

Владимир Валентинович Иванович

МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МОРСКИХ СУДОВ ПРИ ТРАНСОКЕАНСКИХ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗКАХ

Постановка проблемы и анализ литературы

Общемировые перевозки грузов морским транспортом составляют около 90% их общего объема, при этом около половины этого объема приходится на долю линейных морских перевозок [1].

Возрождение национального торгового флота, которое определено как одна из приоритетных государственных программ, приведет к значительному увеличению грузопотока, основная нагрузка которого будет возложена на отечественные морские суда.

Вместе с тем отсутствие комплексной обработки навигационной информации о местонахождении судна с учетом всех гидрометеорологических и навигационно-гидрографических факторов, потери скорости хода при прохождении районов с высокой штормовой активностью приводит к снижению оборачиваемости судов и увеличению расхода топливно-энергетических ресурсов.

Таким образом, можно констатировать наличие определенного противоречия между скоростной обработкой судов в портах и снижением их оборачиваемости за счет уменьшения скорости хода на морских и океанских участках плавания.

Изучению вопросов навигационного обеспечения морских перевозок посвящены работы ряда известных ученых в области морского судоходства (Ермаков Г.Т., Баранов Ю.К., Кондрашихин В.Т., Цымбал Н.Н., Мальцев А.С. и многие другие) [1-4].

Анализ требований и теоретические исследования по точностным параметрам современных технических средств судоходства приведены в работах Вагущенко Л.Л., Кошевого А.А., Дмитриева С.П., Ширяева Е.В. и др [1-5].

Методам оценки влияния гидрометеорологических факторов на земные и морские объекты с использованием данных береговых гидрометеорологических центров и метеорологических космических аппаратов посвящены работы Г. Смирнова, М. Германа, Н. Приходько, В. Богомыя [1]. Анализ вышеупомянутых работ показал, что в них не

отражены вопросы комплексной обработки навигационной информации, получаемой от наземных, космических и судовых средств о местонахождении судна, а также недостаточно отражены вопросы влияния гидрометеорологических факторов на эксплуатационные характеристики морских судов при трансокеанских грузовых перевозках.

Поэтому более детальное рассмотрение вопроса повышения эффективности эксплуатации морских судов при трансокеанских линейных грузовых перевозках является актуальным заданием.

Формулирование цели статьи.

Изложение основного материала

Учитывая вышеизложенное, можно констатировать о необходимости решения актуального научного задания, связанного с разработкой научно-технических предложений по повышению эффективности эксплуатации морских судов в условиях ограничений, связанных с возможным временным отсутствием данных от глобальных навигационных спутниковых систем, и ограничений, связанных с недостаточным учетом гидрометеорологических факторов.

Сформулированы основные требования к разрабатываемой системе эксплуатации грузового морского судна:

1. Система эксплуатации должна быть человеко-машинной, или эргатической технической системой, так как в настоящее время большинство задач судоходства не могут быть надежно решены без участия человека-оператора.

2. Система эксплуатации должна быть оптимальной и адаптивной.

Задача оптимальной эксплуатации в реальных условиях движения судна состоит из двух частей:

а) построение номинальной оптимальной программы эксплуатации в идеальных условиях (т.е. в условиях, которые содержатся лишь в априорной информации, объем которой может быть различным, но, за редким исключением, не является исчерпывающим);

б) выполнение корректирующих воздействий с целью реализации заданной номинальной оптимальной программы эксплуатации (и,

соответственно, оптимальной траектории) в процессе функционирования системы.

Первую часть задачи оптимальной эксплуатации называют задачей построения оптимальной программы эксплуатации, она решается в рамках априорной информации, известной заранее. Вторую часть задачи называют задачей стабилизации заданной номинальной программы эксплуатации и решается она должна в процессе функционирования системы по информации от датчиков измерительных устройств системы.

3. Система эксплуатации должна иметь достаточно высокую точность и надежность измерения навигационных параметров.

4. Система эксплуатации должна работать в реальном масштабе времени и допускать интеграцию в развитые судовые навигационные системы. Взаимодействие системы управления с судовой навигационной системой должно осуществляться согласно протоколу МЭК 61162.

Отличительной особенностью математического описания любой динамической системы является то, что ее состояние изменяется во времени и характеризуется n функциями $x_1(t_0), x_2(t_0), \dots, x_n(t_0)$, которые называются переменными состояниями (фазовыми координатами) системы. Состояние динамической системы зависит также от m управляющих функций [2].

Траектория системы определяется однозначно, если задана вектор-функция управления $u(t) = (u_1(t), u_2(t), \dots, u_n(t))$ и начальное фазовое состояние $x_0 = x(t_0) = (x_1(t_0), x_2(t_0), \dots, x_n(t_0))$, где t_0 – начальное время.

Объект эксплуатации подвергается влиянию как формируемых управляющих воздействий, так и воздействию неконтролируемых внешних факторов (ветер, течения и т.п.) [3].

В качестве математической модели динамической системы чаще всего рассматривается система обыкновенных дифференциальных уравнений вида

$$\frac{dx}{dt} = \dot{x} = F(x, a, u, t) + \xi_x, \quad (1)$$

где x – n -мерный вектор состояния объекта управления, определенный в пространстве X^n ;

a – r -мерный вектор входных возмущающих воздействий, определяемых свойствами внешней среды и принимающий значения из множества A^r ;

u – m -мерный вектор управляющих воздействий, формируемый системой управления и принадлежащий множеству U^m ;

t – текущее время, принадлежащее отрезку $[t_0, t_k]$, на котором определено уравнение (3); ξ_x – n -мерный вектор неконтролируемых внешних возмущений;

F – n -мерная векторная функция указанных аргументов, известная по результатам теоретических или экспериментальных исследований.

Задача оптимальной эксплуатации систем (1) состоит в следующем: в начальный момент t_0

система (1) находится в состоянии x_0 ; необходимо определить такое управление $u(t)$, которое переведет эту систему в заданное конечное состояние x_T (отличное от x_0) за минимальное время [1,4].

Наблюдение за движением объекта осуществляется с помощью комплекса датчиков, измеряющих компоненты состояния объекта и управления. Результаты измерений поступают в адаптивную оптимальную систему эксплуатации и сразу используются для формирования корректирующих воздействий для обеспечения оптимальной траектории движения.

Приведем пример решения оптимизационной задачи методом Лагранжа для типового участка маршрута грузового судна.

Судно должно пройти область сильных течений. Величина и направление скорости течения задаются как функции фазовых переменных

$$w = w(x, y); v = v(x, y),$$

где x, y – прямоугольные координаты, а w, v – компоненты вектора скорости течения в направлении осей x и y соответственно. Величина скорости судна относительно воды постоянна и равна V (это среднее значение скорости движения судна на маршруте, оно ограничено количеством топлива на судне). Найти такое управление (значение угла курса k), при котором судно за минимальное время пройдет путь из пункта А в пункт В.

Уравнение движения судна имеет вид

$$\dot{x} = V \cos k + w(x, y), \quad (2)$$

$$\dot{y} = V \sin k + v(x, y). \quad (3)$$

Здесь k – угол курса, т.е. угол между осью судна и фиксированной координатной осью (в данном случае осью x);

x, y – координаты судна.

Гамильтониан для этой системы

$$H = \lambda_x(V \cos k + u) + \lambda_y(V \sin k + v) + 1, \quad (4)$$

где λ_x и λ_y – коэффициенты Лагранжа.

Уравнение Эйлера-Лагранжа имеет вид

$$\lambda_x \dot{=} - \frac{\partial H}{\partial x} = -\lambda_x \frac{\partial w}{\partial x} - \lambda_y \frac{\partial v}{\partial x}, \quad (5)$$

$$\lambda_y \dot{=} - \frac{\partial H}{\partial y} = -\lambda_x \frac{\partial w}{\partial y} - \lambda_y \frac{\partial v}{\partial y}, \quad (6)$$

$$\frac{\partial H}{\partial k} = V(-\lambda_x \sin k + \lambda_y \cos k) = 0.$$

Кроме того, известно, что

$$\lambda_y / \lambda_x = \sin k / \cos k = \operatorname{tg} k. \quad (7)$$

Поскольку Гамильтониан H явно не зависит от времени, то $H = \text{const} = C_0$. Поскольку минимизируется время, постоянная C_0 должна быть равна нулю, ибо время окончания перехода судна из пункта А в пункт В – не фиксировано [5].

Из уравнений (4) и (7) определяем

$$\lambda_x \dot{=} - \frac{\cos k}{V + w \cos k + v \sin k}, \quad (8)$$

$$\lambda_y = -\frac{\sin k}{V + w \cos k + v \sin k}. \quad (9)$$

Таким образом получим

$$\dot{k} = \sin^2 k \frac{\partial v}{\partial x} + \sin k \cos k \left(\frac{\partial w}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \cos^2 k \frac{\partial w}{\partial y}. \quad (10)$$

Решение уравнения (10) совместно с (2) и (3) дает траекторию минимального времени перехода – для достижения пункта В (двигаясь из пункта А) необходимо задать значение угла курса k_A в пункте А.

Если w и v – постоянны, то $k = \text{const}$, т.е. траектория движения с минимальным временем – прямая линия.

Выводы

В процессе выполнения исследований получены следующие научные и практические результаты:

1. Концепция построения оптимальных систем

Литература

1. **Богомья В. І.** Навігаційне забезпечення управління рухом суден: навч. пос. / В. І. Богомья, В. С. Давидов, В. В. Доронін та ін. // – К.: Компас, 2011. – 321 с.
2. **Михайлов В. С.** Практическая мореходная астрономия: навч. пос. [для студ. вищ. навч. закл. / В. С. Михайлов, В. Г. Кудрявцев, В. С. Давидов // К.: Аристей, 2006. – С.35-121.
3. **Михайлов В. С.** Запровадження інформаційно-методичних комп'ютеризованих комплексів об'єктивного контролю

эксплуатации сложных динамических объектов (в частности, грузовых морских судов), которые используют как априорную, так и получаемую в процессе движения информацию о параметрах динамических объектов и внешних воздействиях на них, является доминирующей при разработке адаптивных оптимальных систем эксплуатации.

2. На основе сформулированных требований разработана и доведена до практического использования в реальном масштабе времени оптимальная адаптивная система эксплуатации грузового морского судна. Адаптируясь к изменяющимся условиям плавания, система минимизирует отклонение реальной траектории судна от намеченной при планировании маршрута, минимизируя тем самым и потери ходового времени из-за упомянутого отклонения. Разработанная система допускает интеграцию в развитые судовые навигационные комплексы.

- рівня освітньо-професійної підготовки студентів/ В. С. Михайлов, В. С. Давидов, В. М. Черінко // Збірник наукових праць – «Водний транспорт» – К.: КДАВТ, 2008. – №9. – С.97-106.
4. **Ильичев А. В.** Эффективность адаптивных систем/ Машиностроение, 1987. – 232 с.
 5. **Груздев Н. М.** Математическая обработка и анализ навигационной информации. – М.: Воениздат, 1979. – 222 с.

У статті наведена методика підвищення ефективності експлуатації морських суден при трансокеанських вантажних перевозках. Адаптуючись до умов плавання, що змінюються, система мінімізує відхилення реальної траєкторії судна від наміченої при плануванні маршруту, мінімізуючи тим самим і втрати ходового часу через згадане відхилення за допомогою комплексного оброблення навігаційних даних та врахування прогностичних гідрометеорологічних даних. Розроблена система допускає інтеграцію в розвинені судові навігаційні комплекси.

Ключові слова: методика, комплексне оброблення навігаційних даних, адаптація, врахування прогностичних гідрометеорологічних даних.

In the article the brought methodology over of increase of efficiency of exploitation of marine ships at transoceanic freight transportations. Adapting oneself to the terms of swimming, that change, the system minimizes deviation of the real trajectory of ship from set at planning of route, minimizing to the same and losses of working time from the mentioned rejection by means of the complex processing of navigation data and taking into account of predictate hydrometeorological data. The worked out system admits integration to the developed ship navigation complexes.

Key words: methodology, complex processing of navigation data, adaptation, taking into account of predictate hydrometeorological data.