\mathbf{Z}^v = (Z_1^v, Z_2^v, \dots, Z_g^v, \dots, Z_c^v)$, характеризующие соответственно сигналы на входах и выходах ЭТУ, входящих как элементы $v = \overline{1, h}$, h – число элементов, в состав системы; *выходные (внешние) параметры* $\mathbf{Y} = (Y_1, Y_2, \dots, Y_j, \dots, Y_m)$, характеризующие различные функциональные зависимости фазовых переменных $\mathbf{Z} = (Z_1, Z_2, \dots, Z_g, \dots, Z_c)$ на выходах ЭТС от времени или частоты. Эти параметры являются показателями качества, которые характеризуют правильность функционирования ЭТС. Достаточно часто выходные параметры являются характеристиками ее выходных сигналов $\mathbf{Z}(t)$ и в этом случае $\mathbf{Y} \equiv \mathbf{Z}$.

Под внешними условиями работоспособности будем понимать условия, выполнение которых необходимо для того, чтобы ЭТС функционировала с требуемыми показателями качества. Эти условия определяются заданными соотношениями между выходными параметрами системы \mathbf{Y} и техническими требованиями к этим параметрам, устанавливаемыми при составлении технического задания.

Под внутренними условиями работоспособности будем понимать условия, при которых ЭТУ, как элементы ЭТС, способны выполнять возложенные на них функции, сохраняя при этом работоспособное состояние. Эти условия устанавливаются при проектировании на стадии технического задания и определяются заданными соотношениями между внутренними параметрами \mathbf{Z}^v и их допустимыми значениями, а также между первичными параметрами системы \mathbf{X} и их предельными значениями.

Условия работоспособности могут быть односторонними и двухсторонними и для второго более общего случая записываются следующим образом:

$$\begin{aligned} Y_{j_{\min}} &\leq Y_j = F_j(\mathbf{X}) \leq Y_{j_{\max}}, \quad j = \overline{1, m} \\ Z_{j_{\min}}^v &\leq Z_j^v = F_j^v(\mathbf{X}) \leq Z_{j_{\max}}^v, \quad v = \overline{1, h} \\ X_{i_{\min}} &\leq X_i \leq X_{i_{\max}}, \quad i = \overline{1, n}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $Y_{j \max}$ ($Z_{j \max}^v$), $Y_{j \min}$ ($Z_{j \min}^v$), Y_j (Z_j^v) – соответственно максимально допустимое, минимально допустимое и текущее значение j -го выходного (внутреннего) параметра.

Первое неравенство в системе неравенств (1) является внешним условием работоспособности и определяет допусковую область $\mathbf{D}_Y = \bigcap_{j=1}^m D_j$ пространства выходных параметров, которая имеет вид m -мерного гиперпараллелепипеда (бруса) евклидова пространства R^m . Каждой допусковой области D_j значений выходных параметров соответствует допусковая область M_j значений первичных параметров. Это соответствие может быть записано в виде отображения $\Phi_{YX} : \mathbf{D}_Y \rightarrow \mathbf{M}_Y$ множества \mathbf{D}_Y в множество \mathbf{M}_Y . При этом каждое неравенство $(F_j(\mathbf{X}) - Y_{j \min}) \cdot (Y_{j \max} - F_j(\mathbf{X})) \geq 0, j = \overline{1, m}$ в n -мерном евклидовом пространстве R^n первичных параметров \mathbf{X} определяет область M_j . Здесь $F(\mathbf{X})$ – оператор связи первичных и выходных параметров ЭТС в неравенствах (1).

Второе неравенство – является внутренним условием работоспособности и определяет допусковые области $D_Z^v = \bigcap_{j=1}^m D_j, v = \overline{1, h}$ пространства внутренних параметров \mathbf{Z}^v , которые по виду соответствуют области \mathbf{D}_Y . Каждой области D_Z^v , согласно отображению $\Phi_{ZX} : D_Z^v \rightarrow M_Z^v$, в пространстве R^n соответствует область M_Z^v , объединение которых определяет допусковую область $\mathbf{M}_Z = \bigcap_{v=1}^s M_Z^v, v = \overline{1, h}$.

Третье неравенство – является внутренним условием работоспособности и определяет допусковую область $\mathbf{D}_X = \{ \mathbf{X} \in R^n | X_{i \min} \leq X_i \leq X_{i \max}, i = \overline{1, n} \}$, имеющую форму бруса.

Множество $\mathbf{G} = \mathbf{D}_X \cap \mathbf{M}_Z \cap \mathbf{M}_Y$, являющееся пересечением областей \mathbf{D}_X , \mathbf{M}_Z и \mathbf{M}_Y будем называть *областью работоспособности*. Эта область определяет множество допустимых значений первичных параметров, при которых выполняются все требования, предъявляемые к выходным и внутренним \mathbf{Z}^v параметрам системы.

Задача диагностирования технического состояния ЭТС заключается в распознавании принадлежности вектора $\mathbf{Y}(t)$ области \mathbf{D} или вектора $\mathbf{X}(t)$, области \mathbf{G} , а также в определении запаса работоспособности системы в случае, если $Y(t) \in \mathbf{D}$.

Под *запасом работоспособности* λ понимается степень приближения вектора фактического состояния ЭТС к его предельно допустимому значению: $\lambda = l_t / l_0$. Здесь l_t – наикратчайшее расстояние в евклидовом n -мерном пространстве параметров \mathbf{X} между текущим состоянием вектора $\mathbf{X}(t)$

и границей области \mathbf{G} ; l_0 – аналогично l_t , но для момента времени $t = t_0$, что соответствует начальному моменту эксплуатации ЭТС.

Трудность решения задачи контроля обусловлена необходимостью построения границы области \mathbf{G} , которая может иметь весьма сложную конфигурацию, и необходимостью вычисления величин l_t и l_0 . Кроме того, для определения вектора $\mathbf{X}(t) = \{X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t)\}$ требуется контролировать все n параметров \mathbf{X} , что при большой размерности пространства R^n практически неудобно и весьма проблематично.

Для упрощения задачи распознавания область \mathbf{G} обычно аппроксимируют вписанным или описанным бруском наибольшего объема. Тем самым допустимые пределы изменения на параметры \mathbf{X} устанавливаются независимо друг от друга.

Анализ показал [1], что для ЭТС транспортных средств такой подход приводит к большой методической погрешности, которая нелинейно возрастает в функции числа контролируемых параметров \mathbf{X} . Кроме того, для односвязных областей работоспособности известные методы не имеют однозначного решения. Ставится задача разработки метода контроля ЭТС, обеспечивающего его простоту и высокую достоверность.

Результаты исследований. Для решения задачи установим связь между первичными \mathbf{X} и контролируемыми (измеряемыми) параметрами \mathbf{Z} . Сущность предлагаемого подхода сводится к следующему. Известно, что любую динамическую систему с заданной погрешностью можно аппроксимировать системой второго порядка и решить задачу ее идентификации, используя переходную характеристику $h(t)$ или частотную передаточную функцию $W(j\omega)$. При этом, между параметрами \mathbf{X} и \mathbf{Z} существует соответствие $\mathbf{Z} = \psi(\mathbf{X})$ и области \mathbf{G} в пространстве R^h параметров \mathbf{Z} соответствует допусковая область \mathbf{F} .

В процессе параметрического синтеза при использовании для поиска номинальных значений внутренних параметров метода сужающихся областей [2], область \mathbf{G} разбивается на подобласти G_i , каждая из которых определяет запас работоспособности λ_i . На основании отображения $\Phi_Z : \mathbf{G} \rightarrow \mathbf{F}$ в пространстве параметров \mathbf{Z} областям G_i будут соответствовать области F_i .

Для аналитического описания границы области G_i воспользуемся аппаратом логических R -функций [3]. При этом области G_i аналитически записывается в виде следующего рекуррентного соотношения:

$$G_i = (1 + g_i)^{-1} \cdot \left(f_j + f_{j-1} - \sqrt{f_j^2 + f_{j-1}^2 - 2g_i f_j f_{j-1}} \right), j = 1, 2, \dots, 2(m+n), i = 1, 2, \dots, S, \quad (2)$$

где $f_j = \rho_j(X)$ – уравнение j -ой гиперповерхности i -ой подобласти G_i , которое, при необходимости, всегда можно получить, используя методы планирования эксперимента [4]; m и n – размерность соответственно пространства выходных и первичных параметров; S – общее число подобластей G_i ; $g_i \in [-1; 1]$ – параметр преобразования.

Для случая, когда $m = n = 2$ область работоспособности задается

уравнением

$$G = 0,5(M + P - |M - P|), \quad (3)$$

$$M = 0,5(c + d - |c - d|), \quad P = 0,5(e + f - |e - f|),$$

$$c = Y_{1\max} - Y_{1\min} - |2\rho_1(X_1, X_2) - Y_{1\max} - Y_{1\min}|; \quad d = Y_{2\max} - Y_{2\min} - |2\rho_2(X_1, X_2) - Y_{2\max} - Y_{2\min}|;$$

$$e = X_{1\max} - X_{1\min} - |2X_1 - X_{1\max} - X_{1\min}|; \quad f = X_{2\max} - X_{2\min} - |2X_2 - X_{2\max} - X_{2\min}|.$$

Получим уравнение области **F**. С этой целью для каждой поверхности границы области **G**, описываемых соответственно уравнениями c, d, e, f , сформируем совокупность N_q граничных точек, равных числу значимых коэффициентов в уравнениях $\rho_j(X_1, X_2)$. По этим точкам получим уравнения поверхностей I_1, I_2, I_3, I_4 , составляющих область **F**. При этом $X_i^{(1)} = X_i^{(0)} + (\partial f_j^{(0)}(\mathbf{X}) / \partial X_i) \Delta l_j / \text{grad} \partial f_j^{(0)}(\mathbf{X})$ [2]. Применяя преобразование (2) для описания границы области **F**, при условии, что $h=2$, окончательно получим:

$$F = I_{14} + I_{58} - |I_{14} - I_{58}| = 0,$$

$$I_{14} = 0,25(I_1 + I_2 + I_3 + I_4 - |I_1 - I_2| - |I_3 - I_4| - |I_1 + I_2 - I_3 - I_4| + |I_3 - I_4| - |I_1 - I_2|), \quad (4)$$

$$I_{58} = 0,25(I_5 + I_6 + I_7 + I_8 - |I_5 - I_6| - |I_7 - I_8| - |I_5 + I_6 - I_7 - I_8| + |I_7 - I_8| - |I_5 - I_6|).$$

Аналогичным образом определяются границы подобластей F_i . Каждой подобласти $G_i(F_i)$ соответствует свой запас работоспособности ЭТС. Так, например, для подобласти $G_1(F_1): \lambda_1 \in [0; l_1/l_0]$, для $G_2(F_2): \lambda_2 \in [l_1/l_0; l_2/l_0]$, для $G_3(F_3): \lambda_3 \in [l_2/l_0; 1]$.

Таким образом, задача оценки состояния ЭТС сводится к распознаванию в пространстве R^c параметров **Z** принадлежности вектора текущего состояния системы той или иной подобласти $F_\beta, \beta = 1, 2, \dots, S$, где S – число подобластей, для каждой из которых определен запас работоспособности λ_β .

Задача распознавания решается следующим образом. Если после подстановки полученных в результате контроля значений $Z_q, q = 1, 2, \dots, k$ в уравнение (4) окажется, что $F < 0$, следовательно, ЭТС находится в работоспособном состоянии и далее проверяется справедливость выполнения неравенств $F_\beta < 0, \beta = 1, 2, \dots, (S+1)$. Если $F_\beta \leq 0$ и $F_{\beta+1} > 0$, следовательно, вектор текущего состояния ЭТС принадлежит подобласти F_β и запас работоспособности ЭТС равен λ_β . Если $F > 0$ – система неработоспособна. В этом случае осуществляется параметрическая коррекция настраиваемых параметров и ЭТС восстанавливает работоспособность [1].

Рассмотренный подход был апробирован на примерах диагностирования судовых и береговых ЭТС.

Выводы. Для контроля состояния транспортных ЭТС, подверженных изменчивым условиям эксплуатации, необходимо использовать информацию

о границе области работоспособности системы. При этом обеспечивается высокая достоверность контроля и появляется возможность определения запаса работоспособности ЭТС. Для аналитического описания области работоспособности с низкой методической погрешностью следует использовать разработанную методику, основанную на применении логических R -функций.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Саушев А.В. Методы управления состоянием электротехнических систем. – СПб.: СПГУВК, 2004. – 126 с.
2. Саушев А.В., Шошмин В.А. Основы инженерного проектирования электротехнических устройств и систем. – СПб.: ЛИВТ, 1993. – 125 с.
3. Саушев А.В. Метод построения границы области работоспособности электротехнических объектов // Электричество. – 1990. – № 4. – С. 14-19.

Саушев О.В., Шошмін В.О. КОНТРОЛЬ СТАНУ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ НА ОСНОВІ ІНФОРМАЦІЇ ПРО МЕЖУ ОБЛАСТІ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ
Розглядається метод контролю стану електротехнічних систем транспортних засобів, заснований на інформації про межу області працездатності. Метод забезпечує високу достовірність контролю і дозволяє розв'язувати задачу оцінювання стану системи та задачу визначення запасу її працездатності.
Ключові слова: електротехнічні системи, електротехнічні прилади, контроль працездатності, запас працездатності.

Saushev A.V., Shoshmin V.A. CONTROL OF ELECTRO-TECHNICAL SYSTEMS CONDITION ON THE BASIS OF INFORMATION OF THE RANGE OF SERVICEABILITY

A quality monitoring of a condition of electro-technical systems of the vehicles, based on the information on the range of serviceability, is considered. The method provides high reliability of the control and allows solve a problem of the estimation of a condition of system and a problem of determination of its serviceability margin.
Key words: electro-technical systems, electro-technical arrangements, serviceability control, serviceability margin.

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ДИНАМИКИ ШАХТНОГО ЛОКОМОТИВА С ДИЗЕЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Таран І.А.,

Національний горний університет, г. Днепропетровск

В статье представлена разработанная методика моделирования работы дизелевоза в динамике, с учетом стохастических зависимостей коэффициента сцепления и угла наклона опорной поверхности.

Рассмотрены основные пути повышения производительности и экономичности дизель-поездов.

Ключевые слова: динамический анализ движения, дизелевоз, управление трансмиссией.

Введение. Среди задач, предусматриваемых государственной «Энергетической стратегией Украины на 2010-2020 гг.», техническое перевооружение и интенсификация угольного производства за счет внедрения новой техники упоминаются в первую очередь. Повышение производительности и надежности локомотивной откатки – одна из наиболее актуальных задач развития отрасли на протяжении многих лет. Наметилась тенденция использования распространённых во многих угледобывающих странах мира дизелевозов, которые отличаются от аккумуляторных электровозов автономностью и обладают следующими преимуществами: стабильность мощности, возможность применения в шахтах всех категорий опасности по газу, использование в выработках с завышенными уклонами рельсовых путей, невысокие капитальные затраты и эксплуатационные расходы. Данное перспективное направление определяет актуальность работ по созданию отечественных шахтных дизелевозов.

Состояние вопроса. При проведении динамического анализа движения дизелевоза необходимо учитывать ряд особенностей, которые вносят существенные отличия в аналогичные расчеты для других тягово-транспортных средств. В частности, необходимо учитывать, что дизелевоз движется по опорной поверхности со сравнительно низким коэффициентом сцепления – в условиях шахты данный коэффициент колеблется в интервале $\varphi=0,09\dots0,23$. При этом за счет сцепного веса только локомотива обеспечивается движение всего состава, масса которого на порядок выше массы самого дизелевоза. В то же время, коэффициент сопротивления движению состава сравнительно низок и составляет $f=0,005\dots0,007$, из чего можно сделать вывод, что в наименее благоприятных условиях – коэффициент сцепления равен 0,09, коэффициент сопротивления движению 0,007 – дизель-поезд способен обеспечивать равномерное движение вагонеток по горизонтальной поверхности, масса которых превосходит собственную массу дизелевоза в $0,09/0,007-1 = 12$ раз. Таким образом, дизелевоз массой 10 т способен обеспечивать равномерное движение по

горизонтальної поверхності минимум 20 вагонеток УВГ-3,3 (гружена маса – 6 т). Одночасно дане утвердження означає, що при мінімальному коефіцієнті сцеплення $\varphi = 0,09$ склад із дизелевоза і 20 вагонеток не зможе тронутися з місця навіть на строго горизонтальній поверхності. В разі трогання з місця з мінімальним коефіцієнтом сцеплення і укладом 5‰ сумарна допустима маса вагонеток m_1n суттєво зменшується:

$$mg \cdot \varphi \cdot \cos \alpha = (m + m_1n)g(f \cos \alpha + \sin \alpha); \quad (1)$$

$$m_1n = m \left(\frac{\varphi \cdot \cos \alpha}{f \cos \alpha + \sin \alpha} - 1 \right) \quad (2)$$

Для маси дизелевоза $m = 10\text{т}$; $\varphi = 0,09$; $f = 0,007$ і $\alpha = 0,286^\circ$ вираження (1) рівно 65 т, що еквівалентно $n = 10$ груженим вагонеткам УВГ-3,3. В залежності від умов руху, кількість вагонеток в складі варіюється від 8 до 12. Аналіз динаміки розгону і руху дизелевоза, обладнаного різними трансмісіями, відрізняючись принципом роботи, структурною схемою і використовуваними варіаторами, представляє собою комплексну задачу, при розв'язанні якої необхідно урахувати характеристики двигача, особливості управління елементами трансмісії, низький коефіцієнт сцеплення і високу інерційність складу.

Ціль роботи – аналіз динаміки розгону і руху дизелевоза, обладнаного різними трансмісіями, відрізняючись принципом роботи, структурною схемою і використовуваними варіаторами, представляючий собою комплексну задачу, при розв'язанні якої необхідно урахувати характеристики двигача, особливості управління елементами трансмісії, низький коефіцієнт сцеплення і високу інерційність складу.

Рух дизелевоза моделюється на опорній поверхності з змінюючимся коефіцієнтом сцеплення і кутом нахилу опорної поверхності в приведеному вище діапазоні. Коефіцієнт сцеплення і кут нахилу опорної поверхності представляють собою стохастическі функції з нормальним розподілом випадкових величин в вказаних діапазонах; в якості аргумента функції виступає горизонтальна координата дизелевоза або вагонетки. При цьому випадкові величини генеруються для опорних точок з заданим інтервалом, значення функції в проміжних точках вираховується лінійною апроксимацією функції для двох найближчих до заданої стохастических точок:

$$\varphi(S) = \varphi_i + (\varphi_{i+1} - \varphi_i) \cdot \left(\frac{S}{\Delta S_\varphi} - i \right), \quad (3)$$

де S – горизонтальна координата дизелевоза або вагонетки; ΔS_φ – довжина ділянки шляху для генерації стохастических коефіцієнтів сцеплення на

участках пути; i – целая часть отношения $S/\Delta S_\alpha$; φ_i – значение стохастической величины.

Аналогично, для угла наклона опорной поверхности:

$$\alpha(S) = \alpha_i + (\alpha_{i+1} - \alpha_i) \cdot \left(\frac{S}{\Delta S_\alpha} - i \right) \quad (4)$$

Таким образом, выражения (3) и (4) позволяют вычислить коэффициент сцепления и угол наклона опорной поверхности в каждой точке пути по моделируемой опорной поверхности.

На рисунке 1 представлена расчетная схема дизельвоза в локальной системе координат.

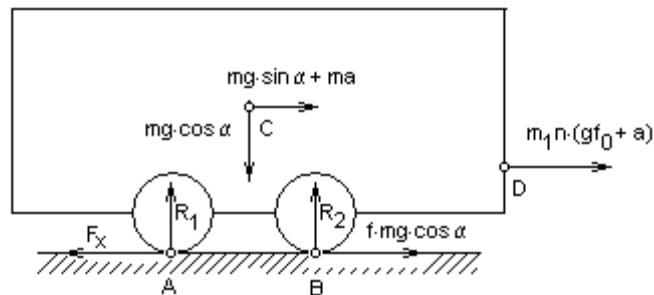


Рисунок 1. Расчетная схема для моделирования динамики дизельвоза

На расчетной схеме точки А и В – точки приложения реакций опорной поверхности R_1 и R_2 ; С – центр масс дизельвоза; D – точка приложения силы тяги дизельвоза, необходимой для движения n вагонеток. В последующих выражениях координаты точек обозначаются как $x_B, y_B, x_C, y_C, x_D, y_D$. Точка А находится в начале локальной системы координат.

Определение реакций R_1 и R_2 существенно для анализа динамики дизельвоза, в частности при разгоне, поскольку именно в режиме разгона необходима максимальная сила тяги F_x , ограниченная величиной реакций под ведущими колесами:

$$F_x \leq R_1 \varphi_1 + R_2 \varphi_2 \quad (5)$$

где: $\varphi_{1,2}$ – коэффициенты сцепления под ведущими колесами, определяемыми из (3): $\varphi_1 = \varphi(S)$; $\varphi_2 = \varphi(S + x_B)$.

При достижении максимальной скорости дизельвоз движется в основном по инерции и для поддержания скорости движения высокие средние значения (5) не требуются.

Согласно расчетной схеме на рис. 1, ускорение дизельвоза выражается следующим образом:

$$a = \frac{F_x - mg(\sin \alpha + f \cos \alpha) - m_1 n g f_0}{m \delta + m_1 n}, \quad (6)$$

где m – масса дизель-поезда; g – ускорение свободного падения; α – средний угол наклона опорной поверхности, определяемый величинами данного угла для координат двух ведущих колес из (4): $\alpha = 0,5[\alpha(S) + \alpha(S + x_B)]$; m_1 –

масса одной вагонетки; n – количество вагонеток в составе; f – коэффициент сопротивления качению ведущего колеса по рельсу; δ – коэффициент приведенных масс; f_0 – суммарный приведенный коэффициент сопротивления движению вагонеток.

Данный коэффициент зависит от угла наклона опорной поверхности под каждой из вагонеток и общего коэффициента сопротивления качению:

$$f_0 = f \sum_{i=1}^n \cos \alpha(S_i) + \sum_{i=1}^n \sin \alpha(S_i), \quad (7)$$

где S_i – координаты вагонеток.

Из выражения (7) следует, что увеличение длины состава способствует стабилизации требуемой тяговой нагрузки, поскольку с ростом n выражение (7) стремится к математическому ожиданию, равному f для симметричного равномерного распределения угла наклона опорной поверхности. Физически данное обстоятельство объясняется тем, что вагонетки, находящиеся на отрицательном угле наклона опорной поверхности, создают силу тяги, компенсирующую повышенную нагрузку для вагонеток на положительном угле наклона.

Реакции под ведущими колесами дизелевоза определяются следующим образом:

$$R_1 = \frac{mg}{x_B} \left[(x_B - x_C) \cos \alpha - y_C \left(\sin \alpha + \frac{a}{g} \right) - y_D \frac{m_1 n}{m} \cdot \left(f_0 + \frac{a}{g} \right) \right] \quad (8)$$

$$R_2 = \frac{mg}{x_B} \left[x_C \cos \alpha + y_C \left(\sin \alpha + \frac{a}{g} \right) + y_D \frac{m_1 n}{m} \cdot \left(f_0 + \frac{a}{g} \right) \right] \quad (9)$$

Из (8) следует, что высота y_D точки приложения тяговой нагрузки от вагонеток должна быть минимальной, в ином случае незначительное ускорение a способно свести реакцию под передним ведущим колесом к нулю – в результате чего дизелевоз сойдет с рельс. Поскольку в выражения для определения реакций (9) и (8) входит ускорение, определяемое из (6), куда входит сила тяги дизелевоза, ограниченная реакциями (5), то ускорение a необходимо определять, исходя из двух случаев – сила тяги F_x дизелевоза ограничена коэффициентами сцепления, или мощности двигателя недостаточно для реализации на данной скорости максимально возможной по сцеплению силы тяги. Система уравнений, записанная в матричной форме для случая ограничения по сцеплению, выводится из (10) и (6) и имеет вид (11):

$$F_x = \frac{mg}{x_B} \left((x_B \cdot \varphi_1 + \Delta\varphi \cdot x_C) \cos \alpha + y_C \left(\sin \alpha + \frac{a}{g} \right) \Delta\varphi + y_D \frac{m_1 n}{m} \cdot \left(f_0 + \frac{a}{g} \right) \Delta\varphi \right) \quad (10)$$

где $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$.

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} \frac{x_B}{mg} & -\frac{\Delta\varphi}{g} \left(y_C + y_D \frac{m_1 n}{m} \right) \\ 1 & -m\delta - m_1 n \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_x \\ a \end{bmatrix} = \\ & = \begin{bmatrix} x_B \varphi_1 \cos \alpha + \Delta\varphi \cdot \left(x_C \cos \alpha + y_C \sin \alpha + y_D \frac{m_1 n}{m} f_0 \right) \\ mg(\sin \alpha + f \cos \alpha) + m_1 n g f_0 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (11)$$

В случае ограничения силы F_x мощностью двигателя, она определяется следующим образом:

$$F_x = \frac{M(\omega_\partial) \cdot \eta_m}{r \cdot i_0}, \quad (12)$$

где $M(\omega_\partial)$ – крутящий момент двигателя при текущей угловой скорости коленчатого вала; r – радиус ведущего колеса; i_0 – общее теоретическое передаточное отношение трансмиссии; η_m – механический КПД трансмиссии. Тогда ускорение дизельвоза определяется, исходя из (6):

$$a = \frac{M(\omega_\partial) \cdot \eta_m - mg(\sin \alpha + f \cos \alpha) \cdot r \cdot i_0 - m_1 n g f_0 \cdot r \cdot i_0}{(m + m_1 n) \cdot r \cdot i_0}. \quad (13)$$

Таким образом, для определения ускорения дизельвоза необходимо методом Крамера решить систему уравнений (11), определить максимальное ускорение дизельвоза по мощности двигателя (13) и принять минимальное из двух значений. Как правило, ограничение по сцеплению возникает на этапе наращивания линейной скорости состава, ограничение по мощности двигателя (что также справедливо при выходе двигателя на регуляторную характеристику) – при достижении максимальной скорости движения. Математическая модель трансмиссии в общем случае представляет собой модель промежуточного между двигателем и ведущим колесом звена, обладающим общим теоретическим передаточным отношением i_0 , кинематическим и механическим КПД – η_k и η_m соответственно. В зависимости от условий движения, режима работы двигателя и согласно законам управления вариаторами, входящими в состав трансмиссии, параметры данного звена в процессе моделирования непрерывно изменяются. В общем случае теоретическое передаточное отношение i_0 является функцией, зависящей от параметра регулирования вариатора e и номера кинематического диапазона N . Эту величину определяют с помощью методики матричного анализа, подставив в кинематическую матричную модель трансмиссии угловую скорость двигателя $\omega_d = 210$ рад/с и решив ее без учета потерь для заданного параметра регулирования и номера кинематического диапазона. Теоретическое передаточное отношение трансмиссии тогда определяется как частное угловых скоростей ведущих колес и коленчатого вала двигателя.

Кинематический и механический КПД определяются, исходя из величины активного момента на двигателе, угловой скорости коленчатого вала двигателя, параметра регулирования вариатора и номера

кінематического диапазона. Данный подход справедлив для всех четырех типов трансмиссий, за исключением ступенчатой механической трансмиссии, в которой параметр регулирования вариатора не используется и теоретическое передаточное отношение зависит только от номера выбранной передачи. Кинематический КПД – отношение угловой скорости ведущих колес, полученной в результате решения полной матричной системы с учетом всех потерь к этой же угловой скорости, но вычисленной без учета потерь. В частности, для ступенчатой механической трансмиссии кинематический КПД всегда равен 1. Механический КПД вычисляется аналогично, как отношение моментов на ведущем колесе; для ступенчатой механической трансмиссии он постоянен в пределах одной передачи.

Внешняя характеристика двигателя и зависимость удельного расхода от угловой скорости коленчатого вала аппроксимируются следующими зависимостями:

$$M(\omega) = \begin{cases} -0,0417\omega^2 + 13,349\omega - 615,98; \omega \leq 210 \\ 12530 - 58 \cdot \omega; \omega > 210 \end{cases} \quad (14)$$

$$q(\omega) = 0,0238\omega^2 - 9,975\omega + 1119,375 \quad (15)$$

Часовой расход топлива на внешней характеристике:

$$Q(\omega) = M(\omega) \cdot q(\omega) \cdot \omega \quad (16)$$

Таким образом, совмещение модели двигателя, матричной модели трансмиссии, стохастической модели опорной поверхности и представленной модели дизель-поезда позволяет провести динамический анализ работы дизелевоза, оснащенного одним из четырех вариантов трансмиссии, при движении по заданной поверхности. При моделировании движения дизелевоза циклически выполняются следующие операции:

- 1) определяется максимальное ускорение дизелевоза по условиям сцепления путем решения системы уравнений (11);
- 2) определяется максимальное ускорение дизелевоза по условию мощности двигателя по (13);
- 3) выбирается минимальное из полученных двух значений и определяется действительная сила тяги F_x из выражения (6);
- 4) определяется момент нагрузки на колесе $M_x = F_x r$ и с помощью методики матричного анализа – требуемый активный момент двигателя

$$M_a = M_x i_0 \eta_m^{-1}; \quad (17)$$

- 5) по выражению (16) определяется максимальный часовой расход топлива $Q(\omega_\partial)$ для данной угловой скорости коленчатого вала и умножается на отношение требуемого активного момента двигателя и максимального для данной угловой скорости коленчатого вала;

$$Q_0[\omega_\partial(t)] = Q[\omega_\partial(t)] \frac{M_a}{M[\omega_\partial(t)]} \quad (18)$$

- 6) полученное ускорение, часовой расход топлива интегрируется с целью определения текущей скорости дизель-поезда и расхода топлива к данному моменту времени

$$\tilde{Q}(T) = \int_0^T \frac{Q_0 [\omega_d(t)] M_x(t) i_0(t)}{\eta_m(t) \cdot M [\omega_d(t)]} dt ; \quad (19)$$

- 7) исходя из полученной скорости дизелевоза, определяется новая кинематически согласованная угловая скорость коленчатого вала;

$$\omega_d(T) = \frac{1}{i_0(t) \cdot \eta_k(t)} \int_0^T a(t) dt \quad (20)$$

- 8) скорость дизелевоза интегрируется с целью определения новой координаты дизелевоза и вагонеток.

Основная закономерность результатов динамического анализа работы дизелевоза стабильность технологического процесса на протяжении почти всего перегона. Первые 250 метров состав разгоняется до максимальной скорости, обусловленной геометрическими параметрами трансмиссии, затем в течение 4 километров пути скорость меняется крайне незначительно, что связано, в основном, с появлением положительных уклонов 4-5‰. Падение скорости при движении на подъем наблюдается только у гидрообъемно-механических трансмиссий, поскольку рост нагрузки на транспортном диапазоне приводит к резкому снижению кинематического КПД трансмиссии.

В результате моделирования были получены интегральные характеристики (табл. 1), посредством которых проводится сравнительный анализ эффективности четырех трансмиссий.

Таблица 1. Характеристики эффективности дизелевоза с применением различных трансмиссий, полученные в результате динамического анализа для перегона длиной 5 км

Трансмиссия	Время	Расход топлива	Производительность
СМТ	1174 с	0,823 кг	920 т·км/ч
Fendt	871 с	0,852 кг	1239 т·км/ч
ГОМТ	873 с	0,998 кг	1237 т·км/ч
ЭМТ	875 с	0,961 кг	1234 т·км/ч

Выводы.

1. Разработана методика моделирования работы дизелевоза в динамике, с учетом стохастических зависимостей коэффициента сцепления и угла наклона опорной поверхности.

2. В качестве частного критерия эффективности трансмиссии при проведении интегрального анализа и обосновании выбора конструктивного

решения используются результаты динамического моделирования движения дизелевоза по опорной поверхности со стохастически изменяющимися параметрами.

3. Состав из дизелевоза и груженых вагонеток обладает высокой массой и запасенной кинетической энергией. Наиболее нагруженный режим работы наблюдается на этапе разгона дизелевоза, при этом КПД гидрообъемно-механических трансмиссий принимает значения 0,1-0,7. В процессе движения по неравномерному профилю требуемая сила тяги снижается и КПД гидрообъемных трансмиссий колеблется в диапазоне 0,75-0,85 в зависимости от угла наклона опорной поверхности.

4. Гидрообъемно-механические трансмиссии обеспечивают меньшую стабильность линейной скорости дизелевоза по сравнению с электро-механической и ступенчатой механической.

5. При условно равномерном движении дизелевоза между этапами разгона и торможения двигатель работает на регуляторной или частичной характеристике, поскольку требуемая мощность составляет 40-50% от максимальной. Предпочтительнее частичная характеристика, поскольку на регуляторной удельный расход топлива может превышать номинальный в 1,5 раза.

6. За счет рационального выбора времени начала торможения существует возможность экономии топлива и ресурса двигателя. Запасенная кинетическая энергия состава позволяет преодолеть 200-300 м пути без затрат топлива с незначительным снижением скорости с 20 до 15 км/ч.

7. Основными путями повышения производительности и экономичности дизель-поездов является повышение средней скорости движения и рациональный выбор времени начала торможения.

Таран І.О. МЕТОДИКА АНАЛІЗУ ДИНАМІКИ ШАХТНОГО ЛОКОМОТИВА З ДИЗЕЛЬНИМ ДВИГУНОМ

У статті представлено методіку моделювання роботи дизелевоза у динаміці, з урахуванням стохастичних залежностей коефіцієнта зчеплення і кута нахилу опорної поверхні.

Розглянуто основні шляхи підвищення продуктивності та економічності дизель-потягів.

Ключові слова: динамічний аналіз руху, дизелевоз, управління трансмісією.

Taran I.A. A PROCEDURE OF ANALYSIS OF DYNAMICS OF MINE LOCOMOTIVE WITH DIESEL ENGINE

A developed procedure of modeling the operation of mine diesel locomotive in dynamics is presented in the paper taking into account stochastic relationships of engagement coefficient and angle of inclination of supporting surface.

Main ways of increasing the efficiency and economical operation of diesel trains are considered.

Key words: dynamic analysis of motion, mine diesel locomotive, transmission control.

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАШИВКИ ПОМЕЩЕНИЙ ДЛЯ НЕСАМОХОДНЫХ ПЛАВУЧИХ СООРУЖЕНИЙ

Терлыч С.В.,

*Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова,
Херсонский филиал*

В статье разработаны методические принципы компоновки задач автоматизированного параметрического проектирования (АПП) элементов зашивки помещений несамоходных судов, разработаны методики и алгоритмы АПП конструкций зашивки различного иерархического уровня.

Показана эффективность применения методов моделирования и оптимизационно-поисковых процедур для решения практических задач проектирования конструкций модульной зашивки несамоходных судов на основе требований Правил классификации и постройки морских судов.

Ключевые слова: автоматизированное параметрическое проектирование (АПП), несамоходные плавучие сооружения, модульные системы зашивки помещений.

Актуальность исследования. Современное состояние достроечного производства в судостроении Украины и стран СНГ характеризуется интенсивным внедрением информационных технологий в проектно-конструкторские работы и процессы обеспечения постройки судов. **Автоматизированное проектирование** (АП) с использованием информационных технологий – единственная альтернатива, чтобы соответствовать требованиям сегодняшнего дня. На ведущих судостроительных верфях Украины и Российской Федерации закуплена и осваивается тяжелая CAD/CAM система «TRIBON». Однако работы по проблемам АП практически не затрагивают вопросов **параметрического проектирования** (ПП), требующего от инженера-конструктора (технолога) универсальных знаний в предметной области. ПП – процесс определения размеров конструктивных элементов, удовлетворяющих требованиям нормативных документов (конвенция SOLAS, требования ИМО, Санитарные нормы и правила для морских судов, технологические особенности верфей-строителей). Судостроительные верфи Украины и стран СНГ, которые специализируются на постройке несамоходных плавсредств, в основном ориентируются на закупку готовых проектов за рубежом. Проектно-конструкторские работы, связанные с ПП, находятся на стадии развития и требуют подготовки соответствующих специалистов, создания необходимой методической базы и специализированного прикладного программного обеспечения.

Анализ последних исследований и публикаций. В СССР (позже в странах СНГ и Балтии) работы по проблемам АП в судостроении начались еще в 60-70-х годах прошлого века. основополагающие исследования по автоматизации проектно-конструкторских работ были выполнены Р.А. Алликом, В.С. Дориным, В.Н. Волковым, В.А. Марковым, В.М. Москаленко, Н.И. Петровым, В.Е. Солдатовым, М.А. Радушинским,

М.Н. Рейновым, Ю.М. Фишкисом (СпБГУВТ, кафедра проектирования судов). Методологические и методические принципы системы автоматизированного исследовательского проектирования корабля сформулированы и развиты в работах И.Г. Захарова, Н.В. Никитина, В.В. Родионова, О.В. Третьякова, В.Б. Фирсова, Л.Ю. Худякова, П.А. Шауба (СПБГМТУ, кафедра технологии судостроения). Важную роль для методологического обеспечения автоматизированного решения задач проектирования судна сыграли работы В.М. Пашина, Ю.Н. Полякова, А.И. Гайковича (ЦНИИМФ). Проблемы автоматизации задач общего проектирования судна и его интерьера также исследовали А.Н. Суслов, Б.А. Царев.

Значителен вклад в АП на этапе рабочего проектирования элементов достройки А.Н. Ситникова, В.И. Спирина, А.М. Плотникова – создателей САД/САМ системы «Ритм-КОРПУС». Большое значение имеют работы зарубежных специалистов, создавших такие системы, как графический редактор AutoCAD, системы автоматизированного проектирования «TRIBON», «FORAN», «САТІУА» и некоторые другие. Методы автоматизированного решения задач проверочного расчета или проектирования отдельных конструкций элементов кают представлены программными разработками коллективов, возглавляемых Е.М. Апполоновым, Г.В. Егоровым, В.А. Кулешом, А.А. Оснячом, А.А. Родионовым, Г.П. Шемендюком [5, 6].

Проблемы ПП элементов конструкций модульных кают длительное время разрабатываются на кафедре Технологии судостроения СПБГМТУ: в период с 70-х до начала 90-х годов под руководством Э.Н. Гарина, с середины 90-х годов – под руководством В.Н. Тряскина.

Математические методы оптимального проектирования, которые являются основой ПП любых судовых помещений в системах 3D, систематизированы и развиты в работах А.А. Родионова.

Методологические принципы автоматизированного параметрического проектирования (АПП) конструкций элементов морских сооружений различного назначения и требования к соответствующим подсистемам АП сформулированы в работах В.Н. Тряскина.

Объектом исследования являются конструкции элементов модульных кают и служебных помещений несамоходных плавучих сооружений (плавучих доков, мастерских, общежитий, технических средств освоения шельфа).

Предметом исследования являются задачи автоматизированного ПП конструкций зашивки, базирующиеся на предлагаемых научно-методических принципах, алгоритмах автоматизированных процедур, реализуемых с использованием аппарата математического программирования.

Цель исследования – совершенствование методических принципов АПП конструкций зашивки помещений несамоходных судов и разработка на этой основе алгоритмов и программного обеспечения ПП конструкций различного иерархического уровня.

Изложение основного материала. К основным принципам АП конструкций модульных систем зашивки помещений можно отнести: системный подход, применение методов моделирования в различных аспектах проблемы АП, использование методов математического программирования в качестве аппарата принятия решения.

Системный подход в АП предполагает декомпозицию сложных объектов (систем) на отдельные подсистемы с учетом существенных структурно-функциональных отношений между различными иерархическими уровнями системы и элементами каждого иерархического уровня [1, 2]. Декомпозиция объекта проектирования приводит к декомпозиции процесса проектирования – представлению его в виде совокупности более простых проектировочных процедур различного иерархического уровня.

Прием декомпозиции используется для представления процесса проектирования элементов зашивки помещений судна в виде двух взаимосвязанных этапов: автоматизированного конструирования (АК) и автоматизированного параметрического проектирования (АПП). АК предназначено для формирования визуальной информации об «устройстве» конструкции: ее конструктивном «облике», структурном составе. АПП предназначается для определения размеров конструктивных элементов оборудования помещений, удовлетворяющих особенностям плавсредств. При АП понятие «моделирование» используется в различных аспектах. На ранних стадиях проектирования может быть применена общая характеристика моделей, предлагаемых для решения задач АПП. Это: моделирование формы и компоновочной схемы проектируемой конструкции (геометрическое и конструктивное моделирование); определение условной расчетной схемы – компоновка системы зависимостей, представляющих математическую модель конструкции, соответствующую принятой условной расчетной схеме; моделирование «поведения» конструкции – выбор совокупности математических зависимостей, устанавливающих связь между некоторыми характеристиками и параметрами конструкции [3, 4].

Принятие решения при АПП базируется на оптимизационно-поисковых процедурах. Модель принятия решения – это формализованное представление проблемы проектирования в виде задачи математического программирования с ограничениями в виде равенств $H_j(\mathbf{X})$, неравенств $G_j(\mathbf{X})$ и ограничений, связанных с технологическими особенностями изготовления элементов зашивки и из монтажа, т.е.:

$$\begin{aligned} F(\mathbf{X}) &\rightarrow \text{Extr} \\ H_j(\mathbf{X}) &= 0, j = 1, \dots, m; G_j(\mathbf{X}) \geq 0, j = m + 1, \dots, p; \\ (x_i)_{\min} &\leq x_i \leq (x_i)_{\max}, i = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (1)$$

где $\mathbf{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}^T$ – вектор искомых n варьируемых конструктивных параметров (типоряд элементов зашивки); $F(\mathbf{X})$ – функция цели в задаче поиска, которая может характеризовать массу материалов [7], трудоёмкость технологических процессов при изготовлении конструкции или ее стоимость.

Минимальная масса зашивки – основная цель поискового проектирования кают несамходных плавсредств различного назначения. В исследовании при решении задач проектирования элементов в качестве целевой функции принимается характеристика массы конструкции. В достаточно общем случае функция, характеризующая массу материала панелей, обшитой металлопластом, имеет вид:

$$F = \rho_{II} \cdot m \cdot l \cdot s + \rho_M \cdot f_0 \cdot l + \rho_C \cdot S_o \cdot \Delta h \cdot l \quad (2)$$

где ρ_{II} – плотность изолирующего материала; m – модуль системы, l – длина панели; ρ_M – плотность металлопласта, s – толщина изоляционного слоя; f_0 – площадь поперечного сечения металлопластовых оболочек; ρ_C – плотность материала элементов крепления панелей, S_o и Δh – толщина и добавка к высоте балочного элемента (при проектировании балочного элемента из составного профиля) крепления.

Процесс проектирования листовых элементов зашивки при заданной структурной компоновке (модуль системы, размерно-конструктивные особенности помещения) и выбранных материалов сводится к поиску значения его толщины, удовлетворяющего, в общем случае, требованиям к местной прочности s_l , технологичности конструкции s_b , минимальным толщинам s_{\min} . Очевидно, что требуемая толщина листов металлопласта должна отвечать условию:

$$s \geq \max \{s_l, s_b, s_{\min}\} \quad (3)$$

Ближайшее большее сортаментное значение толщины листового элемента, определяемое методом прямого перебора, и будет решением задачи.

Более сложные автоматизированные процедуры проектирования листовых элементов могут использоваться при обосновании компоновочной схемы конструкции (совокупности выбора тощин металлопластовых оболочек, толщины изоляционного слоя с учётом модуля системы, способа крепления зашивки и массо-габаритных характеристик изделий). В исследовании подробно рассмотрены задачи проектирования листовых композитных элементов зашивки жилых помещений, широко используемых на несамходных плавучих сооружениях [8, 9]. Они представлены в стандартной форме задачи нелинейного программирования (1). Независимо варьируемыми конструктивными параметрами принимаются при проектировании листовых элементов: толщина металлопласта s , меньшая сторона листового элемента a и предел текучести материала листовой конструкции R_{eH} ; при проектировании крепёжных элементов – дополнительно: площадь сечения изолированного балочного элемента f_0 и добавка к высоте стенки балочного элемента Δh , вводимая при компоновке составного профиля. В состав ограничений включены зависимости, полученные по требованиям к местной прочности, устойчивости и минимальным толщинам, описанным в [9-11].

При компоновке задач проектирования элементов крепления принципиально важным является введение в состав задачи зависимостей

$h_0(f_0)$, $s_0(f_0)$, отражающих «сортаментную» связь между параметрами листов металлопласта и независимо варьируемой площадью сечения листов изоляции f_0 (s_0 – толщины стенки, h_0 – высоты стенки). Характеристики W (момент сопротивления), I (момент инерции) и f_w (площадь сечения стенки) балочного элемента крепления, входящие в зависимости – ограничения задачи (условия местной прочности, устойчивости), необходимо выразить через значения варьируемых конструктивных параметров s и f_0 . Для этого предложено использовать зависимости коэффициентов утилизации $c_w = c_w(P_Type, s_1, b_1, f_0)$ и $c_I = c_I(P_Type, s_1, b_1, f_0)$ [7, 8] от типа профиля (P_Type), площади поперечного сечения профиля (f_0), и размеров конкретного элемента : толщину – $S_{attached-plate}$ и ширину – $b_{attached-plate}$, а также функции $s_0(f_0)$, $h_0(f_0)$, $i_0(f_0)$ и $y_0(f_0)$, которые получены на основании обработки информации соответствующих типорядов панелей и креплений, представленных в каталогах [9]. Они используются для вычисления значений коэффициентов c_w и c_I в итерационных циклах поисковых процедур. Такой подход вносит некоторую степень нелинейности и дискретности в задачу проектирования.

Для решения этой задачи может эффективно применяться аппарат математического программирования. Задача проектирования зашивки поперечной переборки в простейшей постановке – при заданной компоновочной схеме (заданном расстоянии между креплениями a , когда в качестве независимо варьируемых параметров принимаются толщина композитной составной панели $s = x_1$ и характеристика прочности металлопластовой оболочки $R_{eH} = x_2$, имеет следующий вид: минимизировать характеристику массы зашивки $F(\mathbf{X}) = a x_1$ при ограничениях задачи, полученных из условий местной прочности в элементе крепления $\sigma_1 \leq k_{\sigma_1} R_{eH}$ и на опорном контуре $\sigma_2 \leq k_{\sigma_2} R_{eH}$, с учетом ограничений области возможных значений искомым параметров

$$(x_i)_{\min} \leq x_i \leq (x_i)_{\max} ; \tag{4}$$

$$g_1(\mathbf{X}) = k_{\sigma_1} x_2 - \sigma_1(x_1) \geq 0; \quad g_2(\mathbf{X}) = k_{\sigma_2} x_2 - \sigma_2(x_1) \geq 0;$$

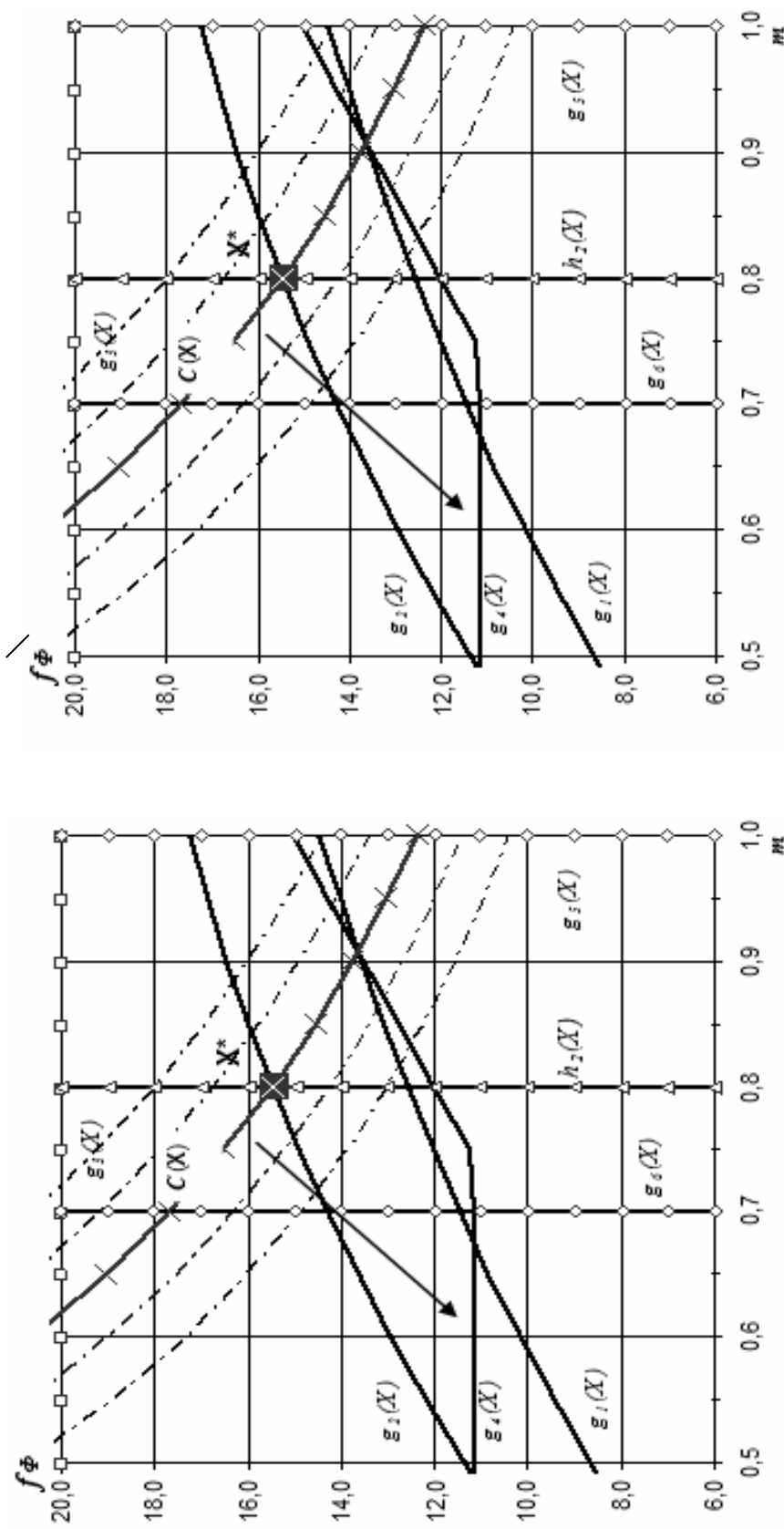
$$g_{2+i}(\mathbf{X}) = (x_i)_{\max} - x_i \geq 0; \quad i = 1, 2; \quad g_{4+i}(\mathbf{X}) = x_i - (x_i)_{\min} \geq 0; \quad i = 1, 2$$

где $\sigma_1(x_1) = q + 0.25p \left(\frac{a}{x_1} \right)^2 \chi_1(u);$

$$\sigma_2(x_1) = q + 0.5p \left(\frac{a}{x_1} \right)^2 \chi_2(u);$$

$$q(x_1) = \frac{E}{1-\mu^2} \frac{u^2}{3} \left(\frac{x_1}{a} \right)^2; \quad u = \left(\frac{3(1-\mu^2)}{E} \left(\frac{a}{x_1} \right)^2 q \right)^{0.5};$$

$$u =^{0.5} \chi_1(u), \chi_2(u)$$



а)

б)

Рисунок 1. Результаты решения задач проектирования листовых элементов зашивочных панелей

а) – переборка, б) – подволока.

m – модуль (линейный размер) зашивочной панели; f и f' – соответственно площадь сечения соединительного профиля и фланца панели, рассчитанная по разработанной методике

Вышеуказанные табулированные функции параметра u , представленные средствами *Microsoft Excel* в виде аппроксимирующих полиномов; p – удельный вес зашивки; $q(x_1)$ – интенсивность нагрузки. В этой задаче линейная целевая функция, два нелинейных и четыре линейных ограничения. Для решения задачи использован инструмент *Microsoft Excel* – «Поиск решения». Результаты решения представлены на рисунке 1.

Для компоновки задачи необходимо задаться формой поперечного сечения проектируемой конструкции (типом профиля). Разработанные методика, алгоритм и программное обеспечение позволяют выполнять проектирование этих конструкций для нескольких типов составных профилей. На рисунке 1 представлено сопоставление результатов ручного проектирования соединительных элементов и фланцев панелей (площадь сечения – f_ϕ и f_ϕ^* соответственно) [9] и результатов, полученных с использованием предлагаемого методического подхода и инструмента «Поиск решения» *Microsoft Excel ver. 2007* (площадь сечения – f и f^* соответственно).

Выводы и их новизна.

1. Разработаны методические принципы компоновки задач автоматизированного ПП элементов зашивки помещений несамостоятельных судов.
2. Разработаны методики и алгоритмы АПП конструкций зашивки различного иерархического уровня.
3. Исследованы задачи АПП конструкций зашивочных панелей и деталей их крепления, реализующие требования различного иерархического уровня, с использованием методов моделирования и оптимизационно-поисковых процедур.
4. Показана возможность применения аппарата метода планирования эксперимента для задач автоматизированного проектирования конструкций зашивки помещений.

Перспективы внедрения результатов исследования. Показана эффективность применения методов моделирования и оптимизационно-поисковых процедур для решения практических задач проектирования конструкций модульной зашивки несамостоятельных судов на основе требований Правил классификации и постройки морских судов. Предлагаемый методический подход обеспечит сокращение сроков, повышение эффективности и качества проектно-конструкторских и технологических работ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Апалько Т.А., Демидов Н.А., Царев Б.А. Особенности эволюционного совершенствования проектных характеристик сложной морской техники : доклады секции №1 на «Круглом столе» по проблеме

конкурентоспособности судостроительной промышленности. – СПб.: НТО судостроителей им. А.Н. Крылова, 2008. – С. 21-23.

2. Макеев Г.А. Особенности алгоритма проектирования флота судов, обслуживающих морские буровые установки : сборник аннотаций докладов 8-й Международной конференции и выставки по освоению ресурсов нефти и газа Российской Арктики и континентального шельфа стран СНГ (RAO/CIS Offshore 2007). – СПб., 2007. – С. 19.

3. Терлич С.В. Розмірний та конструктивний аналіз приміщень на плавдоках // Вісник СевНТУ. Механіка. Енергетика. Екологія. – № 88. – С. 52-55.

4. Шагиданов В.И. Этапы совершенствования теории проектирования кораблей : сборник тезисов докладов межвузовской конференции. – СПб.: ВМИИ, 2002. – С. 34-36.

5. Chung T.J. Computational fluid dynamics. – Cambridge: Cambridge university press, 2002. – 1022 p.

6. Interios by inеха. Craftsmen to the worlds finest ship. – Oslo: Norac ind., 2005. – 323 p.

7. Терлич С.В., Слущкий М.Г. Використання модульної оббудови приміщень на композитних плавучих доках // Зб. наук. праць УДМУ. – 2008. – № 2 (419). – С. 45-48.

8. Wesseling P. Principles computational fluid dynamics. – Heidelberg: Springer, 2001. – 652 p.

9. Мьинт Кхайн. Основные принципы параметрического проектирования судовых конструкций при использовании методов математического программирования // Естественные и технические науки (Кораблестроение). – 2009. – № 1(39). – С. 221-222.

10. Шагиданов В.И. Модульное формирование помещений судов для охраны экономических зон и их оборудования // Морской вестник. – 2007. – № 1. – С. 26-31.

11. Мьинт Кхайн. Постановка и решение некоторых задач параметрического проектирования конструкций корпуса судна // Научно-технический и информационно-аналитический журнал «Морской вестник», СПб. – 2009. – № 1 (29). – С. 102-104.

Терлич С.В. МЕТОДИКА АВТОМАТИЗОВАНОГО ПАРАМЕТРИЧНОГО ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ЕЛЕМЕНТІВ ЗАШИВКИ ПРИМІЩЕНЬ ДЛЯ НЕСАМОХІДНИХ ПЛАВУЧИХ СПОРУД

У статті розроблено методичні принципи компоновки завдань автоматизованого параметричного проектування (АПП) елементів зашивки приміщень несамохідних суден, розроблено методики та алгоритми АПП конструкцій зашивки різного ієрархічного рівня. Показано ефективність застосування методів моделювання і оптимізаційно-пошукових процедур для вирішення практичних завдань проектування конструкцій модульної зашивки несамохідних суден на основі вимог Правил класифікації та побудови морських суден.

Ключові слова: автоматизоване параметричне проектування (АПП), несамохідні плавучі споруди, модульні системи зашивки приміщень.

Terlich S.V. A METHOD OF AUTOMATED PARAMETRIC DESIGN OF CONSTRUCTIONS OF ELEMENTS TO JOIN SPACES FOR NON-SELF-PROPELLED FLOATING STRUCTURES

Methodical principles of laying-out the tasks of automated parametric designing (APD) of elements for a joint of spaces of non-self-propelled vessels as well as methods and algorithms of APD constructions for joints of different hierarchic level are worked out in the paper. Effectiveness of applying methods of modeling and optimization-and-search procedures is shown to solve practical tasks of designing constructions for a module joining of non-self-propelled vessels on the basis of requirements of Regulations for classification and building of sea vessels.

Key words: automated parametric design (APD), non-propelled floating constructions, module systems of sealing spaces.

РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

УДК 629.769.2.004.4:656.5.03

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТИПА СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА В СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКЕ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Горбов В.М., Карпов М.А.,

Национальный университет кораблестроения им. адмирала Макарова, г. Николаев

Проведён сравнительный анализ массогабаритных характеристик различных способов хранения водорода как топлива для СЭУ. Получены зависимости массы и объёма топливной системы от мощности энергоустановки. Разработаны рекомендации по выбору способа хранения либо получения водорода на борту судна.

Ключевые слова: судовые энергетические установки, электрохимический генератор (ЭХГ), интерметаллидные соединения (ИМС).

Введение. Понятие «водородная энергетика» появилось в 1970-е годы в разгар энергетического кризиса, охватившего страны Западной Европы и США. И если в то время основной проблемой считалось сокращение мировых запасов углеводородных энергоносителей, то в настоящее время на первый план выдвигается угроза стремительно нарастающего на планете экологического кризиса. Поэтому использование водорода в качестве энергоносителя рассматривается в большинстве проектов как фактор снижения экологического давления на окружающую среду [1].

Одним из наиболее эффективных способов использования водорода в судовых условиях является применение электрохимических генераторов (ЭХГ) на основе топливных элементов. В этом случае возможно достижение нулевой эмиссии судовой энергетической установки (СЭУ) малой мощности в густонаселённых районах плавания с повышенными экологическими требованиями и с приемлемыми массогабаритными показателями топливной системы [2].

Особенностями СЭУ, использующей водород как топливо, являются системы получения (при необходимости), хранения и использования водорода. Технологическая часть СЭУ с электрохимическим генератором (ЭХГ) состоит из системы хранения и/или получения топлива и окислителя, электрохимического генератора и системы утилизации продуктов реакции и побочного тепла [3]. Анализ результатов применения ЭХГ на судах позволяет представить потенциал их использования в зависимости от диапазона мощности СЭУ следующим образом:

1) 1...50 кВт – муниципальные суда (малые пассажирские суда, до 50 чел.);

2) 50...500 кВт – главные энергетические установки судов внутреннего плавания, вспомогательные электростанции морских судов;

3) >500 кВт – энергетические установки морских судов, в том числе и пропульсивные.

Актуальность исследования. Важной проблемой реализации СЭУ с ЭХГ является выбор рационального способа хранения или получения водорода на борту. Критериями для выбора варианта хранения водорода на борту являются массогабаритные и стоимостные показатели, вопросы безопасности, а также наличие специальной береговой инфраструктуры. К настоящему времени существуют такие способы хранения водорода на борту: газобаллонное (в газообразном состоянии), криогенное (в ожиженном состоянии), интерметаллидное (в связанном состоянии) [4]. Выбору способа хранения на борту различных судов должен предшествовать анализ массогабаритных показателей системы в зависимости от мощности СЭУ.

Постановка задачи. Целью настоящей статьи является определение зависимостей массогабаритных показателей систем хранения водорода различных типов в СЭУ от мощности ЭХГ, сопоставление полученных результатов с системами хранения традиционных топлив для СЭУ и принятие решений по выбору систем хранения водорода на борту.

Результаты исследования. Рассмотрим особенности топливной системы для первого мощностного ряда СЭУ с ЭХГ. В качестве примера принимаем ЭХГ фирмы NedStack PS50 [5] со следующими техническими характеристиками (табл. 1)

Таблица 1. Технические характеристики ЭХГ NedStack PS50

Максимальная нагрузка	120 кВт (постоянный ток)
Номинальная нагрузка	50– 72 кВт
КПД	55–57 % (батареи ТЭ) 48 – 50 % (ЭХГ)
Чистота H ₂	99.95 %
Удельный расход H ₂	660 л/кВт·час
Габариты	1400 × 800 × 600 мм
Масса	600 кг

Длительность рейса таких судов, как правило, не превышает 12 часов. Следовательно, расход водорода для работы ЭХГ на 1 рейс судна такого типа составит:

$$G = N_e \cdot \tau \cdot g_e = 50 \cdot 12 \cdot 660 = 396000 \text{ л} = 35,6 \text{ кг}, \quad (1)$$

где N_e – эффективная мощность ЭХГ, кВт; τ – длительность рейса, ч; g_e – удельный эффективный расход топлива ЭХГ, л/кВт·час, кг/кВт·час.

Для хранения на борту судна такого количества газообразного водорода в баллонах TriShield фирмы Quantum Tech [6] под давлением 70 МПа с аккумулирующей способностью 5,2% по массе понадобится:

$$n = \frac{G}{\rho_{H_2сж.} \cdot V_{бал.}^{вн.}} = \frac{35,6}{36,1 \cdot 0,034} = 29,0, \quad (2)$$

где $\rho_{H_2сж.}$ – плотность водорода сжатого до 70 МПа, кг/м³; $V_{бал.}^{вн.}$ – внутренний объём баллона, м³.

Для обеспечения рейса указанного судна необходимо 29 таких баллонов. При этом минимальные массогабаритные параметры системы хранения топлива составят:

$$V = n \cdot V_{бал.} \cdot k_{всж.} = 29 \cdot 0,04 \cdot 1,2 = 1,39 м^3, \quad (3)$$

где $V_{бал.}$ – объём баллона, м³; $k_{всж.} = 1,2$ – коэффициент, учитывающий объём, занимаемый арматурой, трубопроводами и другими навешанными устройствами в системе хранения сжатого водорода.

$$m = n \cdot m_{бал.} \cdot k_{мсж.} = 29 \cdot 28 \cdot 1,1 = 893,2 кг, \quad (4)$$

где $m_{бал.}$ – масса баллона, кг; $k_{мсж.} = 1,1$ – коэффициент, учитывающий массу арматуры, трубопроводов и других навешанных устройств системы хранения сжатого водорода.

В случае хранения охлажденного водорода, при использовании баллонов фирмы Linde [7] понадобится следующие их количество:

$$n = \frac{G}{\rho_{H_2ож.} \cdot V_{бал.}^{вн.}} = \frac{35,6}{70,8 \cdot 0,12} = 4,19, \quad (5)$$

где $\rho_{H_2ож.}$ – плотность охлажденного водорода, кг/м³.

Массогабаритные показатели системы хранения охлажденного водорода (5 баллонов) составят:

$$V = n \cdot V_{бал.} \cdot k_{вож.} = 5 \cdot 0,14 \cdot 1,4 = 0,98 м^3, \quad (6)$$

где $k_{вож.} = 1,2$ – коэффициент, учитывающий объём, занимаемый арматурой, трубопроводами и другими навешанными устройствами в системе хранения охлажденного водорода.

$$m = n \cdot m_{бал.} \cdot k_{тож.} = 5 \cdot 90 \cdot 1,1 = 495 кг \quad (7)$$

где $k_{тож.} = 1,1$ – коэффициент, учитывающий массу арматуры, трубопроводов и других навешанных устройств системы хранения охлажденного водорода.

Компанией Техасо Ovonic Hydrogen System [8] предложены баллоны для гидридного способа хранения водорода. При использовании такой технологии понадобится следующее количество баллонов:

$$n = \frac{G}{\varpi_{H_2}} = \frac{35,6}{3} = 11,9, \quad (8)$$

где ϖ_{H_2} – ёмкость баллона по водороду, кг.

Занимаемый системой, состоящей из 12 баллонов, объем составит:

$$V = n \cdot \pi \cdot R^2 \cdot H \cdot k_{v.б.гидр.} = 12 \cdot 3,14 \cdot 0,164^2 \cdot 0,84 \cdot 1,1 = 0,93 м^3, \quad (9)$$

где R – радиус баллона, м; H – высота баллона, м; $k_{v.б.гидр.} = 1,1$ – коэффициент, учитывающий объём, занимаемый арматурой, трубопроводами и другими навешанными устройствами в гидридной системе хранения водорода.

Масса системы хранения водорода в интерметаллидных соединениях (ИМС):

$$m = n \cdot m_{бал.} \cdot k_{m.б.гидр.} = 12 \cdot 190 \cdot 1,02 = 2325,6 кг, \quad (10)$$

где $k_{m.б.гидр.} = 1,02$ – коэффициент, учитывающий массу арматуры, трубопроводов и других навешанных устройств гидридной системы хранения водорода.

К существенным достоинствам гидридного способа хранения водорода относится возможность изготовления аккумуляторов различной геометрической формы, что позволяет существенно улучшить габаритные показатели системы. Так, в случае использования интерметаллидов $LaNi_5$ массогабаритные показатели топливной системы составят [9]:

$$m = \frac{G}{\theta_{H_2}} \cdot k_{m.гидр.} = \frac{35,6}{0,0145} \cdot 1,1 = 2699,8 кг \quad (11)$$

где θ_{H_2} – массовая доля сорбируемого водорода; $k_{m.гидр.} = 1,1$ – коэффициент, учитывающий массу ёмкости для ИМС, арматуры, трубопроводов и других навешанных устройств системы хранения водорода в ИМС.

В случае использования в качестве ИМС $TiFe$:

$$m = \frac{G}{\theta_{H_2}} \cdot k_{m.гидр.} = \frac{35,6}{0,019} \cdot 1,1 = 2060,4 кг \quad (12)$$

Занимаемый системой хранения водорода объём при использовании ИМС – $LaNi_5$ составит:

$$V = \frac{m}{\rho_{LaNi_5}} \cdot k_{v.гидр.} = \frac{2454,4}{8250} \cdot 1,3 = 0,425 м^3 \quad (13)$$

где ρ_{LaNi_5} – плотность интерметаллида $LaNi_5$, кг/м³; $k_{v.гидр.} = 1,3$ – коэффициент, учитывающий объём ёмкости для ИМС, арматуры, трубопроводов и других навешанных устройств системы хранения водорода в ИМС;

При использовании в качестве ИМС $TiFe$:

$$V = \frac{m}{\rho_{TiFe}} \cdot k_{v.гидр.} = \frac{1873,1}{5650} \cdot 1,3 = 0,474 м^3 \quad (14)$$

где ρ_{TiFe} – плотность интерметаллида $TiFe$, кг/м³.

Для сравнения приведем характеристики системы хранения топлива традиционной дизель-генераторной установки D7AT фирмы Volvo Penta [10] мощностью 70-108 кВт. Расход дизельного топлива на рейс рассматриваемого судна с дизель-электрической установкой составит:

$$G = N_e \cdot \tau \cdot g_e = 50 \cdot 12 \cdot 0,226 = 135,6 \text{ кг}, \quad (15)$$

Минимальные массогабаритные характеристики топливной системы дизель-генераторной установки приблизительно могут быть рассчитаны по следующим формулам:

$$V = \frac{G}{\rho_{ДТ}} \cdot k_{v.ДТ} = \frac{135,6}{840} \cdot 1,3 = 0,210 \text{ м}^3, \quad (16)$$

где $\rho_{ДТ}$ – плотность дизельного топлива, кг/м³; $k_{v.ДТ} = 1,3$ – коэффициент, учитывающий объём топливной ёмкости, арматуры, трубопроводов и других навешанных устройств системы хранения дизельного топлива.

Масса системы хранения дизельного топлива составит:

$$m = G \cdot k_{m.ДТ} = 135,6 \cdot 1,3 = 176,3 \text{ кг}, \quad (17)$$

где, $k_{m.ДТ} = 1,3$ – коэффициент, учитывающий массу топливной ёмкости, арматуры, трубопроводов и других навешанных устройств системы хранения дизельного топлива.

Коэффициенты $k_{всж.}, k_{тсж.}, k_{вож.}, k_{тож.}, k_{в.б.гидр.}, k_{т.б.гидр.}, k_{т.гидр.}, k_{в.гидр.}, k_{v.ДТ}$ приняты в результате анализа характеристик и особенностей конструкции систем хранения топлива фирм-производителей.

Сопоставление массогабаритных характеристик систем хранения водорода на борту судна от мощности ЭХГ с показателями дизель-электрической установки (ЭУ), приведены на рисунках 1, 2.

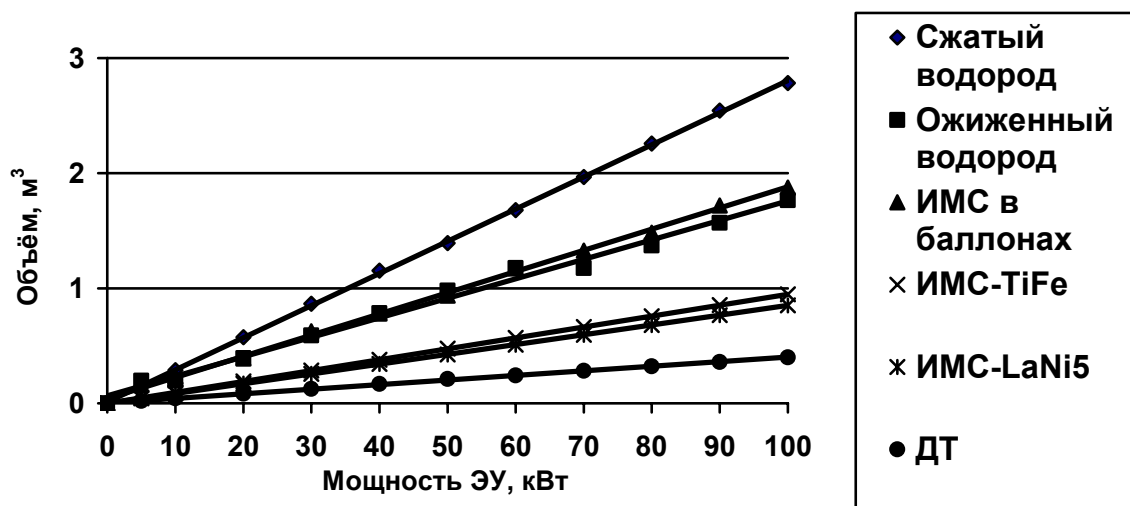


Рисунок 1. Зависимость габаритных размеров системы хранения топлива от мощности энергетической установки

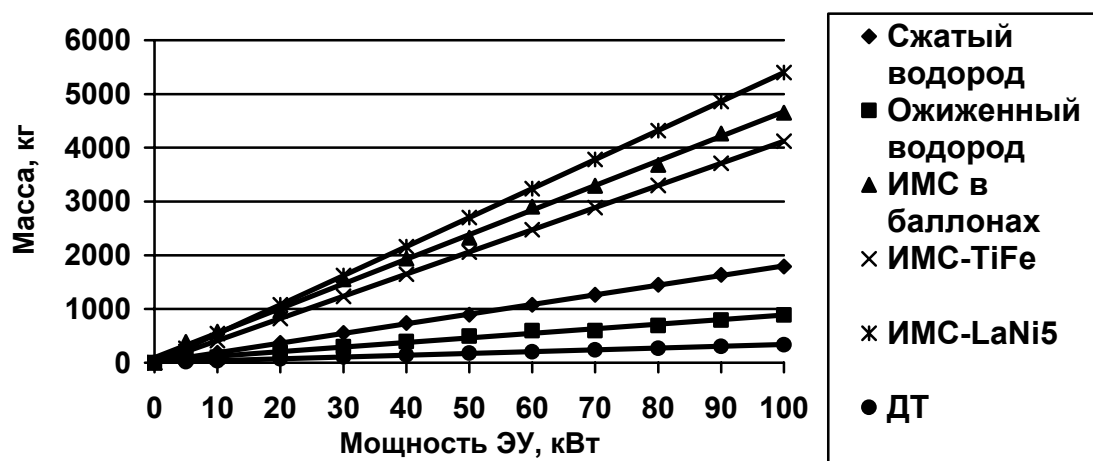


Рисунок 2. Залежність маси системи зберігання палива від потужності енергетичної установки

Висновки. Найкращими габаритними показателями серед розглянутих систем зберігання водороду володає гібридний спосіб, але його широкому застосуванню перешкоджає висока ціна ІМС порядку \$50 за 1 кг для LaNi_5 і \$25/кг для TiFe і невисока водородна сорбційна здатність ІМС за масою. Зберігання водороду в рідкому стані на борту судна ускладнено тим фактом, що в рідкому стані водород знаходиться в дуже вузькому діапазоні низьких температур: від точки кипіння 20 К до точки замерзання 17 К, що вимагає додаткового складного обладнання в складі енергетичної установки і високих експлуатаційних витрат енергії. Зберігання газоподібного водороду дозволяє досягти мінімальних експлуатаційних витрат, але при цьому даний спосіб зберігання має найбільші габаритні показники. Масогабаритні параметри цих систем значно перевищують системи зберігання традиційних вуглеводородних палив, але за останні 10 років ці показники вдвічі покращилися. Для транспортних ЕЕУ потужністю вище 100 кВт технічно і економічно нецелесообразно використовувати зберіганий на борту водород як паливо, внаслідок високих масогабаритних показників, великих експлуатаційних витрат і необхідності більш розвинутої берегової інфраструктури. Для таких установок передбачається виробництво водороду безпосередньо на борту судна конверсією вуглеводородних ископаємих палив, електролізом води або гідролізом металів, або використання ЕЕУ з високотемпературними ТЗ з попередньою підготовкою палива. Проведений аналіз може бути використаний при виборі систем зберігання водороду на стадії проектування судової електрохімічної енергоустановки (ЕЕУ) для малих судів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Дмитриев А.Л. Економічні і технічні проблеми розвитку водородного транспорту з метою покращення екологічного стану

окружающей среды // International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology. – ISJAEE 2004. – № 1(9). – С. 14–18.

2. Коровин Н.В. Топливные элементы и электрохимические энергоустановки. – М.: Издательство МЭИ, 2005. – 280 с.

3. Matthew M. Mench. Fuel Cell Engines. – Willey: USA, 2008. – 528 p.

4. Fuel cell AIP System // Jane's Navy International, June 2005. Vol. 110, No. 5, P. 20, 22–24.

5. NedStack PS50 PEM Fuel Cell System [Электронный ресурс] / Terms & Conditions, 2002–2010. – Режим доступа:

http://www.fuelcellmarkets.com/nedstack/products_and_services/3,1,1710,17,14207.html.

6. Hydrogen Storage [Электронный ресурс] / Quantum, 2010. – Режим доступа:

<http://www.qtw.com/products/haft/hydrostorage.php>.

7. Hydrogen Storage [Электронный ресурс] / Linde Gas, 2009. – Режим доступа:

http://www.linde-gas.com/international/web/lg/com/like/gcom30.nsf/docbyalias/hydrogen_storage.

8. Hydrogen: Ovonic Materials Division – Canister Refilling [Электронный ресурс] / Energy Conversion Devices, 2001–2010. – Режим доступа:

http://ovonics.com/ib_hy_hydrogen_canisterrefilling.cfm

9. Гамбург Д.Ю., Семенов В.П., Дубовкин Н.Ф., Смирнова Л.Н. Водород. Свойства, получение, хранение, транспортирование, применение: Справ. изд. – М.: Химия, 1989. – 672 с.

10. Volvo Penta Russia [Электронный ресурс] / Product bulletin D7A TA Genset, 2009. – Режим доступа:

http://www.volvopenta.com/volvopenta/russia/ru-ru/marine_commercial_engines/engines/genset_range/Pages/d7a_ta_he.aspx

Горбов В.М., Карпов М.О. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТИПУ СИСТЕМИ ЗБЕРІГАННЯ ВОДНЮ У СУДНОВІЙ ЕНЕРГЕТИЧНІЙ УСТАНОВЦІ МАЛОЇ ПОТУЖНОСТІ

Проведено порівняльний аналіз масогабаритних характеристик різних способів зберігання водню як палива для СЕУ. Отримано залежності маси та об'єму паливної системи від потужності енергетичної установки. Розроблені рекомендації щодо вибору способу зберігання або отримання водню на борту судна.

Ключові слова: суднові енергетичні установки, електрохімічний генератор (ЕХГ), інтерметалідні сполуки (ІМС).

Gorbov V.M., Karpov M.A. SUBSTANTIATION OF THE SYSTEM TYPE CHOICE FOR HYDROGEN STORAGE IN THE SHIP'S POWER PLANT OF SMALL POWER

A comparative analysis of mass and volume characteristics of various modes of hydrogen storage, as a fuel for ship power plant, was carried out. The dependence diagrams of mass and volume of the fuel storage system versus power plant capacity are considered. Recommendations on choice of the mode of onboard hydrogen storage or its production are developed.

Key words: ship power plants, electrochemical generator (ECHG), intermetallide joints.

ЭКОЛОГИЧНОЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ КАК ПРИОРИТЕТНАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ ПРОГРАММА

Михайлик В.Д., Михайлик С.В.,

Херсонский национальный технический университет

Рассмотрены основные положения Энергетической программы Украины. Дан анализ состояния дел в ТЭК страны. Детально рассмотрен вопрос экологического энергосбережения и перспективы использования возобновимых нетрадиционных энергоресурсов, с учетом опыта стран Запада.

Ключевые слова: экологическое энергосбережение, возобновимые нетрадиционные энергоресурсы.

Введение. Состояние топливно-энергетического комплекса (ТЭК) развитых стран является основой их экономической стабильности и даже независимости. Анализ показывает, что решить энергетическую проблему можно, в первую очередь, путем энергосбережения во всех отраслях народного хозяйства. При этом существенной задачей, усложняющей проблему, является экологизация энергосбережения.

Статья является продолжением предыдущих исследований по данной проблеме [1-6, 11, 12].

Основные пути энергосбережения подробно рассмотрены в комплексной государственной Программе [1].

Приоритетными направлениями межотраслевого энергосбережения являются:

- внедрение энергосберегающих технологий;
- внедрение средств силовой электроники;
- использование экономичных систем и приборов освещения;
- совершенствование учета, контроля по расходу топливно-энергетических ресурсов (ТЭР);
- создание автоматизированных систем управления потреблением энергоресурсов.

Подтверждением взвешенного подхода при составлении энергетической Программы является то, что в ней предусмотрено создание благоприятного для энергосбережения экономического пространства в Украине, т.е. путь эффективного внедрения энергосберегающих мероприятий [2, 3].

Цель статьи – показать важность экологичного энергосбережения для стабильности экономики страны, обеспечения ее энергонезависимости и экологизации.

Анализ состояния дел в энергетике показывает, что низкая эффективность использования ТЭР связана с высокой фондоемкостью отраслей народного хозяйства и вызвана глубокими структурными диспропорциями.

Наличие значительной доли морально и физически устаревших энергоемких производств привело к высокому уровню энергозатрат, появлению противоречий между уровнем энергопроизводства и энергопотребления, что стало причинами энергетического кризиса. Углубление энергетического кризиса в Украине привело к ухудшению платежного баланса, росту внешней задолженности, обострению проблемы неплатежей.

Вопрос энергообеспечения перерос в проблему национальной безопасности, при этом особенную опасность представляет зависимость от одного поставщика энергоносителей, что приводит к внешнему политическому давлению. Так, в торговом балансе Украины платежи за сырье и материалы для отраслей ТЭК составляют около 50%.

Собственными энергоресурсами Украина обеспечена на 42%, в том числе углем – на 80%, газом – на 20%, нефтью – на 12%. В последние годы добыча основных видов ТЭР существенно сократилась, особенно угля – в три раза (за последние 20 лет). Поэтому так остро встала проблема энергосбережения.

Главной особенностью Программы [1] является именно то, что энергосбережение вводится в ранг Государственной политики. Кабинет Министров Украины своим постановлением № 148 от 05.02.97 г. одобрил «Комплексную Государственную программу энергосбережения» (КГПЭ), разработанную Госкомитетом Украины по энергосбережению совместно с Минэкономки и Национальной Академией наук. Стратегической целью Государственной политики энергосбережения является выход Украины на уровень передовых стран с рыночной экономикой по энергоемкости как ВВП, так и отдельных видов продукции, работ и услуг [2]. Главными задачами КГПЭ является определение общего существующего и перспективного потенциалов энергосбережения, разработка основных направлений его реализации в производстве и сфере услуг, создание программы мер и задач по повышению энергоэффективности и освоение потенциала энергосбережения.

В КГПЭ определены источники, механизмы финансирования и инвестирования в энергосбережение. Эта программа требует создания соответствующей экономической благоприятной среды, т.е. наличия экономического законодательства и комплекса государственных условий, которые придают реальные возможности для финансовой поддержки энергосбережения реализации этой КГПЭ, и делают невыгодным чрезмерное расходование ТЭР. Общий принцип создания благоприятных условий для энергосбережения состоит в том, чтобы экономические льготы распространялись только на те энергоэффективные проекты, предельные расходы которых на экономию ТЭР не будут превышать предельных расходов на прирост энергоресурсов. При этом важной проблемой, которую необходимо решить для успешного выполнения Программы, является поиск источников инвестирования проектов.

Программа предусматривает создание внебюджетного общегосудар-

ственного фонда энергосбережения, как ключевого элемента механизма перераспределения средств в пользу процесса инвестирования энергоэффективных проектов и программ: ввод режима отчислений в Фонд от рыночной стоимости использования энергоресурсов, при этом дополнительные затраты относятся на себестоимость продукции.

Фиксированная ставка этих отчислений будет адекватной потребности в начальных инвестициях в энергосбережение. Уменьшение инвестиционного риска благодаря финансовой поддержке энергосбережения будет способствовать вовлечению в эту сферу значительных объемов инвестиционных ресурсов отечественных и международных финансовых источников. Планировалось, что до 2004 года будут организованы при финансовом участии фондов энергосбережения акционерные национальные, межрегиональные и местные центры энергоэффективности, корпорации (холдинги) по выпуску энергосберегающего оборудования, энергосберегающие компании информационно-консультативные центры. Согласно КППЭ будет создана материальная база энергосбережения и инфраструктуры рынка энергоэффективного оборудования, техники, материалов. При этом ожидалось, что будет сформирована конкурентная среда в сфере разработки и внедрения энергосберегающего оборудования. Для создания конкурентоспособной техники необходимым является широкое применение конкурсного отбора проектов по энергосбережению, их научное обоснование (сопровождение), взвешенные подходы при защите национального производителя и использование заграничной техники, приобретение лицензий.

После разработки комплекса энергетических стандартов вводятся предусмотренные законом платежи за нерациональное использование энергоресурсов, а после 2000 г. этот вид поступлений должен был стать главным источником первичного пополнения фонда. Сейчас уже можно сказать, что темпы этих работ явно отстают от предусмотренных программой.

Внебюджетные фонды энергосбережения должны стать ключевым элементом механизма стимулирования капитальных вложений в сферу энергосбережения. Они будут выполнять функции целевого финансирования энергосберегающих проектов и обеспечения благоприятных условий для привлечения отечественных и иностранных инвестиций.

В целевые источники (фонды) финансирования энергосбережения входят: общегосударственный внебюджетный фонд энергосбережения (Постановление Кабинета Министров Украины №163 от 07.02.96 г.), собственные средства фондов энергосбережения управленческих и производственных структур, которые подлежат созданию.

Для реализации намеченного технологического потенциала энергосбережения (108,8 млн. т.у.т.) необходимо, чтобы все фонды инвестировали в эту сферу денежные средства, эквивалентные поступлениям при ставке 0,1 – 0,2 стоимости ТЭР, которые потребляются в стране, а также привлечь средства других источников.

Программа предусматривает, что энергосберегающие проекты финансируются, главным образом, путем выдачи кредитов по сниженным процентным ставкам. Прибыль страны, в основном, определяется сбережением валюты от уменьшения импорта энергоресурсов, увеличением государственных доходов в результате экономического роста, катализатором которого является повышение энергоэффективности, а также уменьшением дотаций в социальную сферу и расходов на охрану окружающей среды. В случае невозможности обеспечения принятого уровня прибыли проекты не реализуются.

Предусматривается ряд мер для претворения в жизнь экономического механизма энергосбережения. Так, согласно ст. 16 Закона Украины «Об энергосбережении» для стимулирования отечественного производителя энергосберегающего оборудования, техники и технологии предлагается уменьшить налог на прибыль, полученную от реализации этого оборудования на 50% сроком до одного года, такая же льгота предусматривается и для предприятий, достигших экономии ТЭР. Предусмотрена и экономическая ответственность за нерациональное использование ТЭР. Так, за передачу технической документации заказчику, не соответствующей нормам энергопотребления, 25% от стоимости разработки уплачивает предприниматель, разработчик и потребитель. Та же санкция за реализацию продукции, не соответствующей требованиям и нормам энергосбережения, за реализацию импортной несоответствующей продукции в Украине предприниматель уплачивает еще больше – 50% от стоимости реализованной продукции.

Штрафы в 25% от стоимости продукции предусмотрены за уклонение или непрохождение экспертизы по энергосбережению. И, напротив, для стимулирования энергосбережения предусмотрены вознаграждения из фонда энергосбережения до 100 необлагаемых минимумов зарплаты, но не более 10% от стоимости сэкономленных ТЭР.

К сожалению, эти эффективные меры еще не реализованы.

Мы подробно остановились на особенностях КГТТЭ, так как, на наш взгляд, только при таком взвешенном подходе к проблеме энергосбережения можно вывести страну из энергетического кризиса.

В этом нас убеждает и международный опыт выхода из аналогичных кризисных ситуаций таких цивилизованных стран, как США, Япония, Германия, Франция [4].

На первый взгляд, проблемы как бы вообще нет. При реализации Программы к 2010 году, включительно, цель будет достигнута. Однако, главная трудность как раз и состоит в реализации этой программы. Ведь пока что налицо не только отставание в выполнении программы, но и не работают механизмы стимулирования и штрафных санкций, предусмотренных ею.

Анализ причин сложившейся ситуации показывает, что одна из главных из них состоит в необходимости более точного технико-экономического определения приоритетов. Например, по наиболее

ефективним конкретним технічним напрямленням використання основних видів ТЭР, отмеченных выше. Так, известно, что четвертая часть топлива, сжигаемого в Украине, расходуется для теплоснабжения жилых домов и общественных зданий. При этом больше всего тепла расходуется на отопление (более 75%) и на горячее водоснабжение [5]. Для убедительности доводов здесь уместно привести несколько подтверждающих технических решений на примере такой отрасли, как строительство. Здания, построенные 20-30 лет назад и ранее, когда топливные ресурсы в СССР считались чуть ли не безграничными и дешевыми, сегодня требуют так много энергии на отопление, что их эксплуатацию уже не в состоянии выдержать топливно-энергетический комплекс, а строительство новых зданий еще более усугубляет проблему. В то же время опыт развитых стран подтверждает, что при нынешнем уровне развития науки и техники расход топлива в зданиях может быть сокращен почти на 50%, т.е. имеются существенные резервы энергосбережения. Реализовать эти резервы в достаточной мере можно по основным направлениям:

- поиск новых теплоизоляционных материалов для утепления ограждающих конструкций зданий (стены, окна, потолки, пол и т.д.);
- модернизация систем теплоснабжения. Техничко-економический анализ показывае, что количество тепла и соответствующего топлива, теряемого через стены, окна, пол, потолок и вытяжную вентиляцию, в хорошо теплоизолированном доме практически на 50% меньше, чем в доме с привычными (для нас) ограждающими конструкциями.

Существующие в стране нормативы потребляемых ТЭР настоятельно требуют их пересмотра. Так, стены из кирпичной кладки для северных районов Украины должны были бы теперь возводиться толщиной около 1,5 м, а толщина однослойных легкобетонных панелей – около 0,65 м [5]. При этом потребовались бы колоссальные капитальные затраты. Поскольку на практике это выполнить невозможно, то единственным способом утепления стен должно стать применение слоя эффективного утеплителя, т.е. теплоизоляционного материала. Поэтому поиск и внедрение в строительстве таких материалов являются одним из важнейших направлений энергосбережения.

Использование возобновляемых энергоресурсов – энергии солнца, ветра, геотермальной, подземных горячих вод – заслуживает особого внимания, если будет обеспечена масштабность их использования, не 1% по выработке электроэнергии, как в настоящее время в Украине, а не менее 20-30%, как в Дании и Голландии [5].

Многие отечественные экономисты и энергетики скептически относятся к такой перспективе, с чем невозможно согласиться. Ведь использование возобновляемых энергоресурсов, которыми так богата Украина, является экономичной альтернативой покрытия потребностей в ТЭР. При этом улучшается комфортабельность проживания, уменьшается загрязнение окружающей среды и экономится невозобновляемое

органическое топливо. Эффективность использования возобновляемых энергоресурсов особенно высока в степных и горных районах, удаленных от энергосистем. На юге Украины и в Крыму таких районов много. По потенциальной возможности использования солнечной энергии эти регионы относятся к наиболее перспективным. Подтверждением тому является такой показатель, как годовой ресурс солнечной лучистой энергии до 1300-1400 квт.ч/м² поверхности Земли. По ресурсам энергии ветра Крым и остальной юг Украины находится в зоне, где среднегодовая скорость ветра составляет 5 м/с, что благоприятно для использования этого ресурса.

По геотермальной энергии (подземные горячие воды с температурой до 100°C, на глубине 2 км) эти регионы, также, самые перспективные, например, в Херсонской области ранее открыт Генический источник.

В работе [6] мы подробно рассмотрели проблему эффективного использования возобновляемых источников энергии Украины для целей экологичного тепло- и электроснабжения, с прикладными примерами конкретных технических решений. При этом даны рекомендации по разработке модульных систем для удовлетворения потребностей различных хозяйств, и по использованию комплексных систем, включающих различные источники энергии.

Рассмотренные выше технико-экономические аспекты программы энергосбережения, хотя и относятся к разряду приоритетных, еще не достаточны для реализации этой программы. Существенную роль в этом деле играют внешние и особенно внутренние политические факторы, в первую очередь неустойчивость ТЭК страны, неуверенность и неэффективность его руководства, нечеткость долгосрочной стратегии в области энергетики. Все эти обстоятельства существенно сдерживают реализацию Национальной Комплексной программы по энергосбережению. Развитие угольных шахт почти остановилось, в крайнюю степень износа пришло оборудование, резко увеличилась аварийность и простой. Встает вопрос, быть или не быть энергетической независимости страны? Из-за проблемы неплатежей отрасль на грани выживания. Иначе говоря, ситуация в ТЭК создает угрозу национальной безопасности страны [7].

Одна из главных причин кризиса в угольной отрасли связана с проблемой безопасности старых шахт из-за частых взрывов шахтного метана и образования других взрывоопасных концентраций, что ежегодно приводит к гибели многих людей.

Создавшееся кризисное состояние в энергетике может спасти существенная дальнейшая финансовая помощь для модернизации и оздоровления угольной промышленности, функционирования и развития всего ТЭК [7]. На наш взгляд, такая точка зрения заслуживает серьезного внимания и поддержки. Вместе с тем убыточные неперспективные шахты, по опыту стран Запада, подлежат закрытию.

Касаясь перспектив использования угля в стране, следует обратить внимание на тот парадокс в ТЭК, который трудно объяснить: страна

располагает огромными запасами угля, которых достаточно на 400 лет. В то же время, его добыча сократилась в три раза, а более половины используемых ТЭР – это газ и нефть, основные объемы которых закупаются. Необходимо более широко использовать уголь в ТЭК. При сжигании его в «кипящем» слое [7] обеспечивается экологичность без загрязнения среды.

Использование возобновляемых энергоресурсов, в первую очередь энергии солнца и ветра – это главное экологичное направление в национальной энергетической программе наиболее развитой европейской страны – Германии [8]. Такое направление выбрано на основе трех главных признаков:

1) истощаемость полезных ископаемых. Так, мировых запасов нефти, которая на 40% обеспечивает мировую выработку энергии, хватит на 40 лет;

2) энергетическая эмиссия вследствие преобразования органического или ядерного топлива в энергию, уже привела к мировому энергетическому кризису, например, только в 1999 г. в мире произошло более 700 крупных экологических катастроф [8] в основном по этой причине;

3) полезные топливные ископаемые сосредоточены в немногих местах Земли, а необходимы они везде, где живут и работают люди, поэтому классическая топливная энергетика со своей инфраструктурой и предприятиями приспособлена к добыче, транспорту, преобразованию и распределению энергоресурсов. Другими словами, человечество сковано цепями топливных и других традиционных энергетических невозобновляемых ресурсов. Альтернативой этих ресурсов являются возобновляемые энергия и сырье, т.е. солнечное тепло и свет, потенциал воды, сила ветра, биомасса. Общим источником всех возобновляемых ресурсов является Солнце. Оно поставляет на земной шар за год в 15 тысяч раз больше энергии, чем ее сегодня потребляет все человечество. Например, только Италия получает в 6 раз больше солнечной энергии, чем ее потребляет весь мир [8]. Таким образом, солнечные ресурсы могут полностью заменить общий потенциал ресурсов полезных ископаемых. Важными преимуществами являются их неисчерпаемость и экологичность, при этом для их использования не требуются глобальные цепи преобразования, так как уже разработаны такие технологии, которые можно использовать локально, в отдельно взятом регионе, при этом могут объединяться традиционная энергетика в единую энергосистему страны [8]. Ориентация на возобновляемые энергоресурсы как на макро-, так и на микроэкономическом уровне, требует проведения комплексной промышленной энерго-технической революции. Однако, эта проблема реализуемая и поэтому федеральное правительство Германии поставило цель до 2050 года увеличить долю этих энергоресурсов в производстве энергии до 50%, вместо 5% в настоящее время.

Как отмечено выше, по Украине этот показатель еще ниже – 1%. Серьезные научные исследования, например, по программе концерна Shell прогнозируют, что уже до 2050 года половина мировых потребностей

энергии может быть обеспечена за счет возобновляемых энергоресурсов. Национальная энергетическая программа Украины также предусматривает крупномасштабное и экологичное комплексное использование возобновляемых энергоресурсов.

В последние годы, кроме работ [9, 10], появилось учебное пособие [11] Центра учебной литературы, в котором даны теоретические научные и инженерные основы энергосбережения путем повышения эффективности ТЭР, и в отдельном разделе рассмотрены вопросы утилизации вторичных ресурсов, как одного из эффективных путей энергосбережения. На наш взгляд, для технических вузов, особенно энергетических и инженерно-технологических специальностей, это пособие заслуживает внимания. Кроме того, его целесообразно использовать при подготовке специалистов энергетического менеджмента.

Передовой опыт, проблемы и перспективы энергосбережения достаточно профессионально рассмотрены в работе [12], которая одобрена Госкомэнергосбережения Украины.

Выводы. Можно отметить, что на наш взгляд имеются три основных пути решения энергетической проблемы страны:

1) широкое использование экологически чистых нетрадиционных возобновляемых источников энергии, что может потребовать объединения в единую систему традиционных и нетрадиционных объектов энергетики;

2) увеличение в энергобалансе страны доли угля, как основного национального энергоресурса, для чего потребуются внедрение современных экологичных технологий сжигания угля в «кипящем» слое по опыту США, где аналогичная технология ранее уже внедрена;

3) экологичное энергосбережение во всех отраслях производств, как приоритетная программа, которую необходимо реализовать в первую очередь.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основні напрямки комплексної державної програми енергозбереження України // Енергоінформ. – № 3. – 1997.

2. Кожушко А.М. НЕП – основа економічної незалежності країни // Енергоінформ. – № 4. – 1997.

3. Уляченко А.М. Створення сприятливого для енергозбереження економічного середовища в Україні – шлях ефективного впровадження енергозберігаючих заходів // Енергоінформ. – № 4. – 1997.

4. Проблемы создания единого энергетического рынка ЕС (сводный реферат) // РЖ Экономика. – 1991. – №5. – С. 25-29.

5. Украина на пути к энергетической эффективности / [Ковалко М.П., Рапцун Н.В., Кулик М.Н. и др.]. – К., 1997.

6. Фомишин С.В., Михайлик С.В., Карманов В.В. Проблема эффективного использования возобновляемых источников энергии Украины для целей тепло- и электроснабжения // Вестник ХГТУ. – 2009. – № 9. – С. 168–172.

7. Варварский В.С., Михайлик В.Д. Парогенераторы с кипящим (псевдоожигенным) слоем. – М.: Информэнерго, 1979. – 50 с.

8. Будзяк В.М. Еколого-економічні проблеми використання нетрадиційних відновлюваних джерел енергії (на прикладі вітрової енергії): автореферат дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. / В.М. Будзяк. – К., 2000. – 18 с.

9. Михайлик С.В. Енергетична проблема і міжнародний досвід виходу з кризи // Таврійський науковий вісник. – 2002. – № 23. – С. 107–119.

10. Михайлик В.Д., Молчанов В.Н. Перспективы энергосбережения в коммунальной отрасли // Вестник ХНТУ. – 2006. – № 3 (26). – С. 95–98.

11. Самохвалов В.С. Вторинні енергетичні ресурси та енергозбереження: навч. посібник. – К: Центр учбової літератури, 2008. – 224 с.

12. Ковалко М.П. Енергозбереження – досвід, проблеми, перспективи / НАН України; Держкоменергозбереження України. – К., 1997. – 162 с.

Михайлик В.Д., Михайлик С.В. ЕКОЛОГІЧНЕ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ЯК ПРІОРИТЕТНА НАЦІОНАЛЬНА ПРОГРАМА

Розглянуто основні положення Енергетичної програми України. Дано аналіз стану справ у ТЕК країни. Детально розглянуто питання екологічного енергозбереження та перспективи використання відновлюваних нетрадиційних енергоресурсів, з урахуванням досвіду країн Заходу.

Ключові слова: екологічне енергозбереження, відновлювані нетрадиційні енергоресурси.

Mikhaylik V.D., Mikhaylik S.V. ECOLOGIC ENERGY SAVING AS A PRIORITY OF NATIONAL PROGRAM

Basic issues of the energy program of Ukraine are considered. Energy saving and prospects of using alternative reproducible energy resources are thoroughly examined, to take into account the experience of Western countries.

Key words: ecologic energy saving, alternative reproducible energy resources.

ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ РОБОТИ ТРАНШЕЙНОЇ МАШИНИ

Лисак С.І.,

Миколаївський будівельний коледж,

Сукач М.К.,

Київський національний університет будівництва і архітектури

Зуважено необхідність ремонту магістральних трубопроводів з метою підвищення надійності транспортування енергетичних ресурсів країнам Європи. Проведено кінематичний аналіз процесу роботи машини, яка повністю розкриває магістральні трубопроводи за периметром. Досліджено вплив конструктивно-кінематичних параметрів процесу роботи на параметри стружки ґрунту, що зрізається ланцюговим робочим органом.

Ключові слова: енергетичні ресурси, надійність транспортування, кінематичний аналіз, траншеєкопач, магістральний трубопровід.

Вступ. Надійність трубопровідного транспорту України є надзвичайно важливим показником стабільності забезпечення західноєвропейських країн паливо-енергетичними ресурсами. Зважаючи на те, що система магістральних трубопроводів найбільш активно будувалась у 1960...80 роках, переважна частина з них експлуатується із значним перевищенням строку служби. Внаслідок цього знижується експлуатаційна надійність трубопроводів, яка залежить від проведення своєчасного і якісного капітального ремонту.

На експлуатаційну надійність трубопроводів значно впливає корозія ізоляційного покриття, що виникає внаслідок інтенсивних процесів старіння. Це, зазвичай, призводить до частих аварій та зупинок при перекачуванні нафтопродуктів споживачам.

Актуальність. Нова технологія капітального ремонту передбачає відновлення працездатності магістралі без підйому труби із ґрунтового ложа по всій довжині ремонтованої ділянки [1]. Цей ремонт здійснюється шляхом застосування комплексу технологічно зв'язаних між собою спеціальних землерийних машин (рис. 1).

Однією з них є ланцюговий траншеєкопач, який здійснює розкривання трубопроводу у траншеї. Авторами запропоновано адаптоване робоче обладнання, яке дозволяє повністю розкривати трубопровід за його периметром, виключаючи при цьому машину для підкопування труби. Модернізація машини потребує належного наукового обґрунтування конструктивних та кінематичних параметрів робочого обладнання, а тому вирішення цих задач є актуальним.

Метою роботи є кінематичний аналіз процесу роботи траншеєкопача, який здійснює розкривання з одночасним підкопуванням магістрального трубопроводу.

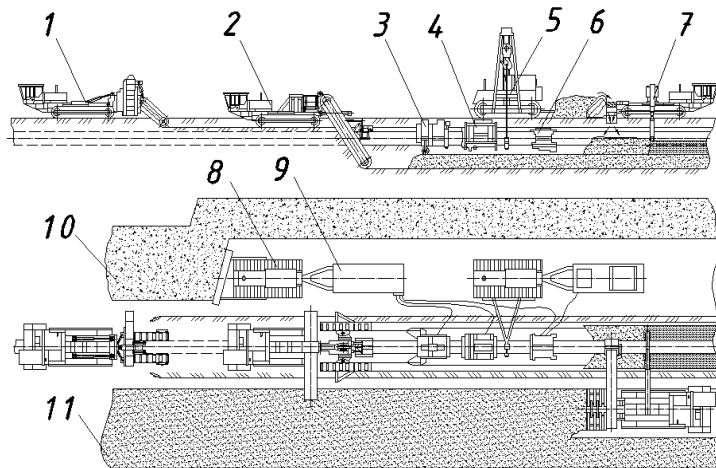


Рисунок 1. Технологія капітального ремонту трубопроводів: 1 – машина пошарової розробки ґрунту; 2 – машина для розкривання трубопроводу; 3 – машина для підкопування трубопроводу; 4 – машина зняття ізоляції; 5 – трубоукладач; 6 – машина нанесення ізоляції; 7 – машина підбивання ґрунту; 8 – бульдозер; 9 – дизель-електростанція; 10 – родючий ґрунт; 11 – мінеральний ґрунт

Основні результати роботи. Запропонована авторами конструкція траншеєкопача (рис. 2) складається із базової машини 1, яка переміщується вздовж трубопроводу 2 та робочого обладнання 3 [2]. Розробка та переміщення ґрунту здійснюється ланцюговими секціями 4, 5. Вилучений із траншеї ґрунт евакуюється конвеєром 6. Керування обладнанням виконується гідравлічними циліндрами 7, 8, 9. Контролювання машини по трасі прокладання трубопроводу здійснюється слідкуючим засобом 10.

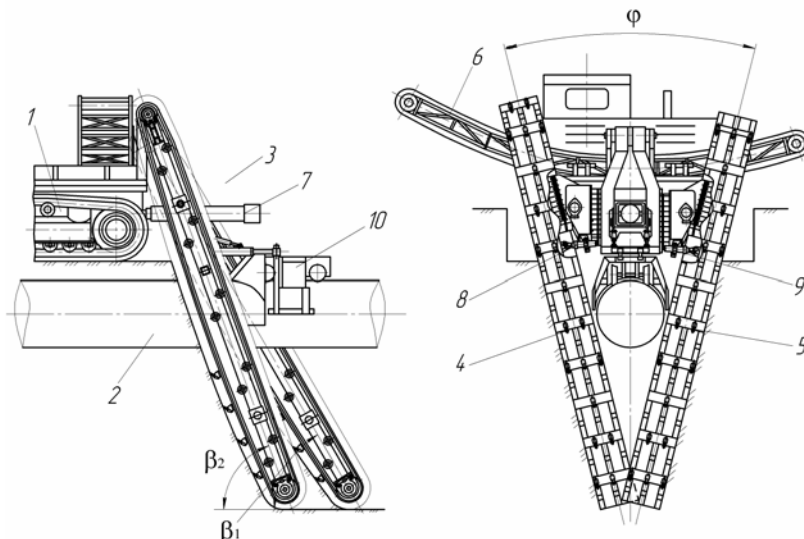


Рисунок 2. Ланцюговий траншеєкопач: 1 – базова машина; 2 – трубопровід; 3 – робоче обладнання; 4, 5 – ланцюгові секції; 6 – конвеєр; 7-9 – гідроциліндри; 10 – контролюючий пристрій

У режимі розкривання трубопроводу двосекційним ланцюговим траншеєкопачем робочий процес представляє собою поєднання двох рухів: рух ланцюга із закріпленим на ньому різальним інструментом зі швидкістю v_L ; поступальний рух базової машини вздовж траси прокладання трубопроводу при копанні траншеї зі швидкістю v_M .

Отже, різальний інструмент здійснює складний рух: разом із ланцюгом він переміщується по відношенню до машини і разом з машиною – по відношенню до ґрунту (забою) [3].

1. Розглянемо кінематику руху робочого органа машини-прототипу, при паралельно встановлених одна до одної ланцюгових секціях (без підкопування труби).

При виконанні робіт з розкривання підземного трубопроводу з паралельно встановленими одна до одної ланцюговими секціями машина працює в режимі екскаватора поздовжнього копання, коли площина руху ланцюгів робочого органу знаходиться в одній площині (або паралельній) з рухом базової машини.

Кінематична особливість полягає у відхиленні траєкторії руху різального елемента на кут α (рис. 3, 4), який менше кута нахилу рами робочого органу до забою β [4]:
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_L \sin \beta}{v_L \cos \beta + v_M}.$$

Аналіз цієї залежності показує, що кут відхилення траєкторії різання в основному залежить від кута встановлення рами робочого органу та швидкості тягового ланцюга, оскільки швидкість переміщення машини є величиною відносно малою.

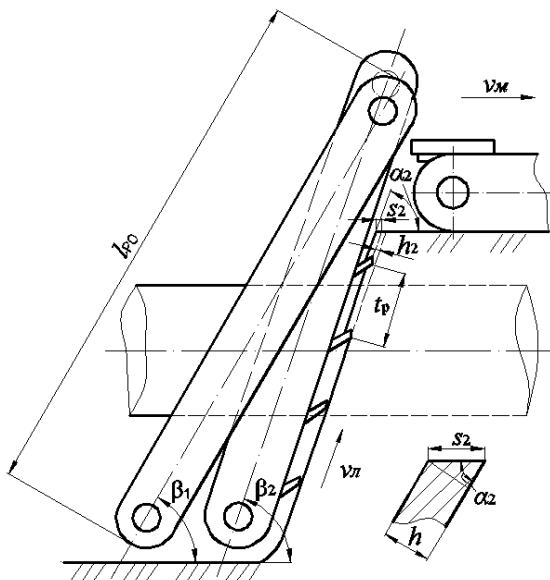


Рисунок 3. Схема руху різців ланцюгових секцій робочого органу

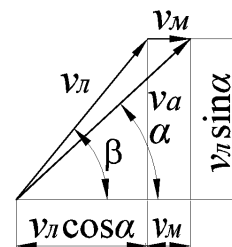


Рисунок 4. План швидкостей ланцюгового робочого органу при паралельно встановлених секціях

Оскільки ланцюгові секції встановлюються під різними кутами до дна забою задля перекривання осі траншеї під час підкопування труби (рис. 2), то відповідно кути відхилення траєкторії різального інструменту для кожної секції буде різним [5]. Позначимо кут нахилу до забою для однієї секції (наприклад, правої) β_1 (зазвичай він становить близько 60°). Тоді з урахуванням цього, відхилення траєкторії руху різального інструменту для правої секції буде складати $\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{v_{Л1} \sin \beta_1}{v_{Л1} \cos \beta_1 + v_M}$, де $v_{Л1}$ – швидкість руху ланцюга правої секції робочого органа; v_M – швидкість переміщення базової машини, або $\alpha_1 = \operatorname{arctg} \frac{v_{Л1} \sin \beta_1}{v_{Л1} \cos \beta_1 + v_M}$.

Для лівої секції із урахуванням того, що її встановлено під кутом β_2 буде

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{v_{Л2} \sin \beta_2}{v_{Л2} \cos \beta_2 + v_M}, \text{ або } \alpha_2 = \operatorname{arctg} \frac{v_{Л2} \sin \beta_2}{v_{Л2} \cos \beta_2 + v_M},$$

де $v_{Л2}$ – швидкість руху ланцюга лівої секції робочого органа.

Отримані формули пов'язують швидкість переміщення базової машини v_M і кінематичні параметри руху відповідних ланцюгових секцій.

Параметрами стружки, яка знімається різальним інструментом під час роботи машини, є її ширина та товщина. Із урахуванням кінематичних параметрів руху машини (рис. 3), товщина стружки h_2 для лівої секції робочого органа $h_2 = s_2 \sin \alpha_2$, де s_2 – подача на одну балочку із різцями лівої секції (або відстань, яку проходить траншеєкопач за час виходу із забою двох сусідніх балочок). Аналогічно визначимо товщину стружки h_1 для правої секції робочого органа: $h_1 = s_1 \sin \alpha_1$, де s_1 – подача на одну балочку із різцями правої секції.

Беручи до уваги те, що $v_M \ll v_{Л}$, можна вважати, що кути $\beta \approx \alpha$, тобто швидкість різання ґрунту приблизно відповідає швидкості руху ланцюга відповідної секції робочого органа. Тому можна записати $h_1 = s_1 \sin \beta_1$,

$$h_2 = s_2 \sin \beta_2. \text{ Подача різців для лівої та правої секцій складатиме } s_1 = t_P \frac{v_M}{v_{Л1}},$$

$s_2 = t_P \frac{v_M}{v_{Л2}}$, де t_P – крок розстановки різців у лінії різання. З урахуванням

цих формул, товщина стружки $h_1 = t_P \frac{v_M}{v_{Л1}} \sin \beta_1$, $h_2 = t_P \frac{v_M}{v_{Л2}} \sin \beta_2$. Із цих

формул випливає, що змінюючи параметри руху базової машини v_M та ланцюга $v_{Л}$, можна регулювати товщину стружки, що зрізається h при постійних конструктивних та кінематичних параметрах робочого органа t_P і β .

2. Розглянемо тепер кінематику руху робочого органу при підкопуванні трубопроводу, тобто коли ланцюгові секції встановлюються одна до одної під гострим кутом φ (рис. 5). При цьому кінематика процесу змінюється, що впливає на хід роботи машини в цілому. Векторне рівняння абсолютної швидкості v_a має вигляд (рис. 4) $\bar{v}_a = \bar{v}_L + \bar{v}_M$, де \bar{v}_L – вектор швидкості руху ланцюга відповідної секції робочого органу; \bar{v}_M – вектор швидкості переміщення базової машини при розробці траншеї.

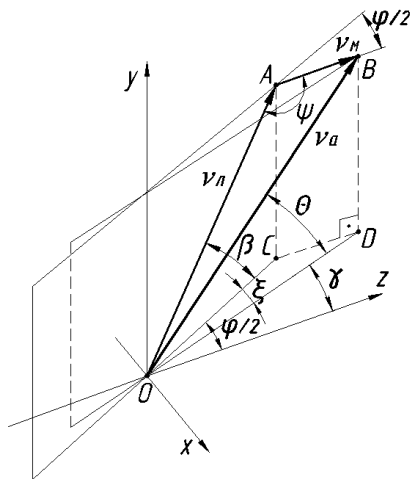


Рисунок 5. План швидкостей ланцюгового робочого органу при підкопуванні трубопроводу

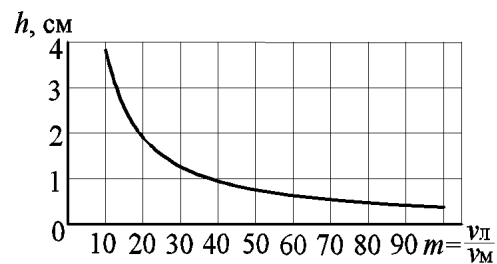


Рисунок 6. Залежність товщини стружки від конструктивно-кінематичних параметрів процесу роботи

Для прикладу розглянемо кінематику руху лівої ланцюгової секції робочого органу. Швидкість ланцюгів v_L (а отже, і площина руху) буде відхилитися від площини руху базової машини yz на кут $\varphi/2$, який забезпечує перекривання осі траншеї нижніми частинами секцій робочого органу. Швидкість v_L спрямовано під кутом β до площини xz (площини дна забою), який дорівнює куту встановлення рами ланцюгової секції робочого органу. Площина вектора швидкості машини v_M проходить паралельно площині (осі) руху тягача yz . Вектор v_a знаходиться у площині, що відхиляється від площини руху тягача на кут γ і знаходиться під кутом θ до горизонтальної площини xz (площини забою).

Визначимо параметри v_a , θ , γ , для чого розглянемо трикутник ΔOAB , в якому сторони $OA = v_L$, $AB = v_M$, кут між ними $\psi = 180^\circ - \varphi/2$. Згідно з теоремою косинусів $v_a = \sqrt{v_L^2 + v_M^2 - 2v_L v_M \cos\left(180^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)}$. У трикутнику

$$\Delta BDO: \sin \theta = \frac{BD}{OB}, \text{ де } BD = AC = OA \sin \beta.$$

Ураховуючи, що $OB = v_a$, $OA = v_L$, отримаємо $\sin \theta = \frac{v_a}{v_L \sin \beta}$, або

$$\theta = \arcsin \frac{\sqrt{v_L^2 + v_M^2 - 2v_L v_M \cos\left(180^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)}}{v_L \sin \beta}.$$

Отримана залежність зв'язує параметри швидкостей руху робочого органу v_C , базової машини v_M і кутів встановлення рами ланцюгових секцій до горизонтальної площини забою β та її повороту $\frac{\varphi}{2}$ для підкопування трубопроводу. Кут γ відхилення площини абсолютної швидкості різання ґрунту v_a від площини руху тягача yz згідно з рисунком 5 $\gamma = \frac{\varphi}{2} - \xi$, де ξ – кут між горизонтальними проекціями абсолютної швидкості різання v_a та швидкості руху ланцюга v_L . У трикутнику $\triangle COD$: сторони $OC = OA \cos \beta$, $OD = OB \cos \theta$, $CD = AB = v_M$. Замінивши відповідні сторони трикутника $\triangle COD$ через горизонтальні проекції швидкостей, отримаємо $\cos \xi = \frac{v_M^2 - v_a^2 \cos^2 \theta - v_L^2 \cos^2 \beta}{2v_L \cos \beta v_a \cos \theta}$, або $\xi = \arccos \frac{v_M^2 - v_a^2 \cos^2 \theta - v_L^2 \cos^2 \beta}{2v_L v_a \cos \beta \cos \theta}$.

Тоді кут $\gamma = \frac{\varphi}{2} - \arccos \frac{v_M^2 - v_a^2 \cos^2 \theta - v_L^2 \cos^2 \beta}{2v_L v_a \cos \beta \cos \theta}$. Із останніх

формул випливає, що товщина стружки, яка зрізується ланцюговими секціями при підкопуванні трубопроводу, має вигляд $h_1 = t_p \frac{v_M}{v_{L1}} \sin \theta_1$,

$h_2 = t_p \frac{v_M}{v_{L2}} \sin \theta_2$. Швидкість руху ланцюга траншейних екскаваторів

зазвичай дорівнює $v_L = 0,4 \dots 2$ м/с, а швидкість переміщення машини при розкриванні трубопроводу складає $v_M = 80$ м/год ($v_M = 0,022$ м/с). Графік на рис. 6 показує залежність товщини стружки ґрунту, яка зрізається, від конструктивно-кінематичних параметрів процесу. При співвідношенні $m = 10 \dots 50$ спостерігається стрімке зменшення товщини стружки, а при співвідношенні швидкостей $m = 60 \dots 100$ це значення не має суттєвої зміни параметру h . Тому в цьому діапазоні зміна швидкості ланцюга недоцільна.

Висновки. У результаті кінематичного аналізу процесу роботи машини встановлено, що траєкторія руху різців α відхиляється від кута встановлення рами β робочого обладнання. Отримано залежності, які пов'язують геометричні та кінематичні параметри процесу розробки ґрунту, а саме: товщину стружки h , кути встановлення секцій до забою ξ , γ , φ , крок розташування різців t_p та ін. На основі цих залежностей можна визначати та регулювати швидкості руху ланцюга v_L і машини v_M для забезпечення необхідної товщини стружки ґрунту h , що знімається ланцюговими секціями.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Мусійко В.Д., Кузьмінець М.П. Проблеми створення технології та техніки для виконання земляних робіт під час капітального ремонту промислових трубопровідних магістралей // Гірн., будів., дор. та меліор. машини: всеукр. міжвід. зб. наук. праць. – К.: КНУБА. – 2007. – Вип. 70. – С. 56–64.

2. Патент України №37784, Е 02 F5/00. Землерийне обладнання траншеєкопача для розкривання-заглиблення трубопроводів / Сукач М.К., Лисак С.І. (Україна). – и 2008 08334; заявл. 20.06.2008; опубл. 10.12.2008, Бюл. № 23.

3. Гарбузов З.Е., Донской В.М. Экскаваторы непрерывного действия: учеб. для СПТУ. – 3-е изд., перераб и доп. – М.: Высш. шк., 1987. – 288 с.

4. Землеройные машины непрерывного действия. Конструкции и расчеты / [Гарбузов З.Е. и др.]; под общ. ред. Л.Е. Подборского. – М.: Машиностроение, 1965. – 234 с.

5. Сукач М.К., Лисак С.І. Підвищення ефективності робочого обладнання машини для розкривання трубопроводів // Гірн., будів., дор. та меліор. машини: Всеукр. міжвід. зб. наук. праць. – К.: КНУБА. – 2008. – Вип. 71. – С. 3–9.

Лысак С.И., Сукач М.К. ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РАБОТЫ ТРАНШЕЙНОЙ МАШИНЫ

Отмечается необходимость ремонта магистральных трубопроводов с целью повышения надежности транспортировки энергетических ресурсов странам Европы. Проведен кинематический анализ процесса работы машины, которая полностью раскрывает магистральные трубопроводы по периметру. Исследовано влияние конструктивно-кинематических параметров процесса работы на параметры стружки грунта, которая срезается цепным рабочим органом.

Ключевые слова: энергетические ресурсы, надежность транспортировки, кинематический анализ, траншеекопатель, магистральный трубопровод.

Lysak S.I., Sukach M.K. INVESTIGATION OF KINEMATIC PARAMETERS IN THE PROCESS OF TRENCHING MACHINE OPERATION

A need is noted to repair main pipelines to increase the reliability of the energy resources transport to Europe. A kinematic analysis of the process of a trenching machine operation that fully exposes the pipelines along their perimeter is carried out. Effect of structurally-kinematic parameters of the process of operation on the parameters of ground layers, which are being cut by a chain working body, is studied.

Key words: the energy resources, reliability of transport, kinematic analysis, trenching machine, main pipeline.

ПРИКЛАДНОЙ МАГНЕТИЗМ КАК ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ПРАКТИЧЕСКОГО УЛУЧШЕНИЯ ЭКОНОМИКИ МАШИНО- И СУДОСТРОЕНИЯ

*Малыгин Б.В., Бень А.П., Коломоец В.В., Дюдяева О.А.,
Херсонский государственный морской институт*

На примере применения магнитно-импульсной обработки (МИО) деталей, в том числе крупногабаритных, на предприятиях судо-, приборо- и машиностроения Украины показана ее высокая эффективность. Использование данной технологии позволит повысить долговечность обрабатываемого инструмента, деталей машин и механизмов, безопасность работы технологического оборудования, увеличить рентабельность промышленного и ремонтного производства, снизить металлоемкость вновь проектируемых механизмов и оборудования.

Ключевые слова: магнитно-импульсная обработка (МИО), упрочнение, стойкость.

Введение. Вопросами магнетизма человечество интересуется более 300 лет. Исследованием применения прикладного магнетизма для изменения свойств изделий и расширения возможностей применения магнитной обработки в технологии машиностроения, особенно при металлообработке, в том числе с целью решения вопросов ресурсосбережения, занимались многие специалисты [1-3]. Опыт многолетних исследований доказывает необходимость применения возможностей магнитно-импульсной обработки изделий (МИО) в качестве простого и экономичного способа повышения стойкости металлорежущего инструмента, увеличения ресурса наиболее изнашиваемых деталей машин и механизмов, повышения долговечности узлов трения, сборочных единиц и конструкций, долговечности и надежности работы автоматизированных поточных линий, релейных линий, линий электропередач, электродвигателей и двигателей внутреннего сгорания, привода судов, самолетов, космических кораблей, реакторов АЭС.

Изложение основного материала. Известны трудности развития экономики судо- и машиностроения Украины. Перспективным резервом улучшения состояния промышленной индустрии страны является разработка и внедрение новых ресурсосберегающих технологий. При участии авторов статьи на базе лаборатории ресурсосберегающих технологий Херсонского государственного морского института проведены опытно-промышленные работы по внедрению в отрасль современных достижений прикладного магнетизма.

На ряде машино-, приборо- и судостроительных предприятий Украины проведены промышленные опыты на магнитоимпульсных установках типа «УМОИ», «Магнит-Победа», «Импульс-Универсал», «Градиент» и изучена высокая эффективность их работы, позволяющих с небольшими затратами времени в 1,5-3,0 раза повышать стойкость режущего инструмента и деталей машин. Такие результаты получены на промышленном упрочнении

металлорежущего инструмента, деталей машин, исполнительных механизмов.

Разработана и внедрена новая технология повышения коррозионно-кавитационной стойкости гребных винтов судов массой до 20 т и диаметром 0,5-8 метров. Обработка винтов из сталей 25л, 20х13, сплавов меди и др. проводилась на установках типа «Градиент» в металлических контейнерах с применением в качестве наполнителя (концентратора магнитного потока) стальных опилок. Кавитационно-коррозионно-механическое разрушение гребных винтов обусловлено наличием концентрации остаточных напряжений в плоскостях секущих фронт волны. Причем 90... 95% кавитационного разрушения происходит в местах пересечения плоскостей локальных перенапряжений по оси 010 с фронтом ударной волны. Ударная волна в жидкости в 2...5 раз усиливает клиновидный эффект разрушения особенно при переменной кривизне поверхности детали. Для устранения этих напряжений помимо общей МИО гребных винтов в стальных контейнерах с ферронаполнителями по истечении 24...48 часов проводилась дополнительная (2...5 раз) магнитная обработка тех участков, которые подтверждены первоочередному износу. Опыты проводились при следующих режимах: напряженность поля при обработке гребных винтов составляла 300...1000 кА/м, время импульса 1...2 с. После МИО стойкость гребных винтов возросла на 50...60%, а расход топлива за навигацию уменьшился не менее чем на 15%.

При упрочнении тяжелого и крупногабаритного оборудования, работающего при знакопеременных нагрузках, выдерживался следующий режим локальной обработки: напряженность поля 300...600 кА/м, длительность импульсов 0,5...0,2 с, число импульсов 3...15, время между импульсами 3...5 с, расход электроэнергии на МИО не более 10...50 Дж/кг.

Разработана технология магнитного упрочнения инструмента и оснастки, применяемой в металлургических, прокатных и литейных цехах. В промышленных условиях показано, что магнитная обработка (разливочные ковши, плунжеры и поршни машин литья под давлением, штоки, отсекатели и т.п.) на 20...60%, исполнительных механизмов машин для стального литья на 50...80%, металлических форм для литья цветных и черных металлов не менее чем на 50%. Стойкость режущего оборудования (прессножницы, летучие ножницы, кривошипные прессы и т.п.) заготовительных участков металлургического и прокатного производства после МИО возрастает в 1,5...2,3 раза. Стойкость прокатного оборудования (валки, оправки, калибры и т.п.) и другой технологической оснастки для обработки цветных и черных металлов давлением повышается в 1,3...2,0 раза, что позволяет на 15% увеличить бесперебойность работы основных участков сквозного цикла.

Разработана и внедрена новая технология и установки серии «Контакт» для упрочнения деталей электрических машин, электрооборудования и средств автоматики, применяемых в машино- и судостроении (напряжение до 6000 В). За счет магнитной обработки устранялось до 50...90%

концентрации поверхностных, внутренних, усталостных и сборочных напряжений; в 1,5...2,0 раза повышалась долговечность электромеханизмов и на 20...50% сокращалось число отказов, что в 1,3...2,0 раза увеличивало надежность привода и систем автоматики.

В промышленных условиях испытана МИО режущего инструмента, применяемого при монтажных и вспомогательных работах в судостроении и ремонте (сверла, пилы, фрезы).

Опыты показали, что магнитная обработка позволила не только в 1,4...2,5 раза повысить стойкостные и усталостные характеристики основной группы механизмов, но и на 10...25% увеличить производительность оборудования. Изложенное выше полностью подтверждает универсальность и эффективность новой технологии магнитного упрочнения изделий.

Результаты исследований и перспективы дальнейших разработок. Экономические расчеты подтвердили эффективность внедрения магнитоупрочнения с позиции совершенствования промышленной экономики, экологии, а также повышения безопасности машиностроения. Внедрение высокоэкономичных и экологически чистых методов магнитной обработки изделий не только повысит на 20...60% долговечность обрабатываемого инструмента, деталей машин и механизмов основных металлоперерабатывающих отраслей, но и одновременно не менее чем на 20...40% увеличит надежность их работы. Вследствие этого рентабельность судостроения и ремонтного производства возрастает в 1,4...1,8 раза, а безопасность работы технологического оборудования – в 1,5...2,0 раза. Широкомасштабное внедрения технологии и установок для магнитного упрочнения позволит снизить на 10...30% металлоемкость вновь проектируемых механизмов и оборудования в подразделениях важнейших отраслей страны. За счет этого в Украине может быть получен значительный экономический эффект. Экономия в 2...8 млн. долл./год на машиностроительном заводе средней мощности будет получена при условии, что масса магнитоупрочняемых изделий (инструмент, детали машин и др.) превысит 2000...3000 т.

Выводы. Теория магнитно-импульсного упрочнения подтверждена промышленными опытами. На машиностроительных, приборостроительных, судостроительных заводах, горных комбинатах и шахтах внедрены промышленные установки серии «УМОИ», «Градиент» «Импульс», «Контакт», «Магнит», спонтанно концентрирующие электромагнитную энергию в инструментах, деталях машин, механизмах и повышающие их ресурс. Технология и режимы МИО выбираются с помощью программного обеспечения установки. При упрочнении стальных деталей машин мощность установки определяется в зависимости от массы изделия, а режим – по магнитному сопротивлению материала. Время обработки, величина электромагнитной энергии, магнитного потока, напряженности поля соленоида, вольтамперная характеристика силового блока и другие

параметры задаются автоматически. Результаты промышленного эксперимента практически совпадают с расчетными показателями.

Внедрение технологии МИО в горном машиностроении, при минимальном повышении долговечности машин на 10...20 %, уменьшит капитальные вложений в отрасль на 100...200 млн. грн./год.

На примере объектов машиностроения и металлургии показана безопасность и экологическая чистота новой технологии. МИО повышает надежность работы электропривода и передаточных механизмов, гарантируя высокую безопасность оборудования. По напряженности магнитного поля, мощности, энергетическому спектру импульсов, технология и оборудование, применяемое для магнитоупрочненных изделий, полностью безопасны для обслуживающего персонала и окружающей среды. Для окружающей среды технология МИО в десятки раз безвреднее, нежели любой другой метод традиционного упрочнения.

Предложена и обоснована новая методика расчета экономии при внедрении на металлообрабатывающих предприятиях магнитной обработки. На примере судостроительных заводов показано, что расчеты следует проводить не столько по снижению общего расхода инструментов, деталей материалов, энергии, сколько по уменьшению технологического времени, необходимого для выпуска основной продукции, повышения производительности труда и качества сборки механизмов, улучшения культуры производства и оперативности работы смежных производств единого цикла обработки.

На основании промышленных опытов применение магнитно-импульсной обработки рекомендуется для ведущих отраслей народного хозяйства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент 42458 України, МКП С 21 D 1/04. Спосіб магнітної обробки виробів / Бень А.П., Офіцеров О.С., Малигін Б.В.; заявник та патентовласник Херсонський державний морський інститут. – Опубл. 10.07.09, Бюл. № 13.

2. Малыгин Б.В., Бень А.П. Магнитное упрочнение изделий. (Теория и практика). – Херсон: Изд-во ХГМИ, 2009. – 352 с.

3. Якунин Г.И., Молчанова Я.Г. Влияние локальных магнитных полей на стойкость режущего инструмента и возможность их практического использования // Электрические явления при трении, резании и смазке твердых тел. – М.: Наука, 1973. – С. 128–132.

Малигін Б.В., Бень А.П., Коломоєць В.В., Дюдяєва О.А. ПРИКЛАДНИЙ МАГНЕТИЗМ ЯК ОДИН ІЗ НАПРЯМІВ ПРАКТИЧНОГО ПОЛПШЕННЯ ЕКОНОМІКИ МАШИНО- І СУДНОБУДУВАННЯ

На прикладі використання магнітно-імпульсної обробки (МІО) деталей, у тому числі крупногабаритних, на підприємствах судно-, приладо- та машинобудування України показано її високу ефективність. Застосування даної технології дозволить підвищити довговічність інструменту, деталей машин і механізмів, що

обробляються, безпеку роботи технологічного обладнання, збільшити рентабельність промислового та ремонтного виробництва, знизити металоємність нових механізмів та обладнання, що проектується.

Ключові слова: магнітно-імпульсна обробка (МІО), зміцнення, стійкість.

Malygin B.V., Ben A.P., Kolomoets V.V., Dyudyaeva O.A. APPLIED MAGNETISM AS ONE OF THE TRENDS OF PRACTICAL IMPROVEMENT OF ECONOMY IN MACHINE- AND SHIP-BUILDING

On the example of application of magnetic-pulse treatment (MPT) of components, including ones of large overall dimensions, at the enterprises of ship-, machine building and instrument engineering in Ukraine its high effectiveness has been shown. The use of this technology will allow increase of a durability of machine tools, parts of machines and mechanisms, safety in operation of technological equipment, increase of a profitability of industrial and repairing production, decrease a specific amount of metal in the newly designed mechanisms and equipment.

Key words: magnetic-pulse treatment (MPT), strengthening, durability.

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОРСКОГО СЕРОВОДОРОДА ДЛЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ И ХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА

Леонов В.Е.,

Херсонский государственный морской институт,

Гацан Е.А.,

Международный университет бизнеса и права, г. Херсон

В статье приведены научно-технические и практические соображения по добыче глубинного морского сероводорода с последующей переработкой его в экологически чистое топливо и химические соединения. Добыча морского сероводорода позволит с одной стороны решить экономические проблемы, а с другой – экологические, поскольку при добыче сероводорода будет снижаться уровень сероводородного ядра и существенно снизится риск выброса сероводорода в атмосферу с последующими экологическими проблемами. Особый интерес представляет глубоководная добыча сероводорода и производство на его основе экологически безопасного водорода.

Ключевые слова: морской сероводород, глубоководная добыча сероводорода, экологически чистое топливо, плавучий комплекс.

Постановка проблемы. В настоящее время Украина остро столкнулась с проблемами трех «Э»: «экономика», «энергетика», «экология». Эти сферы неотъемлемо связаны друг с другом. Следовательно, к решению данных проблем необходимо подходить комплексно.

При решении «экологических» проблем Украина должна решить «энергетические», а вслед за ними и «экономические» проблемы.

Одной из самых масштабных экологических проблем считается чрезмерное скопление сероводорода в толще морской воды, а также его подъем к поверхности моря. Возникновение данной проблемы чаще всего связывают с антропогенным влиянием человека на природу, т.е. влиянием, которое оказывает человек на окружающую среду и ее ресурсы [1].

Черное море является крупнейшим источником сероводорода. В глубинах Черного моря, равно как и в глубинах Мирового океана, сероводород находится как в растворенном, так и в газообразном состояниях.

За последние 100 лет пласт сероводородного слоя поднялся с глубины Черного моря 100 м до 30-50 м от поверхности. Существует опасность прорыва толщи морской воды сероводородом. Отсюда вытекают следующие возможные катастрофические последствия:

1. Возгорание сероводорода при контакте с воздухом с образованием высокотоксического сернистого ангидрида (SO_2) – основного компонента «кислотных» дождей.

2. Взрыв смеси сероводорода и воздуха, приводящий к механическим разрушениям зданий, сооружений, гражданских, муниципальных и военных объектов.

3. Отравление сероводородом биосферы, человека.

Опасность отравления вод Мирового океана сероводородом – серьезная проблема, на которую до сих пор мало обращали внимание [2].

Анализ последних достижений и публикаций. Слой сероводорода, который находится в глубинах Черного моря, можно переработать в экологически чистое водородное топливо. Турецкие ученые исследовательского центра «Мармара» заявляют, что Черное море – практически неисчерпаемый источник энергии. Как отмечают ученые, важно разработать метод превращения сероводорода в водород, и тогда одну из самых больших экологических проблем, можно поставить на благо человечеству. Таким образом, «Черное море – не только серьезная экологическая проблема, но и потенциальный источник водородной энергии, если будет разработан экономически обоснованный и экологически безопасный процесс разложения сероводорода», – считают авторы [3].

В России (Новороссийск, Владивосток) активно проводятся исследования по ресурсам морского сероводорода и его переработке в водородное топливо и химические соединения.

Учитывая вышеизложенные проблемы и проведенные исследования в данной области, было разработано техническое предложение и подана заявка (18.07.2009 г.) на выдачу патента Украины «Плавучий комплекс для глубоководной добычи сероводорода из морской воды и способ запуска плавучего комплекса для глубоководной добычи сероводорода из морской воды». Авторами изобретения являются: Леонов В.Е., Гацан В.А., Гацан Е.А. [4].

С конца 2009 г. начала наблюдаться особая заинтересованность правительства Украины в исследовании и разработке шельфа Черного моря, о чем свидетельствуют данные источников массовой информации.

Целью данной работы является выявление экономической эффективности глубоководной добычи сероводорода из морской воды.

При разумном инновационном подходе сероводород может быть использован в топливно-энергетических целях, нефтехимическом синтезе и производстве минеральных удобрений. При этом масса сероводорода в глубинах Черного моря и Мирового океана будет уменьшаться, что приведет к снижению уровня экологического риска [2].

Для обеспечения энергетической независимости Украины, а также в связи с вышеизложенным представляется актуальной переработка глубинного сероводорода Черного моря в экологически безопасное топливо и химические соединения. Нами подготовлена Программа по разработке технических предложений по использованию сероводорода, содержащегося в морской воде в топливно-энергетических и коммерческих целях.

Заявка на выдачу патента Украины [4] относится к океанотехнике, а именно, к плавучим платформам для глубоководной добычи сероводорода в непрерывном режиме. Плавучий комплекс разработан в виде морской платформы повышенной волноустойчивости.

Плавающий комплекс может обеспечить глубоководную добычу до 10000 м (с учетом разницы давления на разных глубинах) сероводорода и его переработку в зонах с тяжелыми погодными условиями в открытом море в непрерывном режиме за счет его установки в волноустойчивом состоянии над местом скопления сероводорода. А последовательность действий при его запуске даст возможность осуществлять его монтаж или демонтаж вдали от берега. Определяют место морской поверхности, где глубина достигает более чем 7000 м. В данном регионе тяжелые погодные условия – высота волн составляет 9 м – глубоководная добыча сероводорода и переработка его осуществляется вдали от берега. В заводских условиях изготавливают плавающий комплекс с учетом места его эксплуатации в виде морской платформы повышенной волноустойчивости. Параметры комплекса обеспечивают его размещение для глубоководной добычи сероводорода (рис. 1).

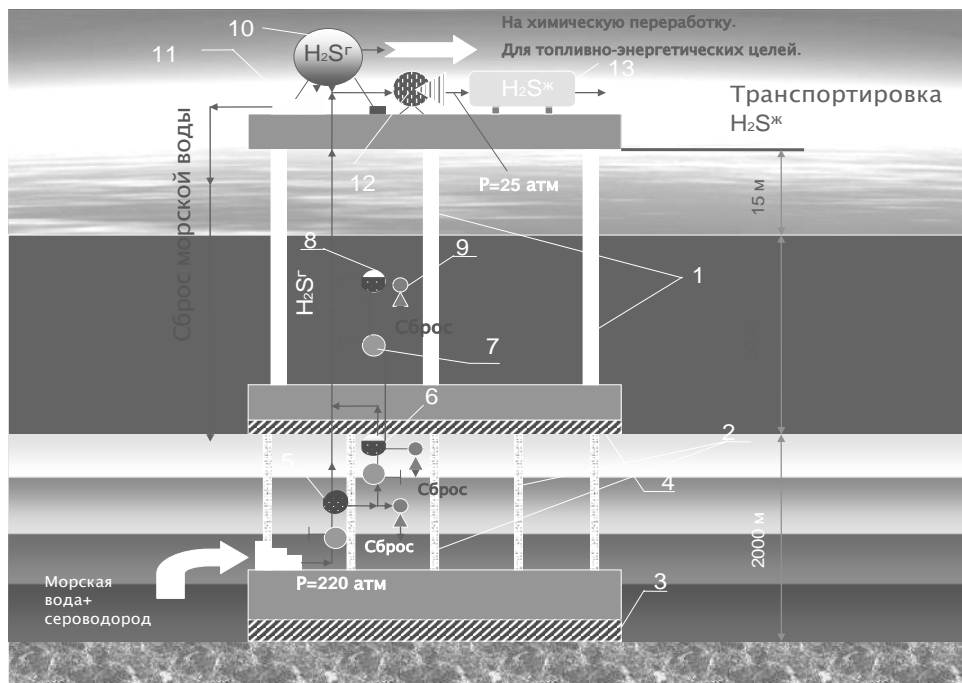


Рисунок 1. Комплекс по добыче глубинного морского сероводорода

В результате: только один насос системы перерабатывает не менее 1000 м³/час морской воды с растворенным в ней сероводородом. Запускают комплекс на проектную мощность – выход сероводорода 6 млрд. м³ в год в непрерывном режиме независимо от погодных условий [4].

Можно отметить следующие преимущества системы добычи морского сероводорода указанным способом:

- получение энергии в турбодетандерах за счет понижения давления морской воды с сероводородом;
- максимальная глубина добычи до 10000 м;
- возможна комплексная добыча углеводородного сырья – попутного нефтяного, природного газа, нефти, газового конденсата;
- минимальный дифферент надводной платформы;
- получение, накопление, хранение и транспортировка сероводорода в

газообразном и жидком состояниях;

- возможность блочно-комплектного монтажа установки.

В результате произведенных расчетов стоимость 1000 м³ сероводорода составит приблизительно 150 долл. США. В будущем эта стоимость может быть уменьшена, после полного погашения основных затрат на создание плавучего комплекса.

Для сравнения, закупочная цена природного газа составляет 300 долл. США за 1000 м³.

Предложена схема переработки сероводорода в гидросульфид натрия и другие продукты нефтехимического синтеза [7], разработаны способ по обеспечению взрыво-пожаробезопасности при транспортировке нефти, нефтепродуктов танкерным флотом [6], способ сорбционной очистки гидросферы от нефтепродуктов [8] (рис. 2, 3).

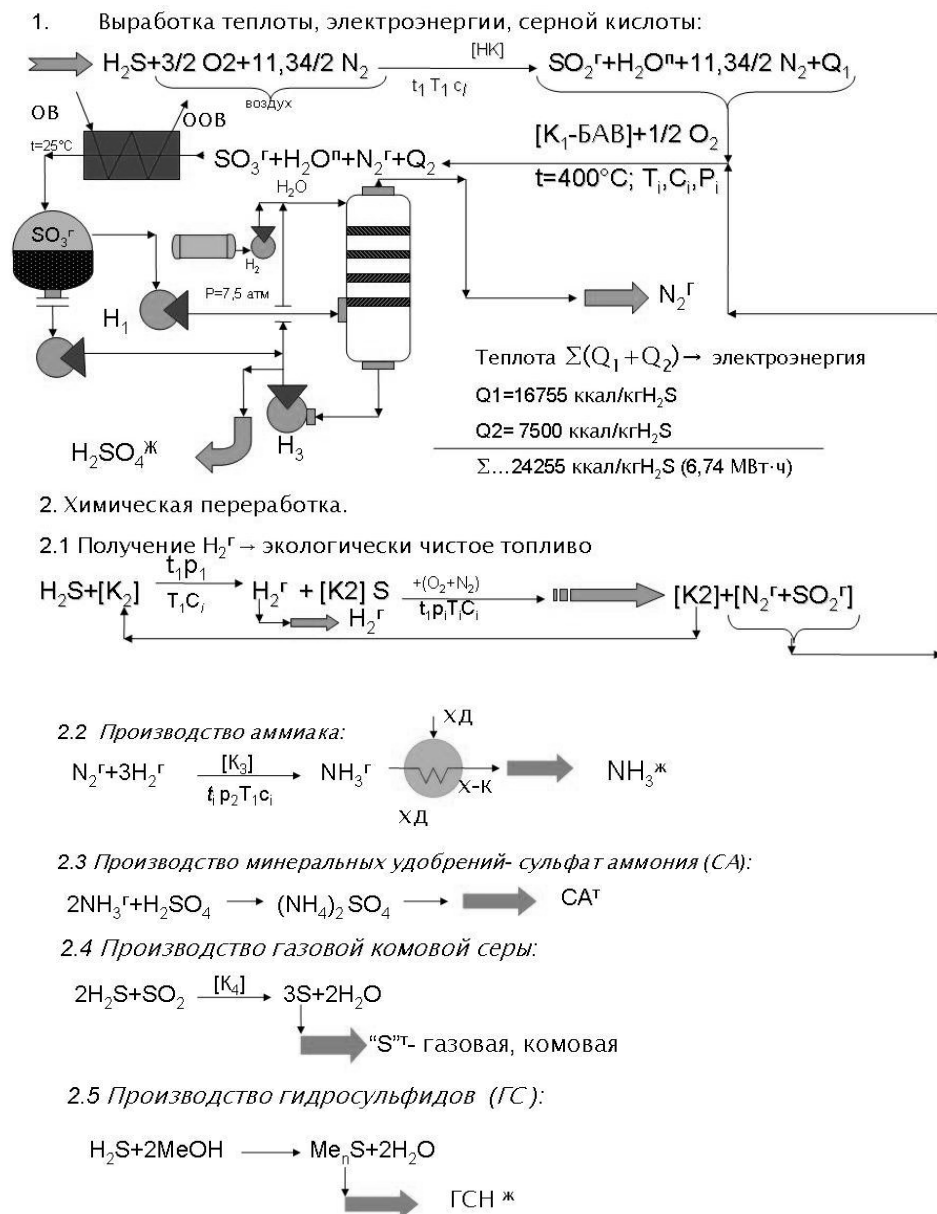


Рисунок 2. Рациональные пути переработки сероводорода, добытого из глубин Черного моря

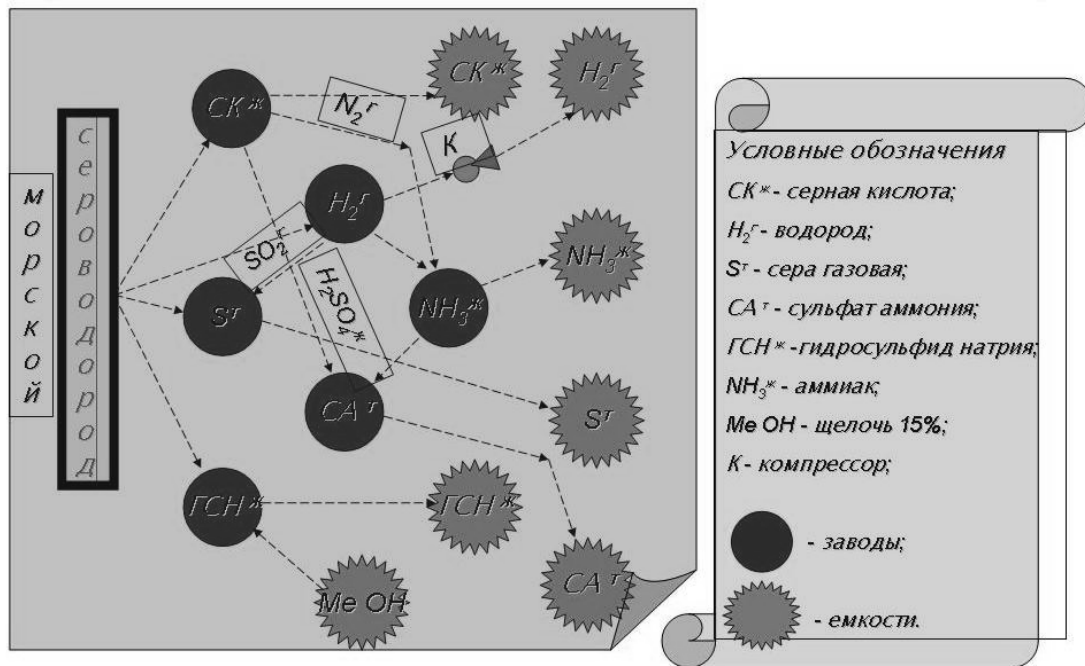


Рисунок 3. План размещения заводов по переработке H_2S^g на морской платформе

Реализация проекта позволит решить следующие социально-экономические и экологические проблемы:

- значительно снизить степень экологического риска вследствие выбросов сероводородного ядра с морских глубин с $R = 10^{-4}$ до $R = 10^{-6}$;
- использовать дешевый источник альтернативного сырья для топливно-энергетических целей и нефтехимического синтеза;
- получить экологически чистое топливо – водород, при сжигании которого полностью исключается эмиссия диоксида углерода – компонента «парниковых» газов (Киотский протокол, 1997 г.);
- существенно снизить себестоимость производства электроэнергии и основных продуктов нефтехимического синтеза и, соответственно, повысить их конкурентоспособность, что особенно важно в условиях финансово-экономического кризиса;
- снизить объем импорта природного газа, минеральных удобрений и продуктов нефтехимического синтеза;
- повысить уровень экологической безопасности и энергетической стабильности стран Причерноморья;
- снизить уровень безработицы за счет новых рабочих мест по добыче и переработке морского сероводорода;
- освоить новые специальности и специализации в высших учебных заведениях морского профиля, связанные с морской разведкой, добычей и переработкой сероводорода на морских платформах.

Выводы. Создание и эксплуатация плавучего комплекса для глубоководной добычи сероводорода позволит решить существующие

экономические, энергетические, экологические проблемы Украины, т.е. позволит непрерывно добывать, перерабатывать сероводород и использовать его в топливно-энергетических целях, нефтехимическом синтезе и производстве минеральных удобрений, экономить на закупках импортируемого сырья, и, в частности газа, более чем в два раза, стать Украине энергетически независимой.

Кроме того, создание данного комплекса позволит открыть новые рабочие места. Следовательно, уже сегодня украинским учебным морским заведениям необходимо продумать вопросы об обучении новых специалистов, которые будут осваивать альтернативные морские энергетические источники Черного моря и других вод мирового океана. Будущее XXI века – это энергетика морей и океанов, т.е. уже сейчас существует необходимость обучать, готовить кадры для работы на морских плавучих комплексах по добыче полезных ископаемых и выдавать соответствующие сертификаты морякам о способности работать им на таких комплексах.

При внедрении вышеуказанных мероприятий на практике, станет возможным экономически эффективное и экологически безопасное использование природных источников во благо человечества и окружающей среды в целом.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ткаченко А.М. Международные экономические отношения: научн. пособ. – К.: Издательский дом «Профессионал», 2009. – 352 с.
2. Извлечение сероводорода из Черного моря с последующей его переработкой: Отчет / Международная академия экономики и экотехнологий / Рук. работы проф. Леонов В.Е. – Херсон: МУБиП, 2009. – 40 с.
3. Залежи сероводорода в Черном море принесут пользу. – Режим доступа:
<http://www.kalmenergo.ru>.
4. Плавучий комплекс для глубоководной добычи сероводорода из морской воды и способ запуска плавучего комплекса для глубоководной добычи сероводорода из морской воды: заявка о выдаче патента Украины на изобретение / Леонов В.Е., Гацан В.А., Гацан Е.А. – 18.07.2009. – 25 с.
5. Эксперимент по добыче сероводорода в Черном море провели в районе Новороссийска. – Режим доступа:
<http://www.yuga.ru/news/168328/>.
6. Патент України на корисну модель № 49038. Спосіб зниження вибухо-пожежонебезпеки на танкері / Леонов В.Є., Гацан В.А., Гацан О.А. – Опубл. 12.04.2010, Бюл. №7.
7. Патент України на корисну модель № 49642. Спосіб отримання гідросульфиду натрію з суміші газів, що містить сірководень / Леонов В.Є., Гацан В.А., Гацан О.А. – Опубл. 11.05.2010, Бюл. № 9.

8. Патент України на корисну модель № 37417. Спосіб сорбційного очищення гідросфери від нафтопродуктів / Леонов В.Є. – Опубл. 25.11.2008.

Леонов В.Є., Гацан О.А. РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ МОРСЬКОГО СІРКОВОДНЮ ДЛЯ ПАЛИВНО-ЕНЕРГЕТИЧНИХ ЦІЛЕЙ І ХІМІЧНОГО СИНТЕЗУ

У статті наведено науково-технічні й практичні міркування по видобутку глибинного морського сірководню з наступною переробкою його в екологічно чисте паливо й хімічні сполуки. Видобуток морського сірководню дозволить з одного боку вирішити економічні проблеми, а з іншого – екологічні, оскільки при видобутку сірководню буде знижуватися рівень сірководневого ядра й істотно знизиться ризик викидів сірководню в атмосферу з наступними екологічними проблемами. Особливий інтерес представляє глибоководний видобуток сірководню й виробництво на його основі екологічно безпечного водню.

Ключові слова: морський сірководень, глибоководний видобуток сірководню, екологічно чисте паливо, плавучий комплекс.

Leonov V.E., Gatsan E.A. A RATIONAL USE OF SEA HYDROGEN SULFIDE FOR FUEL AND ENERGY PERPOSES AND CHEMICAL SYNTHESIS

Scientific-and-technical and practical considerations as to the extraction of deep-water hydrogen sulfide with its subsequent processing into ecologically pure fuel and chemical compounds. Production of sea water hydrogen sulfide, on one hand, will allow solve some economical problems, and, on the other hand, – ecological ones. As far as, while the extraction of hydrogen sulfide a level hydrogen sulfide core will decrease and the risk of hydrogen sulfide outburst into the atmosphere with its subsequent ecological problems will be substantially decreased. A particular interest presents a deep-water extraction of hydrogen sulfide and production on its basis of ecologically safe hydrogen.

Key words: sea hydrogen sulfide, a deep-water extraction of hydrogen sulfide, ecologically pure fuel, floating complex.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЭУ ТАНКЕРОВ ПРИ СЖИГАНИИ ВОДОТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

*Горячкин А.В., Мандровский В.В., Заднепряный А.В.,
Киевская государственная академия водного транспорта
им. гетмана Петра Конашевича-Сагайдачного*

Рассмотрены возможности повышения эффективности СЭУ танкеров при сжигании ВТЭ с учетом использования нефтеостатков и снижения коррозионной активности газов.

Ключевые слова: судовые энергетические установки (СЭУ), эффективность СЭУ, водотопливные эмульсии (ВТЭ).

Введение. Сжигание тяжелых остаточных топлив приводит к интенсификации процессов коррозии и загрязнения в котлах, к снижению технико-экономических показателей СЭУ, к увеличению эмиссии вредных веществ в окружающую среду. Поэтому большое значение приобретают мероприятия, направленные одновременно на снижение эмиссии вредных веществ и на повышение экономичности сжигания топлив в СЭУ за счет улучшения процессов горения, которые приводят к снижению токсичности дымовых газов до уровня современных требований охраны окружающей среды [1, 2].

При сепарации топлив и масел образуется значительное количество отходов: из топлива вместе с водой и механическими примесями удаляется до 3% горючей высокомолекулярной части топлива, что снижает экономичность энергетической установки [3, 4]. Особенно большое количество нефтеостатков образуется в результате эксплуатации танкеров в связи с периодической мойкой грузовых танков. В среднем доля отмытых нефтеостатков составляет до 0,5% количества перевезенных нефтепродуктов. Себестоимость топлива, получаемого из такого сырья, значительно выше, чем при его утилизации непосредственно на самом судне [4, 5]. С этих позиций экономически целесообразно использование нефтеостатков на танкерах в качестве вторичных топливно-энергетических ресурсов (ВТЭР). Обработка обводненных нефтеостатков с использованием специальных технических средств позволяет получать водотопливные эмульсии (ВТЭ), сжигание которых возможно в любом котле с содержанием воды до 30...67% [3, 6-9]. Для сжигания нефтеостатков и мусора может быть использована топка вспомогательного котла, как принято в конструкции котла типа АQ-10 (Швеция) [4]. Жидкие нефтеостатки перед подачей на ротационную форсунку гомогенизируются в циркуляционном контуре. Опыт эксплуатации котлов типа АQ-10 свидетельствует о том, что благодаря утилизации теплоты при сжигании отходов экономится до 30% котельного топлива, а затраты на установку котла и системы подготовки отходов окупаются за три года. При этом необходимо отметить, что КПД котла находится на уровне 84%.

Допустимое содержание воды в нефтеостатках 50%.

Результаты проведенных испытаний по сжиганию гомогенизированных топливных смесей в виде ВТЭ в котлах типа КВГ-34К (танкеры типа «София») показывают, что их горение происходит так же, как и горение котельных топлив, нагары становятся более рыхлыми и менее абразивными, сажистые остатки не слипаются, низкотемпературная сернистая коррозия не наблюдается, благодаря введению специальных присадок, снижению солесодержания воды, непрерывному контролю температуры вспышки. Экономические преимущества такого способа очевидны: в каждый рейс, после которого проводится мойка грузовых танков, танкер принимает на 100...150 т меньше топлива (с учетом последующей утилизации отмытых нефтеостатков) и за счет этого принимает на 100...150 т больше груза. Анализ конструкций ВК танкеров [9] показывает, что в основном применяются котлы с естественной циркуляцией, КПД которых находится на уровне 80...85%, так как они имеют только парообразующую поверхность (ПО) и даже при установке небольших газовых воздухоподогревателей (ГВП) из-за низкотемпературной коррозии (НТК) КПД удастся повысить до 88% (например, котел типа КВ2). Технические характеристики потребителей пара судна определяют параметры вырабатываемого котлами пара, значения которых зависят (как и паропроизводительность D) от назначения судна. Все эти факторы и привели к появлению большого разнообразия конструкций ВК (по данным [9] более 50 марок). Несмотря на низкие показатели безопасности, в качестве ВК применяют также огнетрубные, огнетрубно-водотрубные котлы, КПД которых находится на уровне 80...84%. Конструкция этих котлов относительно легко может быть приспособлена для обезвреживания нефтеотходов и мусора. На танкерах паропроизводительность ВК может достигать больших значений (до 50 т/ч). По данным [9], дальнейшее развитие мощных ВК типа КВ идет по принципиально новому направлению в компоновке поверхности нагрева, горизонтальным движением газов под пароводяным коллектором (котлы типа КВ5), что позволит увеличить их скорость и снизить удельные массовые и габаритные показатели котлов.

В современных СЭУ с дизельными установками применяют две системы утилизации теплоты выхлопных газов. В системах с обычной утилизацией теплоты часто применяются утилизационные котлы (УК), имеющие только парообразующую поверхность (ПО), в которой генерируется обычно пар давлением 0,4...0,7 МПа. В этом случае температура газов за УК высокая (на уровне 190 °С). Теплоутилизационные контуры (ТУК) глубокой утилизации, работающие на ходовом режиме, обеспечивают экономию 4...6% расхода топлива. В установках с УТГ обычно применяется УК прямоугольной формы, имеющий пароперегреватель, парообразующую поверхность и экономайзер, включенный в контур циркуляции. Включение экономайзера в контур циркуляции дает возможность обеспечить температуру воды на входе в него

на уровне 120...140 °С для предотвращения НТК, что определяет температуру выхлопных газов за УК на уровне 160 °С и ограничивает глубину утилизации. Все более широкое внедрение в судовую энергетику высокоэкономичных ДВС приводит к снижению температуры выхлопных газов. Повышение температуры питательной воды перед УК приводит к росту паропроизводительности до определенного уровня, но уменьшаются размеры экономайзера, что при фиксированной температуре воды на выходе из него и росте температуры воды на входе в экономайзер снижает глубину утилизации выхлопных газов. В этом случае экономайзер практически исчезает. Чтобы повысить паропроизводительность УК целесообразно установить вместо экономайзера ПО с низкими параметрами, нижний уровень которых, определяющий глубину утилизации, также ограничен необходимостью предотвращения НТК.

Для повышения паропроизводительности УК некоторые фирмы предложили уменьшение минимальной разности температур между газами и рабочим телом с 30 °С до 12...20 °С, а в отдельных случаях и до 5 °С [10]. Возникла потребность в УК, пригодных для использования газов пониженной температуры. Предложены комплексные системы утилизации теплоты с применением УК с двумя и даже тремя ступенями давления. В настоящее время представляет интерес создания прямоточного УК в составе газопаротурбинной установки (ГПТУ). Большие масса и габариты энергооборудования ее ТУК обусловлены наличием котла, сепаратора и циркуляционного насоса. При жестких ограничениях по массогабаритным характеристикам котельной установки может оказаться целесообразным переход от многократной принудительной циркуляции (МПЦ) к чисто прямоточному принципу циркуляции: из состава ТУК исключаются циркуляционный насос, сепаратор и соответствующие магистрали с арматурой. Для прямоточного котла также необходимы специальные мероприятия по защите его водяного экономайзера от НТК, скорость которой может составлять 0,25 г/(м²·ч) и более [11]. Поэтому необходим поверхностный подогреватель, включенный по воде в напорную магистраль питательного насоса. Температура воды за подогревателем может равняться 355-360 К, что по мнению [11] с учетом относительно высокого качества топлива, используемого в ГПТУ (содержание серы ≤ 0,15-0,20%), достаточно для надежной защиты экономайзера от НТК.

Использование водотопливных эмульсий (ВТЭ) привлекает внимание исследователей и эксплуатационников простотой конструктивного оформления, а также возможностью одновременного решения ряда – экономичности ДВС, уменьшения нагарообразования, дымности и токсичности отработавших газов, снижения уровня шума [3, 5-8]. В ходе экспериментальных исследований [6] установлено, что добавление к топливу 5-10% воды ускоряет процесс сгорания в 5-6 раз. Во время проведения испытаний главных судовых дизелей 6ДКРН 74/160-3 оптимальное водосодержание ВТЭ, приготавливаемой на базе зарубежных мазутов IFO-40,

IFO-180, підтримувалося в межах 17-25%, расход топлива при этом снижался на 12-15%. При проведении испытаний работы дизель-генератора 6ЧН 25/34 на стенде дизелестроительного завода в Первомайске водосодержание ВТЭ достигало 50% [6]. Анализ испытаний, проведенных на 25 двигателях различной конструкции с использованием как дизельного, так и тяжелых сортов топлив, показал [5], что в большинстве случаев максимальная экономия топлива достигается при концентрации воды в ВТЭ, составляющей 10-20%. Максимальная величина экономии топлива 4,2% достигнута при концентрации воды в топливе 18%. Снижение нагаров на деталях ЦПГ и газовыххлопном тракте составило 43%. Нагароотложения стали более рыхлыми, пористыми и легче удаляемыми. Существенно снизилась дымность выхлопа. Это позволило увеличить период между моточистками с 4000 до 7000 ч. Температура отработавших газов снизилась пропорционально увеличению концентрации воды в ВТЭ за счет расхода теплоты на испарение воды.

Постановка, цели и задачи исследования. За счет использования нефтеостатков и продуктов сепарации и фильтрации топлива главных двигателей (ГД), нами предлагается дополнительно включить в систему, предоставляется возможность формирования ВТЭР.

Провести анализ технических характеристик СЭУ танкеров грузоподъемностью от 30000 до 140000 м³ (главных двигателей, вспомогательных котлов), выполнены расчеты теплоутилизационных контуров различных типов (одного и двух давлений) при температурных напорах за парообразующихся поверхностей 20°C, а также 10°C в соответствии с последними литературными данными [10].

Результаты обработки статистических данных показывают, что на среднетоннажных и крупных танкерах часовые расходы топлива на ГД и вспомогательных котлов (ВК) по значениям близки. Так как основная нагрузка на ВК наблюдается на отдельных режимах работы танкера (подогрев груза, мойка танков), то расходы топлива на рейс для ГД и ВК различаются приблизительно на 50% .

Результат исследований. Использование ВТЭ во вспомогательных котлах предоставляет возможность повысить КПД на 1...4% при увеличении W^f до 10...15% за счет улучшения качества горения вследствие «микровзрывов» капелек эмульсии [9]. Но надежность работы низкотемпературных поверхностей нагрева из-за НТК меняется мало. Как показали наши исследования [12], только при увеличении содержания воды в эмульсии до 30% скорость НТК снижается в области «кислотного пика» при температурах стенки 100...115°C до приемлемого уровня 0,2 мм/год, а рост скорости коррозии выше этого уровня начинается при температурах стенки выше 70...80°C, что позволяет снизить температуру уходящих из котла газов ϑ_{yx} до 90...110°C.

Проведенные исследования [12, 13] показывают, что сжигание ВТЭ с W^f до 30% обеспечивает возможность одновременно решать задачи защиты

окружающей среды (уменьшается токсичность дымовых газов), повышения надежности работы котлов (снижаются коррозионные свойства дымовых газов), обеспечения максимально возможного энергосбережения при сжигании тяжелых остаточных топлив (предоставляется возможность увеличения КПД использования энергии уходящих из котла газов).

Снижение ϑ_{yx} до $90 \dots 110^\circ\text{C}$ предоставляет возможность повысить КПД вспомогательных котлов, а также глубину утилизации выхлопных газов ДВС и ГТД. Проведенные специальные расчеты показали, что при обеспечении предельной утилизации теплоты газов (при использовании прямоточной схемы в контурах высокого и низкого давлений, экономайзера для контуров при температурных напорах в контурах Δt_1 и Δt_2 на уровне 10°C) при снижении ϑ_{yx} до 90°C паропроизводительность УК 3-х давлений может быть существенно повышена: она становится почти в 2 раза выше по сравнению с котлом 1-го давления при тех же условиях ($\Delta t = 10^\circ\text{C}$ и кратности циркуляции $K_{ц} = 1$). В этом случае при сжигании ВТЭ предоставляется возможность в ходовых режимах танкеров обеспечить более существенную экономию топливных ресурсов. В случае использования ВТЭ в топках ВК и нефтеостатков в качестве ВТЭР, установке УК 3-х давлений, с учетом дополнительной экономии топлива при движении судна в балласте, когда ВК не работает, исчезает необходимость в запасе топлива для ВК. При проведении расчетов было принято удельное значение паропроизводительности топлива для ВК $0,0792$ кг топлива/кг пара (при $\eta = 84\%$ и Q_p^p мазута М100 $37,2$ МДж/кг). Продолжительность рейса 720 ч (15 суток), из которых 621 ч ходовых режимов, при которых осуществляется экономия топлива для ВК. Расчеты паропроизводительности УК проведены на ЭВМ при температурных напорах за парообразующей поверхностью 20°C и 10°C . Анализ паровой нагрузки по режимам показывает, что с помощью утилизации удастся полностью перекрывать потребность в паре в ходовом режиме в балласте даже при использовании УК 2-х давлений и УК 1-го давления ($K_{ц} = 1$) при $\Delta t = 20^\circ\text{C}$. При этом нет необходимости в использовании УК с более глубокой утилизацией. Таким образом, в течение 246 часов хода в этом режиме может быть сэкономлено $65,2$ т топлива для ВК, которое может быть использовано при других ходовых и стояночных режимах. В ходовом режиме в грузу необходимо $218,17$ т. В этом режиме УК 1-го давления при $\Delta t = 20^\circ\text{C}$ даст возможность сэкономить $52,9$ т; УК 1-го давления при $\Delta t = 10^\circ\text{C}$ $60,52$ т; УК 1-го давления (при $K_{ц} = 1$) $73,3$ т. При использовании УК 2-х давлений (при $\Delta t = 20^\circ\text{C}$) $85,6$ т. Если обеспечить глубокую утилизацию газов до 100°C путем установки УК 3-х давлений, то возможно сэкономить $127,2$ т. Следовательно, необходимо иметь в запасе для ВК $218,2 - 127,2 = 91$ т (при использовании УК 3-х давлений) и $218,2 - 85,6 = 132,6$ т (при использовании УК 2-х давлений при $\Delta t = 20^\circ\text{C}$).

В режиме разогрева груза необходимо для вспомогательного котла $17041 \cdot 0,0782 \cdot 79 = 105,3$ т. При использовании УК 2-х давлений экономится

27,5 т, при использовании УК 3-х давлений 40,85 т. Следовательно, для ВК необходимо иметь в запасе $105,3 - 27,5 = 77,8$ т (при УК 2-х давлений); $105,3 - 40,85 = 64,45$ т (при УК 3-х давлений).

В режиме мойки танков для ВК необходимо 59,5 т топлива. При использовании УК 2-х давлений экономится 17,4 т, УК 3-х давлений 25,85 т. Следовательно, для ВК необходимо иметь в запасе: $59,5 - 17,4 = 42,1$ т (при УК 2-х давлений); $59,5 - 25,85 = 33,65$ т (при УК 3-х давлений).

Таким образом, в ходовых режимах необходим запас топлива для ВК: при использовании УК 2-х давлений $132,6 + 77,8 + 42,1 = 252,5$ т; при использовании УК 3-х давлений $91 + 64,45 + 33,65 = 189,1$ т. Следовательно, при использовании ВТЭ, что позволяет обеспечить более глубокую утилизацию теплоты, запас топлива для ВК снижается на $252,5 - 189,1 = 63,4$ т.

Для стояночных режимов необходим запас топлива: в стоянке без грузовых операций (ГО) 6,0 т и в стоянке с ГО 13,8 т. Следовательно, с учетом экономии топлива для получения пара в ВК необходимо: при использовании УК 2-х давлений $252,5 + 6 + 13,8 = 272,3$ т; при использовании УК 3-х давлений $189,1 + 6 + 13,8 = 208,9$ т.

Этот запас топлива может быть заменен, компенсирован частично или полностью использован ВТЭР, полученными при подготовке ВМЭ из нефтеостатков, образующихся при мойке танков, и продуктов фильтрации и сепарации топлива ГД. В течение рейса возможно получение в виде ВТЭР 237 т топлива. Таким образом, при использовании ВТЭ и при использовании УК 2-х давлений при $\Delta t = 20^\circ\text{C}$ необходим запас топлива для ВК в количестве $272 - 237 = 35$ т. При установке УК 3-х давлений с глубокой утилизацией выхлопных газов ГД до 100°C наоборот возможна экономия топлива в количестве $237 - 209 = 28$ т.

Проведенные расчеты показывают, что в пределах точности расчетов паровых нагрузок и статистической обработки данных рассмотренных танкеров наблюдается даже экономия топлива при использовании ВТЭ.

При переходе на сжигание ВТЭ кроме установки специально проектируемых ВК и УК предоставляется возможность на действующих дизельных установках обеспечить большую глубину утилизации путем установки дополнительных поверхностей нагрева экономайзера или подогревателя воды для систем горячего водоснабжения.

Выводы.

1. Повышение КПД котлов при сжигании ВТЭ возможно из-за улучшения качества горения и существенного снижения скорости коррозии до допустимого уровня при температурах металла выше $70...80^\circ\text{C}$.

2. В связи с возможностью при сжигании ВТЭ подводить к экономайзеру котла питательную воду с температурой $70...80^\circ\text{C}$ (благодаря снижению НТК) рекомендуется использование в утилизационном контуре схем, предусматривающих подвод воды из теплого ящика прямо на вход экономайзера УК. Это дает возможность снизить температуру выхлопных газов на выходе из УК со 160°C до $90...110^\circ\text{C}$, обеспечив увеличение

глибини утилізації с 35 до 60...65% в залежності от суммарного α в ДВС или ГТД.

3. Возможность снижения ϑ_{yx} до 90...110°C вследствие снижения интенсивности НТК позволяет существенно повысить КПД вспомогательных котлов до 93% без применения специальных мер по снижению низкотемпературной коррозии, увеличить глубину утилизации газов почти в 1,6 раза, что обеспечит дополнительную экономию топлива на ходовых режимах судов.

4. Результаты обработки статистических данных показывают, что на среднетоннажных и крупных танкерах часовые расходы топлива на ГД и вспомогательных котлов (ВК) по значениям близки. Так как основная нагрузка на ВК наблюдается на отдельных режимах работы танкера (подогрев груза, мойка танков), то расходы топлива на рейс для ГД и ВК различаются приблизительно на 50%.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Маслов В.В. Современные методы снижения содержания вредных веществ в отработанных газах судовых дизелей // Судостроение. – 1995. – № 8–9. – С. 200.
2. Новиков Л.А. Основные направления создания малотоксичных транспортных двигателей // Двигателестроение. – 2002. – № 2. – С. 23–26.
3. Бондаренко Ю.Б., Костенко Е.И., Решетников И.П. Опытная система утилизации смывок сырой нефти // Судостроение. – 1981. – № 11.
4. Крыштын Л.К., Решетников И.П. Утилизация нефтяных остатков на морских судах. – М.: Транспорт, 1989. – С. 95.
5. Гатин В.Ю., Гимбутис К.К. Использование метода гомогенизации в системах топливоподготовки // Судостроение. – 1984. – № 4. – С. 24–25.
6. Сжигание топливных смесей и модернизированных мазутов (Новые технологии) // Судоходство. – 2004. – № 7–8. – С. 53–54.
7. Синайский Н.А., Гошей Т.А. Использование метода тяжелой кавитации для сжигания мазута и орэмульсии // Теплоэнергетика. – 2003. – № 6. – С. 76–80.
8. Эксплуатация производственных котлов КВГ-34К на водотопливной эмульсии / Ю.В.Якубовский, В.М.Суменков, Ю.С.Селезнев и др. // Рыбное хозяйство. – 1991. – № 3. – С. 16–18.
9. Енин В.И., Денисенко Н.И., Костылев И.И. Судовые котельные установки: учеб. для вузов. – М.: Транспорт, 1993. – 216 с.
10. Смольник А. Направления развития систем утилизации тепла выпускных газов судовых дизелей // Морской флот. – 2005. – № 6. – С. 66–68.
11. Романов В.А., Дмитриев Г.И., Щербинкин В.И. Низкотемпературная коррозия поверхности нагрева судового котла // Судостроение. – 1976. – № 4. – С. 32–35.

12. Горбов В.М., Горячкин А.В. Исследование интенсивности коррозионных процессов при сжигании водомазутных эмульсий // Зб. наук. праць УДМТУ. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – № 5(391). – С. 87–95.

13. Горбов В.М., Горячкин А.В. Влияние состава и содержания оксидов азота и серы в газах на процессы в элементах ГТУ// Наук. праці: Науково-методичний журнал. – Т. 43, Вип. 30. Техногенна безпека. – Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. П.Могили, 2005. – С. 119–127.

Горячкин А.В., Мандровський В.В., Задніпряний О.В. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕУ ТАНКЕРІВ ПРИ СПАЛЮВАННІ ВОДОПАЛИВНИХ ЕМУЛЬСІЙ

Розглянуто можливості підвищення ефективності СЕУ танкерів при спалюванні ВПЕ з урахуванням використання нафтозалишків і зниження корозійної активності газів.

Ключові слова: суднові енергетичні установки (СЕУ), ефективність СЕУ, водопаливні емульсії (ВПЕ).

Goryachkin A.V., Mandrovskiy V.V., Zadnepryaniy A.V. INCREASE OF SPP EFFICIENCY OF TANKERS IN COMBUSTION OF WATER-FUEL EMULSIONS

Possibilities of raising the efficiency of tankers SPP when burning WFE, taking into account oil residues and decrease of corrosion activity of gases are considered.

Key words: ship power plants (SPP), SPP efficiency, water-fuel emulsions (WFE).

ПРОБЛЕМИ ВИЩОЇ ШКОЛИ

УДК 612.821.3

КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ПОДОЛАННЯ НА МОРІ ЯВИЩА
«ЛЮДСЬКИЙ ФАКТОР»

Зайцева Т.Г.,

Херсонський державний морський інститут

У статті обґрунтовується необхідність комплексного підходу до вирішення проблеми психологічної підготовки моряків, зокрема підвищення рівня їх психоемоційної стійкості. Пропонується програма комплексних заходів, реалізація якої сприятиме поліпшенню психологічної підготовки курсантів ВМНЗ та дипломованих моряків.

Ключові слова: психогенні фактори, психоемоційна стійкість, психічна культура моряка, правові, соціальні, психологічні, організаційні, економічні чинники, свідомий психологічний самовплив.

Ключові слова: психогенні фактори, психоемоційна стійкість, психічна культура моряка, правові, соціальні, психологічні, організаційні, економічні чинники, свідомий психологічний самовплив.

Вступ. Високий рівень професіоналізму працівників морського та річкового транспорту є найважливішою передумовою безпеки транспортування водним шляхом не лише вантажів, а й збереження життя та здоров'я членів суднових екіпажів. Саме тому щорічно в межах міжнародного морського судноплавства підвищується рівень вимог до професійної підготовки працівників цієї сфери. Зокрема удосконалюється зміст нормативних документів, що спрямовуються на забезпечення безпеки доставки вантажів, з членами суднових команд проводяться обов'язкові тренінги з метою формування у них умінь ефективного реагування в екстремальних умовах, перевіряється рівень цих умінь та навичок тощо. Але, незважаючи на ці зусилля в межах міжнародного судноплавства, продовжує бути актуальною проблема професійних помилок, що здійснюються моряками через значне психологічне перевантаження і проявляються в так званому «людському факторі».

Актуальність проблеми. Учені, керівники морських компаній різних рівнів, представники командного складу суден та самі моряки намагаються шукати шляхи подолання цієї актуальної проблеми [1-3, 6-8]. Але практика доводить, що ці дії не набувають системного та комплексного характеру, зокрема не враховуються причини виникнення цього явища, не набуває розповсюдження та обов'язковості система реабілітації працівників морського транспорту тощо, тому проблема «людського фактору» продовжує бути відкритою.

У наших дослідженнях ми доводимо, що причиною професійних помилок працівників морського транспорту є протиріччя між високим рівнем вимог до психіки сучасного моряка з боку його достатньо специфічної

професії та актуальними можливостями психіки кожної особи працівника цієї галузі. [5]. При цьому не достатньо враховується специфіка морської професії, яка обумовлюється наявністю значної кількості факторів психотравмального характеру об'єктивно-суб'єктивного походження. Їх щоденний системний вплив поступово виснажує психічні механізми, викликаючи у моряків стійку втому, зниження рівня уваги, пам'яті, що в комплексі й провокує працівників морського транспорту на професійні помилки.

Різноманіття психогенних факторів ми класифікуємо за трьома основними групами, зокрема: а) фактори природно-техногенного походження; б) психологічні фактори; в) соціально-правові [5, 7].

Психогенні подразники природно-техногенної групи існують об'єктивно, тому, на жаль, більшість з них не може стати підконтрольними членам суднового екіпажу. До цієї групи відносяться постійно діючі вібрації, шуми природного та техногенного походження, що обумовлюють монотонність праці моряків, поступове зниження рівня їх психічних пізнавальних процесів і пам'яті та, в цілому, активності психічного реагування в процесі виконання професійних завдань; характерні для моря та морської діяльності шторми, цунамі, аварії, які в силу екстремальної ситуації сприяють раптовій виснаженості психіки моряків за умови невисокого рівня їх індивідуальної психоемоційної стійкості; відхилення від звичайного ритму загальної життєдіяльності членів суднових екіпажів тощо. Тому є, безумовно, доцільним вивчати сутність факторів цієї групи, пізнавати їх природу, механізми та наслідки впливу з метою забезпечення більш ефективного пристосування до них психіки моряків.

Походження факторів психологічної та соціально-правової групи має суб'єктивну та напівсуб'єктивну природу. До них можна віднести деякі індивідуальні психологічні властивості членів екіпажу, зокрема конфліктність, типи темпераменту та деякі риси характеру, – безвідповідальність, зверхність, ледачість, жорстокість тощо; не гарантовано високий рівень психоемоційної стійкості всіх членів суднових екіпажів; порушення умов трудового законодавства та умов контракту з боку роботодавців; неприємні умови для повноцінного відпочинку членів суднового екіпажу тощо. За певних умов, ці фактори можуть стати підконтрольними кожному члену суднового екіпажу, а тому бути мінімізованими шляхом звернення до додаткових психічних механізмів психіки здорової та психічно розвиненої особи моряка [5]. Тому ми доводимо наступне: а) суттєвою передумовою активного прояву та розповсюдження «людського фактору» виступає різноманіття факторів психотравмального характеру, вплив яких поступово виснажує актуальні можливості психіки моряків, що призводить до професійних помилок та небезпечних ситуацій; б) при організації заходів, спрямованих на попередження «людського фактору», не враховується одночасність впливу на психіку моряків психотравмуючих факторів об'єктивного та суб'єктивного характеру; цим

пояснюється локальність попереджувальних дій з боку представників керівного складу системи морського судноплавства щодо мінімізації «людського фактору».

Пропозиції. Тому специфіка професійної діяльності працівників морського транспорту вимагає забезпечення комплексного підходу щодо розробки програми подолання проблеми «людський фактор».

Урахування різноплановості психогенних чинників, що обумовлюють специфіку морської професії та сприяють зниженню рівня психічного реагування в процесі виконання професійних завдань на морі, вимушує розробити цілісну програму конкретних заходів. Ця програма повинна бути спрямована на значне поліпшення рівня професійної психологічної підготовки моряків усіх спеціальностей, а також курсантів вищих морських навчальних закладів. До розробки та реалізації цієї комплексної програми є доцільним, на наш погляд, залучити вчених, керівників та членів науково-викладацького складу ВМНЗ, представників Федерації морських профспілок України (ФМПУ), співробітників крьюінгових компаній, професійних моряків, що безпосередньо забезпечують безпеку процесу транспортування вантажів.

Не претендуючи на повноту вирішення проблеми комплексного підходу щодо розробки програми протидії «людському фактору», ми пропонуємо ввести в неї заходи, які, як ми вважаємо, допоможуть організувати комплексний підхід на підставі врахування сутнісного, тобто об'єктивно-суб'єктивного характеру психотравмувальних факторів, зокрема:

1. Обґрунтувати необхідність більш досконалої психологічної підготовки курсантів вищих навчальних морських закладів з метою забезпечення швидкої та максимально якісної соціально-психологічної адаптації молодих моряків до специфічних умов професійної діяльності, мінімізації їх помилок, попередження на цій підставі аварійних ситуацій на суднах різного типу тощо.

2. Науково обґрунтувати сутність та значення проблеми підвищення рівня психоемоційної стійкості працівників морського та річкового транспорту, робота яких безпосередньо пов'язана з тривалим перебуванням у морі та впливом великої кількості психогенних факторів. Це дозволить урахувати специфіку функціонування психіки моряків та цілеспрямовано спиратися на її додаткові механізми.

3. Визначити та систематизувати правові, соціальні, психологічні, організаційні, економічні чинники, що сприяють поліпшенню організації психологічної професійної підготовки курсантів, студентів заочних відділень ВМНЗ, працюючих фахівців морського та річкового транспорту в процесі підвищення рівня їх професійної психологічної підготовки та самопідготовки.

4. Виявити найбільш суттєві об'єктивні та суб'єктивні чинники, що сприяють дестабілізації функціонування психіки моряків певних посадових статусів. Диференційований підхід до проблеми підвищення рівня

психологічної підготовки представників різних морських професій дозволить реалізовувати цей процес більш раціонально за часом.

5. Сформулювати та обґрунтувати основні напрямки, форми та методи педагогічної роботи щодо зміцнення рівня психоемоційної стійкості як курсантів ВМНЗ, так і досвідчених моряків-професіоналів, урахувавши можливість сучасних педагогічних технологій, дистанційного навчання, інформаційних та комунікативних мереж тощо.

6. Удосконалити навчальні плани ВМНЗ та зміст навчальних програм шляхом збільшення обсягу практичних навчальних годин з курсу психології, введення в процес навчання новітньої наукової інформації відносно сутності резервних механізмів психіки особи сучасного моряка, що сприятиме більш ефективному формуванню та удосконаленню психічної культури професійного моряка.

7. Урізноманітнити форми педагогічної роботи з метою формування у курсантів реальних умінь та навичок свідомого психічного самовпливу, забезпечення високого рівня їх індивідуальної психоемоційної стійкості на підставі використання методів свідомої психічної саморегуляції. Це сприятиме активізації додаткових психічних механізмів курсантів та зміцненню рівня їх загального психічного реагування вже на ранніх стадіях професійної підготовки.

8. Упровадити на всіх рівнях системи морського судноплавства центри психологічної допомоги морякам усіх спеціальностей з метою здійснення соціально-психологічної реабілітації після тривалих та небезпечних за характером рейсів, що дозволить їм більш швидко та ефективно відтворювати стійкість психологічного стану, формувати та вдосконалювати вміння і навички самостійного психічного свідомого самовпливу.

9. Поширити просвітницьку діяльність серед курсантів морських навчальних закладів різного рівня, дипломованих моряків усіх спеціальностей та посадових статусів відносно доцільності оволодіння методами свідомої психічної саморегуляції та можливості активізації додаткових механізмів особистої психіки з метою забезпечення високого рівня індивідуальної психологічної стійкості тощо.

Висновки. Необхідність комплексного підходу з мінімізації прояву «людського фактору» витікає зі специфіки морської професії, наявності великої кількості психотравматичних факторів та виснаження внаслідок їх впливу на психіку моряків. Комплексність попереджувальних заходів щодо підвищення рівня професійної психологічної підготовки сучасного моряка сприятиме суттєвому зменшенню проявів «людського фактора» як феномену суто психологічного походження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Алексишин В.Г., Козырь Л.А., Короткий Т.Р. Международные и национальные стандарты безопасности мореплавания. – Одесса: Латстар, 2002. – 257 с.

2. Броневицкий Г., Ладнов С. Психическая устойчивость – залог надежности профессиональной деятельности моряка // Морской сборник. – 2006. – № 4. – С. 70–74.

3. Выживание и безопасность на море в вопросах и ответах: учебное пособие. – ЦПАП, 1997. – 84 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. Зайцева Т.Г. Психічна культура як фактор психоемоційної стійкості моряка. – Херсон: ХДМІ, 2009. – 99 с.

6. Снопков В.И., Конопелько Т.И., Васильева В.Б. Безопасность мореплавания: учеб. для вузов / под ред. В.И. Снопкова. – М.: Транспорт, 1994. – 247 с.

7. Торский В.Г., Позолотин Л.А. Усталость на судне убивает: Продолжительность рабочего времени и времени отдыха моряков. – Одесса: Порты Украины, 1998. – 32 с.

8. Торский В.Г., Топалов В.П. Управление судовыми экипажами: учебно-практическое пособие. – Одеса: Астропринт, 2000. – 212 с.

Зайцева Т.Г. КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ПРЕОДОЛЕНИЮ НА МОРЕ ЯВЛЕНИЯ «ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ФАКТОР»

В статье обосновывается необходимость комплексного подхода к решению проблемы психологической подготовки моряков, а именно повышения уровня их психоэмоциональной стойкости. Предлагается программа комплексных мероприятий, реализация которых позволит улучшить психологическую подготовку курсантов в ВМУЗ и дипломированных моряков.

Ключевые слова: психогенные факторы, психоэмоциональная стойкость, психическая культура моряка, правовые, социальные, психологические, организационные, экономические основы, сознательное психологическое самовоздействие.

Zaytseva T.G. A COMPLEX APPROACH TO OVERCOME SUCH A PHENOMENON AS «HUMAN FACTOR» AT SEA

The necessity of complex way of solving the problem of psychological training of seamen, namely, raising the level of their psycho-emotional stability is substantiated in the article. The program of complex measures, the fulfillment of which will improve psychological training of cadets of higher educational marine institutions and their graduates, is proposed.

Key words: psychogenic factors, psycho-emotional stability, seaman's psychical culture, legal, social, psychological, organizational and economic fundamentals, conscious psychological self-influence.

УДК 378.147

КРЕДИТНО-МОДУЛЬНО-КОМПЕТЕНТНІСНА ОРГАНІЗАЦІЯ НАВЧАННЯ У ВИЩІЙ ШКОЛІ

Казанчан А.А.,

Херсонський державний університет,

Казанчан А.К.,

Херсонський державний морський інститут

Описано реалізацію компетентнісного навчання при кредитно-модульній організації навчального процесу у вищій школі. Показано його ефективність у порівнянні з традиційним навчанням.

Ключові слова: навчальний процес, компетентнісне навчання, кредитно-модульна організація навчання.

Вступ. Однією з провідних тенденцій інноваційного розвитку в системі вищої професійної освіти є посилення уваги до проблеми підготовки кадрів якісно нового рівня, спрямованого на забезпечення мобільності, працевлаштування та конкурентоспроможності фахівців з вищою освітою. У зв'язку з цим пріоритетними стають питання реалізації сучасних підходів до модернізації освітньої діяльності в контексті європейських вимог, реформуванні процесу навчання у вищій школі на підставі ідей Болонського процесу.

Актуальність дослідження. Реалізація такого підходу в освітньому процесі вимагають упровадження нових навчальних технологій і педагогічних прийомів, що сприяють, з одного боку, придбанню певної системи ключових **компетенцій**, а з іншого – цілеспрямованому формуванню самостійності, навичок і потреби в самоосвіті, тобто, іншими словами, випускники вищих навчальних закладів (ВНЗ) повинні придбати необхідний рівень професійної **компетенції**, що дозволяє виконувати майбутню професійну діяльність.

Поняття **компетенції** включає:

- *знання і розуміння* (теоретичне знання академічної області, здатність знати і розуміти);
- *знання як діяти* (практичне й оперативне застосування знань до конкретних ситуацій);
- *знання як бути* (цінності як невід'ємна частина способу сприйняття і життя з іншими в соціальному контексті).

Компетенції є поєднанням характеристик (що відносяться до знання і його застосування, до позицій, навичок і відповідальності), які описують рівень або ступінь, до якого деяка особа здатна ці компетенції реалізувати. Іншими словами, **компетенція** або **компетентність**, є деяка інтеграційна якість суб'єкта, що включає когнітивні, мотиваційні, ціннісні й практичні аспекти, яка виявляється в успішних діях у будь-якій області.

Або підсумовуючи сказане вище іншими словами, **компетенція** – це сукупність знань, умінь і навичок, що набуті впродовж навчання й необхідні для виконання певного виду професійної діяльності.

Існуюче традиційне навчання, що націлене на отримання знань, так зване „знанняєве” [1], з цим упоратися не може. Воно має ряд недоліків:

- відірваність від майбутньої професійної діяльності;
- орієнтація на отримання знань, а не вмінь; не контролюються і не оцінюються результати самостійної роботи;
- при підсумковому оцінюванні не враховується вся діяльність студента – відвідування занять, активність, систематичність і своєчасність виконання завдань тощо;
- недостатньо ефективні важелі щодо підвищення мотивації до навчання;
- не проектується і в достатній мірі не організовується самостійна робота студентів.

Україна з моменту чіткого визначення орієнтиру на входження до освітнього і наукового простору Європи почала здійснювати модернізацію освітньої діяльності в контексті європейських вимог.

Як засіб підвищення мобільності студентів щодо переходу з однієї навчальної програми на іншу Болонська декларація вбачає запровадження системи академічних **кредитів**, що аналогічна Європейській кредитно-трансферній системі (European Credit Transfer System, тобто європейській системі переводу й накопичення кредитів – ECTS).

Тому основним завданням діяльності вищого навчального закладу є **формування інноваційного освітньо-виховного середовища**, що передбачає: зміну організації і змісту освіти з метою інтеграції у світовий освітній простір; оптимізацію кадрового забезпечення; комплексне вдосконалення професійної майстерності педагогів через опанування інноваційними і дослідно-експериментальними видами діяльності.

Викладення основного матеріалу. Побудувати систему навчання, що забезпечує придбання професійної компетенції, можливо лише при тій умові, якщо навчання буде *діяльним*, що відповідатиме наступним принципам [2]:

- при проектуванні й організації навчання первинними є задана характером майбутньої спеціальності діяльність і дії, що її складають;
- кінцевою метою навчання є формування способу дій в майбутній професійній діяльності;
- зміст навчання складають система дій, що задана характером майбутньої професійної діяльності, і лише знання, які забезпечують ці дії;
- у навчальному процесі ті, що вчаться, повинні здійснювати навчальну діяльність, яка моделює майбутню професійну;
- механізмом здійснення навчальної діяльності є вирішення завдань;

– у сучасному розумінні знати – це означає за допомогою знань здійснювати діяльність, а не тільки пам'ятати певні знання;

– засвоювати знання можна тільки під час їх застосування, оперуючи ними, а не просто запам'ятовувати їх; запам'ятовування знань повинно бути результатом їх застосування і використання;

– навчання об'єднує два взаємозв'язані процеси: діяльність того, хто вчить, і діяльність того, хто вчиться, або навчальну діяльність;

– діяльність викладача полягає в проектуванні навчальної діяльності, її організації й управлінні;

– навчальна діяльність є системно утворюваним чинником навчання.

Україна, приєднавшись до Болонської декларації, прийняла на себе зобов'язання щодо переробки змістовних установок і формальних принципів підготовки фахівців з вищою освітою та істотно змінити підходи до формування нормативних документів в області освіти.

Ця переробка має на увазі взаємозв'язок ряду найважливіших компонентів: зміна співвідношення аудиторної і самостійної роботи студентів у бік збільшення частки самонавчання в освітньому процесі; збільшення гнучкості освітніх програм, можливість отримання первинних професійних навичок у декількох споріднених областях діяльності й одночасна профілізація випускника-бакалавра для продовження освіти на другому рівні за програмами спеціаліста або магістра, що входять у даний напрям підготовки.

Систему навчання, що вводиться, логічно іменувати **кредитно-модульно-компетентнісною**, оскільки три її основних елементи – **кредити, модулі і компетенції** виступають як тісно взаємозв'язані і взаємодоповнюючі один одного компоненти єдиного цілого. При цьому як система кредитів, так і впровадження модульно-компетентнісного навчання спонукають внести зміни до організації навчального процесу по лінії відносин між студентом, викладачем і вищим навчальним закладом. Якщо в традиційній системі навчання головним був зв'язок «Держстандарт – навчальний план – навчальний предмет – студент», то в новій системі **модуль** стає однією з найважливіших одиниць, що регулюють і програму навчання, і діяльність викладачів, і сам процес навчання студента, і оцінку його знань аж до отримання відповідної кваліфікації.

Поряд з компетентнісним підходом і обліком трудовитрат на навчання в кредитних одиницях, **модулі** є базовим поняттям у рамках широкомасштабного процесу вдосконалення освітніх програм у різних вищих навчальних закладах і країнах Європи і досягнення взаємної зрозумілості (прозорості) систем навчання.

Але якщо питанням використання кредитних одиниць і реалізації компетентнісного підходу у вищих навчальних закладах Європи й інших регіонів планети присвячено багато оглядових матеріалів, то розкриттю принципу модульної побудови навчальних програм приділяється значно менше уваги. Про модулі, зазвичай, йдеться, як про щось очевидне. Нерідко

на освітніх сайтах зарубіжних ВНЗ модуль просто трактується як навчальна дисципліна. Але частіше під модулем розуміється сукупність різних форм навчальної роботи і заходів щодо контролю набуття відповідних компетенцій, оцінюване в результаті певною кількістю кредитів, що нараховуються студентам.

Дуже часто, коли говорять про нововведення у вищій вітчизняній школі, продовжують використовувати термін “навчально-методичний комплекс”, маючи на увазі по суті модуль.

У вітчизняній і зарубіжній літературі можна зустріти різне розуміння поняття “модуль”, але обсяг наочно-логічного змісту, що входить до модуля, залишається поки невизначеним: це може бути і розділ дисципліни, і окрема дисципліна, і комплекс дисциплін однієї спрямованості (фундаментальної, підтримуючої, організаційно-комунікативної, методологічної тощо), і єдиний комплекс, що включає сукупність фундаментальних і прикладних дисциплін і практик, що призводять до досягнення певних професійних компетенцій, тобто поняття «модуль» предстает в широкому спектрі значень – від сукупності дисциплін, що об'єднані на базі логічного і методичного зв'язку, до розділу дисципліни.

У той же час фахівці сходяться на тому, що до поняття модуля у якості необхідних компонентів значення входять **закінченість, самостійність і комплексність**. Це спричиняє за собою включення до розуміння модуля таких смислових складових, як: об'єднання змістових, організаційних, методичних і технологічних компонентів; єдність теоретичних і прикладних аспектів; структурна зв'язаність всього освітнього комплексу; поєднання в одній організаційно-методичній структурі дидактичних цілей, логічно завершеної одиниці навчального матеріалу, методичного керівництва і системи контролю.

Яке з існуючих розумінь модуля буде прийнято в системі освіти, і чи буде в цьому питанні досягнута єдність поглядів – питання залишається поки дискусійним.

Ми будемо користуватися визначенням модуля, що наведено МОН України: **модуль – це задокументована завершена частина освітньо-професійної програми (ОПП) підготовки фахівця** (навчальної дисципліни, практики, державної атестації), **що реалізується відповідними формами навчального процесу** і має самостійну логічну структуру та зміст [3].

Слід визначити ще поняття **змістового модуля – це система навчальних елементів, що поєднані за ознакою відповідності певному навчальному об'єкту**. Одному змістовому модулю можуть відповідати окрема навчальна дисципліна, відносно самостійна сукупність окремих модулів навчальної дисципліни, практика, кваліфікаційна робота чи інший вид навчальної діяльності, що передбачений навчальним планом.

Змістовий модуль містить окремі модулі (теми) аудиторної і самостійної роботи студента (лекційний модуль, практичний модуль, лабораторний модуль, модуль самостійної роботи тощо).

При опануванні студентами *модулів* за кожен з них повинна нараховуватися певна кількість кредитів (залікових одиниць), що виступають як міра трудомісткості навчального процесу. При нарахуванні кредитів за модуль у трудомісткість зараховуються: аудиторне навантаження, самостійна робота студента, курсові роботи, підготовка і здача заліків та екзаменів, а також – практики, науково-дослідна робота студента, написання випускової кваліфікаційної роботи тощо.

Таким чином складається *програма навчання* – встановлена сукупність *модулів*, що офіційно визнаються для присудження конкретного ступеня. Програма навчання може визначатися і в термінах результатів навчання (тобто *компетенцій*), які повинні бути досягнуті для отримання певної кількості *кредитів* [4].

Отже, метою освоєння освітньо-професійної програми (ОПП) стає придбання студентом певних *компетенцій*, засобом їх формування – *модуль* як самостійна одиниця ОПП, а системою обліку трудомісткості навчання – *кредити*, що нараховуються за освоєння кожного модуля.

Кредит – умовна одиниця виміру навчальної роботи студента, що необхідна для засвоєння ним певної частини навчальної програми, яка відповідає 36 академічним годинам навчального навантаження (одна академічна година дорівнює 45 хвилинам).

Загальна схема структури навчального курсу з точки зору ECTS наведена на рисунку 1.

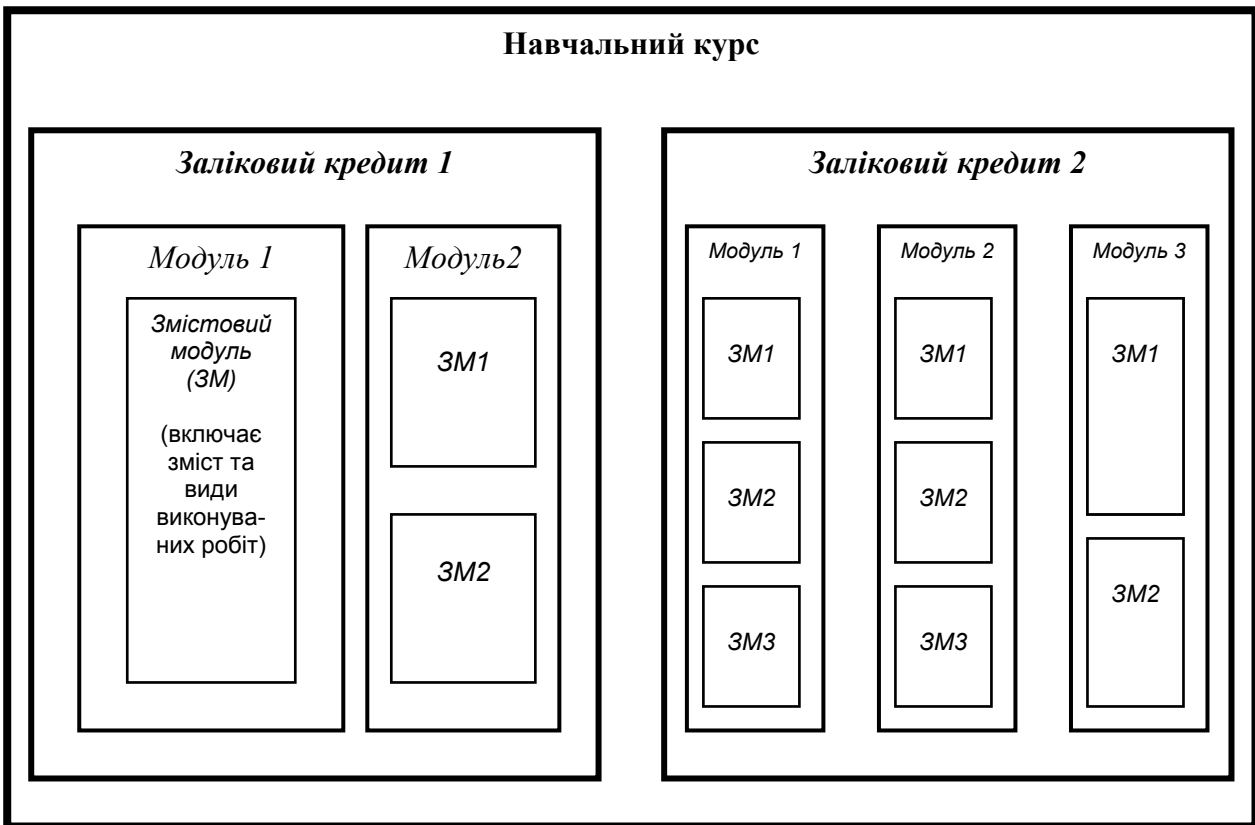


Рисунок 1. Загальна схема структури навчального курсу з точки зору ECTS

Заліковий кредит – це одиниця виміру навчального навантаження студента, необхідного для засвоєння змістових модулів або блоку змістових модулів. Якщо у навчальному плані на вивчення якоїсь дисципліни відведено, наприклад, 144 години, то це означає, що дана дисципліна має 4 залікових кредити ($144 : 36 = 4$).

Кредит є відносною одиницею і вимірює час, в середньому необхідний студенту для засвоєння змістового модуля. Кредит ураховує всі форми навчального навантаження студента: аудиторні заняття, самостійну роботу, підготовку до екзаменів, науково-дослідницьку роботу, олімпіади тощо. Для денної форми навчання загальна кількість кредитів за навчальний рік становить 60, а за семестр – відповідно 30.

У даний час існують нормативні документи, що допомагають вищим навчальним закладам перейти до кредитно-модульної системи організації навчального процесу. Найбільш важливим із них є документ МОН України «Тимчасове положення про організацію навчального процесу в кредитно-модульній системі підготовки фахівців» [3].

Під час організації навчального процесу з використанням системи залікових одиниць даний документ пропонує керуватися наступними його особливостями:

- особиста участь кожного студента у формуванні свого індивідуального навчального плану на основі великої свободи вибору дисциплін; залучення до навчального процесу академічних консультантів, що сприяють студентам у формуванні навчального плану;
- повна забезпеченість навчального процесу всіма необхідними методичними матеріалами в друкованій і електронній формах;
- використання бально-рейтингових систем для оцінювання засвоєння студентами навчальних дисциплін.

При кредитно-модульній системі організації навчального процесу (КМС ОНП) матеріал дисциплін поділяють на блоки – найчастіше на 2 – 4 змістові модулі. Один або декілька з них складають **заліковий модуль**, кожний з яких завершується **модульним контрольним заходом** (контрольна робота, тестування, захист індивідуального завдання, курсового проекту або роботи тощо), який визначається програмами навчальних дисциплін. На початку семестру викладач сповіщає студентів про їх кількість, вид і строки проведення.

Заліковий модуль – завершена частина освітньо-професійної програми підготовки фахівця, яка підлягає обов'язковому зарахуванню студентів за результатом модульного контролю. (*Модуль та заліковий модуль можуть співпадати за обсягом та змістом*).

Підсумкове оцінювання засвоєння дисципліни може проводитися без проведення семестрового екзамену у вигляді інтегрованої оцінки засвоєння всіх модулів.

Студент, що набрав необхідне для отримання позитивної оцінки число балів, має право не складати екзамен або здавати його з метою підвищення

оцінки. Студент, який не набрав необхідних балів, зобов'язаний скласти екзамен.

Сутність діяльнісного навчання при кредитно-модульній організації навчального процесу полягає в тому, що для всіх видів навчального навантаження студентів викладач проектує та організовує навчальну діяльність професійної спрямованості [5]. Для цього розробляється система завдань, які студент виконує як на аудиторних заняттях, так і при підготовці до них. При підсумковому контролі враховуються як результати виконання завдань, так і систематичність їх виконання, активність студента. Для такого оцінювання розроблена система рейтингових показників – числової міри, відношення набраних студентом балів до максимально можливого їх значення. Для зручності прийнята 100-бальна система оцінювання.

Кредитно-модульна система організації навчальної діяльності полягає в наступному.

1. Матеріал кожного семестру розбивається на два модулі, вивчення яких завершується модульною контрольною роботою (МКР).

2. На лекціях використовується семантичний конспект – повний набір лаконічно представлених навчальних елементів (семантичних фактів), розташованих у порядку вивчення матеріалу [6].

3. На кожній лекції студенти отримують завдання для самостійного вивчення з подальшою перевіркою результатів виконаної роботи шляхом виступу біля дошки одного зі студентів. Викладач коментує, доповнює, пояснює наведені рішення. Решта студентів має можливість внести корективи до складеного конспекту. За кожен виступ у дошки студент отримує 2 бали.

4. Після того, як у студентів сформовані уміння вивчати матеріал самостійно (як правило, до кінця вивчення першого модуля), вони отримують завдання самостійно вивчати матеріал цілої теми. На самостійне вивчення доцільно виносити матеріал, який знайомий студентам з раніше вивчених курсів і не включений до семантичного конспекту з дисципліни.

Викладач надає студентам докладний план, цілі вивчення в термінах умінь, список необхідної літератури. Результатом такої роботи може бути конспект, а в ідеалі – семантичний конспект. За кращі конспекти студенти отримують 2 бали, а за відсутність – штрафуються на 2 бали.

5. Контроль засвоєння теоретичного матеріалу здійснюється на практичних заняттях за допомогою тестових завдань відкритого типу, складених на основі семантичного конспекту [6]. Контрольна робота з теорії містить десять тестових завдань, за кожне з яких при правильній відповіді ставиться 1 бал. Під час вивчення двох модулів проводяться дві такі роботи (всього 20 балів). Тестові завдання можуть бути також використані при відпрацюванні студентами пропущених занять.

6. На кожному практичному занятті студенти отримують загальне для всієї групи завдання, що включає завдання, у результаті вирішення яких формуються всі необхідні вміння.

Частина завдання виконується в аудиторії, частина – вдома.

7. У якості домашнього з кожної теми студентам видається індивідуальне завдання. Якщо у виконаній роботі є помилки, викладач повертає її на доопрацювання. До МКР додаються індивідуальні завдання, число яких планується в робочій програмі дисципліни. За кожне зараховане в строк завдання студент отримує призіві 5 балів. Якщо ж завдання до МКР не виконані або не здані на перевірку, то студент штрафується на 5 балів.

8. Заняття, що пропущені, студент повинен відпрацювати, виконавши тестові завдання практичного або теоретичного характеру на консультації. Якщо заняття не відпрацьоване, студент штрафується на 2 бали.

9. Під час виконання МКР і під час іспиту студенти можуть користуватися своїми конспектами й зарахованими індивідуальними завданнями, оскільки перевіряються, в першу чергу, вміння. Крім того, це значно знижує напруженість, позбавляє викладача необхідності стежити за тим, чи не списують студенти.

10. Підготовка до МКР полягає у вирішенні завдань, що направлені на формування певних умінь. Питання з підготовки задаються в термінах умінь. До білетів включаються завдання, подібні тим, які студенти вирішували при виконанні індивідуальних завдань і на практичних заняттях.

11. Максимальна кількість балів, що може отримати студент, виконавши без помилок всі завдання МКР, дорівнює 100. Кожен білет включає 4 практичних завдання за всіма темами і одне теоретичне, кожне з яких оцінюється в 20 балів. Бали з теорії студент набирає під час вивчення модуля. Модульна контрольна робота розрахована на дві академічні години.

12. Дуже важливо, щоб завдання з кожної теми в МКР містило задачі різного рівня складності, які оцінювалися б різним числом балів. Це дає можливість студентам вирішувати завдання відповідно до свого рівня підготовленості.

13. У білеті МКР обов'язково вказується максимально можлива оцінка вирішення кожного завдання в балах. Завдання оцінюються пропорційно виконаній роботі.

14. Бали, що набрав студент у результаті виконання кожної з двох модульних контрольних робіт, можуть бути збільшені за рахунок призових балів модуля або знижені за рахунок штрафних балів модуля. У результаті рейтинговий показник студента по *i*-му модулю буде дорівнювати рейтингу модульної контрольної роботи плюс призові бали модуля і мінус штрафні бали модуля (таблиця 1).

15. Перший рейтинговий показник семестру (РПС1) визначається як середнє арифметичне рейтингових показників студента за двома модулями і переводиться у традиційну оцінку відповідно до критеріїв, що наведені в таблиці 2. За рахунок призових балів рейтинговий показник може перевищувати 100 балів.

16. Оцінці “незадовільно” в європейській системі оцінювання ECTS відповідає два рівні: FX – незадовільно з правом перездачі і F – незадовільно

без права перездачі. Тому доцільно розділити студентів, що отримали 59 балів і менше, на дві групи. До першої (FX) входять ті, рейтинговий показник семестру яких склав 59-35 балів. Причиною отримання незадовільної оцінки у цих студентів є, як правило, невиконання індивідуальних завдань, завдань із самостійного вивчення теоретичного матеріалу, пропуски занять. Вони зобов'язані скласти іспит.

Таблиця 1. Формування призових і штрафних балів модуля

Вид навчальної діяльності	Штрафні й призові бали
1 Індивідуальне завдання виконане в строк і зараховане викладачем	+ 5 балів
2 Індивідуальне завдання виконане в строк, але містить помилки і не зараховано викладачем	0 балів
3 Індивідуальне завдання не виконане в строк	- 5 балів
4 Індивідуальне завдання не виконане до закінчення семестру	- 60 балів
5 Невідпрацьований пропуск аудиторних занять	- 2 бали
6 Завдання практичного заняття виконане не в повному обсязі	- 2 бали
7 Завдання практичного заняття виконане не в повному обсязі, але потім відпрацьоване	0 балів
8 Повідомлення у дошці за темою, що самостійно вивчена студентом	+ 2 балла
9 Виконано самостійне вивчення окремого теоретичного питання	+ 1 балл
10 Конспект лекції з теми, що винесена на самостійне вивчення: – не зданий на перевірку, – зданий на перевірку, але вимагає доопрацювання, – зарахований викладачем	- 2 балла 0 баллов + 2 балла

Таблиця 2. Рейтинговий показник студента за семестр

Бал	Традиційна оцінка	Європейський еквівалент оцінки
95 і більше	Відмінно, (5)	A
95 – 90	Дуже добре, (4,5)	B
89 – 75	Добре, (4)	C
74 – 66	Задовільно, (3,5)	D
65 – 60	Достатньо, (3)	E
59 – 35	Незадовільно, (2)	FX
34 і менше	Незадовільно, (1)	F

До другої групи (F) включаються студенти, рейтинговий показник семестру яких менше 35 балів. Завдання не виконані через відсутність у студентів необхідних для вивчення даної дисципліни знань і умінь. Студенти до іспиту не допускаються, для допуску вони повинні виконати додаткове індивідуальне завдання, що направлене на формування умінь, якими студент повинен володіти для вивчення даної дисципліни.

17. Якщо студент, у якого рейтинговий показник семестру більше або дорівнює 60 балів, виконав усі індивідуальні завдання з обох модулів і завдання щодо самостійного вивчення матеріалу, він отримує оцінку, відповідну набраним балам, автоматично, без складання екзамену. З метою отримання вищої оцінки він може скласти іспит за матеріалом модулю, за який оцінка нижче бажаної.

Так, наприклад, якщо у студента РПМ1 = 77 балів, що відповідає оцінці «добре», а РПМ2 = 53, тобто «задовільно», то РПС1 = $(77+53) / 2 = 65$ балів, і підсумкова оцінка – «задовільно». Якщо студент захоче скласти іспит з метою отримання вищої оцінки, то здавати він повинен матеріал тільки другого модуля.

18. Екзаменаційну роботу студент пише, якщо:

- не з'явився хоч би на одну МКР;
- рейтинговий показник модуля < 60 балів хоч би з одного модуля;
- рейтинговий показник семестру > 60 балів, але хоче підвищити оцінку, отриману як накопичувальну;
- рейтинговий показник семестру > 60 балів, але є не зараховані індивідуальні завдання.

19. На екзамені студенти протягом перших десяти хвилин пишуть відповіді на тестові завдання з теорії (20 балів) без використання конспектів і здають викладачеві на перевірку.

Потім студентові видаються білети контрольних робіт тих модулів, матеріал яких він повинен здавати на екзамені. Екзаменаційна робота пишеться, як і МКР, дві академічні години. При цьому студенти можуть користуватися своїми конспектами і зарахованими індивідуальними завданнями.

20. Бали, що набрані за результатами виконання на екзамені тестових завдань з теорії, а також першої і другої модульних контрольних робіт, підсумовуються і виставляються як екзаменаційна оцінка за предмет.

21. Призові бали можна отримати, виконавши додаткове завдання, наприклад написавши реферат, доповідь на студентську наукову конференцію, взявши участь у предметній олімпіаді. Результат екзаменаційної роботи студента може бути збільшений за рахунок семестрових призових балів або зменшений за рахунок семестрових штрафних балів. Оскільки до екзамену всі індивідуальні завдання повинні бути зараховані, то за кожне незараховане індивідуальне завдання з результату екзаменаційної роботи віднімається 5 балів, за кожне нездане – 10.

22. Перелік тем рефератів студенти отримують на початку семестру. За реферат, виконаний за всіма правилами, студент отримує 10 призових балів.

23. За доповідь на студентській науковій конференції студент отримує 20 балів.

24. Якщо навчальна дисципліна вивчається в двох семестрах, аналогічно визначається рейтинговий показник другого семестру.

З двох семестрових рейтингових показників студента РПС1 і РПС2 вибирається рейтинг того семестру, на який припадає найбільше навчальне навантаження, і переводиться в оцінку (див. таблицю 2).

25. До перездачі допускаються тільки ті студенти, у яких виконані й зараховані всі індивідуальні завдання (див. п. 16).

26. Перескладання проходить за правилами проведення екзамену. Якщо студент отримує менше 60 балів, то бали, що не вистачають для оцінки «задовільно», він може набрати під час наступних перескладань.

Висновки. Побудова нових освітніх стандартів вищої освіти пов'язана з упровадженням *модульної* системи навчання на основі застосування *кредитного і компетентнісного підходів* до організації навчального процесу і можлива тільки за умови одночасного їх використання, коли *освоєння певного модуля призводить до досягнення відповідного набору компетенцій і зараховується тому, хто навчається, у вигляді певної кількості кредитних одиниць.*

Застосування кредитно-модульно-компетентнісної системи організації навчального процесу дозволяє відзначити наступні позитивні сторони:

- формування і контроль умінь, що визначають професійну компетенцію;
- систематичність засвоєння навчального матеріалу;
- можливість діагностики і своєчасного корегування навчального процесу;
- підвищення мотивації до навчання, зменшення пропусків занять;
- підвищення ефективності самостійної роботи;
- зняття психологічної напруги в кінці семестру і в період екзаменаційної сесії;
- забезпечення «прозорості» контролю навчального процесу, що значно зменшує вірогідність необ'єктивного оцінювання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бадмаев Б.Ц. Психология и методика ускоренного обучения. – М.: Владос, 1998. – 86 с.
2. Атанов Г.А. Как учить применять знания, или Введение в практику деятельностиного обучения. – Донецк: Изд-во ДООУ, 2004. – 116 с.
3. Тимчасове положення про організацію навчального процесу в кредитно-модульній системі підготовки фахівців // Освіта. – 2004. – № 8, 11 – 18 лютого. – С. 4–5.

4. Байденко В.И. Болонский процесс: поиск общности Европейских систем образования (проект TUNING). – М., 2006. – 82 с.

5. Атанов Г.А. Семантическая предметная модель студента-экономиста по линейной алгебре / Атанов Г.А., Евсеєва Е.Г. – (Теорія та методика навчання фундаментальних дисциплін у вищій школі: зб. наук. праць НацМетАУ, Т. 1. Теорія та методика навчання з математики). – Кривий Ріг, 2002. – С. 3–17.

6. Евсеєва Е.Г. Семантический конспект по линейной алгебре // Дидактика математики: проблемы и исследования: междунар. сб. науч. работ. – Донецк: Изд-во ДонНУ, 2005. – № 24. – С. 101–109.

Казанчан А.А., Казанчан А.К. КРЕДИТНО-МОДУЛЬНО-КОМПЕТЕНТНОСТНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ОБУЧЕНИЯ В ВЫСШЕЙ ШКОЛЕ

Описана реализация компетентностного обучения при кредитно-модульной организации учебного процесса в высшей школе. Показана его эффективность по сравнению с традиционным обучением.

Ключевые слова: учебный процесс, компетентностное обучение, кредитно-модульная организация обучения.

Kazanchan A.A., Kazanchan A.K. CREDIT-AND-MODULE-AND-COMPETENCES ORGANIZATION OF THE TEACHING IN HIGHER SCHOOL

The realization of the competences teaching during credit-and-module organization of the learning process in higher school is described. Its effectiveness is shown as compared to the traditional teaching.

Key words: the learning process, the competences teaching, credit-and-module organization of the learning.

СИСТЕМА КОМП'ЮТЕРНОЇ ПІДТРИМКИ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ В МОРСЬКОМУ ВНЗ

*Кравцова Л.В., Камінська Н.Г.,
Херсонський державний морський інститут*

Процес інформатизації стає закономірним та об'єктивним процесом у системі освіти. Саме завдяки цьому процесу стала можливою нова форма навчання – дистанційна освіта, яка втілює в собі найкращі особливості традиційних форм навчання – очної, заочної, екстернатної, добре з ними інтегрується. Автором наголошено на пріоритетності напрямку дистанційного навчання у вищих навчальних закладах завдяки об'єднанню всіх форм в одну єдину з переважанням характеристик сучасного дистанційного навчання.

Ключові слова: інформатизація, дистанційна освіта, система комп'ютерної підтримки навчального процесу.

Вступ. Використання сучасних комп'ютерних програм у навчальному процесі є однією з основних задач національної програми інформатизації освіти. Зокрема, це стосується розробки та впровадження комп'ютерних навчальних програм і віртуальних тренажерів та систем тестування як форм контролю знань. Необхідність розробки та впровадження таких систем зазначена в постановах уряду України, зокрема Міністерства освіти і науки України.

Актуальність дослідження. Національною доктриною розвитку освіти в Україні у ХХІ столітті, прийнятою на з'їзді освітян 8-9 вересня 2001 року у Києві, визначено: пріоритетом розвитку освіти є впровадження сучасних інформаційно-комунікаційних технологій, що забезпечують подальше вдосконалення навчально-виховного процесу, доступність та ефективність освіти, підготовку молодого покоління до життєдіяльності в інформаційному суспільстві [1]. У документі зокрема відзначено, що це досягається:

- впровадженням дистанційного навчання із застосуванням інформаційно-комунікаційних технологій поряд із традиційними засобами навчання в навчальному процесі і бібліотечній справі;
- побудови індивідуальних модульних навчальних програм різних рівнів складності, залежно від конкретних потреб, випуску електронних підручників.

Таким чином, з метою підготовки фахівців морських закладів освіти пов'язано створення відповідних умов, які ґрунтуються на всебічному використанні сучасних інформаційно-комунікаційних технологій.

Мета дослідження – аналіз стану впровадження та розробка методів удосконалення комп'ютерної підтримки навчального процесу в Херсонському державному морському інституті.

Основна частина. Розробка і впровадження програмного забезпечення набуває пріоритетного статусу в планах наукової та методичної роботи вузів.

Швидкими темпами розвивається система Мультимедіа-освіти [2]. Мультимедійні навчальні програми на компакт-дисках і в мережі Internet широко використовуються на практичних і лабораторних заняттях. Привабливість використання мультимедійних засобів навчання ґрунтується на високоякісних графічних, аудіо-, відеоматеріалах, можливості моделювати віртуальні лабораторії.

Однією з найперспективніших частин системи Мультимедіа-освіти стала система дистанційної освіти [3]. Дистанційна освіта – це форма навчання, рівноцінна з очною, вечірньою, заочною та екстернатом, що реалізується, в основному, за технологіями дистанційного навчання (ДН). Технології ДН складаються з педагогічних та інформаційних технологій. Педагогічні технології ДН – це технології опосередкованого активного спілкування викладачів з учнями і студентами з використанням телекомунікаційного зв'язку та методології індивідуальної роботи студентів зі структурованим навчальним матеріалом, представленим в електронному вигляді. Інформаційні технології ДН – це технології створення, передачі і збереження навчальних матеріалів, організації і супроводу навчального процесу дистанційного навчання за допомогою телекомунікаційного зв'язку. Стан комп'ютерної підтримки навчального процесу в ВНЗ визначається станом технічного, програмного та організаційно-методичного забезпечення навчального процесу.

Отже, аналіз стану комп'ютерної підтримки навчального процесу в ВНЗ включає аналіз технічного та програмного забезпечення, а також аналіз організаційно-методичного забезпечення навчального процесу. При цьому параметрами аналізу технічного забезпечення є кількісне та якісне забезпечення комп'ютерами, наявність комп'ютерної мережі та якісні характеристики мережевого зв'язку, включаючи мережу Інтернет. Програмні засоби забезпечення навчального процесу вузу складаються з системного програмного забезпечення роботи комп'ютерів у мережах Інтернет/Інтранет, програмних середовищ розробки навчальних та адміністративних програм і комп'ютерних програм навчального призначення. Організаційно-методичне забезпечення навчального процесу ВНЗ включає систему організаційних заходів з упровадження комп'ютерної підтримки, включаючи дистанційне навчання, а також систему методичної підтримки навчального процесу в ВНЗ.

Вищі навчальні заклади морського профілю мають свою специфіку щодо комп'ютерної підтримки навчального процесу. По-перше, використання тренажерних центрів із застосуванням апаратних комплексів під управлінням комп'ютерних програм [4, 5]. По-друге, наявна необхідність використання дистанційних технологій навчання, особливо на заочній формі навчання та на морських практиках. По-третє, наявна потреба у мультимедійних навчальних програмах з використанням моделювання процесів, що вивчаються. Зазначені вище положення лягли в основу концепції комп'ютерної підтримки навчального процесу в Херсонському

державному морському інституті. Задачі, які вирішуються в ХДМІ, є типовими для інших морських навчальних закладів. Тому методи їх розв'язання, які досягнуто в ХДМІ, можуть бути корисними в роботі викладачів та фахівців інших вузів.

У Херсонському державному морському інституті, як вищому навчальному закладі, концепція комп'ютерної підтримки навчального процесу прийнята рік тому. За основу концепції взято системний підхід, у якому визначено розвиток інформаційних технологій та їх впровадження в навчальний процес.

Концепція комп'ютерної підтримки навчального процесу в вищому навчальному закладі знайшла відображення у Програмі інформатизації ХДМІ і складається з вимог технічного та програмного забезпечення, використання навчальних інформаційних ресурсів у навчальному процесі, включаючи програму впровадження дистанційних технологій навчання.

Стан технічного забезпечення в першу чергу визначається станом комп'ютерного забезпечення та організацією мережного зв'язку. На поточний момент комп'ютерний парк інституту нараховує близько трьохсот п'ятдесяти комп'ютерів різних систем, технічні характеристики яких поліпшувалися з розвитком комп'ютерної техніки.

Комп'ютери 2000-2004 років випуску (150 шт.) є основними комп'ютерами, які використовуються відділами, факультетами та кафедрами інституту, а також у навчальних комп'ютерних кабінетах. Ці комп'ютери можна модернізувати. Найефективнішим чином це можна зробити, збільшивши на цих комп'ютерах об'єм пам'яті жорстких дисків та ОЗП. Це дасть можливість установити на них сучасне програмне забезпечення, яке з кожною новою версією (щорічно) потребує все більшої пам'яті – як оперативної, так і зовнішньої.

Комп'ютери після 2005 року випуску на даний момент відповідають вимогам часу. Вони активно використовуються відділами, факультетами та кафедрами інституту, дозволяють установлювати та експлуатувати сучасне програмне забезпечення і, таким чином, ефективно вирішувати задачі навчання курсантів та студентів, а також роботи служб інституту.

Для організації роботи розподіленої локальної мережі за Програмою інформатизації у 2009-2010 н.р. планується придбати 5 комп'ютерів-серверів. Також будуть придбані 60 комп'ютерів замість тих, що підлягають списанню.

Сьогодні інститут користується послугами Інтернет-провайдера, який забезпечує інститут виділеною лінією – 1 канал потужність 1 Мбіт/сек. Інтернет підключено до комп'ютерів адміністративної мережі (приблизно 20 клієнтських місць) та комп'ютерів навчальних комп'ютерних класів (приблизно 100 місць). Аналіз споживання послуг Інтернет показав, що для переходу інституту в режим посиленого споживання Інтернет-ресурсів потрібно якісно (на порядок) збільшити потужність каналів Інтернет.

У Програмі інформатизації ХДМІ особливу увагу приділено програмному забезпеченню для комп'ютерів адміністративної частини інституту та навчальних комп'ютерних класів. На даний момент у складі інформаційної системи ХДМІ функціонують майже 350 комп'ютерів. Їх роботу в комп'ютерній мережі забезпечує звичайний комп'ютер у якості сервера. Для організації розподіленої роботи у локальній мережі на комп'ютерах-серверах використовується системне програмне забезпечення на базі операційної системи Linux.

На клієнтських комп'ютерах використовуються операційна система Windows XP Professional, прикладні пакети офісної системи Office 2003 Professional та комп'ютерні програми навчального призначення, які розроблено фахівцями ХДМІ. Серед навчальних програм особливе значення мають електронні підручники, лекції, віртуальні лабораторні роботи та дистанційні курси. Саме на розробку дистанційних курсів спрямовано увагу викладачів ХДМІ. Для повноцінного функціонування дистанційної форми навчання необхідно забезпечити комп'ютерні класи швидкодіючою мережею Інтернет.

Реалізація державної політики України з розширення можливостей особистості щодо отримання вищої професійної освіти і підвищення доступності освіти широким верствам населення призводить до необхідності підвищення ефективності заочної форми навчання. Ефективність заочної форми навчання суттєво залежить від того, які використовуються технології навчання. Визначним може бути те, в якій формі будуть використовуватись технології дистанційної освіти.

Треба відзначити, що багато вузів продовжують активно розвивати і впроваджувати технології ДН. Щорічно проводяться всеукраїнські та міжнародні науково-методичні конференції, на яких визначається проблематика впровадження ДН і обговорюються шляхи розвитку та вдосконалення нових інформаційних технологій навчання.

ХДМІ входить до числа вузів, які активно розвивають і впроваджують технології ДН в систему освіти. У 2009 році в інституті створений Центр комп'ютерних технологій, який буде займатись організаційною та науково-методичною роботою щодо забезпечення підвищення ефективності навчального процесу заочної форми навчання. Новітність форми ДН в системі освіти потребує зупинитись більш детально на її властивостях.

Дистанційне навчання – це сукупність інформаційних технологій, які забезпечують отримання курсантами повного обсягу навчального матеріалу, інтерактивну взаємодію учнів і викладачів у процесі навчання, надання студентам можливості самостійної роботи з опанування навчальним матеріалом, який вивчається, а також оцінки їх знань та навичок, отриманих у процесі навчання. Аналіз процесу ДН дозволяє виділити ряд його організаційних особливостей:

1. Гнучкість. Курсанти можуть навчатись стільки, скільки їм особисто потрібно для вивчення курсу дисципліни і отримання необхідних знань з вибраної спеціальності.

2. Модульність. В основу програм ДН закладається модульний принцип. Це дозволяє із набору незалежних навчальних курсів сформувати навчальний план, який відповідає індивідуальним та груповим потребам.

3. Паралельність. Навчання може проводитись при сумісництві з основною професійною діяльністю, а також особами, обмеженими у рухомості.

4. Далекодія. Відстань від міста знаходження навчального закладу не є обмеженням для ефективного навчального процесу.

5. Асинхронність. Викладач і студент мають можливість реалізувати технологію навчання незалежно від часу, тобто у вигідному для кожного розкладі та у зручному темпі.

6. Охоплення. Кількість студентів у системі ДН не є критичним параметром. Вони мають доступ до багатьох джерел навчальної інформації (електронних бібліотек, баз даних), а також можуть спілкуватись один з іншим і з викладачем через мережу Інтернет.

7. Рентабельність. Під цією особливістю розуміється економічна ефективність ДН. Середня оцінка навчальних систем ДН показує, що вони коштують приблизно на 10-50% дешевше, ніж традиційні системи навчання в основному за рахунок більш ефективного використання існуючих навчальних приміщень та технічних засобів, а також зниження транспортних збитків.

8. Нова роль викладача. Він виконує такі функції, як координування процесу навчання, коректування курсу, який викладається, консультації, керівництво навчальними проектами і т. ін. Взаємодія з учнями відбувається, в основному, асинхронно за допомогою електронної пошти або інших систем зв'язку. Мають бути також і очні контакти.

9. Нові вимоги до курсанта. Від нього потребується висока вмотивованість, самоорганізація, працездатність та достатній стартовий рівень освіти.

10. Технічне і програмне забезпечення. У системі ДН використовуються комп'ютери, аудіо-, відеотехніка, системи і засоби телекомунікацій тощо, а також комп'ютерні навчальні системи у звичайних і особливо мультимедійних варіантах використання.

Технології ДН привнесли ряд особливостей у систему заочного навчання:

- можливість інтерактивної взаємодії між викладачем і учнем у діалоговому режимі, яка може наблизитись по формі до взаємодії при традиційному аудиторному навчанні;
- швидка доставка навчальних матеріалів в електронному вигляді;
- оперативний доступ до баз знань, які розміщені в мережі Інтернет;
- можливість тестування знань у дистанційному режимі;

- можливість проходження віртуального лабораторного практикуму.

Серед організаційних особливостей важливим питанням стає спілкування учня і викладача. Для реалізації взаємного зв'язку (діалогу) між учнем і викладачем, а також безпосередньо між самими учнями при заочно-дистанційному навчанні використовуються чати та відео-конференції. Така технологія звільнює викладача від необхідності взаємодії з кожним учнем індивідуально і дозволяє організувати колективну роботу учнів. Чати та відео-конференції проходять у реальному часі (режим on-line). Для реалізації відео-конференції необхідно використовувати спеціальне програмне забезпечення. Текстовий чат проходить в обміні текстовими повідомленнями у реальному часі, а у відео-конференції спілкування проводиться з використанням відеокамер. У теперішній час означене програмне забезпечення входить у склад інтегрованих телекомунікаційних програм, таких, наприклад, як FirstClass Intranet Server, NetMeeting та інших.

Другим важливим питанням є питання навчально-методичного забезпечення процесу ДН. Курсанти заочно-дистанційної форми навчання повинні бути забезпечені дистанційними курсами, які включають комплекти навчально-методичних матеріалів, програми курсів, електронні підручники і навчальні посібники (підручник, задачник, керівництво по виконанню лабораторних робіт тощо), а також методичні посібники з організації самостійної роботи з кожного виду занять. Серед основних принципів розробки навчально-методичних матеріалів для заочно-дистанційного навчання слід відзначити наступні принципи:

1. Програма курсу повинна мати формулювання цілей вивчення курсу, формувати мотивацію успішного вивчення дисципліни методом роз'яснення її місця та значення в системі навчання з обраної спеціальності. Перелік тем і розділів дисципліни супроводжується зазначенням рівнів їх засвоєння, які вимагаються.

2. Навчальні посібники повинні задовольняти вимогам стандарту оформлення. Необхідно використовувати стандартизовані позначення для величин, які будуть використовуватись у наступних курсах.

3. Навчальні матеріали в електронній формі з використанням гіпертексту повинні задовольняти вимогам простоти орієнтації студентів при переміщенні по сторінках. У довідкових системах до навчальних матеріалів необхідно пояснювати умовні позначення для посилань, надавати поради по раціональних шляхах навігації з використанням гіперпосилань.

4. При використанні в навчальних матеріалах гіперпосилань на ресурси в мережі Інтернет необхідно уникати посилань на Web-сторінки, які потребують порівняно більшого часу завантаження.

Методичні посібники повинні бути побудовані таким чином, щоб курсант міг перейти від діяльності, яка виконується під керівництвом викладача, до діяльності, яка організується самостійно, до максимальної заміни викладацького контролю самоконтролем. Тому вони повинні містити детальний опис раціональних прийомів описаних видів діяльності, критеріїв

правильності рішень, рекомендації з ефективного використання консультацій.

Одна з найбільш розповсюджених помилок при створенні курсів ДН полягає у виконанні їх у вигляді електронної копії стандартних печатних підручників. Інформаційні технології надають викладачам потужний набір інструментів, які повинні ефективно використовуватися для досягнення цілей учбового процесу при дистанційному навчанні. З урахуванням вітчизняного досвіду розробки курсів ДН виявляється, що в найбільш повному варіанті навчальний курс ДН повинен включати:

- методичні рекомендації з вивчення курсу;
- теоретичний матеріал;
- практикум для формування вмінь та навичок застосування теоретичних знань з прикладами виконання завдань та аналізом помилок, які найбільш часто зустрічаються;
- віртуальний лабораторний практикум;
- довідковий матеріал, глосарій;
- систему тестування та контролю знань.

Реалізація кожної зі складових навчального курсу може варіюватися залежно від предметної області та спеціальності, до яких відноситься даний курс. Наприклад, для технічних спеціальностей практикум може бути представлений у вигляді задачника, а для економічних спеціальностей – у вигляді інтерактивних ділових ігор тощо.

Серйозною проблемою при використанні мережевих технологій в області інженерної освіти є створення віртуальних лабораторних практикумів. Важко уявити собі повноцінну підготовку спеціаліста з більшості інженерних спеціальностей без його ознайомлення з реальними фізичними приладами та установками та отримання навичок роботи з ними. Мова може йти лише про глибоке вивчення студентом відповідних фізичних процесів на базі математичних моделей, які достатньо повно відображують реальні процеси та явища, які вивчаються. Перспективним рішенням цієї проблеми надається об'єднання переваг Web- та JAVA-технологій для реалізації таких моделей. Зрозуміло, що віртуальні лабораторії не є адекватною заміною реальної лабораторної установки, але можуть бути дуже корисним інструментом високоякісної підготовки студентів до інтенсивного виконання реальної програми роботи при короткочасному перебуванні студентів у стінах університету.

Висновки. Процес інформатизації стає закономірним та об'єктивним процесом у системі освіти. Саме вузи мають матеріально-технічне забезпечення та інтелектуальні ресурси для об'єднання навчального процесу у вузах і школах в єдину систему освіти на базі єдиної інформаційно-освітньої мережі. Завдяки процесу інформатизації стала можливою нова форма навчання – дистанційна освіта, яка втілює в собі найкращі особливості традиційних форм навчання – очної, заочної, екстернатної і добре з ними інтегрується. Можна передбачити тенденцію об'єднання цих форм в одну

єдину форму з переважанням характеристик сучасного дистанційного навчання. Саме тому дистанційне навчання є пріоритетним напрямком у ХДМІ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Національна доктрина розвитку освіти. – Київ: Шкільний світ, 2001.
2. Кравцова Л.В., Кравцов Г.М. Мультимедіа – новий етап у сучасній освіті. Метода: збірник наукових і методичних статей, Вип. 4. – Київ. – 1997. – С. 19–23.
3. Биков В.Ю., Кухаренко В.М., Сиротенко Н.Г., Рибалко О.В., Богачков Ю.М. Технологія розробки дистанційного курсу: навчальний посібник / За ред. В.Ю. Бикова та В.М. Кухаренка – К.: Міленіум, 2008. – 291 с.
4. Навчальні та тренажерні центри / Офіційний сайт Одеської національної морської академії. – http://www.onma.edu.ua/index.php?centers_ua.
5. Тренажерные центры МГУ / Официальный сайт Морского государственного университета им. адмирала Г.И. Невельского. – <http://www.msun.ru/edu/sim>.

Кравцова Л.В., Каминская Н.Г. СИСТЕМА КОМПЬЮТЕРНОЙ ПОДДЕРЖКИ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА В МОРСКОМ ВУЗЕ

Процесс информатизации становится закономерным и объективным процессом в системе образования. Именно благодаря этому процессу стала возможной новая форма обучения – дистанционное обучение, которое воплощает в себе наилучшие особенности традиционных форм обучения – очной, заочной, экстернатной, хорошо с ними интегрируется. Автор акцентирует на приоритетности направления дистанционного обучения в высших учебных заведениях благодаря объединению всех форм в одну единственную с преобладанием характеристик современного дистанционного обучения.

Ключевые слова: информатизация, дистанционное обучение, система компьютерной поддержки учебного процесса.

Kravtsova L.V., Kaminskaya N.G. A COMPUTER SUPPORT SYSTEM FOR TEACHING PROCESS IN MARITIME HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTION

A process of informatics becomes a regular and objective process in the system of education. Just due to this process a new form of teaching – a remote education became possible that includes in itself the best features of traditional forms of teaching – daytime, extramural, and extern students that was well integrated with all of them. The author asserts the priority of trend of remote teaching in higher educational institutions due to the integration of all forms into one unified form with predominance of characteristics of up-to-date remote training.

Key words: a process of informatics, a remote education, a computer support system for teaching process.

УДК 378.147:159.9

ПСИХОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ АКТИВІЗАЦІЇ НАВЧАЛЬНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ У ВИЩИХ ТЕХНІЧНИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ

Овчарук О.М.,

Херсонський державний морський інститут,

Скиба Н.Г.,

Херсонський національний технічний університет

Розкриваються причини неузгодженості між наявним рівнем підготовки студентів до навчання у ВНЗ і підвищенням вимог до інженерної підготовки фахівців. Доводиться, що подолати конфлікт наявного інтелекту і зростаючих вимог до вивчення техніки можна шляхом удосконалення навчального матеріалу і більш тісного співробітництва викладача зі студентом.

Ключові слова: невпевненість студентів, узагальнення, спрощення, дедуція, вузловий принцип, індивідуальна робота, психологічне стимулювання.

Вступ. Завдання підготовки висококваліфікованих спеціалістів у сучасних ВНЗ вирішується в досить складних історичних умовах, характерними рисами яких є:

– перехід від попередньої соціально-економічної (соціалістичної) системи організації суспільства до теперішньої, ще не дозрілої, (капіталістичної) системи;

– перехід від попередньої національно-інтернаціональної системи виробництва з центром у Росії до теперішньої – з орієнтацією на Захід, з центром у Києві.

Це суттєво змінило умови навчання молоді:

– маємо іншу систему інформації й іншу (більш обмежену поки що) кількість носіїв цієї інформації (підручників, посібників, комп'ютерів тощо);

– маємо застарілу лабораторну базу;

– змінились пріоритети навчання (орієнтація на автоматизовані та комп'ютеризовані системи, на міжнародні правила їх експлуатації);

– постає необхідність серйозного оволодіння іноземними мовами (частіше, англійською).

Це призвело до того, що колишнє традиційне базово-аналітичне вивчення пізнавального матеріалу стало проблематичним. Кожна галузь науки і техніки настільки ускладнилась, що засвоїти все новітнє стало важко. Звідси й прогнозована невпевненість студентів у можливості осягнення «неосяжного», страх і деяка втрата віри в свої сили, пошук виходу в обхідних маневрах. Часто студент просто випадає з пізнавального процесу.

При тому, вимоги до якості підготовки спеціалістів для обслуговування технічних систем виробництва невпинно зростають. Інтернаціоналізація навчання у вищій школі [1] ще більше їх ускладнює. Тому маємо серйозну

невідповідність між наявними інтелектуальним і матеріальним потенціалами ВНЗ і сучасними вимогами до них.

В останніх публікаціях щодо цієї проблеми необхідного матеріалу практично немає. Наводяться загальні рекомендації до поліпшення навчальної роботи [2, 3, 5], але так, ніби мова йде про звичайний поступальний процес, а не революцію в системі освіти з усіма її потрясіннями. Це й спонукало до вибору теми статті.

Звичайно, маємо проблеми у створенні новітньої матеріальної бази ВНЗ, але морально-психологічний стан суб'єктів навчального процесу (студентів і викладачів) доцільно розглянути в першу чергу.

І найперше, з цієї точки зору, що повинна зробити вища школа, це змотивувати студента до предметів навчання, зацікавити його, підняти пізнавальну та творчу активність, вселити віру в свої сили, у досяжність обраної мети.

Зв'язок роботи з важливими науковими програмами та практичними завданнями. Робота спрямована на забезпечення виконання у ВНЗ навчальних програм і планів Міністерства освіти і науки України, на втілення в життя матеріалів Болонського процесу.

Формування цілей роботи. Мета роботи – знаходження шляхів подолання суперечності між відстаючим інтелектуальним потенціалом вищих навчальних закладів і сучасними зростаючими вимогами до нього. Для досягнення мети необхідно виконати, в першу чергу, два завдання щодо суб'єктів навчального процесу.

А. Належно організувати і психологічно активізувати роботу студентів.

Б. Методично поновити і поліпшити роботу викладачів.

Обидва завдання взаємно пов'язані. Тут йдеться не про просте стимулювання студента викладачем чи освітньою системою взагалі, а про таке його заохочення, коли він свідомо і з задоволенням включається в процес навчання, вважаючи його насущною і цілком досяжною потребою. Завдання полягають у тому, щоб знайти такий характер взаємодії викладача і студента, при якому не лише студент опиняється об'єктом впливу, а також викладач «опускається» до потреб і можливостей студента, знаходить такі засоби викладання матеріалу, при яких постає як необхідність, так і можливість його засвоєння.

Це вимагає часто суттєвого переосмислення матеріалу, бо на практиці ми все більше користуємося такими складними спеціальними установками і приладами, розібратися в яких стає все важче, навіть неможливо, і на перше місце виходить лише вміння ними грамотно користуватися. Така тотальна ознака часу.

Результати дослідження. А. Практика викладання технічних дисциплін у ВНЗ доводить, що психологічно активізувати навчальну роботу студентів можна наступними шляхами:

– зниженням початкового рівня викладання навчального матеріалу до порогу його можливого сприйняття сучасними студентами. Давати більше принципово важливого матеріалу в описовій формі, основні закони і формули – в простому, дохідливому вигляді. Потім цей початковий рівень поступово підіймати до необхідного стану;

– застосовувати переважно дедуктивний метод висвітлення матеріалу: від загальнозначущих законів науки, через принципові схеми, до конкретних конструкторських і практичних вирішень. У такому разі навіть складні побудови будуть здаватись дещо знайомими і простішими. Кожна конструкція одержує підґрунтя;

– застосовувати вузловий (або блочний) принцип навчання, коли наступна теорія або конструкція, чітко опирається на добре відомі вже теорії, або конструкції – на відомі вузлові елементи. Саме цей блочний принцип будови широко застосовується в сучасній техніці, при створенні складних машин і приладів. Тобто маємо переконливі матеріальні відповідники до наших теорій. Змістовний матеріал блоків треба ґрунтовно вивчати і запам'ятовувати до рівня автоматичного знання і здатності застосування. Звичайно, кількість таких блоків треба по можливості зменшувати, залишаючи в них саме необхідне і важливе. Всі інші елементи знання треба навчатися виводити (логічно і математично) з відомого, використовуючи індуктивний метод. Приклади наведено далі:

– виконуючи такі аналітичні переходи між блоками, студент закріплює свої знання, розвиває здібності мислення, переконується в здатностях до серйозного аналізу, починає вірити в свої сили. Якщо студент не може встановлювати будь-які зв'язки між блоками, виводити хоч деякі формули, він не розбереться і в головному матеріалі. Бо є певний поріг сприйняття мозком людини. Не здолавши цей поріг, знання спадають до нуля. При цьому, якщо якась змістовна теза пов'язується з базовими блоками, вона утримується в мозку, а якщо існує відірвано – зникає;

– деякі блоки системи (наприклад, блоки систем управління й інформації) можна застосовувати в якості «чорного ящика». Можна не знати, або лише поверхово знати, як працює «чорний ящик», але чітко знати, що треба подавати на вхід в нього і що можна одержати на виході. У такому разі на провідну роль виходять різного роду інформаційні системи – галузеві, загальнодержавні, інтернаціональні, глобальні. Треба вміти ними користуватися;

– у кінцевім рахунку, треба навчитись зводити складну теорію або конструкцію до простої і ясної схеми з подальшим детальним розглядом складових цієї схеми;

– при висвітленні окремої теми бажано відсилати студента до обмеженої кількості джерел інформації (навіть до одного) з усталеною символікою і термінологією. Паралельне використання багатьох джерел часто призводить до плутанини і завжди утруднює засвоєння матеріалу. Бо мозок людини зазвичай формує одне (певне) домінуюче бачення, що веде до конкретного застосування. Неможливо йти одразу кількома шляхами;

– особливу увагу слід приділяти математичному забезпеченню пізнавального процесу. Математика скорочує шлях до істини, особливо вищий мат. аналіз. Часто простий визначний інтеграл швидше призводить до результату, ніж пошук готових форм та формул;

– але складні математичні викладки слід безжально викоринювати, або давати в довідковій формі. Зате посилювати розділи обчислювальної математики, ті, що напряду ведуть до комп'ютерів, наприклад, інтегральні методи Ейлера, Крилова, Рунге-Кутта. Навіть великий Фермі часто використовував чисельні методи замість досить простих, точних;

– завжди доводиться пам'ятати про невміння студентів виконувати математичні дії з дуже великими, або дуже малими числами (ділити, множити, логарифмувати, округляти і ін.), а така потреба виникає при використанні системи вимірів СІ;

– знімає психологічне навантаження студента його поетапний самоконтроль при виконанні аналітичних операцій. Цьому допомагає метод розмірностей;

– індивідуальна робота зі студентами дозволяє виявляти больові точки в їх системах знань, знаходити відсутні опорні вузли, конкретні невміння з'ясування зв'язків між ними, давати поштовх для подальшої пізнавальної роботи;

– безпосереднє психологічне стимулювання студента:

▪ показувати його здатність самостійно вирішувати деякі (бодай, нескладні) задачі, вдома чи біля дошки;

▪ ставити індивідуальні завдання і винагороджувати морально за їх виконання;

▪ по можливості використовувати стимулюючі оцінки знань, а не «принижуючі»;

▪ вселяти в студента віру в надійність сучасної (переважно автоматизованої) техніки, віру в його здатність керувати навіть дуже складними машинами [3-6].

Б. Обов'язки викладача (крім зазначених вище і загальновідомих) полягають у наступному:

– виконувати науково-дослідні роботи, результати яких використовувати як супровід (ілюстрацію) і базу навчання. Хто сам не робить, той не може дохідливо розказати про це;

– цікавитись новітніми досягненнями в науці і техніці, використовувати їх на практиці. Інформація на перспективу приваблює й інтригує;

– безперервно вдосконалювати програмний матеріал, пам'ятаючи, що межі досконалості немає;

– виявляти чуйність до потреб і проблем студентів, допомагати у вирішенні ними складних завдань під час самопідготовки;

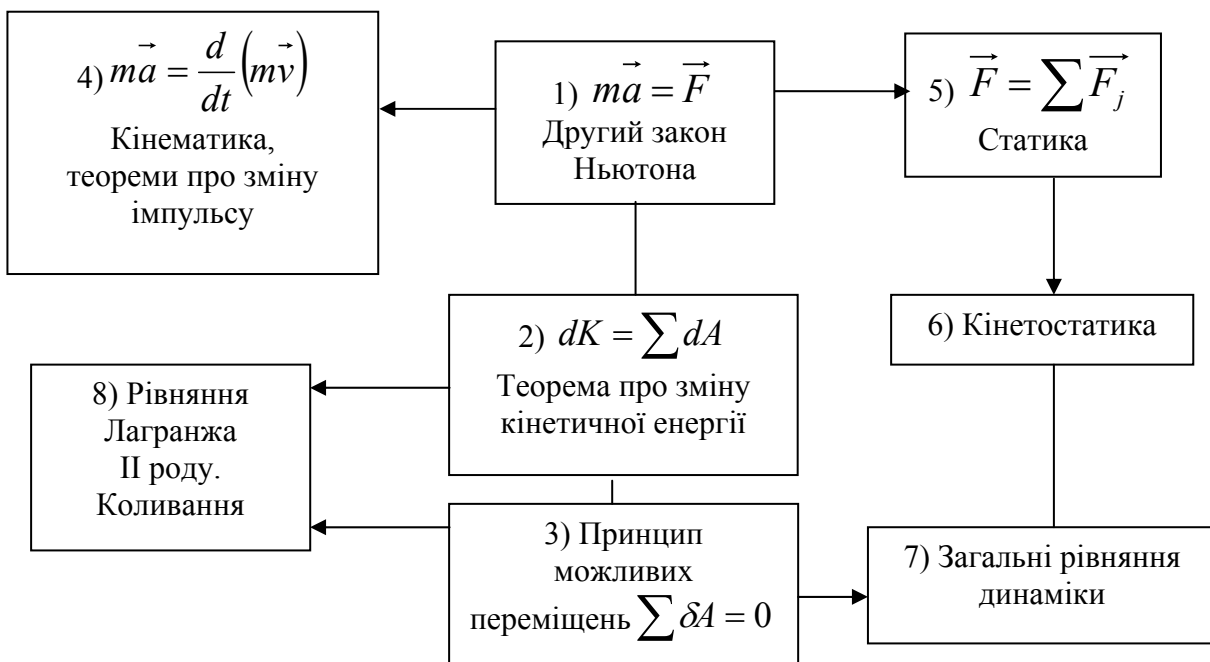
– завжди пам'ятати, що кожна людина прагне успіху й охоче йде до нього, долаючи труднощі. Студент інколи прикидується ледарем, щоб ви, викладач, не помітив його слабкості.

Треба всіляко підтримувати студента в його пізнавальній роботі; надавати необхідні інформаційні матеріали (або вказувати на шляхи їх пошуку); організовувати процес вивчення матеріалу за дедуктивним методом та блочною схемою; знаходити темні місця в підходах; надавати поштовхи до процесу безперервного мислення і творення; зміцнювати віру студента у власні сили, дати можливість відчувати успіх. Підвищити рівень своїх знань може кожний!

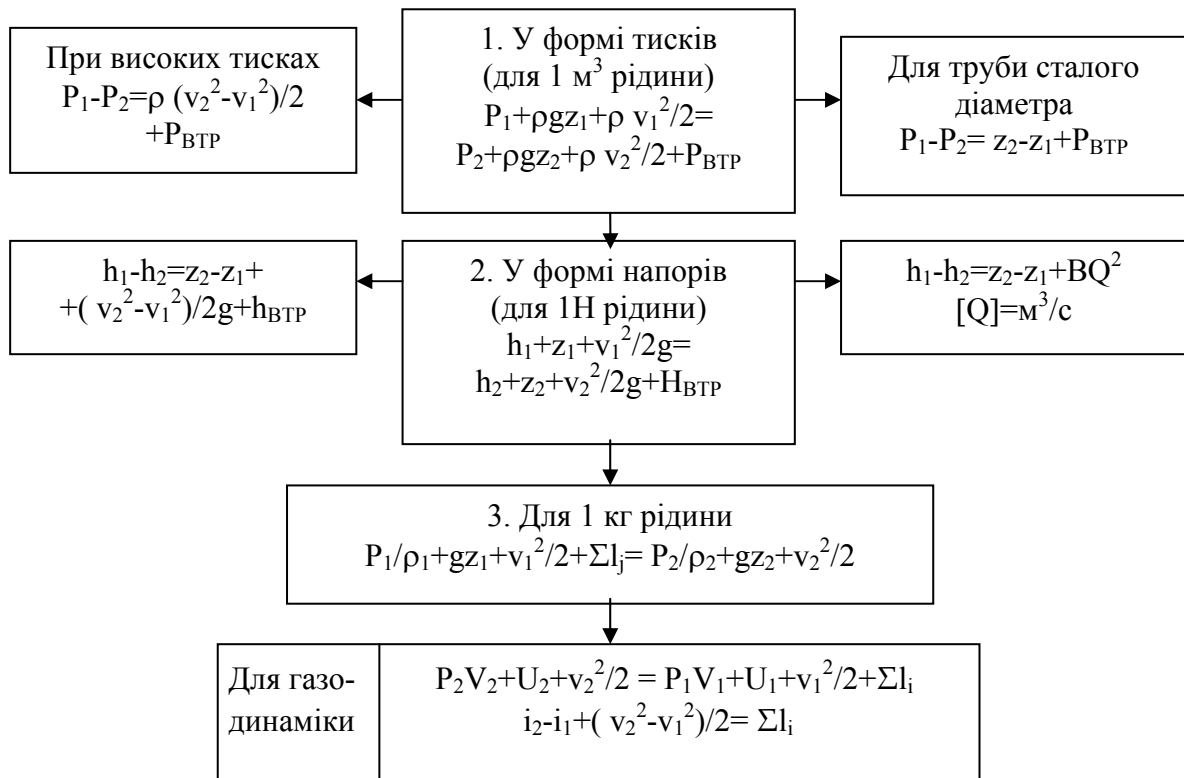
У якості ілюстрації можливостей реалізації одного із запропонованих шляхів активізації пізнавальної діяльності студентів морського інституту під час вивчення теоретичної механіки та гідромеханіки наводимо приклади застосування блочного методу.

Приклади.

1. Система блоків. Весь основний курс теоретичної механіки можна подати в структурній формі, що спирається тільки на три базових блоки: 1, 2, 3.



2. Мегавузол: «Рівняння Бернуллі – енергетичне рівняння одновимірного потоку».



Висновки. У заходах із психологічної мотивації і заохочення студентів до навчання міститься значний потенціал інтенсифікації навчального процесу, підвищення його ефективності, у тому числі й морально-етичного виховання майбутніх фахівців.

Визначення результативності кожного мотиватора пов'язане із проведенням цілеспрямованих досліджень у цьому напрямі з метою одержання переконливих кількісних показників.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Болонський процес: документи / Уклад. З.І. Тимошенко та інші. – К.: Вид-во Європ. ун-ту, 2004. – 169 с.
2. Варій М.Й., Ординський В.П. Основи психології і педагогіки : навчальний посібник. – К.: Центр учбової літератури, 2007. – 376 с.
3. Максименко С.Д. Загальна психологія: навчальний посібник. – К.: Центр учбової літератури, 2004. – 272 с.
4. Мороз О.Г., Падалка О.С., Юрченко В.І. Педагогіка і психологія вищої школи. – К.: НПУ, 2003. – 267 с.
5. Подласый И.П. Педагогика. Новый курс : учеб. для студентов высших учебных заведений: в 2-х кн. – М.: Владос, 2002. – 576 с.
6. Смирнов С.Д. Педагогика и психология высшего образования : От деятельности к личности : учебное пособие. – М.: Академия, 2005. – 400 с.

Овчарук А.М., Скиба Н.Г. ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АКТИВИЗАЦИИ УЧЕБНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ В ВЫСШИХ ТЕХНИЧЕСКИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ

Раскрываются причины несогласованности между наличным уровнем подготовки студентов к обучению в вузе и повышением требований к инженерной подготовке специалистов. Доказывается, что преодолеть конфликт наличного интеллекта и возрастающих трудностей изучения техники можно путем обновления и усовершенствования учебного материала, более тесного сотрудничества преподавателя со студентом.

Ключевые слова: неуверенность студентов, обобщение, упрощение, дедукция, узловой принцип, индивидуальная работа, психологическое стимулирование.

Ovcharuk A., Skyba N.G. PSYCHOLOGICAL ASPECTS OF ACTIVATION OF THE STUDENTS' STUDYING IN HIGHER TECHNICAL EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Reasons of inconsistency are open up between the present level of preparation of students to the studies in higher educational institutions and increase of requirements to the engineering training of specialists. It's proved that to overcome the conflict of available intellect and increasing difficulties of studying the engineering is possible by way of renewal and improvement school material, closer cooperation between a teacher and a student.

Key words: students' lack of confidence, generalization, simplification, deduction, junction principle, individual work, psychological stimulation.

ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ

УДК 621.436:629.5:658.511.3.001.57

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В СИСТЕМЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ D4.0H

*Ивановский В.Г., Варбанец Р.А.,
Одесский национальный морской университет*

Расчетный модуль диагностической системы DEPAS D4.0H позволяет моделировать рабочий процесс в цилиндре судового дизеля на основном и частичных эксплуатационных режимах. Целью моделирования рабочего процесса является оценка резерва нагрузки двигателя и оценки тепловой и механической напряженностей. Важной задачей моделирования рабочего процесса является уточнение расхода топлива на текущем эксплуатационном режиме и его прогнозирование при изменении настроек топливной аппаратуры и механизма газораспределения. В статье рассматриваются некоторые возможности расчетного модуля: изменение закона тепловыделения в цилиндре, анализ удельной работы цикла, вариации коэффициента теплоотдачи и энергетический баланс, согласно 1-му закону термодинамики.

Ключевые слова: судовой двигатель внутреннего сгорания (СДВС), рабочий процесс, топливная аппаратура (ТА), механизм газораспределения (МГР), тепловыделение, внутренняя энергия газа, коэффициент теплоотдачи.

Введение. Целями моделирования рабочего процесса являются: оценка резерва нагрузки двигателя, путем контроля среднего индикаторного давления (индикаторной мощности) и оценка тепловой и механической нагрузок, путем контроля ряда параметров рабочего процесса. Важной задачей моделирования рабочего процесса является уточнение расхода топлива на текущем эксплуатационном режиме и его прогнозирование при изменении настроек топливной аппаратуры и механизма газораспределения. Сравнение расчетных и фактических значений параметров рабочего процесса на эксплуатационном режиме позволяет диагностировать основные узлы цилиндропоршневой группы (ЦПГ), ТА и МГР.

Актуальность проблемы эксплуатационного мониторинга рабочего процесса и его моделирования диктуется все более жесткими экономическими и экологическими требованиями эксплуатации судовых ДВС [1].

Существующие модели рабочего процесса ДВС позволяют осуществлять многофакторный анализ эксплуатационных режимов и решать оптимизационные задачи [2]. Тем не менее, можно утверждать, что в условиях эксплуатации математическая модель рабочего процесса на базе выбранного закона тепловыделения может быть адекватна лишь в том случае, если имеется возможность уточнения ряда входящих в нее эмпирических коэффициентов. Это касается коэффициентов теплоотдачи,

коэффициента остаточных газов, средних условных температур стенок цилиндров, крышек и поршней.

1. Коррекция эмпирических коэффициентов.

Разумеется, непосредственная оценка многих, задаваемых при моделировании рабочего процесса эмпирических коэффициентов, во время эксплуатации невозможна. Однако всегда есть возможность их коррекции исходя из того, что на эксплуатационном режиме можно с достаточной точностью определить несколько основных параметров: максимальные давления сгорания (в некоторых случаях – сжатия) в цилиндре, температуры выпускных газов, давление надувочного воздуха, частоту вращения ротора турбонагнетателя.

С помощью методов оптимизации можно подобрать такие значения эмпирических коэффициентов, чтобы добиться совпадения экспериментальных и расчетных данных в основных контрольных точках. В этом случае минимизируется функционал, составленный согласно требованиям МНК, а в качестве свободных переменных выбирается один или несколько искоемых эмпирических коэффициентов [3].

Часто во время эксплуатации СДВС осложнено непосредственное измерение максимального давления сжатия либо давления наддува (одно из них должно быть известно с достаточной точностью). В этом случае удобно пользоваться следующими соотношениями:

$$Pa = Pc / \varepsilon^{n1}, \quad (1)$$

где $Pa = (1.0 + P_s)\xi_a$; Pc – максимальное давление сжатия; ε – степень сжатия; $n1$ – показатель политропы сжатия (выбирается для МОД, СОД и ВОД согласно рекомендациям [4 Ваншейдт]; P_s – избыточное (манометрическое) давление в надувочном ресивере; ξ_a – коэффициент потерь давления на впускных органах ($\xi_a \approx 1$ для 4-тактных СДВС, $\xi_a = 0.93 \div 0.98$ для 2-тактных МОД с впуском через окна).

С помощью (1) можно с инженерной точностью определять один из трех базовых параметров Pc , P_s , ε , при известных двух других.

2. Выбор закона тепловыделения.

Математическая модель рабочего процесса в цилиндре СДВС базируется на 1-м законе термодинамики:

$$dQx = dU + pdV + dQw, \quad (1)$$

где dQx – теплота, выделенная при сгорании топлива; pdV – работа цикла; dU – изменение внутренней энергии рабочего тела; dQw – энергия, переданная в виде тепла через стенки цилиндра.

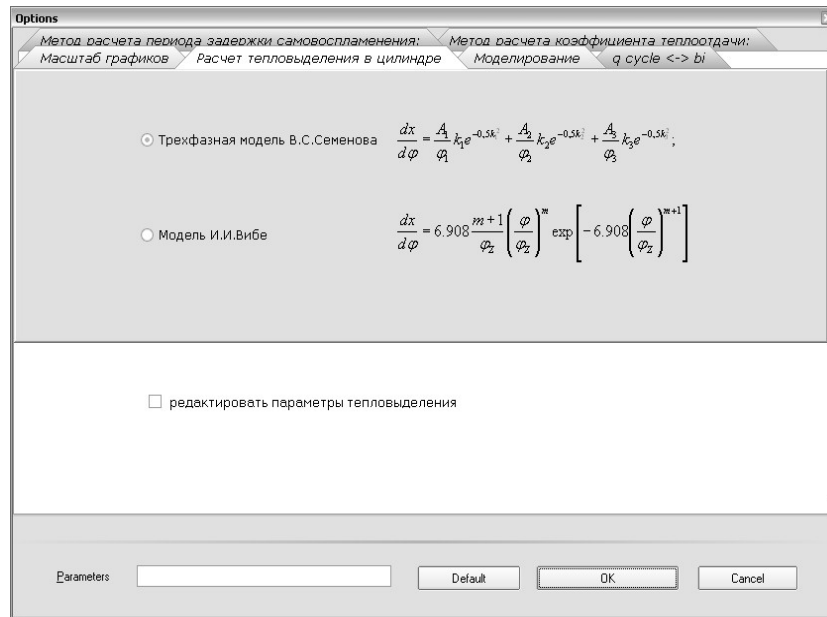


Рисунок 1. Выбор закона тепловыделения при моделировании рабочего процесса

Для оценки скорости тепловыделения при сгорании топлива в цилиндре используется трехфазная модель Семенова – Квятковского [5], либо известная модель И.И. Вибе [6] (рис. 1).

Расчет тепловыделения с использованием формулы И.И. Вибе обеспечивает достоверность при точной оценке показателя характера сгорания m и продолжительности тепловыделения φ_z . Определение m и φ_z для конкретного эксплуатационного режима удобно производить, имея запись индикаторной диаграммы рабочего процесса в координатах $P(\varphi)$.

В отличие от метода И.И. Вибе, метод В.С. Семенова – В.И. Квятковского базируется на предположении о том, что наиболее общим видом тепловыделения является трехфазное тепловыделение. Метод реализован с помощью нагрузочных критериев, которые непосредственно связаны с цикловой подачей топлива. С помощью метода В.С. Семенова – В.И. Квятковского можно произвести более точное моделирование тепловыделения и рабочего процесса, в том числе можно моделировать многофазный впрыск топлива, реализованный в современных СДВС [3].

3. Расчетные зависимости коэффициента теплоотдачи от газов к стенке.

Потеря теплоты в стенке цилиндра, выраженная в виде конечной разности на каждом расчетном интервале $\varphi_j \div \varphi_{j+1}$, рассчитывается так:

$$\Delta Q_w = 0.5 \left[\alpha_{rj} (T_j - T_{cyl}) F_j + \alpha_{rj+1} (T_j - T_{cyl}) F_{j+1} \right] \frac{\Delta \varphi}{6n}$$

где α_r – коэффициент теплоотдачи от газов к стенке; T_{cyl} – средняя температура стенок цилиндра; F – поверхность охлаждения цилиндра; $\Delta\varphi$ – расчетный интервал – элементарный участок метода конечных разностей; n – частота вращения коленчатого вала.

Если средняя условная температура стенок цилиндра задается на основании опыта и может быть уточнена по экспериментальным данным, то коэффициент теплоотдачи от газов к стенке рассчитывается по нескольким авторским зависимостям [4, 5]:

В.С.Семенова –

$$\alpha_r = 0.00081 * Cm^{0.5} P^{1/3} T^{0.75} / D^{0.25},$$

Г.Хохенберга –

$$\alpha_r = 0.8201 * (Cm + 1.4)^{0.8} P^{0.8} / (V_s^{0.06} T^{0.4}),$$

Г.Эйхельберга –

$$\alpha_r = 0.779 * 10^{-2} * Cm^{1/3} * \sqrt{PT},$$

Х.Цапфа –

$$\alpha_r = 3.277 * Cm^{0.78} P^{0.78} / (D^{0.22} T^{0.52}),$$

Г.Вошни –

$$\alpha_r = 0.820 * (P * v_z)^{0.8} / (D^{0.2} T^{0.55}).$$

Как видно из представленных зависимостей, коэффициент теплоотдачи в основном зависит от текущего давления, температуры и средней скорости поршня $Cm = Sn / 30$. Сравнительные графики изменения α_r для эксплуатационного режима СОД 6ЧН25/34 показаны на рисунке 2, где видно, что при равных условиях расчетные по разным методам значения α_r значительно отличаются друг от друга. Тем не менее, влияние их отличий на результаты расчета рабочего процесса оказалось не очень значительным. При использовании разных методов расчета α_r , максимальное отклонение расчетной мощности не превышает 3%, максимальное давление сгорания P_{z_3} сжатия P_C , начала воспламенения $P_{C'}$ и P_{36} не превышает 2,5% для большинства МОД и СОД. Для теплонапряженных СОД и ВОД с относительно высокими средними температурами деталей ЦПГ можно рекомендовать расчет α_r по формуле Х.Цапфа, для остальных СДВС расчет коэффициента теплоотдачи по разным формулам дает различия не более 2 ÷ 2,5% для основных параметров рабочего процесса.

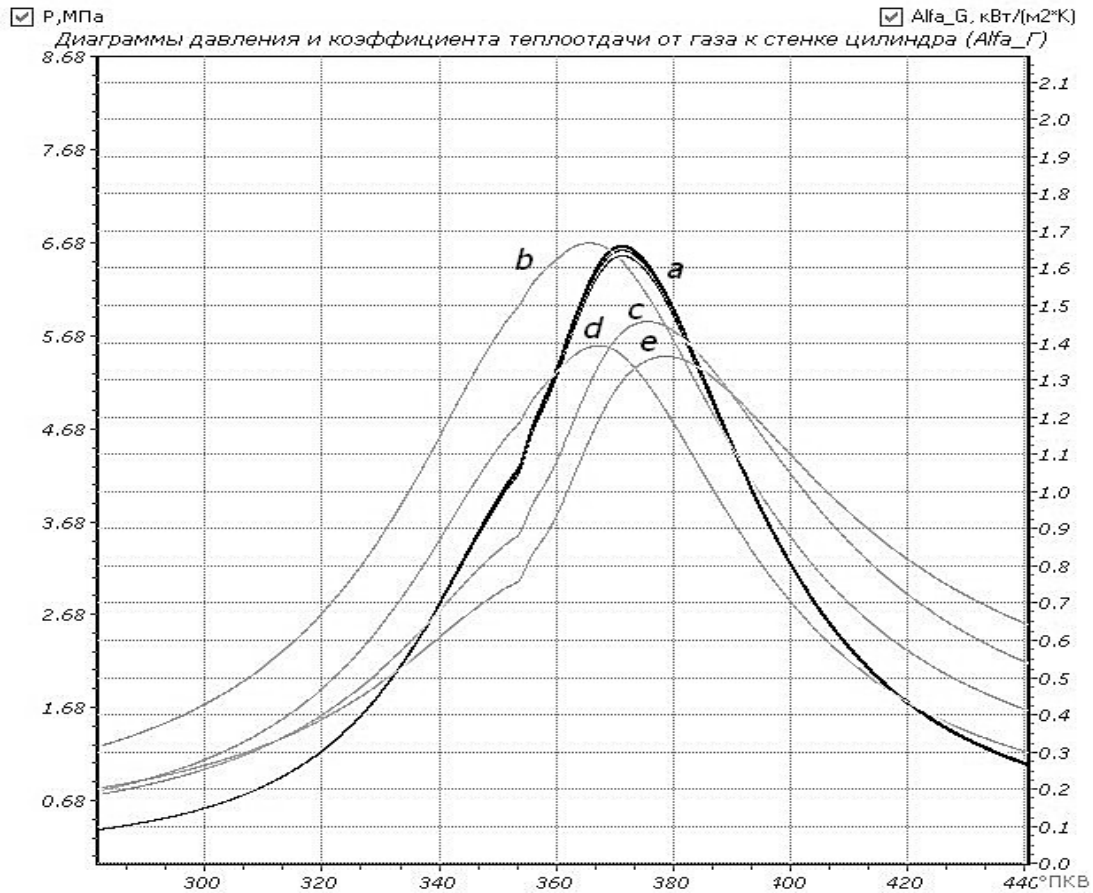


Рисунок 2. Графики: а – $P(\varphi)$ и значений коэффициента теплоотдачи от газов к стенке, рассчитанные по зависимостям: б – Х. Цаффа; с – Г. Эйхельберга; d – Г. Хохенберга; е – В.С. Семенова

4. Удельная работа цикла.

Во всех современных системах мониторинга рабочего процесса СДВС используется величина давления газов на линии расширения $P_{exp}(P_{36})$ (давление на 36° ПКВ за ВМТ), как один из основных диагностических параметров, характеризующих догорание топлива и тепловую напряженность цилиндра.

После анализа суммарной удельной работы цикла (график приведен на рис. 3, б) становится понятным, почему был выбран угол ПКВ именно 36° . Для большинства исследованных двигателей суммарная удельная работа цикла в точке 36° за ВМТ становится близкой к нулю и меняет знак с «-» на «+». С физической точки зрения это означает, что до этой фазы поворота коленчатого вала приходится затратная часть рабочего цикла, и лишь после нее – прибыльная часть, т.е. отдача энергии двигателем.

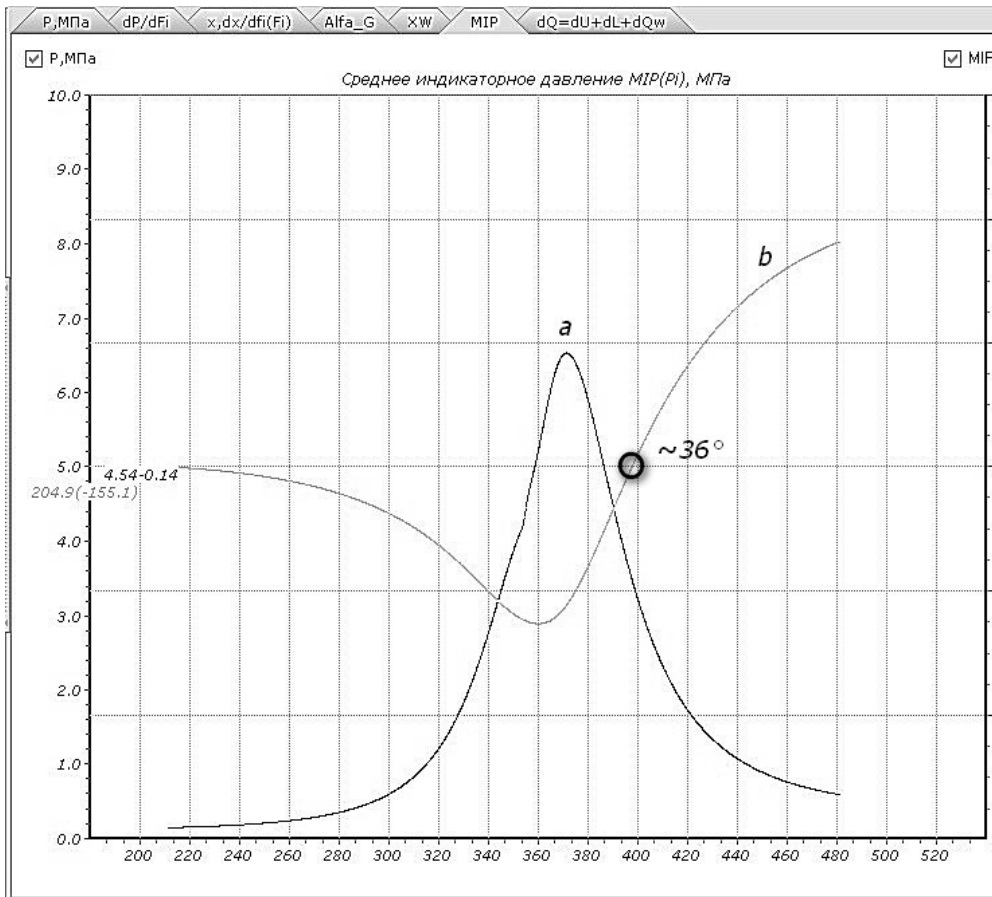


Рисунок 3. Диаграмма $P(\varphi)$ (a) и удельная работа цикла (b)

На рисунке 3 показан график удельной работы цикла для СОД 6ЧН25/34. Для других типов СДВС, которые не являются длинноходовыми машинами, такая закономерность повторяется с большой точностью. Для МОД и некоторых СОД с повышенным отношением S/D точка нулевого баланса немного смещается вправо, однако в существующих системах мониторинга диагностический параметр $P_{exp} = P_{36}$ используется до сих пор для всех типов СДВС.

5. Баланс I закона термодинамики.

Общий баланс энергии, согласно I закону термодинамики (1) проиллюстрирован на рисунке 4: энергия, выделившаяся при сгорании топлива, расходуется на совершение полезной работы, изменение внутренней энергии газа и отдачу теплоты в систему охлаждения. Диаграммы b, c, d, e отражают тепловой баланс на каждой фазе рабочего процесса. Иллюстрация изменения индикаторной работы цикла и внутренней энергии газа в течение 2-х основных тактов наглядно демонстрирует распределение затрат энергии, выделившейся при сгорании топлива. До момента начала сгорания топлива (фаза $\varphi P c'$) внутренняя энергия газов $U(\varphi)$ и работа цикла $L(\varphi)$ (с отрицательным знаком) почти полностью компенсируют друг друга. Доля теплоты, отданной в стенки цилиндра $Q_w(\varphi)$ на этом участке, относительно мала. На этом участке сгорания нет $Q_x(\varphi)=0$.

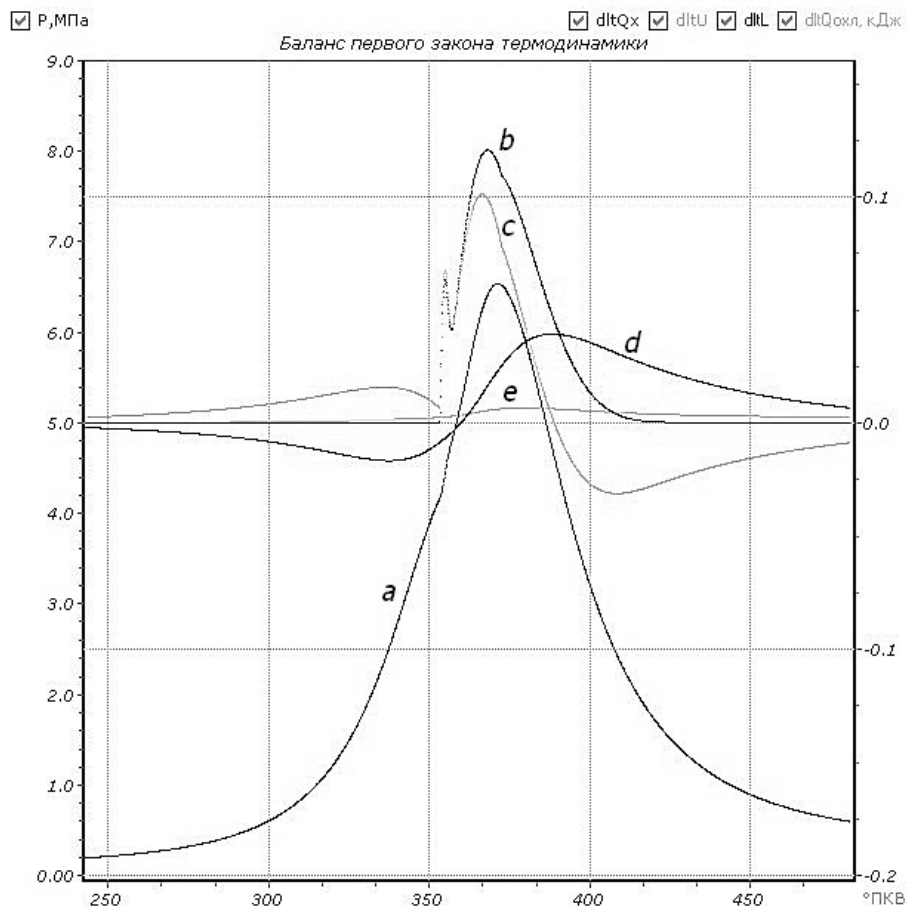


Рисунок 4. Диаграммы: $P(\varphi)$ (a) и энергии:
 $Q_x(\varphi)$ (b) – выделенной при сгорании топлива;
 $Q_w(\varphi)$ (e) – переданной через стенки цилиндра;
 $U(\varphi)$ (c) – внутренней энергии газа;
 $L(\varphi)$ (d) – индикаторной работы цикла

После ВМТ работа $L(\varphi)$ становится положительной (поршень движется вниз), возрастает внутренняя энергия газов и $Q_w(\varphi)$. В сумме все три составляющие равны количеству энергии, полученному при сгорании топлива $Q_x(\varphi) > 0$.

График $L(\varphi)$ асимметричен относительно ВМТ, что и характеризует выполнение двигателем полезной работы.

Заключение. Основной задачей моделирования рабочего процесса в режиме реальной эксплуатации является уточнение расхода топлива и диагностика состояния узлов ЦПГ, ТА и МГР. С помощью математической модели можно анализировать последствия изменения настроек ТА и МГР. Расчет среднего индикаторного давления и индикаторной мощности позволяет оценить резерв нагрузки двигателя.

Возможность вариации законов тепловыделения и других, входящих в математическую модель алгоритмов, позволяет глубже анализировать физику рабочего процесса.

Реализованная в расчетном модуле визуализация 1-го закона термодинамики наглядно демонстрирует энергетические взаимосвязи рабочего процесса в цилиндре ДВС.

Подробная визуализация всех основных составляющих рабочего процесса в целом способствует лучшему осмыслению действий технического персонала, обслуживающего СДВС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приложение VI к МАРПОЛ 73/78. Правила предотвращения загрязнения атмосферы с судов. – СПб.: ЦНИИМФ, 2004. – 80 с.
2. Кулешов А.С. Математическое моделирование и компьютерная оптимизация топливоподачи и рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания / А.С. Кулешов, Л.В. Грехов. – М.: МГТУ, 2000. – 64 с.
3. Варбанец Р.А. Моделирование рабочего процесса в задачах повышения эффективности эксплуатации судовой дизельной энергетической установки / Р.А. Варбанец // Двигатели внутреннего сгорания. Всеукраинский научно-технический журнал. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2008. – № 2. – С. 18–22.
4. Ваншейдт В.А. Судовые двигатели внутреннего сгорания / В.А. Ваншейдт. – Л.: «Судостроение», 1977. – 392 с.
5. Семенов В.С. Современные проблемы теории судовых дизелей / В.С. Семенов. – М.: В/О «Мортехинформреклама», 1991. – 112 с.
6. Вибе И.И. Новое о рабочем цикле двигателей / И.И. Вибе. – М.: МАШГИЗ, 1962. – 271 с.

Івановський В.Г., Варбанець Р.А. МОДЕЛЮВАННЯ ТА АНАЛІЗ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ В СИСТЕМІ ПАРАМЕТРИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ СУДНОВИХ ДИЗЕЛІВ D4.0H

Розрахунковий модуль діагностичної системи DEPAS D4.0H дозволяє моделювати робочий процес у циліндрі суднового дизеля на основному і часткових експлуатаційних режимах. Метою моделювання робочого процесу є оцінка резерву навантаження двигуна і оцінки теплової і механічної напруженостей. Важливим завданням моделювання робочого процесу є уточнення витрати палива на поточному експлуатаційному режимі і його прогнозування при зміні налаштувань паливної апаратури і механізму газорозподілу. У статті розглядаються деякі можливості розрахункового модуля: зміна закону тепловиділення в циліндрі, аналіз питомої роботи циклу, варіації коефіцієнта тепловіддачі та енергетичний баланс, згідно з 1-м законом термодинаміки.

Ключові слова: судновий двигун внутрішнього згорання (СДВЗ), робочий процес, паливна апаратура (ПА), механізм газорозподілу (МГР), тепловиділення, внутрішня енергія газу, коефіцієнт тепловіддачі.

Ivanovskiy V.G., Varbanets R.A. MODELLING AND ANALYSIS OF WORKING PROCESS IN THE SYSTEM OF PARAMETRIC DIAGNOSIS OF SHIP'S DIESELS D4.OH

A designed module of diagnostic system DEPAS D4.OH permits to model a working process in the cylinder of ship's diesel engine under main and partial operating modes. The aim of modeling a working process is the estimation of engine loaded reserve and estimation of thermal and mechanical stresses. The important task of modeling a working process is a redetermination of fuel consumption under current operating mode and its prognosis in case of changes in the adjustments of fuel equipment and mechanism of gas distribution. Some possibilities of the designed module are considered in this paper: a change of the law of heat release in the cylinder, analysis of specific operation of cycle, variations in coefficient of convective heat transfer and energy balance according to the 1st law of thermodynamics.

Key words: ship's internal combustion engine, working process, fuel equipment, mechanism of gas distribution, heat release, internal energy of gas, coefficient of convective heat transfer.

ЗАГАЛЬНА ФОРМУЛА РОЗПОДІЛУ ОСЕРЕДНЕНИХ ШВИДКОСТЕЙ РІДИНИ В КРУГЛОЦИЛІНДРИЧНІЙ ТРУБІ

Овчарук О.М., Гончаренко А.В.,

Херсонський державний морський інститут

На основі уточнення теоретичних передумов побудована цілісна еюра розподілу осереднених швидкостей у трубі, якою відображені неперервним чином всі зональні переходи, виключені: загострена вершина на вісі труби і мінус безкінечна швидкість на стінці.

Ключові слова: труба, рідина, осереднена швидкість, шлях перемішування, пристінний шар, еюра.

Вступ. Завданням роботи є вирішення загальної задачі про розподіл швидкостей рідини в круглоциліндричній трубі при турбулентному (найбільш поширеному) режимі течії в ній. Така задача, як і теорія турбулентності взагалі, не є новою в науково-технічній літературі. Їй присвячено чимало робіт видатних учених: О. Рейнольдса, Л. Прандтля, Т. Кармана, І. Нікурадзе, А.Д. Альтшуля, М.М. Павловського, А.М. Колмогорова, Г.К. Філоненка, Ф.А. Шевельова та багатьох інших.

Але вирішена ця задача, хоча і детально (на базі широкого експериментального матеріалу), фрагментарно, окремими частинами: для в'язкого прошарку, пристінного турбулентного шару, перехідного шару і ядра розвиненої турбулентності.

Окремі ці частини в теоретичному висвітленні не мають чітких меж, не пов'язані в цілісну картину, хоча взаємно зумовлені. Учені пояснюють цю ситуацію складністю і неоднорідністю відображуваних явищ, що вимагає різних математичних інструментів для їх опису.

Картина дійсно складна: біля внутрішньої стінки труби еюра розподілу осереднених швидкостей йде близько до стінки, майже паралельно, а потім різко змінюється за напрямом і йде практично перпендикулярно до вісі труби. Тому маємо, наприклад, фундаментальну теорію пристінного шару Прандтля і доводимо, що вона може приблизно екстраполюватись на весь потік, або теорію дефіциту швидкості Кармана, що може приблизно екстраполюватись в область пристінного шару. І нарешті, маємо тонкий в'язкий прошарок біля стінки, де працює формула тертя за Ньютоном. Усі теорії підкріплені великою кількістю експериментальних даних. А задача загального огляду явищ звелась до напівемпіричних і емпіричних (логарифмічних і степеневих) формул Альтшуля. У результаті вказаних наближень маємо такі недоліки в еюрах розподілу швидкостей у перерізі труби.

1. У розвинених турбулентних потоках, при великих числах Рейнольдса, в'язкий прошарок практично зникає, і тоді логарифмічний закон розподілу осереднених швидкостей у пристінному шарі (за теоріями

Прандтля і його послідовників) повинен би бути «прив'язаним» безпосередньо до стінки труби, але цього не відбувається: логарифмічна крива на стінці дає мінус безкінечну швидкість з наступним безкінечно швидким її зростанням [3]. Це утруднює сприйняття теорії і користування нею. Причина полягає в тому, що такий параметр турбулентного тертя, як «шлях перемішування» l за гіпотезою Прандтля є пропорційним відстані частинки рідини від стінки y і на поверхні стінки дорівнює нулю, тобто

$$l = \kappa \cdot y \quad (1)$$

З рівняння (1) випливає, що на внутрішній поверхні труби турбулентне перемішування по вісі y відсутнє ($y=0$), бо немає перпендикулярних до стінки переміщень частинок рідини. Турбулентного тертя немає, логарифмічна крива «стріляє» в безкінечність.

2. Епюра розподілу осереднених швидкостей в області ядра потоку на вісі труби повинна мати точку-екстремум, але не має його, бо логарифмічна крива дає тут загострену вершину. Градієнт осередненої швидкості на вершині невеликий, але не нульовий, як повинно бути. Це суттєво, тому що від тієї вершини за теорією Кармана відраховуються зміни («дефіцити») швидкості, тобто вони відраховуються від уявної точки.

Вказана особливість притаманна також логарифмічним теоріям Нікурадзе і Альтшуля і є результатом математичного спрощення, за яким у всьому перерізі труби, на всіх осесиметричних поверхнях, дотичні напруження в потоці однакові.

3. Характерний крутий перехід пристінного турбулентного шару в зону розвиненої турбулентності жодною із сучасних теорій автоматично не вибудовується, так само, як перехід в'язкого прошарку в пристінний турбулентний шар. Доводиться коригувати основні формули додатковими залежностями. І тоді виникають цілі таблиці окремих формул з певними межами їх застосування [4].

4. Особливу проблему становить визначення дослідного коефіцієнта κ у формулі (1). Часто в пристінному шарі його величину беруть сталою, а іноді за необхідністю непомірно ускладнюють [3].

Причина полягає в тому, що сама формула (1) не є цілком обґрунтованою. Заміна її іншою, теоретично оправданою, дає радикальний результат: єдину трьохчленну формулу для побудови епюри осереднених швидкостей по всьому перерізу труби без вказаних недоліків.

Епюра зручно прив'язується до стінки і сплющується вершиною. Відкривається перспектива подальшого вдосконалення прикладної теорії пристінного шару.

Зв'язок з важливими науковими програмами і практичними завданнями. Робота призначена, перш за все, на вдосконалення навчального матеріалу для студентів ВНЗ з курсу *Гідромеханіка*, для створення теоретичного підґрунтя при вивченні розділу *Теорія пограничного шару*, при

вивченні процесів обтікання тіл рідиною: стінок труб, конфузорів і дифузорів, гребних і рульових лопатей, корпусів плавзасобів тощо.

Основне завдання полягає в тому, щоб широкий дослідний матеріал з теорії турбулентної течії рідини в трубах висвітлити в найбільш узагальненій, зручній для інженерного сприйняття і подальшого аналізу формі, підготувати дослідника до більш детального вивчення теорії пограничного шару, до вміння використовувати її на практиці. Бо, якщо дослідник знає, як і в яких саме межах формується пристінний турбулентний шар, він може активно впливати на його перетворення, наприклад, у конфузорах, дифузорах, місцевих опорах.

За багато років досліджень в означеній сфері накопичено значний експериментальний матеріал, висвітлений у літературі. Але, щоб ефективно охопити його, потрібне вдосконалення теорії, і при тому на первісному, базовому рівні.

Результати досліджень. На теперішній час для визначення розподілу осереднених швидкостей рідини в перерізі круглоциліндричної труби при турбулентному режимі течії використовується в основному базова напівемпірична теорія Прандтля, за якою дотичні напруження масообміну в потоці рідини зумовлені, в основному, ефектом перемішування її частинок, інакше кажучи, ефектом турбулентного тертя. Аналітично ця залежність відображається формулою [3].

$$\tau = l^2 \cdot \rho \cdot \left(\frac{dU}{dy} \right)^2, \quad (2)$$

де ρ – питома маса рідини;

U – осереднена в часі переносна швидкість частинок рідини в даній точці поперечного перерізу труби вздовж її вісі (напрямок x);

y – координата частинок рідини, що відраховується від внутрішньої стінки труби в напрямку до її вісі;

dU/dy – градієнт швидкості;

l – характеристичний параметр, що називається *довжиною шляху перемішування*.

Довжина шляху перемішування за Прандтлем визначається вже знайомою формулою (1), де коефіцієнт k знаходиться експериментальним шляхом. Відповідно до досліджень Нікурадзе k в зоні пристінного шару має практично сталу величину $0,4$, а потім у напрямку вісі труби поступово зменшується до значення $0,15$. Потік рідини поблизу вісі труби за перерізом не настільки значний, а точність розрахунків не настільки велика, щоб не можна було прийняти скрізь по перерізу труби $k=0,4$. Більшість учених з цим погодилися, особливо якщо йдеться про теорію пристінного шару.

З рівнянь (1) і (2) можна тепер вивести основне диференціальне рівняння для подальшого аналізу

$$\frac{dU}{dy} = \frac{1}{\kappa \cdot y} \sqrt{\frac{\tau}{\rho}} \quad (3)$$

Дотичні напруження τ в потоці легко визначити на внутрішній поверхні труби радіусом r_0 [1].

$$\tau_0 = \lambda \frac{\rho \cdot v^2}{8}, \quad (4)$$

де λ – лінійний коефіцієнт гідравлічного тертя в трубі;
 v – середня швидкість рідини, що визначається через подачу рідини (витрату) Q ,

$$v = \frac{Q}{\pi \cdot r_0^2}. \quad (5)$$

Уважатимемо надалі величини λ і v заданими (узгодженими з довідниками). Але дотичні напруження τ по всьому перерізу труби є змінними і зменшуються в напрямку до вісі труби. Ілюструємо цю тезу рисунком 1.

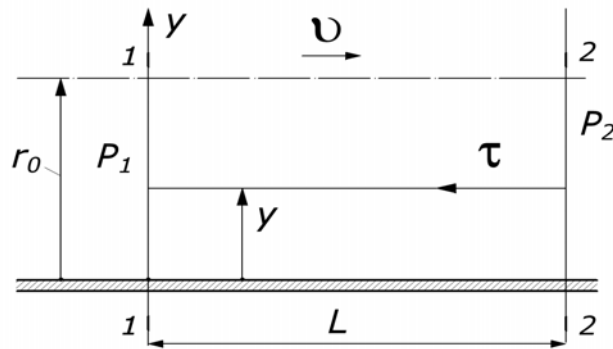


Рисунок 1. Прив'язка до стінки труби параметрів розрахунку

Відповідно до рис. 1 маємо баланс сил

$$(P_1 - P_2) \cdot \pi \cdot (r_0 - y)^2 = 2 \cdot \pi \cdot (r_0 - y) \cdot L \cdot \tau.$$

Звідси

$$\tau = \frac{P_1 - P_2}{2L} (r_0 - y). \quad (6)$$

Спад тиску $P_1 - P_2$ можна визначити за формулою гідравлічного опору

$$P_1 - P_2 = \lambda \frac{L}{d} \cdot \frac{\rho \cdot v^2}{2}.$$

Тоді матимемо при $d=2r_0$

$$\tau = \frac{\lambda \cdot \rho \cdot v^2}{8 \cdot r_0} (r_0 - y). \quad (7)$$

Підставимо (7) в рівняння (3):

$$\frac{dU}{dy} = \frac{1}{\kappa \cdot y} \sqrt{\frac{\lambda \cdot \rho \cdot v^2}{8 \cdot r_0 \cdot \rho}} (r_0 - y).$$

Позначимо
$$W = v \cdot \sqrt{\frac{\lambda}{8}}. \quad (8)$$

Одержимо диференційне рівняння в робочому стані:

$$dU = \frac{W}{\kappa} \sqrt{\frac{(r_0 - y)}{r_0}} \cdot \frac{dy}{y}. \quad (9)$$

Зазначимо принагідно, що величина W має розмірність швидкості (м/с), є аналогом так званої динамічної швидкості $\left(\sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}\right)$, і унаочнює баланс розмірностей у формулі (9). До одержання бажаного результату призводить інтегрування саме рівняння (9). Але це не є тривіальним завданням, тому воно було виконано «першопрохідцями» при певних спрощеннях.

Так перші інтеграли рівняння (9) були одержані за умови, що κ є константа і дотичні напруження τ сталі по всьому перерізу труби. Фактично скористались рівнянням (3). Був одержаний так званий логарифмічний закон розподілу осереднених швидкостей у пристінному шарі з екстраполяцією його (приблизно) на ядро потоку. Наприклад, за даними Нікурадзе для шорстких труб (при введених у статті позначеннях) [1].

$$\frac{U}{W} = A + B \cdot \ln\left(\frac{y}{\Delta e}\right), \quad (10)$$

де
$$W = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}},$$

A і B – константи інтегрування, що визначаються за крайовими умовами;

Δe – еквівалентна шорсткість поверхні труби.

За експериментальними даними

$$A=8,5; \quad B=2,5.$$

Аналогічно одержана формула Альтшуля [1]

$$\frac{U}{W} = 7,8 - 2,5 \cdot \ln \left(\frac{2,5v}{W \cdot y} + \frac{\Delta e}{y} \right). \quad (11)$$

Очевидно, що ці формули ілюструють саме ті недоліки, на які було вказано вище.

Намагання вдосконалити результати інтегрування за формулою (3) шляхом коригування коефіцієнта κ не дали позитивного ефекту, хоча для цього вибудовувались досить складні залежності (формула Ван-Дриста для κ включає 18 знаків! [3]). Виникла необхідність перегляду передумов задачі на первинному, найглибшому рівні, тобто необхідність реконструкції самої гіпотези Прандтля, представленої рівнянням (1).

Ця гіпотеза свідчить, що турбулентний масообмін у рідині на стінці труби в напрямку вісі y відсутній, тому що немає переміщень частинок рідини перпендикулярно до стінки. При тому ігноруються два факти:

- факт удару частинок по стінці й *пружного* відскоку від неї;
- факт наявності на поверхні стінки шорсткого геометричного рельєфу із заглибленнями, що забезпечують поперечні переміщення.

На ділі саме навкісні відскоки частинок рідини від стінки зумовлюють тут явище переносу маси.

Таким чином, на стінці труби повинен існувати певний початковий шлях перемішування l_0 рідини, який необхідно враховувати. Тому замість рівняння (1) треба записати інше:

$$l = l_0 + \kappa \cdot y. \quad (12)$$

Дослідами Нікурадзе встановлено, що для круглоциліндричної труби наближено

$$\kappa = 0,4 - \frac{1}{3} \cdot \eta, \quad (13)$$

де $\eta = \frac{y}{r_0}$.

Тоді в загальному вигляді матимемо

$$l = l_0 + \gamma \cdot y + \beta \cdot \eta \cdot y,$$

а із застосуванням безрозмірних параметрів

$$l = r_0 (\varepsilon + \gamma \cdot \eta - \beta \cdot \eta^2), \quad (14)$$

де $\varepsilon = l_0 / r_0$.

Щодо γ і β , то вже маємо їх експериментально встановлені значення:

$$\gamma = 0,4; \quad \beta = 1/3.$$

Але у зв'язку з тим, що при наближенні значення координати y до r_0 (тобто, до вісі труби) об'єм потоку швидко зменшується, то навіть при зростанні η^2 близько до одиниці поправка $\beta\eta^2$ виявляється незначною, і її з метою спрощення математичних побудов можна попередньо відкинути. Така практика щодо k серед учених є загально визнаною.

Тому одержуємо остаточну робочу формулу для l .

$$l = r_0(\varepsilon + \gamma \cdot \eta). \quad (15)$$

Не будемо відкидати, як це часто роблять [1], корінь квадратний у рівнянні (9), тому що він автоматично забезпечує надійний максимум в епюрі розподілу осереднених швидкостей.

Таким чином, одержуємо уточнену вихідну форму диференційного рівняння (9)

$$dU = \frac{W}{r_0(\varepsilon + \gamma \cdot \eta)} \sqrt{\frac{r_0 - y}{r_0}} dy. \quad (16)$$

Для зручності інтегрування подамо координату y через безрозмірний параметр η . Тоді

$$dU = \frac{W \sqrt{1 - \eta}}{\varepsilon + \gamma \cdot \eta} d\eta. \quad (17)$$

При зміні координати y в рівнянні (16) від 0 до r_0 параметр η у рівнянні (17) змінюється від 0 до 1. З величиною параметра ε визначимося пізніше.

Інтегруємо рівняння (17):

Позначимо $\psi = \sqrt{1 - \eta}$.

Тоді $\eta = 1 - \psi^2$,

$$d\eta = -2 \cdot \psi d\psi.$$

$$dU = W \frac{\psi(-2\psi)}{\varepsilon + \gamma(1 - \psi^2)} d\psi = 2W \frac{\psi^2}{\gamma\psi^2 - \gamma - \varepsilon} d\psi = \frac{2W}{\gamma} \cdot \frac{\psi^2}{\psi^2 - q^2}, \quad (18)$$

$$q = \sqrt{1 + \varepsilon/\gamma}. \quad (19)$$

Виділимо в (18) справа правильний дріб

$$dU = \frac{2W}{\gamma} \cdot \frac{-\psi^2 + q^2 - q^2}{q^2 - \psi^2} d\psi = \frac{2W}{\gamma} \left(1 - \frac{q^2}{q^2 - \psi^2} \right) d\psi.$$

Звідси – неозначений інтеграл

$$U = \frac{2W}{\gamma} (\psi + I_1) + C,$$

C – стала інтегрування.

$$I_1 = -q^2 \int \frac{1}{q^2 - \psi^2} d\psi = \frac{q}{2} \ln \frac{q - \psi}{q + \psi}.$$

$$U = \frac{2W}{\gamma} \left(\psi + \frac{q}{2} \ln \frac{q - \psi}{q + \psi} \right) + C. \quad (20)$$

Або в розгорнутому безрозмірному вигляді:

$$\frac{U}{v} = \frac{2\sqrt{\lambda/8}}{\gamma} \left(\sqrt{1 - \eta} + \frac{q}{2} \ln \frac{q - \sqrt{1 - \eta}}{q + \sqrt{1 - \eta}} \right) + \frac{C}{v}. \quad (21)$$

Значення середньої швидкості v вважається заданою величиною. Константа C визначається автоматично як найбільша швидкість U_m (екстремум) при $\eta=1$. Якщо взяти $\varepsilon=0,73 \cdot 10^{-4}$, і за формулою (19) $q=1+0,912 \cdot 10^{-4}$, розраховувана епюра прив'язується нульовою швидкістю до стінки. При $\varepsilon=0,8 \cdot 10^{-4}$, $q=1,0001$, на стінці одержуємо швидкість $U_0=0,0948v$.

За формулою (21) складена розрахункова таблиця 1 і побудована епюра осереднених швидкостей (рис. 2) за таких вихідних даних:

- внутрішній радіус труби $r_0=0,1$ м;
- відносна шершавість внутрішньої поверхні $\Delta e/2r_0=1/600$;
- коефіцієнт гідравлічного тертя $\lambda=0,022$;
- середня швидкість води $v=6$ м/с;
- відносний початковий шлях переміщення $\varepsilon = l_0/r_0 = 0,00032$;
- параметр $q=1,0004$.

Прийнято, що при $\eta=0,223$ $U=v$ [1], звідси обчислюється C/W .

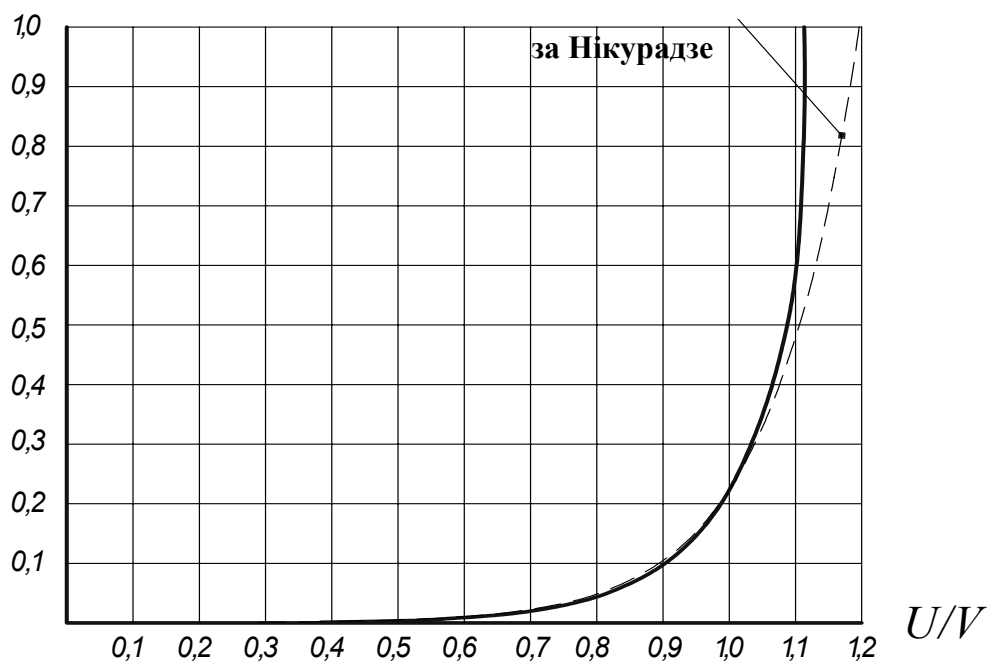


Рисунок 2. Розподіл швидкостей у трубі

Таблиця 1. Чисельні дані для побудови епюри розподілу швидкостей у трубі

№ з/п	η	ψ	F_q	$b F_q$	U/v	U/v за Нікурадзе
1	1	0	0	0	1,131	1,1967
2	0,8	0,4472	-0,03377	0,00885	1,122	1,1674
3	0,5	0,7071	-0,1737	-0,04554	1,085	1,1058
4	0,3	0,8367	-0,3723	-0,0976	1,033	1,0388
5	0,223	0,8815	-0,4994	-0,13094	1,000	1,000
6	0,2	0,8944	-0,5473	-0,1435	0,9875	0,9857
7	0,15	0,922	-0,6777	-0,1777	0,9533	0,9480
8	0,1	0,949	-0,8688	-0,2278	0,9032	0,8948
9	0,05	0,975	-1,202	-0,3151	0,8159	0,8039
10	0,02	0,99	-1,0637	-0,4293	0,7017	0,6838
11	0,015	0,9925	-1,7727	-0,4648	0,6662	0,6461
12	0,01	0,995	-1,961	-0,5142	0,6168	0,5930
13	0,007	0,9965	-2,1227	-0,5566	0,5744	0,5462
14	0,005	0,9975	-2,27	-0,5952	0,5358	0,5021
15	0,0035	0,9982	-2,408	-0,6313	0,5000	0,4553
16	0,002	0,999	-2,633	-0,6904	0,4406	0,3820
17	0,001	0,9995	-2,854	-0,7482	0,383	0,29
18	0,0005	0,99975	-3,016	-0,7908	0,340	0,2002
19	0,0001	0,99995	-3,200	-0,8390	0,2920	-0,0108
20	0	1	-3,26	-0,8544	0,277	- ∞

Дані для обчислень:

$$\varepsilon=0,00032$$

$$q=1,0004$$

$$b = \frac{2}{\gamma} \sqrt{\frac{\lambda}{8}} = \frac{2}{0,4} \sqrt{\frac{0,022}{8}} = 0,2622$$

$$U_m/v=1,131 \text{ (при } \eta=0,223)$$

$$\psi = \sqrt{1-\eta}$$

$$\frac{U}{v} = \frac{U_m}{v} + \kappa \left(\psi + \frac{1}{2} \ln \frac{q-\psi}{q+\psi} \right)$$

На рисунку 3 зображена еюра в збільшеному масштабі окремо для пристінного шару.

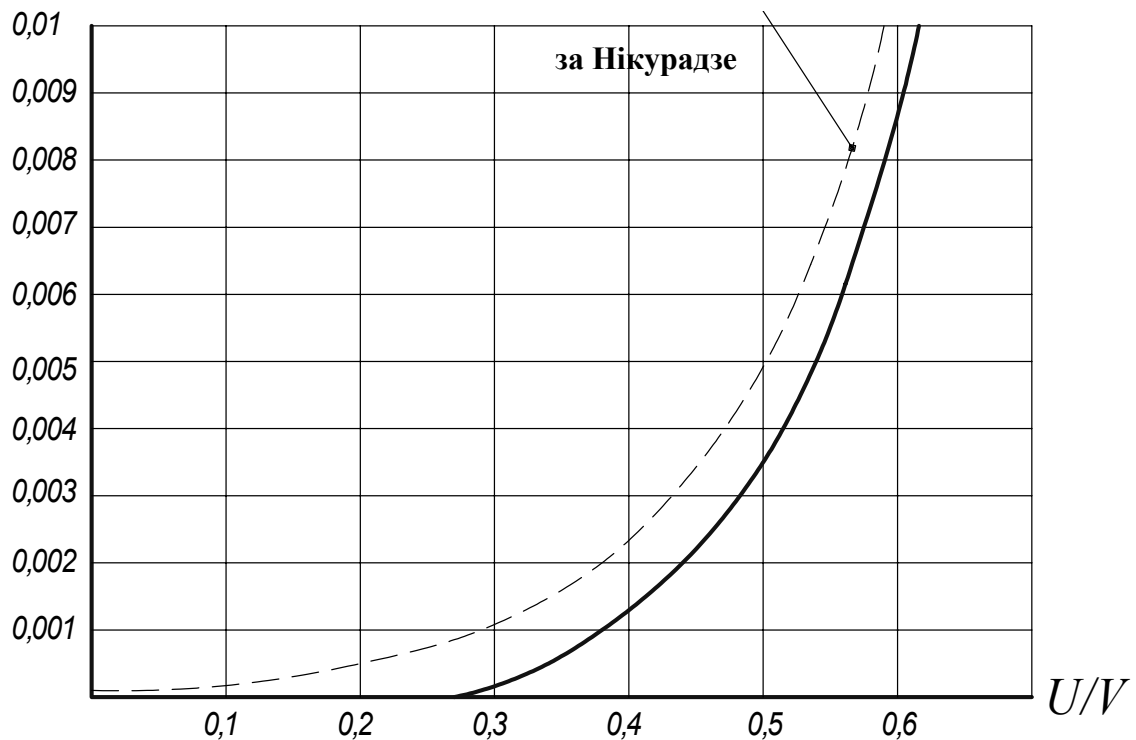


Рисунок 3. Розподіл швидкостей у трубi біля стінки

Для порівняльного аналізу визначимо частку U/v (для шорстких і гладких труб) при $\kappa=0,4$ за Нікурадзе. Базові формули [1]:

$$\frac{U}{W} = 8,5 + 2,5 \ln \frac{y}{\Delta} \quad (22)$$

$$\frac{\nu}{W} = 4,75 + 2,5 \ln \frac{r_0}{\Delta} \quad (23)$$

Вважати $\Delta = \Delta e$

$$\frac{U}{W} - \frac{\nu}{W} = 8,5 - 4,75 + 2,5 \ln \frac{y/\Delta}{r_0/\Delta}$$

$$\frac{U}{\nu \sqrt{\lambda/8}} - \frac{\nu}{\nu \sqrt{\lambda/8}} = 3,75 + 2,5 \ln \frac{y}{r_0}$$

$$\frac{U}{\nu} = 1 + \sqrt{\lambda/8} (3,75 + 2,5 \ln \eta) \quad (24)$$

При $\eta = 0,223$

$$\frac{U}{\nu} = 1 + \sqrt{0,022/8} (3,75 + 2,5 \ln 0,223) = 1$$

Дані для інших точок відповідної епюри внесені останнім стовпцем у таблицю 1. З даних таблиці видно, що епюра за Нікурадзе має порівняно з нашими даними підвищену загострену на вісі труби вершину ($dU/dy \neq 0$) і безкінечно велику швидкість на стінці труби у зворотному напрямку.

На мал. 3 показана штрихами епюра пристінного шару в трубі при $\kappa = 0,4$, $\varepsilon = 0,8 \cdot 10^{-4}$, $q = 1,0001$ (при тих самих інших параметрах). Відповідні чисельні дані наведено в таблиці 2.

Таблиця 2. Чисельні дані для визначення розподілу швидкостей при параметрі $q = 1,0001$

№ з/п	η	ψ	F_q	U/ν	Алгоритм обчислень
1	0,015	0,9925	-1,7920	0,6611	$q = 1,0001$ $\psi = \sqrt{1 - \eta}$ $F_q = \psi + \frac{1}{2} \ln \frac{q - \psi}{q + \psi}$ $b = 0,2622$ $U_m/\nu = 1,131$ $\frac{U}{\nu} = \frac{U_m}{\nu} + \kappa \cdot F_q$
2	0,01	0,995	-1,9896	0,6093	
3	0,005	0,9975	-2,3246	0,5215	
4	0,002	0,999	-2,7536	0,4090	
5	0,001	0,9995	-3,0562	0,3296	
6	0,0005	0,99975	-3,3256	0,259	
7	0	1	-3,952	0,0948	

Із таблиці видно, що еюра осереднених швидкостей при $q=1,0001$ практично прив'язана до стінки труби швидкістю, близькою до нульової.

Із наведених розрахунків випливає, що формулою (21) створено надійний, несуперечний і зручний механізм обчислення осереднених швидкостей у круглоциліндричній трубі при турбулентному режимі течії. У ньому враховано всі необхідні вхідні дані: діаметр труби $2r_0$, середня швидкість рідини v , коефіцієнт гідравлічного тертя λ (а через нього шорсткість стінки труби $\Delta\epsilon$, в'язкість рідини ν і її питома маса ρ), а також параметри шляху перемішування $l - \kappa$ і ϵ . Це звичайна база даних.

Але дослідниками пристінного шару встановлено, що шорсткість поверхні труби і в'язкість рідини ще й безпосередньо впливають на величину l , тому штучно вводять різні емпіричні поправки до величини κ у формулі (1). Деякі з тих поправок досить складні (наприклад, поправка Ван-Дриста включає 16 знаків), а тому неприйнятні практично.

А наша формула (15) для визначення l є теоретично обґрунтованою і вводиться в основну формулу (21) природно, без ускладнень. До того ж, формули (13)...(15) визначають, як ще можна змінювати і вдосконалювати епюру, пристосовувати її для вирішення конкретних задач.

Таким чином, встановлено, що форма епюри для пристінного шару суттєво залежить від вибору параметра ϵ . Але цей параметр помітно змінює швидкості біля стінки труби лише при малих значеннях η , до 0,007. При $\eta=0,007$ відхилення становить 2%. Та які б явища в цьому вузькому діапазоні не відбувались, вплинути серйозно на загальний потік рідини в трубі вони не можуть, а тому без конкретної потреби дослідити пристінний шар (у певних умовах), обирати параметри ϵ і q можна дещо довільно, керуючись міркуваннями зручності для аналізу (наприклад, брати $q=1,0004$). Про уточнення йтиметься в подальших роботах.

Отже, маючи у вигляді формул (20) і (21) засіб для загального опису течії рідини в трубах, можна тепер зосередитись на більш детальному розгляді окремих частин епюри, почасти – на пристінному шарі. Розглянути, як деформується цей шар при гідравлічних переходах, у збіжних і розбіжних насадках, яким чином він визначає течію в місцевих опорах тощо.

Висновки.

1. Одержано теоретично-аналітичний інструмент у вигляді єдиної трьохчленної формули для побудови епюри розподілу осереднених швидкостей рідини в круглоциліндричній трубі, в якій враховано всі необхідні вихідні дані й одержано їх відповідне відображення.

2. Знайдено ефективний спосіб коригування епюри пристінного шару за рахунок введення початкового шляху перемішування рідини l_0 на стінці труби і можливості зміни параметрів κ і ϵ . Початковий шлях перемішування дає можливість додатково враховувати (поза параметром λ) шорсткість поверхні труби.

3. Епюра природним шляхом позбавлена гострої вершини на осі труби, і різні «дефіцити швидкості» можуть тепер відраховуватись від реальної (а не уявної) точки.

4. Епюра певним чином «прив'язана» до стінки труби і не має на ній зворотньої безкінечної швидкості.

5. Особливістю епюри є те, що вона побудована у формі відношення до середньої швидкості рідини, а не за принципом дефіциту швидкості щодо максимальної.

6. Одержані результати слід додатково закріпити дослідним матеріалом, показати можливості застосування за означеними в статті межами: при різних режимах течії і числах Рейнольда, при перехідних явищах в умовах деформації струменя, при вільному обтіканні тіл рідиною тощо.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Левицький Б.Ф., Лещій Н.П. Гідравліка. Загальний курс. – Львів: Світ, 1994. – 264 с.

2. Кулінченко В.Р. Гідравліка, гідравлічні машини і гідропривід: підручник. – К.: ІНК ОС, 2006. – 616 с.

3. Войткунский Я.И., Фаддеев Ю.И., Федяевский К.К. Гидромеханика: учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1982. – 456 с.

4. Дж. Дейли, Д. Харлеман. Механика жидкости: курс для вузов в переводе с английского. – М.: Энергия, 1966. – 480 с.

5. Белевич М.Ю. Гидромеханика: основы классической теории: учебное пособие для вузов. – М.: Дрофа, 2009. – 224 с.

Овчарук А.М., Гончаренко А.В. ОБЩАЯ ФОРМУЛА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ОСРЕДНЕННЫХ СКОРОСТЕЙ ЖИДКОСТИ В КРУГЛОЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБЕ

На основе уточнения теоретических предпосылок построена целостная эпюра распределения осредненных скоростей в трубе, которой отражены непрерывным образом все зональные переходы, исключены: заостренная вершина на оси трубы и минус бесконечная скорость на стенке.

Ключевые слова: труба, жидкость, осредненная скорость, путь перемешивания, пристенный слой, эпюра.

Ovcharuk O.M., Goncharenko A.V. GENERAL FORMULA OF AVERAGED LIQUID SPEED DISTRIBUTION IN A CIRCULAR CYLINDRICAL PIPE

On the basis of redetermination of theoretical prerequisites the integral diagram of averaged liquid speed distribution in a pipe was plotted that continuously reflects all zonal transitions. Peaked top on the pipe axis and minus infinite speed on the sidewall are excluded.

Key words: pipe, liquid, averaged speed, hashing way, wall layer, diagram.

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВІАЦІЙНИХ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ОРТОГОНАЛЬНИХ ФУНКЦІЙ УОЛША

Панін В.В., Єнчев С.В.,

Національний авіаційний університет, м. Київ

У статті розглянуто основні властивості та пристрій для розрахунку коефіцієнтів Уолша – Фур'є і обґрунтовано метод ідентифікації динамічних характеристик (імпульсної перехідної функції) авіаційних газотурбінних двигунів шляхом розкладання в ряд Уолша експериментально знятої перехідної характеристики.

Ключові слова: авіаційні газотурбінні двигуни, метод ідентифікації динамічних характеристик, ряд Уолша, коефіцієнти Уолша – Фур'є.

Вступ та обґрунтування актуальності дослідження. Авіаційні газотурбінні двигуни (ГТД) – це складні теплові машини спеціального призначення, що складаються з великої кількості зв'язаних систем і пристроїв, до яких висуваються вимоги отримання екстремальних значень параметрів у заданих умовах експлуатації (мінімальна питома витрата палива в номінальному режимі, максимальна тяга при зльоті тощо), а також потреба забезпечення інших експлуатаційних характеристик ГТД (висотність запуску, заданих запасів газодинамічної стійкості або появи кристалів льоду в паливі). Ці фактори призводять до постійного ускладнення конструкцій сучасних ГТД, появи нових систем і пристроїв – регульованих направляючих апаратів, клапанів перепуску повітря з компресора, регульованих систем охолодження турбіни тощо.

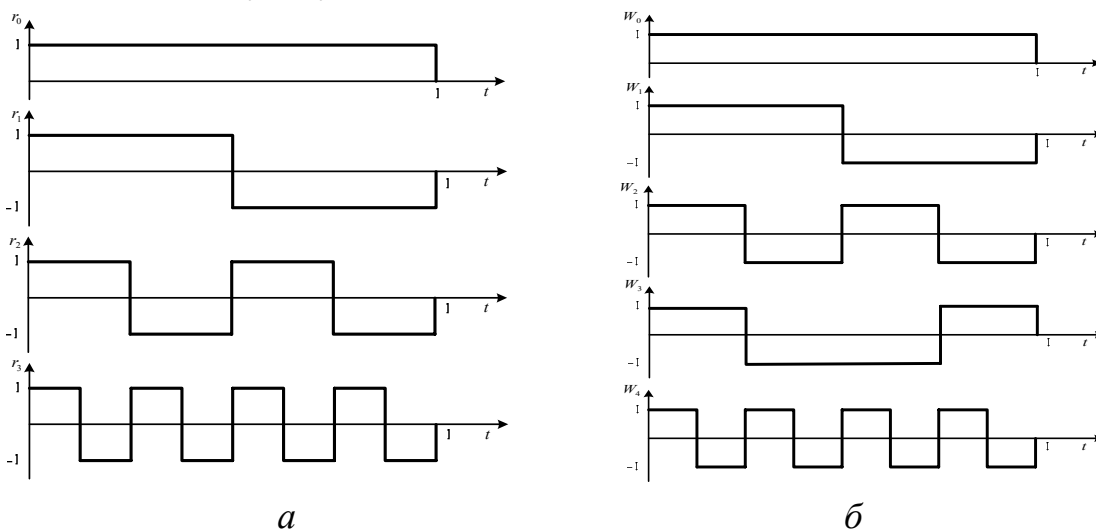
Це призводить до суттєвого ускладнення законів керування систем автоматичного керування в широкому діапазоні змін умов польоту, режимів роботи та зовнішніх збурень. Найбільш повно ці вимоги реалізуються за допомогою цифрових обчислювальних засобів при побудові систем автоматичного керування (САК) ГТД, які мають ряд суттєвих переваг у порівнянні з гідромеханічною апаратурою [1, 2]. Практика проектування та експлуатації систем керування ГТД показує, що цифрові САК за масою, вартістю та надійністю набагато ефективніші за гідромеханічні та забезпечують більш високу точність регулювання. Така реалізація властивостей САК неможлива без точної динамічної моделі об'єкту керування – авіаційного ГТД, тому задача розробки нових, більш точних та орієнтованих на цифрове керування, методів та методик ідентифікації динамічних характеристик ГТД є актуальною [3, 4].

Постановка задачі досліджень. Задачу дослідження сформулюємо як розробку математичних основ реалізації методу ідентифікації динамічних

характеристик авіаційних ГДТ з використанням апарату розкладу імпульсної перехідної функції в ряд по ортогональним функціям Уолша.

Властивості ортогональних функцій Уолша. Розглянемо основні властивості ортогональних функцій Уолша, які використовуватимемо при розробці методу ідентифікації динамічних характеристик авіаційного ГДТ. Функції Уолша відносяться до класу кусково-постійних ортогональних функцій [1], який склав основу для створення і розвитку теорії секветного аналізу, тобто дослідження процесів за допомогою несинусоїдальних функцій. Секветний аналіз виступає як альтернатива гармонійного аналізу [5]. Теорія секветного аналізу знайшла застосування в техніці зв'язку, радіолокації, теорії інформації та теорії автоматичного керування.

Систему функцій Уолша можна вивести із системи функцій Радемахера, яка є неповною системою ортонормованих функцій. Функція Радемахера з індексом m позначається $r_m(t)$, має вид послідовності прямокутних імпульсів і містить 2^{m-1} періодів на інтервалі $[0, 1]$, приймаючи значення $+1$ або -1 (рис. 1, а). Виняток становить функція $r_0(t)$, яка має вид одиничного імпульсу.



Рисунк 1. Система ортонормованих функцій: а – Радемахера; б – Уолша

Система функцій Уолша подібна функціям Радемахера і виводиться з них, але є повною системою ортонормованих функцій, тобто будь-яка абсолютно інтегрована на інтервалі $[0, 1]$ функція може бути із заданою точністю представлена у вигляді зваженої суми кінцевого числа функцій Уолша. Між функціями Уолша $W_i(t)$ і функціями Радемахера $r_i(t)$ існує зв'язок [1]:

$$\begin{aligned} W_0(t) &= r_0(t), \\ W_1(t) &= r_1(t), \\ W_2(t) &= (r_2(t))^1 (r_1(t))^0, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 W_3(t) &= (r_2(t))^1 (r_1(t))^1, \\
 W_4(t) &= (r_3(t))^1 (r_2(t))^0 (r_1(t))^0 \\
 W_5(t) &= (r_3(t))^1 (r_2(t))^0 (r_1(t))^1, \\
 &\dots\dots\dots \\
 W_n(t) &= (r_q(t))^\alpha (r_{q-1}(t))^\beta (r_{q-2}(t))^\gamma \dots,
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

де $q = \text{int}(\log_2 n) + 1$; int означає взяття найбільшого цілого;

$$2^{q-1} \alpha + 2^{q-2} \beta + 2^{q-3} \gamma + \dots = n,$$

тобто $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ – двійкове розкладання числа n .

Перші п'ять членів системи ортонормованих функцій Уолша представлені на рис. 1, б.

Для обчислення функцій Уолша $W_i(t)$ у момент часу $t \in [0, 1]$ можна скористатися виразом [1]:

$$W_i(t) = \begin{cases} +1, & \text{если } S_{i1} \oplus S_{i2} \oplus \dots \oplus S_{ik} = 0, \\ -1, & \text{если } S_{i1} \oplus S_{i2} \oplus \dots \oplus S_{ik} = 1, \end{cases}$$

де S_{ir} – розряди, в яких при двійковому розкладанні i і t одночасно знаходяться одиниці; знак \oplus означає додавання за модулем 2.

Таким чином, функція Уолша дорівнює одиниці, якщо кількість розрядів, де i і t (при двійковому представленні) мають одиниці парна, і приймає значення мінус одиниці, якщо кількість розрядів непарна. Будь-якій інтегрованій на інтервалі $t \in [0, 1]$ функції $f(t)$ відповідає ряд Уолша – Фур'є [1, 2]:

$$\begin{aligned}
 f(t) &= \sum_{i=0}^{\infty} a_i W_i(t), \\
 a_i &= \int_0^1 f(t) \cdot W_i(t) dt \quad i = 0, 1, 2, \dots
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Вказаний ряд характеризується властивістю рівномірної збіжності, якщо $f(t)$ безперервна $t \in [0, 1]$, і виконується теорема Парсеваля [1]:

$$\int_0^1 [f(t)]^2 dt = \sum_{i=0}^{\infty} a_i^2.$$

Визначення коефіцієнтів Уолша – Фур'є. Як бачимо із співвідношення (2), процедуру обчислення коефіцієнтів Уолша – Фур'є можна відносно просто реалізувати на елементах цифрової техніки. На рисунку 2 представлена схема пристрою для обчислення коефіцієнтів Уолша – Фур'є [1, 8]. Цей пристрій складається з генератора тактових імпульсів (ГТІ), аналогово-цифрового перетворювача (АЦП), генератора функцій Уолша (ГФУ), перетворювач прямого коду в додатковий (ППКД) і накопичувальний суматор (НС).

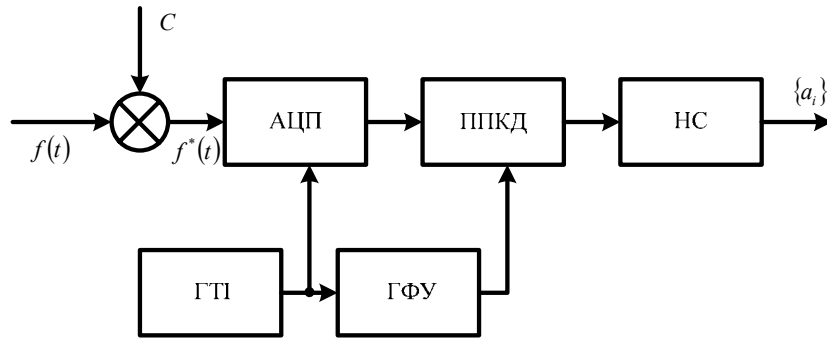


Рисунок 2. Пристрій обчислення коефіцієнтів Уолша – Фур'є

Пристрій (рис. 2) обчислює коефіцієнти розкладання a_i знакопостійного сигналу

$$f^*(t) = f(t) + C \geq 0,$$

де $C = const$, які для $i \neq 0$ є коефіцієнтами Уолша – Фур'є сигналу (функції) $f(t)$.

Відліки, представлені на виході перетворювача в прямому або додатковому коді, надходять на вхід НС. Знак чергового доданку, таким чином, залежить лише від поточного значення відповідної функції Уолша і служить сигналом управління для перетворювача. Генератор функцій Уолша реалізується на основі двійкових дільників частоти та пристрою, що реалізує логічну функцію рівнозначності. Це впливає з визначення функцій Уолша, як добутку функцій Радемахера (1).

Розклад імпульсної перехідної функції в ряд по функціям Уолша. Імпульсна перехідна функція (ІПФ) авіаційних ГТД є повною динамічною характеристикою двигуна у випадку лінеаризованого його математичного опису. Для аналізу динаміки ГТД з метою контролю, діагностування або синтезу системи автоматичного керування необхідне представлення математичної моделі ГТД у вигляді передатної функції або системи диференціальних рівнянь. Для визначення параметрів таких моделей заданої структури за відомими коефіцієнтами розкладу ІПФ у ряд по функціям Уолша пропонується алгоритм, який повинен містити визначення коефіцієнтів розкладу ІПФ за перехідною функцією та оптимізаційну процедуру пошуку параметрів моделі ГТД.

За відомої ІПФ $\omega(t)$ i -й коефіцієнт розкладу a_i^* в ряд за функціями Уолша визначається за формулою:

$$a_i^* = \frac{1}{T} \int_0^T \omega(t) W_i(t) dt.$$

Так як функції Уолша мають кусково-постійний характер, останній вираз можна перетворити:

$$a_i^* = \frac{1}{T} \sum_{k=0}^{N-1} W_i(k\delta) \int_{k\delta}^{(k+1)\delta} \omega(t) dt = \frac{1}{T} \sum_{k=0}^{N-1} W_i(k\delta) [h(k\delta + \delta) - h(k\delta)]. \quad (3)$$

Визначення перехідної функції за відомої моделі не викликає ускладнень і за виразом (3) будується простий та ефективний алгоритм визначення коефіцієнтів розкладу $a_i^*(P)$ при заданому векторі параметрів моделі P . Параметри моделі, що відповідають ПФ з коефіцієнтами розкладу a_i , визначаються з умови мінімізації квадратичного функціоналу:

$$Q(P) = \sum_{i=0}^n [a_i - a_i(P)]^2. \quad (4)$$

Для визначення мінімального значення $Q(P)$ можна скористатися одним з прямих методів пошуку екстремуму. Початкове наближення P^0 можна отримати за допомогою методів естимації за ПФ, відновленої по заданим коефіцієнтам розкладу a_i . Ітераційний цикл пошуку мінімуму розпочинається зі систематичного пошуку по r ортогональним напрямкам (r – розмірність вектора P) по черговою зміною компоненти P_i вектора на величину пробного кроку $\pm h$, який у процесі пошуку може зменшуватися. Якщо під час ітерації отримано покращення функціоналу (4), то визначається напрямок спуску у вигляді вектора-градієнта G , величина компонентів g_i якого береться пропорційною ступеню покращення функціоналу у відповідних напрямках.

Висновок. У роботі систематизовано інформацію щодо використання ідентифікації динамічних характеристик шляхом розкладу в ряд Уолша. Показано можливість використання даного методу ідентифікації для визначення динамічних характеристик авіаційних ГТД. Причому таку важливу динамічну характеристику, як ПФ ГТД можна визначити шляхом розкладу перехідної характеристики в систему ортогональних функцій Уолша. Для технічної реалізації методу необхідна його деталізація на рівні машинних алгоритмів та розробки критерію зупинки алгоритму розкладу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Многоуровневое управление динамическими объектами / [В.И. Васильев, Ю.М. Гусев, В.Н. Ефанов и др.]; под ред. В.Ю. Рутковского и С.Д. Землякова. – М.: Наука, 1987. – 309 с.
2. Автоматический контроль и диагностика систем управления силовыми установками летательных аппаратов / [В.И. Васильев, Ю.М. Гусев, А.И. Иванов и др.]. – М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.
3. Идентификация систем управления авиационных газотурбинных двигателей / [В.Г. Августинович, В.А. Акиндинов, Б.В. Боев и др.]; под ред. В.Т. Дедеша. – М.: Машиностроение, 1984. – 200 с.
4. Нечаев Ю.Н. Законы управления и характеристики авиационных силовых установок. – М.: Машиностроение, 1995. – 400 с.
5. Хармут Х. Теория секветного анализа. – М.: Мир, 1980. – 574 с.

6. Волянська Л.Г., Панін В.В., Гаюон Сунь. Методи і засоби підвищення газодинамічної стійкості компресорів газотурбінних двигунів: монографія. – К.: НАУ, 2005. – 200 с.

7. Эйкхофф П. Основы идентификации систем управления. – М.: Мир, 1975. – 682 с.

8. А.с. 1068946 СССР, МКИ G 06 F 15/332. Устройство для вычисления коэффициентов Уолша / Ю.М. Гусев, В.А. Семеран, М.К. Гизатуллин. – Оpubл. 1984, Бюл. № 3.

Панин В.В., Енчев С.В. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ УОЛША

В статье рассмотрены основные свойства и устройство для расчета коэффициентов Уолша – Фурье и обоснован метод идентификации динамических характеристик (импульсной переходной функции) авиационных газотурбинных двигателей путем разложения в ряд Уолша экспериментально снятой переходной характеристики.

Ключевые слова: авиационные газотурбинные двигатели, метод идентификации динамических характеристик, ряд Уолша, коэффициенты Уолша – Фурье.

Panin V.V., Enchev S.V. IDENTIFICATION OF DYNAMIC CHARACTERISTICS OF AIRCRAFT GAS-TURBINE ENGINES WITH THE USE OF ORTOGONAL WALSH'S FUNCTIONS

In the article basic properties and device are considered for the calculation of Walsh – Fourier coefficients and the method of identification of dynamic characteristics (impulse transition function) of aircraft gas-turbine engines is substantiated by taking a Walsh series expansion of the experimentally taken transition characteristic.

Key words: aircraft gas-turbine engines, the method of identification of dynamic characteristics, a Walsh series expansion, Walsh – Fourier coefficients.

УДК 623.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ВЗРЫВООПАСНЫХ ПРЕДМЕТОВ ПОД ВОДОЙ ВОЗДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАСТРУИ ГИДРОПУШКИ

Семко А.Н.,

Донецкий национальный университет,

Бигвава В.А., Козак Т.Н.,

*Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт "Искра",
г. Луганск*

В данной работе рассмотрены теоретические исследования по взаимодействию импульсных гидроструй с плоской преградой. Выявлены характерные особенности процесса взаимодействия. Рассмотрена зависимость давления струи на преграду от расстояния до нее при выстреле в затопленное пространство.

Ключевые слова: гуманитарное разминирование, гидропушка, обезвреживание взрывных предметов, профилированные сопла.

Введение. Гуманитарное разминирование – обезвреживание мин и неразорвавшихся боеприпасов (НВБ) в гражданских целях, которое осуществляется в соответствии с международными стандартами ООН International Mine Action Standards (IMAS). В отличие от военного разминирования, гуманитарное разминирование является более сложной и трудоемкой задачей, так как требует стопроцентной очистки территорий от взрывоопасных предметов (ВОП) и максимального снижения уровня рисков, как для населения, так и для окружающей среды и инфраструктуры территорий. Эффективность и безопасность гуманитарного разминирования напрямую зависит от технологий и применяемых образцов техники для поиска и обезвреживания мин и других ВОП.

Одной из задач гуманитарного разминирования является очистка водных акваторий от взрывоопасных пережитков войны, а также обезвреживание террористических ВОП, установленных под водой на гидротехнических сооружениях, морских и речных судах и прочих объектах. Об актуальности этой задачи можно судить по многочисленным сообщениям в СМИ о неожиданном обнаружении и проблеме обезвреживания очередной подводной мины или другого взрывного устройства в различных частях акватории, прилегающей к Крымскому побережью. И это при том, что планомерная очистка этих акваторий от ВОП, оставшихся после Второй мировой войны и после многочисленных военных испытаний и учений, в рамках противоминной деятельности в Украине, как и в других странах, еще не начиналась.

Одним из перспективных способов обезвреживания ВОП при гуманитарном разминировании является разрушение гидроструей [1] с помощью специальных гидродинамических устройств с пороховой энергетикой, так называемых «гидропушек» (ГП). Суть этого способа

заключається в том, що струя жидкости, разогнанная в стволе порохowymi газами, пробивает корпус ВОП, дробит монолит ВВ, создавая внутреннее давление, разрушает корпус ВОП и разбрасывает продукты его разрушения. Важно, чтобы расстояния разброса продуктов разрушения были больше расстояния возможной передачи индукционной детонации к фрагментам ВВ в случае срабатывания взрывателей.

ГП серийно выпускаются в Великобритании, Швейцарии, ФРГ, России, Израиле и ряде других стран. Они успешно используются полицейскими силами для нейтрализации диверсионных взрывных устройств относительно небольшой массы (обычно не более 1-2 кг), с непрочными корпусами типа пакетов, картонных коробок, жестяных ящиков или банок и тому подобной тары. Однако большинство этих ГП представляют гладкоствольные системы, спроектированные по законам традиционной ствольной баллистики, которая налагает ряд ограничений на их характеристики и, в связи с этим, они имеют ограниченную энергетику. Скорость истечения струй из этих устройств не превышает 300...500 м/с что не достаточно для разрушения прочных корпусов и тем более для обезвреживания ВОП под водой.

Не вникая в теорию механики гидродинамического разрушения наполненных оболочковых конструкций, которыми, по сути, являются все корпусные ВОП, можно с уверенностью заявить, что энергия, необходимая для разрушения таких конструкций под водой, в несколько раз превосходит энергию, необходимую для разрушения аналогичных конструкций на воздухе. Достичь таких энергий струи, используя традиционные гладкоствольные системы, при разумных массогабаритных характеристиках ГП невозможно. Преимущество профилированного сопла заключается в том, что при сохранении длины ствола можно увеличить длину струи, что соответственно позволит более эффективно воздействовать на корпус ВОП.

Решение задачи. Задачей данной работы является анализ эффективности и перспектив использования ГП с профилированным соплом при проведении операций по гуманитарному разминированию, в том числе для обезвреживания ВОП и НВБ, имеющих прочный корпус или находящихся под водой.

Технологии на основе импульсных высоконапорных струй жидкости нашли применение в горном деле при разрушении негабаритов и проходке выработок, в строительстве при разрушении бетонных блоков и конструкционных материалов, в машиностроении при штамповке, пробивании фасонных отверстий, упрочнении поверхности наклепом и т.д. Общим для этих устройств является превращение внутренней энергии источника (сжатого газа, продуктов сгорания горючей смеси или пороха, электрического разряда в жидкости) в кинетическую энергию высокоскоростной импульсной струи жидкости – ультраструи. Водяной заряд в ГП предварительно разгоняется в цилиндрическом стволе, а окончательно – в сужающемся специально спрофилированном сопле, дополнительно ускоряясь в несколько раз.

Характер истечения струи жидкости при выстреле гладкоствольных ГП (цилиндрический ствол без профилированного сопла) и ГП с профилированным соплом в корне отличаются.

При выстреле гладкоствольной ГП водяной заряд движется в стволе с практически одинаковой по длине скоростью без изменения своего поперечного сечения. Достигая среза ствола, водяной заряд истекает из ствола, причем, его начальная скорость на срезе ствола равна как для головы струи, так и для ее хвоста. При выходе из ствола голова струи замедляется из-за сопротивления воздуха, а хвост струи продолжает ускоряться за счет давления продуктов сгорания пороха. При движении внутри ствола избыточное давление в хвосте водяного заряда передается в головную часть и не приводит к утолщению струи. При истечении струи избыточное давление приводит к интенсивному радиальному течению в струе и образованию пучностей (утолщений) на теле струи, которые движутся со средней скоростью двух прилегающих к пучности участков. В голову струи при истечении избыточное давление не передается. Образование пучностей приводит к интенсивному обдиранию струи воздухом. Поэтому скорость головы струи на реальных гладкоствольных ГП не превышает, как правило, 300...500 м/с.

В отличие от гладкоствольной ГП, при выстреле ГП с профилированным соплом, водяной заряд, разгоняясь в цилиндрическом стволе до скоростей 300...500 м/с, втекает в сужающееся сопло. При втекании в сужающееся сопло в жидкости возникает радиальное течение, направленное к оси, которое приводит к локальному повышению давления вблизи свободной поверхности. От зоны повышенного давления распространяются в противоположные стороны волны сжатия, которые ускоряют передние частицы жидкости вблизи свободной поверхности, т.к. направлены по движению, и тормозят задние, т.к. распространяются против движения. Таким образом, происходит перераспределение энергии в нестационарном потоке жидкости в сужающемся канале. Передние частицы жидкости имеют большую удельную кинетическую энергию, чем задние. Волны сжатия, отражаясь периодически от заднего и переднего фронта водяного заряда, вызывают пульсации скорости истечения импульсной струи жидкости. Струя истекает прерывисто, отдельными порциями, каждая из которых имеет скорость, значительно превышающую скорость втекающего в сопло столба жидкости (рис. 1).

Задача взаимодействия гидроструи с корпусом ВОП может быть рассмотрена как задача взаимодействия струи с преградой. Под действием импульсной струи жидкости в материале происходит целая гамма процессов, каждый из которых способен привести к разрушению. Чтобы обеспечить эффективность разрушения ВОП и в то же время максимально снизить вероятность детонации ВВ, необходимо оптимизировать скорость струи (это один из основных показателей мощности).

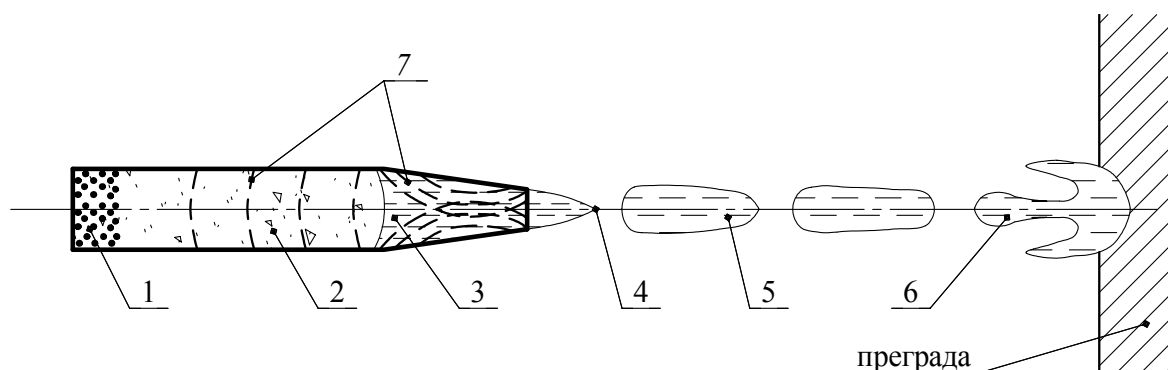


Рисунок 1. Схема выстрела гидропушки с профилированным соплом

1 – метательный заряд, 2 – пороховые газы, 3 – столб метаемой жидкости,
 4 – голова очередной формирующейся «капли», 5 – сформированная «капля»,
 6 – голова струи, взаимодействующая с преградой,
 7 – ударные волны в жидкости и в газе

В работе «Особенности применения гидропушек для обезвреживания взрывоопасных предметов» [2] подробно рассмотрена математическая модель безударной ГП и исследованы баллистические характеристики гидроимпульсных устройств с пороховым зарядом. Модель построена на предположении истечения струи в вакуум. Наличие же воздуха в сопле, по оценкам различных исследователей, снижает скорость истечения на 10-15 %. Переход на газодинамическую модель горения пороха, с учетом волновых процессов, и учет влияния воздуха в сопле позволят улучшить совпадение теории с экспериментом.

При столкновении струи с преградой в струе, в направлении, противоположном ее движению, начинает распространяться волна торможения. Продолжительность действия высокого давления на преграду зависит от массы и скорости жидкости, а также от формы головы струи.

При ударе струи жидкости с плоским торцом возникает ударная волна, которая распространяется в глубь струи, останавливая жидкость [3]. На рисунке 2 представлена схема удара цилиндрического столба жидкости с плоским торцом. Заштрихованная область соответствует сжатой неподвижной жидкости.

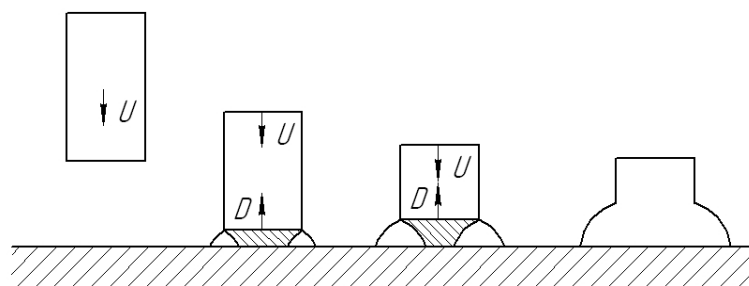


Рисунок 2. Схема удара цилиндрического столба жидкости с плоским торцом о преграду

Отраженная ударная волна распространяется от свободной поверхности к оси струи. Зона, занятая сжатой жидкостью, увеличиваясь вдоль оси струи, уменьшается по радиусу. Таким образом, процесс соударения характеризуется высоким давлением, действующим в течение короткого промежутка времени, равного радиусу струи, деленному на скорость волны.

Если струя имеет искривленный профиль, то процесс соударения усложняется. Контакт жидкости с преградой происходит в точке (на оси) и только затем пятно контакта увеличивается. Пятно контакта увеличивается быстрее, чем распространяется радиальная волна. В результате волна локализуется внутри струи, повышая тем самым давление на преграду.

Отличительными особенностями способа гидродинамического разрушения является ступенчатый характер процесса обезвреживания. Профиль ствола формирует ультраструю в виде трех капель, имеющих на таких скоростях свойства твердого тела. Первая капля разрушает оболочку ВУ, вторая капля разбивает заряд ВВ на мелкие части, третья – разбрасывает их в стороны, препятствуя развитию детонации. Рабочая жидкость имеет свойства обволакивания обломков ВВ, дополнительно блокируя детонационные процессы [4].

В работе «Высокоскоростной удар капли о преграду» [5] (Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН) показана картина соударения капли жидкости с преградой со скоростью, сравнимой со скоростью звука в жидкости. Схема удара капли представлена на рисунке 3.

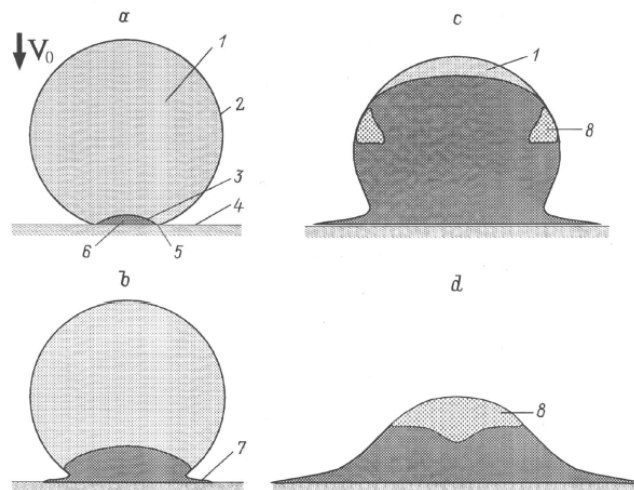


Рисунок 3. Схема удара капли о преграду

- а – до растекания; б – образование струи; с – подход ударной волны к вершине капли, образование тороидальной области разрежения;
- д – образование обширной области разрежения с очагом кавитации.
- 1 – невозмущенная жидкость, 2 – свободная поверхность, 3 – ударная волна,
- 4 – твердая поверхность, 5 – граница пятна контакта,
- 6 – область сжатой жидкости, 7 – струя, 8 – область кавитации.

Поперечное растекание капли начинается только после того, как ударная волна уже продвинется вдоль свободной поверхности, оторвавшись от пятна контакта. Результаты численного моделирования процесса соударения и экспериментальных данных (измерения проводились с помощью пьезодатчиков) подтвердили теоретический вывод о том, что давление на начальной стадии течения, когда ударная волна присоединена к периметру пятна контакта (в сферической капле) распределено по кольцу (рис. 3, с).

Аналогичные результаты были получены в работе [6], где произведено численное моделирование столкновения капли, движущейся со скоростью 500 м/с, с плоской жесткой преградой. Изначально она имеет обтекающую форму. При столкновении мгновенно создается отраженная ударная волна, которая движется навстречу движению капли и остается прижатой к пятну контакта, так как скорость движения капли выше, чем скорость отраженной волны.

Когда ударная волна отходит от пятна контакта и взаимодействует со свободной поверхностью капли, образуется пристеночная высокоскоростная струя кумулятивного типа. При отражении ударной волны от верхней части капли следующая за ней волна разрежения вызывает образование тороидальной области кавитации. Волны разрежения, распространяясь от нижней поверхности, уменьшают область сжатой жидкости вблизи преграды. Затем волна фокусируется на оси симметрии, образуя еще одну область кавитации. Эта область впоследствии объединяется с областью кавитации, образовавшейся при отражении головной ударной волны от верхней части капли.

Численное моделирование процесса соударения капли с плоской преградой полностью подтверждено рентгеновским снимком (рис. 4) [6], который показывает эволюцию плотности капли в течение столкновения. Область, обозначенная черной линией, соответствует очень низкой плотности.

По мере распространения волны разрежения к твердой поверхности область кавитации заполняет почти весь объем капли. Затем эта жидкая оболочка разрушается, и капля разбрызгивается на мелкие фрагменты.

В работе [7] минимальная скорость истечения струи, при которой капля воды становится абсолютно жесткой и не подвержена деформации, определена как:

$$V_{\min} = \frac{\lambda}{\eta}, \quad (1)$$

где λ – коэффициент поверхностного натяжения, Н/м;

η – динамическая вязкость, Па·с.

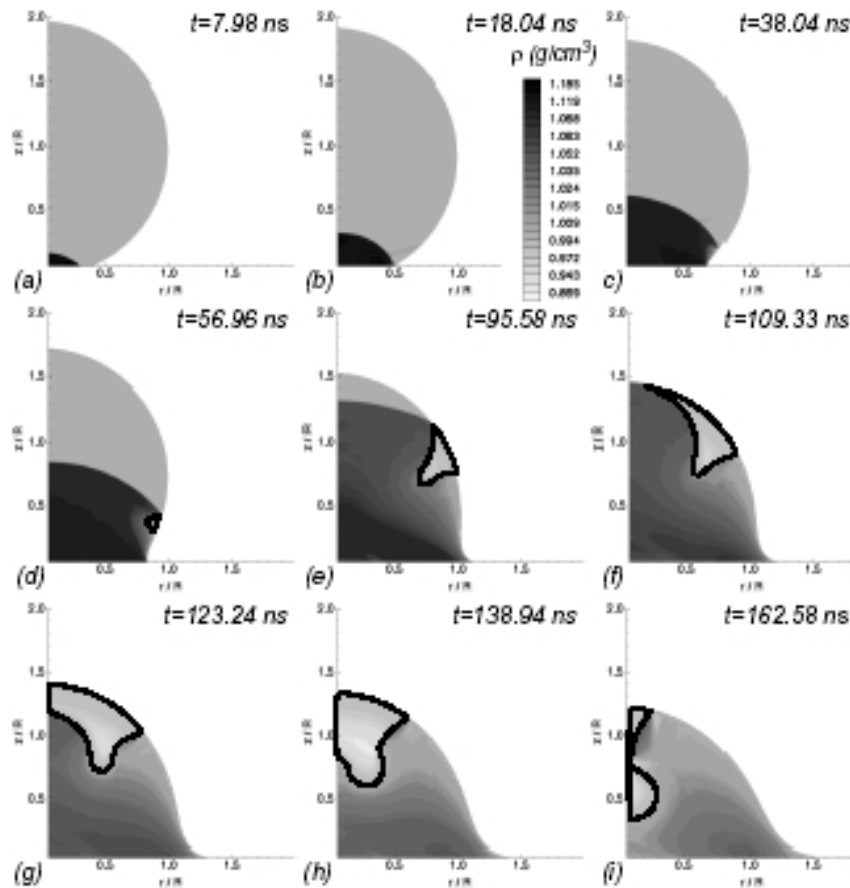


Рисунок 4. Изменение плотности во времени при столкновении капли с преградой

При нормальных условиях (температура воздуха $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, атмосферное давление $P = 101\text{ кПа}$) поверхностное натяжение для воды $\lambda = 0,072\text{ Н/м}$; динамическая вязкость для воды $\eta = 0,001\text{ Па}\cdot\text{с}$.

$$V_{\min} = \frac{0,072}{0,001} = 72\text{ м/с}.$$

Давление в месте мгновенного контакта с неподвижной преградой можно определить по формуле Жуковского для гидроудара:

$$P_{y\delta} = c\rho v, \quad (2)$$

где c – скорость звука в воде (м/с); ρ – плотность воды (кг/м^3); v – скорость струи (м/с).

Подставив значения скорости распространения звука в воде (1500 м/с), плотности воды (1000 кг/м^3) и минимальной скорости струи (72 м/с) в формулу (2), получим величину ударного давления при минимальной скорости струи.

$$P_{y\delta} = 1500 \cdot 1000 \cdot 72 = 108 \cdot 10^6\text{ Па} = 110\text{ МПа}$$

Таким образом, получены аналитические зависимости [7] количественных значений величины минимальной скорости струи v_{min} , при которой может происходить разрушение материала и определена величина возникающего при этом ударного давления, развивающегося в месте контакта струи с преградой.

Результаты теоретических исследований взаимодействия импульсной струи ГП с преградой под водой приведены в монографии «Импульсные струи жидкости высокого давления» [8]. Ниже приведены некоторые результаты расчетов для пороховой ГП со следующими параметрами: радиус ствола 20 мм, радиус сопла 10 мм, длина ствола 400 мм, длина сопла 86 мм, длина коллиматора 70 мм, объем камеры сгорания 135 см^3 , масса водяного заряда 400 г. Начальное давление наружной воды равнялось 1 МПа, что соответствует глубине погружения 100 м. На рисунке 5 изображена зависимость скорости втекания и истечения струи и давления в центре преграды от времени: расстояние до преграды $L_r = 8 R_s$. Скорость отнесена к начальной скорости истечения a_0 , а давление – к скоростному напору $p_0 = \rho_0 u_0^2 / 2$.

Струя начинает истекать в момент времени $t_{out} = 1,13 \text{ мс}$ с начальной скоростью $u_0 = 1140 \text{ м/с}$. При ударе струи возникает ударная волна с давлением на фронте $p_u = 1580 \text{ МПа}$.

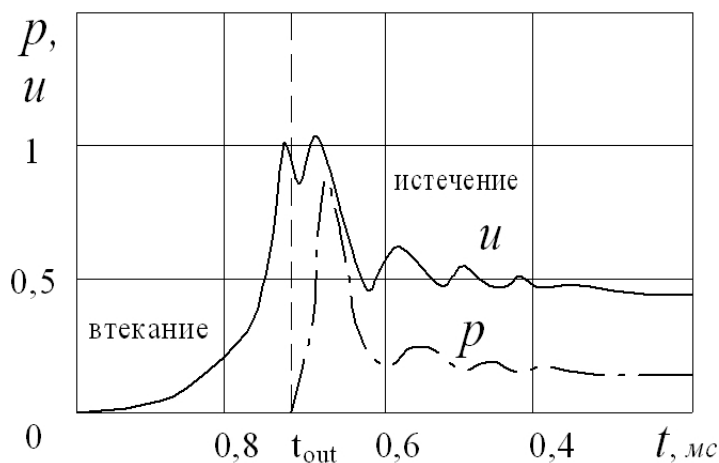


Рисунок 5. Зависимость скорости истечения струи и давления на преграде от времени

На рисунке 6 приведена зависимость давления в центре преграды от времени для разных расстояний до преграды, равных: $L_r = 2, 4, 6$ и $8 R_s$ (кривые 1, 2, 3 и 4 соответственно). Давление на графиках отнесено к скоростному напору p_0 .

Ударная волна, достигнув преграды, скачком повышает давление на ней (первый пик на кривых). Затем на преграду начинает натекает струя, и давление повышается почти до скоростного напора. Максимальное давление

на преграді слабо залежить від відстані до прегради і близько до швидкісного напору p_0 .

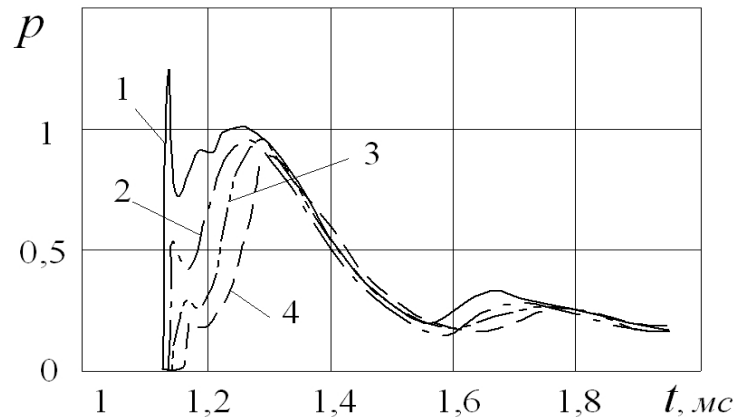


Рисунок 6. Залежність тиску від часу для різних відстаней до прегради

В НІПКИ «Іскра» була розглянута задача по встановленню і виявленню особливостей і закономірностей розповсюдження і взаємодії імпульсної затопленої струї рідини з преградою [1].

Імпульсний характер процесу і великі градієнти параметрів течії дозволяють пренебрати в'язкістю рідини і розглядати течію в рамках моделі газової динаміки для ідеальної рідини. Наявність осової симетрії робить зручним застосування циліндричної системи координат і спрощує задачу. Ось x направлена вздовж осі ГП, початок системи координат поміщено на срезі сопла. В обраній системі координат течію рідини буде описуватися наступною системою рівнянь нестационарної газової динаміки

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho r)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u r)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v r)}{\partial r} &= 0, \\ \frac{\partial(\rho u r)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}[(\rho u^2 + p)r] + \frac{\partial(\rho u v r)}{\partial r} &= 0, \\ \frac{\partial(\rho v r)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u v r)}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial r}[(\rho v^2 + p)r] &= p, \end{aligned} \quad (3)$$

де t – час; x і r – осова і радіальна координати; u , v – компоненти швидкості по осям x і r ; p – тиск; ρ – густина рідини. Закривається система рівнянням стану води в формі Тэта

$$p = B \left[\left(\frac{\rho}{\rho_0} \right)^n - 1 \right], \quad (4)$$

где $B = 304,5$ МПа, $n = 7,15$, $\rho_0 = 10^3$ кг/м³ – эмпирические константы уравнения состояния.

Сформулированы начальные и граничные условия. Движение жидкости происходит в затопленном пространстве с момента времени t_c , когда ускоряемая в ГП вода достигает среза сопла. На этот момент времени вода в затопленном пространстве покоится, давление в ней равно p_0 .

$$\begin{aligned} u(t_c, x, r) = 0, \quad v(t_c, x, r) = 0, \\ p(t_c, x, r) = p_0 \quad 0 < x \leq L, \quad 0 \leq r \leq \infty, \end{aligned} \quad (5)$$

где L – расстояние до преграды. На срезе сопла начальные условия разрывны. Справа они определяются условиями (5), а слева устанавливаются в процессе расчета течения в ГП

$$u(t_c, x) = u_G, \quad p(t_c, x) = p_G, \quad x < 0, \quad (6)$$

где u_G и p_G – скорость и давление жидкости на фронте втекания.

Граничные условия следующие. На преграде ставится условие непротекания

$$u(t, L, r) = 0, \quad 0 \leq r \leq \infty. \quad (7)$$

Подобное условие ставится на поверхности, проходящей через срез сопла и являющейся торцом ГП.

$$u(t, 0, r) = 0, \quad r_c \leq r \leq \infty, \quad (8)$$

где r_c – радиус выходного сечения сопла ГП. В выходном сечении ГП ($x = 0$, $0 \leq r \leq r_c$) никаких граничных условий не ставится, расчет здесь проводится сквозным образом, так как на период истечения вода в ГП и затопленном пространстве образует единую непрерывную область.

На оси x ставятся условия симметрии течения

$$\begin{aligned} \left. \frac{\partial u}{\partial r} \right|_{r=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial v}{\partial r} \right|_{r=0} = 0, \quad \left. \frac{\partial p}{\partial r} \right|_{r=0} = 0 \\ 0 \leq x \leq L, \quad t > t_c. \end{aligned} \quad (9)$$

Если ГП с преградой находятся в безграничном объеме жидкости, то на бесконечности ставятся условия для невозмущенного состояния жидкости

$$u(t, x, r) = 0, \quad v(t, x, r) = 0, \quad (10)$$

$$p(t, x, r) = 0, \quad r \rightarrow \infty.$$

Если же внешний объем жидкости ограничен некоторой поверхностью, расположенной на расстоянии R от оси ГП, то на этой поверхности ставится условие непротекания

$$v(t, x, r) = 0, \quad 0 \leq x \leq L. \quad (11)$$

Таким образом, математически задача о распространении и взаимодействии затопленной струи жидкости с преградой сводится к совместному решению уравнений (3) нестационарной газовой динамики в частных производных и уравнений внутренней баллистики ГП при соответствующих начальных и граничных условиях. Решение поставленной задачи выполнено численно конечно-разностным методом Годунова.

В начальный момент струя жидкости истекает с постоянной скоростью u_0 равной 1000 м/с, что близко к значениям для реальной ГП, имеющей диаметр сопла $d_0 = 20$ мм, расстояние до преграды варьировалось в пределах от 1 до 200 мм. Начальное давление в жидкости полагалось равным атмосферному $P_0 = 10^5$ Па. На рисунках 7 и 8 представлены результаты математического моделирования расчетов.

На рисунке 7 приведена зависимость максимального давления на преграде, которая размещалась на разных расстояниях от выхода сопла. Максимальное давление $P = 900$ МПа наблюдается при $L < d_0$. С увеличением расстояния до преграды давление на ней уменьшается. На расстоянии $L = 50$ мм оно составляет около 500 МПа, а на расстоянии $L = 200$ мм – около 400 МПа, уменьшаясь примерно на 50%.

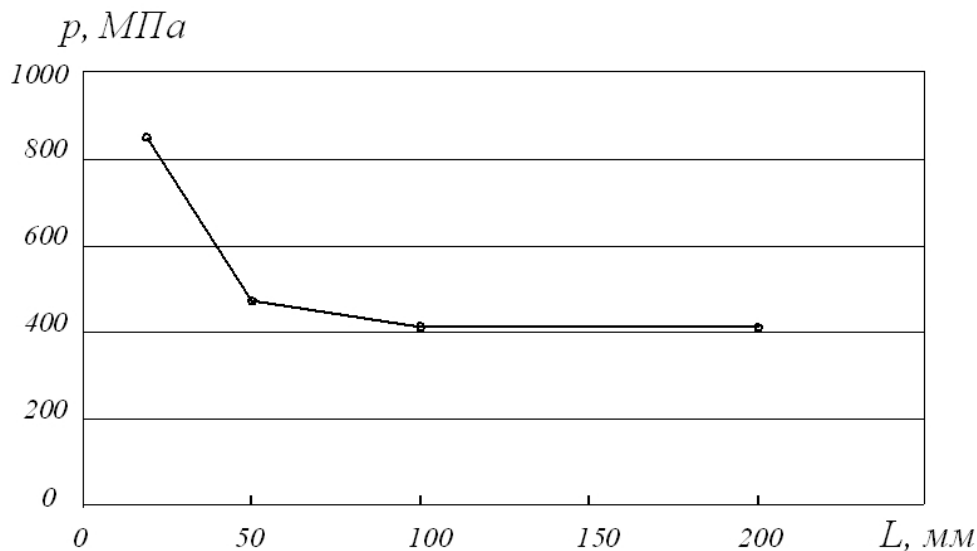


Рисунок 7. Зависимость давления на преграде от расстояния до нее

На рисунке 8 дано распределение давления по поверхности преграды $p = p(r)$ для различных расстояний до преграды (кривые 1, 2, 3 и 4 для расстояний $L=20, 50, 100$ и 200 мм соответственно).

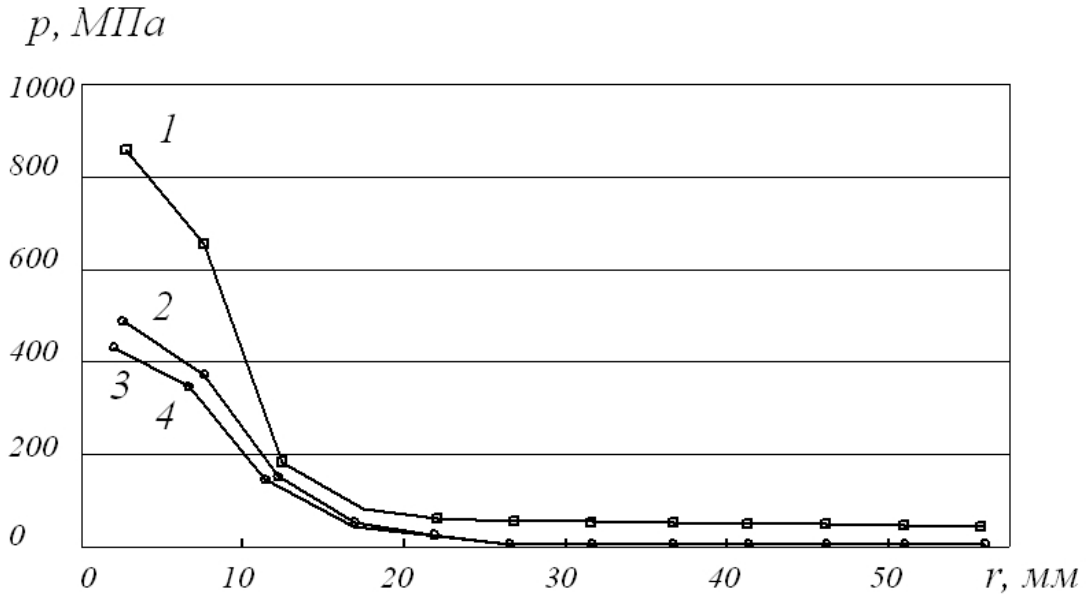


Рисунок 8. Распределение давления по преграде для различных расстояний до нее

Максимальное давление достигается на оси струи и быстро уменьшается с удалением от центра. На расстоянии $r=d_0$ (удвоенный радиус сопла) давление составляет 5...10% от максимального.

Ниже показан результат расчета выстрела в затопленное пространство для реальной ГП со следующими параметрами: диаметр сопла $d_0=20$ мм, диаметр ствола = 40 мм, длина сопла 135 мм, длина ствола 400 мм, масса метаемой жидкости 0,4 кг. Расстояние до преграды $L=30$ мм. Зависимость давления в центре преграды от времени представлена на рисунке 9. Максимальное давление (около 600 МПа) наблюдается через 0,05 мс после начала истечения струи. Так как скорость истечения из ГП со временем уменьшается, уменьшается и давление на преграде. Характер изменения давления на преграде пульсирующий. Истечение струи длится около 2 мс, а весь процесс выстрела ГП продолжается около 3,8 мс. К концу выстрела давление на преграде около 200 МПа. Результаты расчета сопоставимы с результатами, полученными в работе [8] (рис. 6).

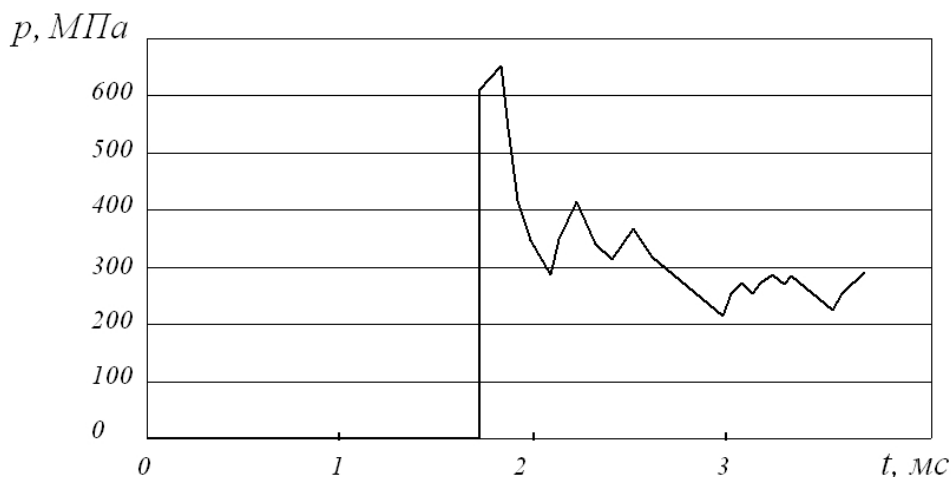


Рисунок 9. Залежність тиску на преграді від часу (відстань до прегради $L = 30$ мм)

Аналіз результатів розрахунку модельної задачі виходу імпульсної затопленої струї дозволяє зробити наступні висновки. Тиск на преграді зменшується з віддаленням від центру соударення, однак, величина тиску достатня для руйнування багатьох матеріалів. Представлені графіки (рис. 7-9) показують характерну картину розподілу тиску на преграді, а також ефективність впливу на преграду, розташовану на відстані, рівному декільком радіусам сопла.

Образці розроблених НІПКІ «Іскра» гідродинамічних руйнівників з пороховим зарядом і спеціальним профілем ствола дозволяють сформувати імпульсну струю рідини зі швидкістю більше 1000 м/с. Це дає можливість здійснювати бездетонаційне руйнування вибухних пристроїв з масою вибухової речовини до 25 кг, в тому числі в міцному металевому корпусі товщиною до 5 мм, і під водою на глибинах до 40 м [9]. На рисунку 10 показано результат впливу струї ГП «ГДУ 32/15» на металеву пластину товщиною 7 мм.

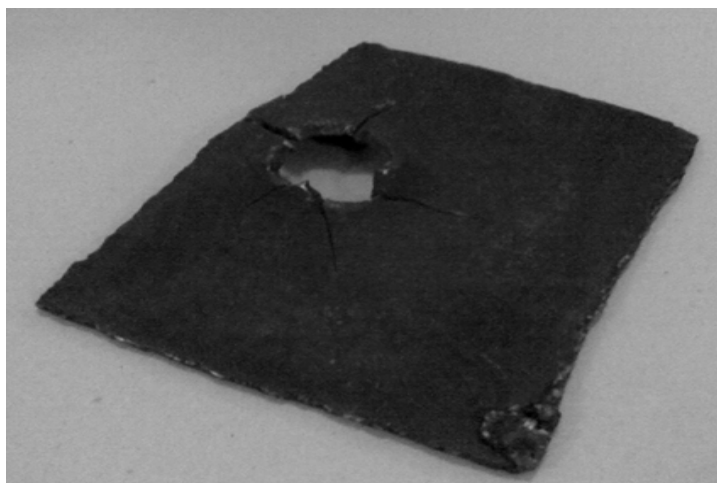


Рисунок 10. Пластина після впливу струї гідропушки

Получены положительные результаты экспериментальных исследований и испытаний опытных образцов ГП. На рисунке 11 показан результат обезвреживания установленного под водой ВОП с массой взрывчатого вещества 25 кг и с пятью степенями защиты от обезвреживания. Обезвреживание производилось с помощью ГП на глубине 24 м [4].

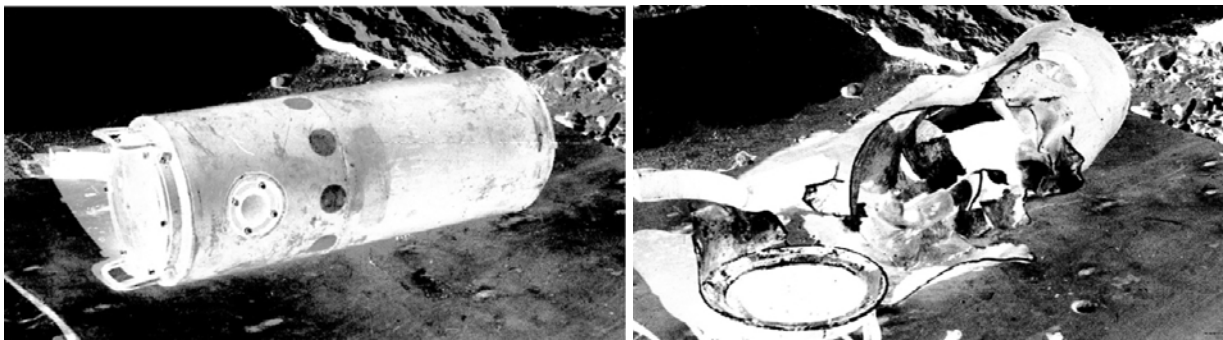


Рисунок 11. Обезвреживание установленного под водой ВОП

Выводы. Рассмотрены перспективы гуманитарного разминирования ВОП и НВБ при помощи импульсных высоконапорных струй жидкости. Задача по разминированию ВОП и НВБ усложняется их многообразием и состоянием на момент обезвреживания. Изложены физические принципы ускорения жидкости в профилированном сопле ГП. Показано, что в ГП определенных конструкций можно добиться истечения пульсирующей струи в виде нескольких порций, что может быть благоприятным для разрушения ВОП. На модельных задачах проанализированы гидродинамические поля, возникающие при ударе струи и отдельных капель с твердой поверхностью. Численно исследовано взаимодействие импульсной затопленной струи жидкости ГП конкретной конструкции с преградой. Показано, что импульсная струя жидкости под водой может эффективно воздействовать на различные объекты, оказывая практически такое же давление, как на воздухе. Проведены натурные испытания экспериментальных образцов ГП при разрушении бетонных и железобетонных изделий, пробивании стальных пластин разной толщины, дефрагментации макетов взрывообразных предметов и ликвидации ВОП. Показано, что ГП могут эффективно разрушать такие объекты.

Для более детального изучения процессов взаимодействия импульсных струй жидкости с конкретными объектами необходимо проведение дополнительных теоретических и экспериментальных исследований и разработок по созданию новых средств, адаптированных к задачам гуманитарного разминирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дослідження теоретичних засад приладового, технологічного і методичного забезпечення гуманітарного розмінування: Звіт про НДР (заключний) / Науково-дослідний та проектно-конструкторський інститут “Іскра”; Науковий керівник проф. В.А. Ульшин. – № ГР 0106U001178, Інв. № 75. – Луганськ, 2008.
Ч. 1. – 397 с.
Ч. 2. – 423 с.
2. Бигвава В.А. Особенности применения гидропушек для обезвреживания взрывоопасных предметов / В.А. Бигвава, А.В. Кочергин, Г.Л. Логунова // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2008. – № 4. – С. 24–29.
3. Атанов Г.А. Гидроимпульсные установки для разрушения горных пород / Г.А. Атанов. – Киев: Вища школа, 1987. – 152 с.
4. Шаповалов В.Д. Приборы и технологии для чрезвычайных ситуаций // Надзвичайна ситуація. – 2007. – № 8. – С. 56–59.
5. Чижов А.В. Высокоскоростной удар капли о преграду / А.В. Чижов, А.А. Шмидт // Журнал технической физики. – 2000. – Т. 70, Вып. 12. – С. 18–27.
6. Kristian Haller Knezevic. High-Velocity Impact of a Liquid Droplet on a Rigid Surface: The Effect of Liquid Compressibility: Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences 28.08.72 / Kristian Haller Knezevic – Zurich, 2002. – 144 p.
7. Ковалев В.И. Основные физические параметры процесса соударения струи суспензии с преградой в безножевой размольной установке / В.И. Ковалев, А.А. Ерофеева, Ю.Д. Алашкевич // Химия растительного сырья. – 2009. – № 3. – С. 165–168.
8. Семко А.Н. Импульсные струи жидкости высокого давления. – Донецк: Вебер, 2007. – 149 с.
9. Семко А.Н. Повышение экологической безопасности при гуманитарном разминировании при помощи импульсных струй жидкости / А.Н. Семко, В.А. Бигвава // Вісник Донецького університету. Серія А: Природничі науки. – 2009. – № 2. – С. 310–319.

Семко О.М., Бигвава В.А., Козак Т.М. ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ВИБУХОНЕБЕЗПЕЧНИХ ПРЕДМЕТІВ ПІД ВОДОЮ ДІЄЮ УЛЬТРАСТРУМЕНЯ ГІДРОПУШКИ

У статті розглянуто теоретичні дослідження по взаємодії імпульсних гідроструменів з плоскою перешкодою. Виявлені характерні особливості процесу взаємодії і можливість регулювання величини тиску на перешкоді. Розглянуто залежність тиску струменя на перешкоду від відстані до неї при пострілі в затоплений простір.

Ключові слова: гуманітарне розмінування, гідропушка, знешкодження вибухонебезпечних предметів, профіліровані сопла.

Semko A.N., Bigvava V.A., Kozak T.N. RESEARCH ON THE POSSIBILITY OF UNDERWATER DISPOSAL OF EXPLOSIVE OBJECTS BY WATER-GUN JETS

In this work theoretical researches are considered on the interaction of impulsive water jets with a flat barrier. The characteristic features of process of interaction are revealed and possibility of regulating the amount of pressure exerted on the barrier is studied. A jet pressure, exerted upon the barrier, is considered depending on the distance to it at a shot in the flooded space.

Key words: humanitarian mine clearance, water jet gun, disposal of explosives, nozzle profiling.

ЗМІСТ

МОРСЬКИЙ ТА РІЧКОВИЙ ТРАНСПОРТ

ИССЛЕДОВАНИЕ УЧАСТИЯ ПРОДОЛЬНЫХ СВЯЗЕЙ КОРПУСА КОМПОЗИТНОГО ДОКА В ВОСПРИЯТИИ УСИЛИЙ ОТ ОБЩЕГО ИЗГИБА	3
<i>Алексенко В.Л., Коростылев Л.И.</i>	
СИСТЕМА ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ТА КОНТРОЛЮ НАВІГАЦІЙНОЇ СИТУАЦІЇ ПРИ УПРАВЛІННІ РУХОМ СУДЕН У СКЛАДНИХ ОБСТАВИНАХ	10
<i>Баранов Г.Л., Носовський А.М., Васько С.М.</i>	
МОДЕРНИЗАЦИЯ СУДОВЫХ СРЕДНЕОБОРОТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ЦЕЛЮ РЕАЛИЗАЦИИ В НИХ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ТОПЛИВОПОДАЧИ	17
<i>Белюсов Е.В.</i>	
ВЫХОД В ИСХОДНУЮ ТОЧКУ ПОИСКА В КРАТЧАЙШЕЕ ВРЕМЯ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ПОИСКОВО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ОПЕРАЦИЙ	24
<i>Бень А.П., <u>Плющ В.Н.</u></i>	
РОЛЬ СУДОХОДСТВА В ПОВЫШЕНИИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА УКРАИНЫ	36
<i>Гацан Е.А.</i>	
ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ КОМЕРЦІЙНОЇ ШВИДКОСТІ ТРАНСПОРТНОГО СУДНА	41
<i>Гончаренко А.В.</i>	
ОСОБЕННОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВ В РЕЖИМЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫХ РЕЙСОВ	50
<i>Панкова О.В., Некрасов В.А.</i>	
ВЫЧИСЛЕНИЕ ДЛИНЫ ЛОКСОДРОМИИ И ОРТОДРОМИИ ДЛЯ ПРОТЯЖЕННЫХ МАРШРУТОВ ПЛАВАНИЯ С УЧЕТОМ СФЕРОИДИЧНОСТИ ЗЕМЛИ	56
<i>Спешилов В.М.</i>	
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТИПОРЯДА ЭЛЕМЕНТОВ ДЛЯ ЗАШИВКИ ПОМЕЩЕНИЙ НЕСАМОХОДНЫХ ПЛАВУЧИХ СООРУЖЕНИЙ	62
<i>Щедролосев А.В., Терлыч С.В.</i>	

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫМ ТРАНСПОРТНЫМ РОБОТОМ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА СПЕКТРО- ГРАММ ПОЛУЧАЕМЫХ ИМ СИГНАЛОВ	70
<i>Кук Ю.В.</i>	
КЛЕТОЧНЫЕ АВТОМАТЫ В МОДЕЛИРОВАНИИ РАБОТЫ ПЕРЕКРЕСТКА	78
<i>Петровский А.В., Голощанов С.С.</i>	
АНАЛИЗ КРИТИЧЕСКИХ СИТУАЦИЙ И ВЫРАБОТКА УПРАВЛЕНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ПРЕДЕЛЬНЫХ ОБОБЩЕНИЙ	84
<i>Прокочук Ю.А., Токарева Е.М.</i>	
КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИИ О ГРАНИЦЕ ОБЛАСТИ РАБОТО- СПОСОБНОСТИ	91
<i>Саушев А.В., Шошмин В.А.</i>	
МЕТОДИКА АНАЛИЗА ДИНАМИКИ ШАХТНОГО ЛОКОМОТИВА С ДИЗЕЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ	97
<i>Таран И.А.</i>	
МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ЗАШИВКИ ПОМЕЩЕНИЙ ДЛЯ НЕСАМОХОДНЫХ ПЛАВУЧИХ СООРУЖЕНИЙ	105
<i>Терлыч С.В.</i>	
РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	
ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ТИПА СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ ВОДОРОДА В СУДОВОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКЕ МАЛОЙ МОЩНОСТИ	114
<i>Горбов В.М., Карпов М.А.</i>	
ЭКОЛОГИЧНОЕ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ КАК ПРИОРИТЕТНАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ ПРОГРАММА	121
<i>Михайлик В.Д., Михайлик С.В.</i>	
ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ РОБОТИ ТРАНШЕЙНОЇ МАШИНИ	130
<i>Лисак С.І., Сукач М.К.</i>	
ПРИКЛАДНОЙ МАГНЕТИЗМ КАК ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ПРАКТИЧЕСКОГО УЛУЧШЕНИЯ ЭКОНОМИКИ МАШИНО- И СУДОСТРОЕНИЯ	137
<i>Малыгин Б.В., Бень А.П., Колomoец В.В., Дюдяева О.А.</i>	

РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОРСКОГО СЕРОВОДОРОДА ДЛЯ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ И ХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА	142
<i>Леонов В.Е., Гацан Е.А.</i>	
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЭУ ТАНКЕРОВ ПРИ СЖИГАНИИ ВОДОТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЙ	149
<i>Горячкин А.В., Мандровский В.В., Заднепряный А.В.</i>	
ПРОБЛЕМИ ВИЩОЇ ШКОЛИ	
КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД ДО ПОДОЛАННЯ НА МОРІ ЯВИЩА «ЛЮДСЬКИЙ ФАКТОР»	157
<i>Зайцева Т.Г.</i>	
КРЕДИТНО-МОДУЛЬНО-КОМПЕТЕНТНІСНА ОРГАНІЗАЦІЯ НАВЧАН- НЯ У ВИЩІЙ ШКОЛІ	162
<i>Казанчан А.А., Казанчан А.К.</i>	
СИСТЕМА КОМП'ЮТЕРНОЇ ПІДТРИМКИ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ У МОРСЬКОМУ ВНЗ	174
<i>Кравцова Л.В., Камінська Н.Г.</i>	
ПСИХОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ АКТИВІЗАЦІЇ НАВЧАЛЬНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ У ВИЩИХ ТЕХНІЧНИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ	182
<i>Овчарук О.М., Скиба Н.Г.</i>	
ІНЖЕНЕРНІ НАУКИ	
МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В СИСТЕМЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ D4.0H	189
<i>Ивановский В.Г., Варбанец Р.А.</i>	
ЗАГАЛЬНА ФОРМУЛА РОЗПОДІЛУ ОСЕРЕДНЕНИХ ШВИДКОСТЕЙ РІДИНИ В КРУГЛОЦИЛІНДРИЧНІЙ ТРУБІ	198
<i>Овчарук О.М., Гончаренко А.В.</i>	
ІДЕНТИФІКАЦІЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АВІАЦІЙНИХ ГАЗОТУРБІННИХ ДВИГУНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ОРТОГОНАЛЬНИХ ФУНКЦІЙ УОЛША	211
<i>Панін В.В., Єнчев С.В.</i>	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ВЗРЫВО- ОПАСНЫХ ПРЕДМЕТОВ ПОД ВОДОЙ ВОЗДЕЙСТВИЕМ УЛЬТРАСТРУИ ГИДРОПУШКИ	217
<i>Семко А.Н., Бигвава В.А., Козак Т.Н.</i>	
ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ	233

ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

236

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ

237

(The following text is a mirrored bleed-through from the reverse side of the page and is not legible.)