

Кучерук С.М.

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОЙ АДАПТИВНОЙ ЭРГАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГРУЗОВОГО СУДНА

В статье рассмотрены вопросы синтеза оптимальной адаптивной эргатической системы эксплуатации грузового судна.

Ключевые слова: *адаптивность, эргатичность, система эксплуатации.*

Морскую навигацию по сути решаемых в ней задач можно рассматривать как навигационный процесс, состоящий из комплекса мероприятий, направленных на безопасный в навигационном плане перевод судна из одного заданного состояния в другое. Этапу реальной эксплуатации судна всегда предшествует этап предварительной проработки маршрута, на котором осуществляют расчет вектора эксплуатации, реализующего поставленную цель и оценку (по принятым критериям безопасности) вариантов коррекции этого вектора [1-4].

Элементы вектора эксплуатации определяются из решения одно- или многокритериальной задачи с привлечением некоторой дополнительной информации. При использовании только одного критерия наилучшим считается такой вектор эксплуатации, при котором значение этого критерия экстремально. При наличии нескольких критериев не существует, как правило, такого вектора, поэтому выбор наилучшего решения связан с определенным компромиссом.

Как уже упоминалось, эффективность морских грузоперевозок определяется двумя основными критериями, которые являются противоречивыми: скорость (время) доставки и себестоимость доставки (расход энергоресурсов). При этом в обоих случаях должен быть обеспечен приемлемый уровень безопасности перевозки.

В зависимости от обстоятельств один из этих критериев является доминирующим.

В рассматриваемом случае доминирующим критерием является скорость (время) доставки груза и связанная с ней оборачиваемость судна, при этом критерий себестоимости доставки (расход топливно-энергетических ресурсов) переведен в разряд ограничений, а использование в качестве метода решения оптимизационной задачи метода Лагранжа позволило свести задачи с ограничениями к задачам без ограничений (за счет введения в систему уравнений коэффициентов Лагранжа).

Сформулируем основные требования к синтезируемой системе эксплуатации грузовым морским судном:

1. Система эксплуатации должна быть человеко-машинной, или эргатической технической системой эксплуатации, так как в настоящее время большинство задач судовождения не могут быть надежно решены без участия человека-оператора. Такие системы эксплуатации состоят из двух частей: технической части системы и человека-оператора. Для каждой части этих систем имеются свои частные критерии, которые в совокупности составляют количественный критерий качества всей системы в целом.

2. Система эксплуатации должна быть оптимальной и адаптивной

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

а) построение номинального оптимального 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 управляющих воздействий с целью реализации заданного номинального оптимального эксплуатационного (и соответственно, оптимальной траектории) в процессе функционирования системы.

Первую часть задачи оптимального эксплуатационного называют задачей построения оптимального программного эксплуатационного [5], 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.

Следовательно, система эксплуатации должна адаптироваться к непредсказуемо изменяющимся условиям путем сбора соответствующей информации от своих датчиков, ее обработки в реальном масштабе времени и по соответствующему алгоритму корректировать траекторию движения судна, приближая ее к оптимальной.

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

В мореходной практике основным методом судовождения является штурманский метод - непрерывное ведение счисления и регулярное определение положения судна относительно опасностей. От частоты и точности определения места судна зависит его навигационная безопасность, вследствие чего операция определения места судна относится к основным задачам навигации, так как без знания точного местоположения судна невозможно решать другие задачи судовождения [6].

Астрономические методы определения местонахождения судна, несмотря на развитие радионавигации, не утратили своего значения для обеспечения навигационной безопасности плавания. Даже при дальнейшем развитии глобальных РНС автономные астрономические способы определения места судна еще надолго останутся как резервные благодаря надежности секстана и хронометра, а для определения поправок компаса в открытом море пока не существует иных способов [6].

Радионавигационным системам, широко используемым для измерения навигационных параметров, присущ ряд недостатков. Так, основными недостатками всех наземных РНС являются:

- ограниченная зона действия;
- низкая точность определения местонахождения (от 60 до 300 м);
- низкая помехозащищенность;
- зависимость характеристик от времени суток и гидрометеорологических факторов;
- сложность определения поправок, особенно при прохождении сигнала под сильнопересеченной местностью.

Что касается спутниковых РНС, основными преимуществами которых по сравнению с другими РНС являются глобальность и высокая точность определения места судна независимо от географического положения и гидрометеорологических условий, то они имеют и существенные недостатки:

- неспособность этих систем обеспечить достаточно стабильную точность (≤ 10 м) при плавании вдоль берегов и в портах;
- неспособность в данное время обеспечивать оперативное оповещение пользователей о нарушениях в работе этих систем (что случается довольно часто).

Устранить перечисленные недостатки возможно применением дифференциального режима их работы, для чего потребуется установка на берегу контрольных пунктов приема информации от этих СРНС и передатчиков для коррекции результатов измерений на судне в реальном масштабе времени. Это позволит уменьшить погрешность определения местонахождения судна до уровня ≤ 5 м (за счет устранения погрешностей, обусловленных выборочным характером доступа и нестабильностью условий в ионосфере). Однако на сегодняшний день этот метод не получил широкого распространения.

С учетом вышеизложенного представляется целесообразным в определенных случаях навигационные параметры определять, объединяя по определенному алгоритму (см. п.3.3) результаты, получаемые с помощью судовой аппаратуры и с помощью спутниковых РНС.

4. Система эксплуатации должна работать в реальном масштабе времени и допускать интеграцию в развитые судовые навигационные системы. Взаимодействие системы эксплуатации 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 $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$, которые называются переменными состояниями (фазовыми координатами) системы. Состояние динамической системы зависит также от m управляющих функций $u_1(t), u_2(t), \dots, u_m(t)$.

Траектория системы определяется однозначно, если задана вектор-функция эксплуатации $u(t) = (u_1(t), u_2(t), \dots, u_m(t))$ 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.).

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 эксплуатации, 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 эксплуатации и принадлежащий множеству U^m ;

t - текущее время, принадлежащее отрезку $[t_0, t_k]$, на котором определено уравнение (1);

ξ_x - n -мерный вектор неконтролируемых внешних возмущений;

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

Задача оптимального эксплуатации системой (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.

Укрупненная структурная схема синтезированной адаптивной оптимальной системы эксплуатации приведена на рис. 1.

Наблюдение за движением объекта осуществляется с помощью комплекса датчиков, измеряющих компоненты состояния объекта и эксплуатации. Результаты измерений поступают в адаптивную оптимальную систему эксплуатации, обрабатываются по соответствующему алгоритму и, при необходимости, сразу используются для формирования корректирующих воздействий для обеспечения оптимальной траектории движения объекта эксплуатации (грузового судна).

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

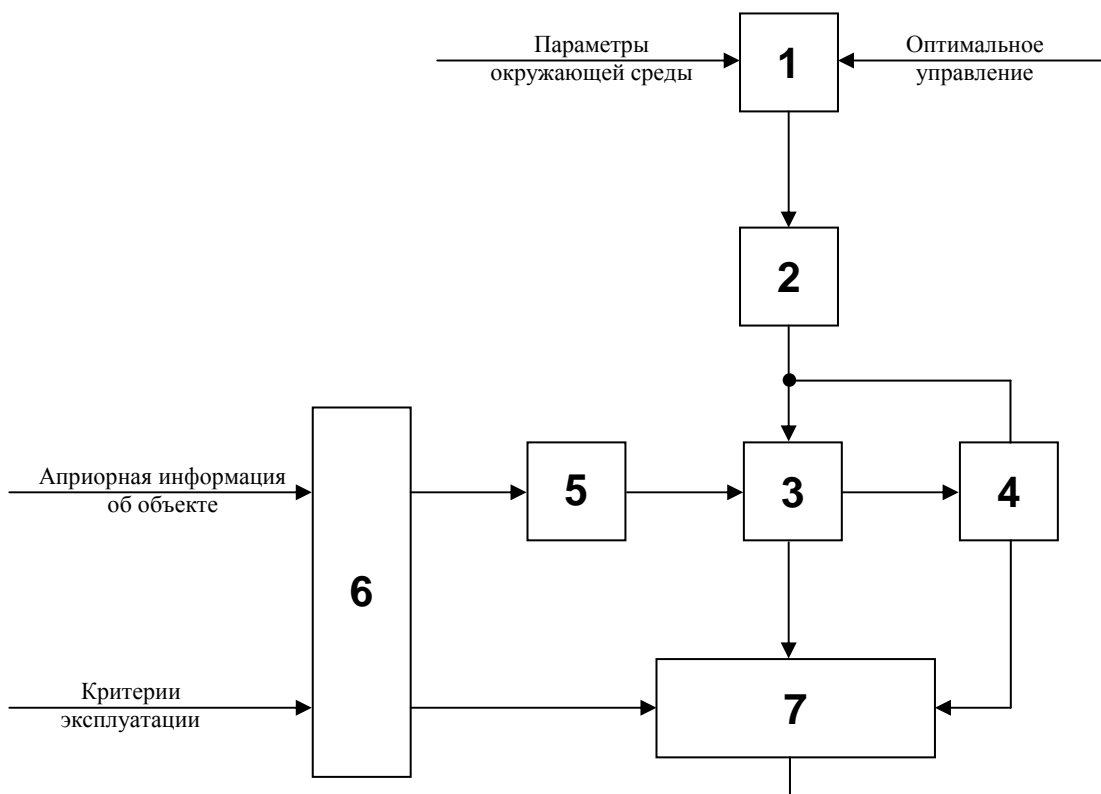


Рис. 1. Обобщенная структурная схема синтезированной адаптивной оптимальной системы эксплуатации:

1 – объект эксплуатации; 2 – датчики информации; 3 – блок идентификации параметров; 4 – блок оценивания состояния объекта; 5 – блок программной настройки; 6 – человеко-машинный интерфейс; 7 – блок оптимизации сигналов эксплуатации.

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

$$w = w(x, y), \quad v = v(x, y)$$

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 ψ), при котором судно за минимальное время пройдет путь от пункта A в пункт B .

Уравнение движения судна имеет вид

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

$$\dot{y} = V \sin \psi + v(x, y), \tag{3}$$

Здесь ψ - угол курса, т.е. угол между осью судна и фиксированной координатной осью (в данном случае осью x), x, y - координаты судна.

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

где λ_x и λ_y - коэффициенты Лагранжа.

Уравнение Эйлера-Лагранжа имеет вид

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

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

$$\frac{\partial H}{\partial \psi} = V(-\lambda_x \sin \psi + \lambda_y \cos \psi) = 0; \quad \text{откуда} \quad \frac{\lambda_y}{\lambda_x} = \frac{\sin \psi}{\cos \psi} = \operatorname{tg} \psi \quad (7)$$

Поскольку Гамильтониан H явно не зависит от времени, то $H = \operatorname{const} = C_0$ - первый интеграл системы (т.е. $\frac{\partial H}{\partial t} = 0$, откуда $H = \operatorname{const} = C_0$).

Поскольку минимизируется время, постоянная C_0 должна быть равна нулю, ибо время окончания перехода судна из пункта А в пункт В - не фиксировано.

Из уравнений (6) и (7) определяем

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

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

Подставив (8) и (9) в (5) или (6), получим:

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

Решение этого уравнения (10) дает траекторию минимального времени перехода - для достижения точки В (двигаясь из точки А) необходимо задать значение угла курса ψ_A в точке А.

Из (10) следует: если w и v - постоянны, то $\psi = \operatorname{const}$, т.е. траектория движения с минимальным временем - прямая линия.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кривенко Н.В., Кучерук С.М. Разработка метода адаптивного оптимального управления в системах с распределенными параметрами// Системи озброєння і військова техніка: Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2013. – Вип.2(34).– С.107–110.

-
2. *Кривенко Н.В., Кучерук С.М.* Анализ динамической надежности инвариантной системы управления// Дев'ята наукова конференція Харківського університету Повітряних сил імені Івана Кожедуба «Новітні технології – для захисту повітряного простору»: тези доповідей, 17–18 квітня 2013 року. –Х.:ХУПС ім. І.Кожедуба, 2013.– С.243.
 3. *Ханцеверов Ф.Р., Остроухов В.В.* Моделирование космических систем изучения природных ресурсов Земли.–М.: Машиностроение,1989.–264 с.
 4. *Лебедев А.А., Нестеренко О.П.* Космические системы наблюдения. Синтез и моделирование. – М.: Машиностроение, 1991.– 224 с.
 5. *Кронберг П.* Дистанционное зондирование Земли. – М.: Мир, 1988. – 350 с.
 6. *Кучерук С.М.* Проверка эффективности функционирования метода повышения безопасности движения грузового судна// Водний транспорт: К.: КДАВТ, 2013. – Вип.3(18).– С.205–210.

Кучерук С.М.

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОЙ АДАПТИВНОЙ ЭРГАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ВАНТАЖНОГО СУДНА

В статті розглянути питання синтезу оптимальної адаптивної ергатичної системи експлуатації вантажного судна.

Ключевые слова: адаптивність, ергатичність, система експлуатації.

Kucheruk S.

SYNTHESIS OF OPTIMAL ADAPTIVE ERGATIC SYSTEM EXPLOITATIONS FREIGHT SHIP

The questions of synthesis of the optimal adaptive ergatic system of exploitation of freight ship are considered in the article.

Keywords: adaptivity, эргатичность, system of exploitation.

УДК 656.6

Ивановский Н.В., Козаченко Л.Н.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ МОРЕПЛАВАНИЯ В УСЛОВИЯХ СОВМЕСТНОГО ПРОМЫСЛА ПРИ ТРАЛОВОМ ЛОВЕ РЫБЫ

Приводится в общем виде формализация процесса управления группой судов на промысле, типизированы пути уменьшения риска возникновения аварийных случаев при промысловом маневрировании: принятие на международном уровне Правил совместного плавания и ведения промысла, пересмотренных, дополненных, переработанных и обязательных для выполнения рыболовными судами всех государств, ведущих промысел как в пределах 200-мильных экономических зон, так и в открытом море; исключение любого физического взаимодействия как самих рыболовных судов, так и их орудий лова за счет формирования зоны опасного сближения.

Ключевые слова: навигационная безопасность морского судна, оптимальное управление морской безопасностью, аварии на морском транспорте.

Постановка проблемы в общем виде. Современное морское промысловое судно в процессе своей деятельности решает сложные производственные задачи: поиск и добычу