

УДК 681.51

А. И. Яшин

Заместитель генерального директора — директор научно-технического центра ПАО «Интелтех»
(г. Санкт-Петербург)

Б. П. Питерский

Начальник отдела специального программного обеспечения ОАО «НПП «АМЭ» (Санкт-Петербург)

МОДЕЛЬ ГРУППОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БЕЗЭКИПАЖНЫХ БУКСИРОВ И КРУПНОТОННАЖНОГО СУДНА С УЧЕТОМ КОНТЕКСТА ВНЕШНИХ УСЛОВИЙ

АННОТАЦИЯ. Рассматриваются концептуальные вопросы построения системы управления группой безэкипажных буксиров, функционирующих в открытой системе и обеспечивающих эффективное решение различных портовых задач.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: группа безэкипажных буксиров, синтез системы управления группой, интеллектуальные системы управления, методы синергетической теории управления.

Введение

Анализ тенденции развития вопросов применения как зарубежных, так и отечественных морских роботизированных комплексов показывает, что в настоящее время мощностей отдельно взятого мобильного робота, в том числе безэкипажного буксира (БЭБ), не достаточно для решения таких задач, как мониторинг надводной и подводной обстановки больших по площади акваторий, оперативная постановка гидробуев и боновых ограждений, а в перспективе — проведение буксирных операций в морских портах и на рейдах.

Следует отметить, что важными преимуществами группового применения БЭБ являются потенциальный охват больших площадей акваторий за меньшее время и высокая отказоустойчивость системы, которая достигается за счет перераспределения ролей между отдельными БЭБ из состава группы в случае аварийной ситуации. Эти преимущества обуславливают высокую вероятность успешного выполнения поставленной задачи. Использование алгоритмов автоматиче-

ского управления для группы БЭБ исключает человеческий фактор, что повышает безопасность проведения маневровых операций. Система, в состав которой входит группа БЭБ, имеет большой потенциал к модификации и расширению функциональных возможностей за счет размещения на борту БЭБ различных технических средств.

Вместе с тем, при всех достоинствах группового применения БЭБ существует ряд проблем, возникающих в связи с необходимостью организации «коллективного» поведения роботов, решающих конкретную технологическую задачу. Одной из таких проблем является создание алгоритмов эффективного взаимодействия между БЭБ группы на всех уровнях иерархии, при которой достигается конечная цель (или целевая ситуация) применения БЭБ за минимальное время и при минимальных затратах. При этом задачу организации эффективного взаимодействия между роботами группы можно разбить на ряд следующих подзадач:

- определение состава группы, необходимого и достаточного для эффективного решения конкретной технологической задачи;

- распределение подзадач между БЭБ из состава группы для достижения конечной цели с заданными критериями (минимизация времени работы, затрат топлива и др.);

- реализация законов управления отдельно взятыми БЭБ, которые одновременно обеспечивают как автономность их применения, так полноту и эффективность выполнения конечной задачи, поставленной перед группой БЭБ.

Для решения указанных задач предлагается использовать централизованный подход к групповому управлению. При таком подходе формирование тактических стратегий для группы БЭБ возлагается на одного, ведущего робота, в то время как поведение остальных ведомых БЭБ определяется поведением ведущего. При таком подходе к групповому управлению мощным комплексом технических средств достаточно оснастить только один — ведущий БЭБ, остальные — ведомые комплектуются минимальным набором оборудования, которое необходимо для выполнения целевой задачи.

Цель управления

В качестве примера применения группы БЭБ в данной статье рассматривается гомогенная

группа БЭБ. При этом каждый из БЭБ оснащен двигателями с двумя гребными винтами в поворотных направляющих насадках.

Перед группой БЭБ стоит задача буксировки крупнотоннажного судна. Данная задача является многомерной, т. к. включает в себя множество поведений БЭБ, а если учесть, что каждый БЭБ является нелинейным объектом управления, то общая модель поведения группы роботов дополняется нелинейными составляющими.

Математическая модель

Математическая модель безэкипажного буксира (БЭБ) в соответствии с системой координат (см. рис. 1) имеет следующий вид[1][2]:

$$\begin{cases} \dot{x}_g = V_x \cos \varphi + V_z \sin \varphi, \\ \dot{z}_g = V_z \cos \varphi - V_x \sin \varphi, \varphi \dot{=} \omega; \\ m_x \frac{\partial V_x}{\partial t} = \sum_{i=1}^n F_{xi} + \sum_{j=1}^m F_{xj} + F_T \cos \theta; \\ J_\omega \frac{\partial \omega}{\partial t} = \sum_{p=1}^n M_{\omega p} + F_T \cos \theta; \end{cases}$$

где: F_{xi}, F_{zi} — проекции на оси X_g, Z_g , соответственно, внутренних сил действующих на судно;

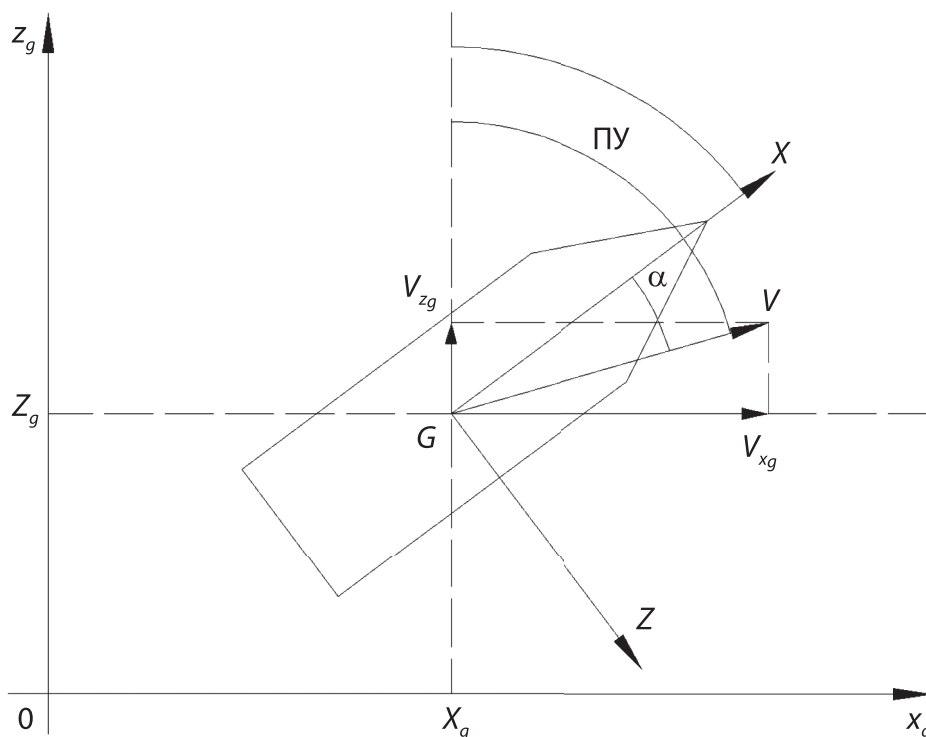


Рис. 1. Системы координат БЭБ

F_{xj}, F_{zj} — проекции на оси X_g, Z_g , соответственно, внешних сил, действующих на судно; F_T — сила тяги, создаваемая двигателем; θ — угол поворота направляющих насадок.

Математическая модель буксируемого судна в соответствии с системой координат (см. рис. 1) имеет следующий вид [1][2]:

$$\begin{cases} \dot{x}_g = V_x \cos \varphi + V_z \sin \varphi, \\ \dot{z}_g = V_z \cos \varphi - V_x \sin \varphi, \quad \varphi \dot{=} \omega; \\ m_x \frac{\partial V_x}{\partial t} = \sum_{i=1}^n F_{xi} + \sum_{j=1}^m F_{xj} + u_x; \\ m_x \frac{\partial V_z}{\partial t} = \sum_{i=1}^n F_{zi} + \sum_{j=1}^m F_{zj} + u_z; \\ J_\omega \frac{\partial \omega}{\partial t} = \sum_{p=1}^n M_{\omega p} + u_\omega; \end{cases}$$

где: F_{xi}, F_{zi} — проекции на оси X_g, Z_g , соответственно, внутренних сил действующих на судно; F_{xj}, F_{zj} — проекции на оси X_g, Z_g , соответственно, внешних сил, действующих на судно; u_x, u_z, u_ω — внешние управляющие воздействия.

Как видно из уравнений, буксируемое судно связано с группой БЭБ через управляющие воздействия, которые группа БЭБ оказывает на судно. Таким образом для изменения положения судна необходимо найти определить следующие функциональные зависимости:

$$\begin{cases} u_x = F_{u_x}(R_1, \dots, R_s) \\ u_z = F_{u_z}(R_1, \dots, R_s) \\ u_\omega = F_{u_\omega}(R_1, \dots, R_s) \end{cases}$$

где: $R_s \in [1, s]$, t -ый БЭБ. Системы координат БЭБ и буксируемого судна показана на рис. 1.

Синтез системы управления

Для управления группой БЭБ в открытой постановке задачи управления, классических методов теории систем автоматического управления (САУ) недостаточно. Это обусловлено неоднозначностью входящей информации и её вариативностью в зависимости от ситуации, в которой она функционирует. Рассмотрим задачу движения группы БЭБ по некоторой траектории. На маршруте её следования могут находиться статические или появляться динамические объекты различной природы. Информация об этих объектах собирается различными датчи-

ками и может иметь не однозначную трактовку. Это обусловлено тем, что поведение каждого объекта невозможно заранее описать. Очевидно, что в данном случае необходимо разработать интеллектуальную систему управления (ИСУ), которая учитывала бы эти обстоятельства.

ИСУ группой БЭБ разработана на основе концепции построения интеллектуальных роботов на базе комплексного применения технологии экспертных систем [4]. Согласно данной концепции управление БЭБ организуется по иерархическому принципу. При этом иерархия управления включает стратегическую подсистему планирования поведения, тактическую подсистему формирования движений и подсистему приводного уровня.

На стратегическом уровне иерархии хранятся цели группы БЭБ. Каждая цель характеризуется определенными условиями функционирования БЭБ, скоростью и временем выполнения задачи и др. параметрами. Информация о дополнительных условиях храниться и обрабатывается также на стратегическом уровне. На этом уровне иерархии проверяется завершенность выполнения каждой из целей.

На тактическом уровне на основе информации из базы данных о составе группы, параметрах перемещаемого судна, метеорологической, гидрологической и др. информации выбирается соответствующий алгоритм действия группы БЭБ в базе знаний для достижения поставленной цели.

На приводном уровне ставится цель для каждого БЭБ. При этом в силу того, что каждый БЭБ является наименьшим неделимым элементом группы, цель управления этой группой будет синтезирована.

В тоже время каждый БЭБ — это тоже является ИСУ с тремя уровнями иерархии. Цель синтезированная на приводном уровне иерархии группы БЭБ для БЭБ становится целевой задачей и попадает на стратегический уровень иерархии. Согласно [4] интеллектуализация системы уменьшается от стратегического уровня к приводному. Последний уровень БЭБ может быть реализован с помощью различных методов в том числе с помощью методов синергетического управления.

Синтез управления на приводном уровне

Синтез управления на приводном уровне выполним методом аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР) [3].

В синергетической теории управления (СТУ) совокупность критериев управления системы принято выражать в виде соответствующей системы инвариантов, которые выступают в роли цели управления, на них обеспечивается выполнение заданной технологической задачи, а процедура синергетического синтеза сводит-

ся к поиску законов управления, при которых эти заданные инварианты выполняются. В качестве инвариантов БЭБ возьмём координаты z^* , z^* к которым движется центр масс буксира, а также желаемый путевой угол ПУ*.

Инварианты БЭБ имеют следующий вид:

$$S^M = \{x = x^*, z = z^*, ПУ = ПУ^*\}$$

ЛИТЕРАТУРА

1. **Лукомский Ю. А.** Управление морскими подвижными объектами: Учебник. / Ю. А. Лукомский, В. М. Корчанов. — СПб.: Элмор, 1996. — 320 с.
2. **Вагущенко Л. Л.** Системы автоматического управления движением судна / Л. Л. Вагущенко, Н. Н. Цымбал. — 3-е изд. — Одесса: Феникс, 2007. — 308 с.
3. **Колесников А. А.** Синергетические методы управления [Текст] / А. А. Колесников. — М.: Энергоатомиздат, 1994. — 344 с.
4. **Лохин В. М.** Интеллектуальные системы автоматического управления: понятия, определения, принципы построения [Текст] / В. М. Лохин, В. Н. Захаров // Интеллектуальные системы автоматического управления // под редакцией И. М. Макарова, В. М. Лохина — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. — 576 с.