

УДК629.5.061

DOI: 10.34046/aumsuomt102/9

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ СУДОВ, ОСНАЩЕННЫХ ВИНТОРУЛЕВЫМИ КОЛОНКАМИ

*Н. А. Погодин аспирант**Д. А. Оськин, кандидат технических наук, доцент*

В работе предложены требования к проектированию автоматизированной интеллектуальной системы для управления судном, оснащенным винторулевыми колонками. Особенностью управления подобными судами является сложность управления взаимным расположением винторулевых колонок и распределение упоров между ними для осуществления конкретного маневра. В основе системы управления лежат принципы принятия решений на основе практики и знаний судоводителя, а также сведения по маневрированию судов, оснащенными винторулевыми колонками. Автоматизированная интеллектуальная система для управления судном представляет собой интеллектуальную систему. Система реализует алгоритмы управления расположением и формирования упоров винторулевых колонок основе правил и моделей для поставленной задачи. В зависимости от решения поставленной задачи система должна формировать набор действий для судоводителя, принимающего решение для реализации поставленной задачи, таким образом, судоводитель корректирует решение, система обучается на основе представленных решений.

Ключевые слова: Управление судном, маневрирование, швартовый режим, винторулевая колонка, азимутальное подруливающее устройство.

AUTOMATED INTELLIGENT CONTROL SYSTEM FOR VESSELS EQUIPPED WITH STEERING COLUMNS

N. A. Pogodin, D. A. Oskin

The paper proposes the structure and principle of operation of an automated intelligent system for controlling a ship equipped with rudder propellers. A feature of the control of such vessels is the complexity of controlling the mutual position of the rudder propellers and the distribution of stops between them for a specific maneuver. The control system is based on the principles of decision-making based on the practice and knowledge of the navigator, as well as information on the maneuvering of vessels equipped with rudder propellers. The automated intelligent ship control system is an intelligent system. The system implements algorithms for controlling the location and forming the stops of the rudder columns based on the rules and models of the task. Depending on the solution to the task, the system generates a set of actions for the navigator who makes a decision to implement the task, thus, the navigator corrects the decision, the system learns based on the presented solutions.

Keywords: ship control, maneuvering, mooring mode, circle rudder propellers, azimuth thruster.

Введение (Introduction)

Новые типы судов, в частности крупные пассажирские круизные суда, ледоколы, танкеры ледового класса и др., как правило, оснащены винторулевыми колонками (азимутальными подруливающими устройствами). Электрические винторулевые колонки (ВРК) — это одна из разработок, в которой электродвигатели мощностью до 25 МВт установлены в обтекаемых корпусах, расположенных под корпусом на корме судна. Особенностью их использования является возможность отказаться от руля и сформировать с помощью ВРК произвольно направленное тяговое усилие и, следовательно, совершать более эффективные движения (например, движение кормой вперед). Для управления каждым ВРК используется самостоятельное задающее устройство (рукоятка управления, джойстик), отклонение которого пропорционально задаваемой мощности движительных установок и углам ее поворотов.

Так как суда, оснащенные подобными ВРК, имеют маневренные качества, отличные от традиционных судов, управляемых парой «винт-

руль», есть некоторые трудности с управлением судами такого типа.

Целью статьи является определение требований к автоматизированной интеллектуальной системе управления движения судна (АИСУС), оборудованного ВРК.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Особенности управления системой ВРК на современных судах.

При использовании систем ВРК на современных судах, оборудованных от одной до трех систем, действия оператора ВРК отличаются от классических методов управления судном, укомплектованным традиционным рулевым комплексом. Эта потребность возникает в сложных условиях для перехода из автоматического управления в ручной режим, особенно при значительном увеличении волнения или выполнении работ в сложной ледовой обстановке.

В работах [4, 5] приводятся особенности управления судами, оборудованными ВРК:

- отличие управления судном с рулевыми колонками от обычных судов с движительно-рулевыми комплексами;

- сложность управления движением судна и маневрирования при синхронизированном и раздельном использовании рулевых колонок.

Типовая система управления включает рычаги управления на центральной консоли мостика и на обеих консолях крыльев мостика. С помощью этих рычагов можно управлять углом направления гондолы в комбинированном либо одинарном режиме. Дополнительное рулевое управление может осуществляться автопилотом. Подробно режимы работы и соответствующие рекомендации судоводителям приведены в руководстве по маневрированию [11].

Большинство судов, оснащенных двумя ВРК, имеют несколько режимов работы: синхронного и раздельного управления ВРК. В табл. 1 приведены три основных режима управления для судов, оснащенных двумя ВРК [6].

Таблица 1 – Режимы управления для судов, оснащенных двумя ВРК

Режим работы	Открытого моря (круизный)	Мягкого маневрирования	Жесткого маневрирования
Особенности управления колонками	синхронизированное, обе колонки отклоняются на один и тот же угол, аналогично тому, как это обычно делается с двумя соединенными рулями на двухвинтовых судах, оснащенных обычными винтами и рулями	раздельное, одна из ВРК (левая, или правая, в зависимости от направления поворота) используется для выполнения маневров	раздельное, обе ВРК используются для выполнения маневров (например, операции швартовки)
Ограничения на углы поворота колонок	ограничены до 35°	ограничены до 35°	разрешен поворот колонки на 360°
Доступная мощность	не ограничена	до 50-60% от общей	система автоматически снижает мощность примерно до 50-60%

Таблица 2 – Режимы маневрирования судов, оснащенных ВРК

Режим маневрирования	Способы реализации режима	
Плавание	Средний вперед	Средний назад
	Полный вперед	Полный назад
Выполнение поворотов	Поворот на левый борт	Поворот на правый борт
	Поворот кормы на левый борт	Поворот кормы на правый борт
	Поворот на месте на левый борт	Поворот на месте на правый борт
Движение бортом	Медленное движение судна левым бортом	Медленное движение судна правым бортом
	Быстрое движение судна левым бортом	Быстро подвести судно правым бортом
Остановка	Нормальный останов	Аварийная остановка

Высокая маневренность судов, оборудованных системой ВРК особенно эффективна при проведении швартовных операций. С технической точки зрения управление судном, оборудованным системой ВРК может отличаться при выполнении штатных операций. К числу особенностей следует отнести способность судоводителя адекватно реагировать на пространственное расположение корпуса судна при подходе к причалу. Судоводитель может предварительно смоделировать ситуацию, которая должна возникнуть, и ос-

можно также выделить режимы скорости – маневренный и рейсовый режим, для малых и больших скоростей соответственно.

В таблице 2 приведены режимы маневрирования судов, оснащенных ВРК. Эти режимы описаны в Практическом руководстве по маневрированию [11], представляющим собой диаграммы и текст, на которых показано, как установить единицы азимута для достижения желаемого маневра / направления.

При выполнении маневра остановки также должны соблюдаться ограничения аварийной остановки с обратным реверсом, аварийной остановки с использованием сопротивления корпуса и крутого поворота с комбинацией торможения, использование поперечного стопорного механизма.

новываясь на полученных результатах или сформированных предложениях обеспечивать безопасное движение судна. Также, при решении задач расхождения с другим судном в открытом море, где достаточно пространства и времени для принятия решения. Приведенные примеры позволяют предъявляет повышенные требования к подготовке судоводителей, так как им придется в сжатые сроки оценить и спрогнозировать развитие ситуации на ближайший интервал времени, а также, по возможности, выполнить корректирующие действия [7].

Другая серьезная проблема – способность судоводителя оперативно манипулировать ручками управления (джойстиком, машинным телеграфом), принимая решения при выполнении маневров, связанных с реверсивной работой движительных устройств (системы ВРК), когда они работают каждая под своим курсовым углом по отношению к диаметральной плоскости судна. Заранее спрогнозировать развитие ситуаций не представляется возможным, поэтому для судоводителя требуется опираться на практический опыт, чтобы его действия были успешными [7].

Как видно, эксплуатация судов, управляемых ВРК, не легка, и капитаны судов, и морские штурманы, принимаемые на борт, должны быть полностью осведомлены обо всех ограничениях, в противном случае они могут привести к повреждению силовых установок или самого судна. Поскольку управление двигателем ВРК интуитивно непонятно и отличается от управления судами с традиционными силовыми установками, а также потому, что есть несколько ограничений, необходимо использовать автоматизированные интеллектуальные системы для поддержки принятия решения судоводителем.

Формализация задач управления судном при использовании интеллектуальных систем

В задачах поиска и выбора решения при управлении движением и маневрированием судов, распознавания и классификации навигационной обстановки, особенно в слабо формализованных ситуациях и при ограниченных ресурсах предлагается использовать автоматизированную интеллектуальную систему управления судном (АИСУС). Приведем некоторые известные решения создания систем управления судами, оснащенными двумя ВРК.

В работе [5] приведены результаты исследований возможности управления судном с двумя

ВРК. Отмечено, что результаты могут быть использованы при создании интеллектуальных систем при принятии решений управления судами подобного типа.

В работе [8] исследуется система автоматизированной швартовки, с человеком в процессе функционирования системы, и математическим обоснованием процесса причаливания.

В работе [9] рассмотрена процедура компьютерного исследования модели (как корпуса судна, так и каждой ВРК) состояло в произвольном маневрировании судна с получением кинематических (линейных и угловых скоростей) и силовых (усилий и моментов) характеристик, подтвержденная свидетельством о регистрации программ для ЭВМ [10].

Обсуждение (Discussion)

Структура и состав АИСУС

Интеллектуальные системы управления для решения задач судовождения активно используются как эффективное средство в сложных условиях принятия решений для плохо формализуемых и трудно алгоритмизируемых задач, в частности, задачи плавания и маневрирования в условиях интенсивного судовождения, особенно в условиях динамично изменяющейся навигационной обстановки. Это связано с тем, что скорость принятия решения играет ключевую роль для обеспечения безопасности судовождения [1].

В настоящее время используется три основных типа систем судовождения с искусственным интеллектом, их классификация приведена на рисунке 1 [2, 3].

На рисунке 2 приведена структурная схема предлагаемой автоматизированной интеллектуальной системы управления для решения задач судовождения.

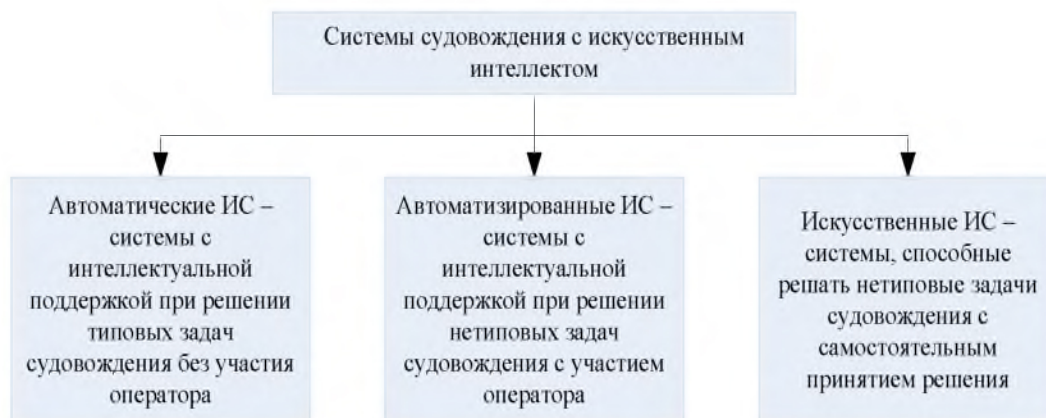


Рисунок 1 – Разновидности систем судовождения с искусственным интеллектом

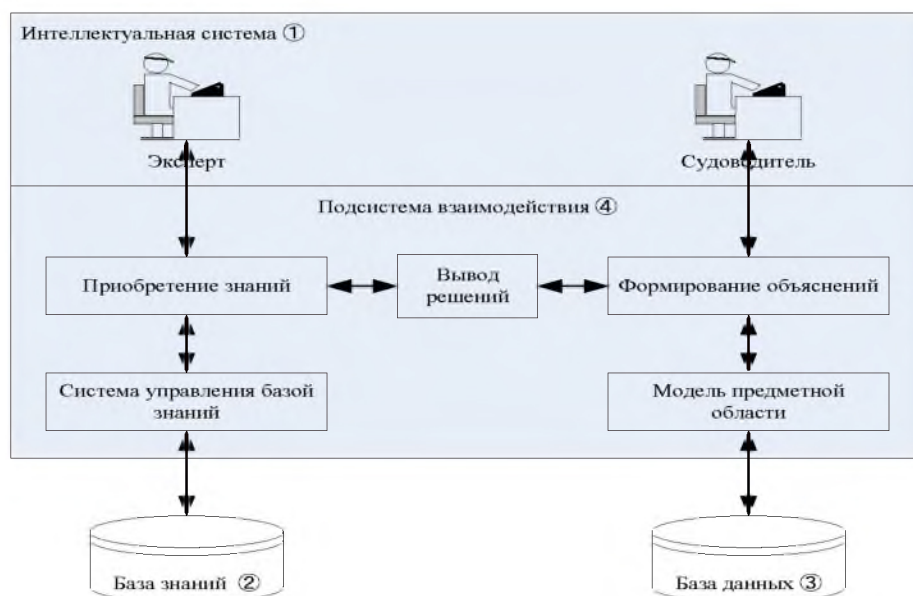


Рисунок 2 – Структура автоматизированной интеллектуальной системы для решения задач судовождения

В приведенной на рис. 2 схеме представлены следующие компоненты:

- ① интеллектуальная система управления с экспертом (специалистом в предметной области) и судоводителем. Задача эксперта - формирование системы знаний или наборов правил для возможности формализации алгоритмов управления судном. Судоводитель является пользователем системы. АИСУС работает в двух режимах: режиме накопления знаний (а также, коррекции существующих знаний и правил) и в режиме решения задач судоводителя.

- ② база знаний, хранящая типовые ситуации маневрирования судов, оснащенных ВРК [5, 11], представленные в виде системы формальных правил, использующих алгоритмические последовательности действий, с возможностью оперативного доступа к ней судоводителя.

- ③ база данных, хранящая параметры движения судна, математические модели движения судна в различных условиях, возможные траектории, режимы изменения управляемых параметров с учетом влияния внешних ветро-волновых возмущений, течений и других факторов;

- ④ подсистема взаимодействия, реализующий взаимодействие, реализующая процесс приобретения знаний от эксперта или через модуль вывода решений, процесс формирования объяснений для обоснования предлагаемого решения, и содержащая систему управления базой знаний и модель предметной области.

Процесс функционирования интеллектуальной системы управления можно представить в

виде последовательностей, представленных на рисунке 3.

Математические модели движения судна (полученные на предварительном этапе эксплуатации по результатам идентификации), используемые в интеллектуальной системе управления, применяются для проведения специализированных расчетов расчета упоров ВРК для осуществления движения судна с заданными параметрами движения (например, с использованием обратной динамики).

АИСУС должна учитывать все параметры, используемые для автоматического контроля системой маневрирования и движения, включая режим динамического позиционирования, и корректировки их в соответствии с параметрами движения конкретного судна. Также должны учитываться ручные команды с пульта управления и данные бортовых датчиков ветра. Все эти факторы должны анализироваться с тем, чтобы обеспечить постоянное обновление траектории движения судна.

Таким образом, проектируемая АИСУС должна отвечать следующим требованиям:

- обеспечивать предложений по согласованному формированию положений рукояток управления (задания конфигурации ВРК) и их отклонений (формируемых упоров) для обеспечения оптимального движения судна при различных условиях эксплуатации судна;

- прогнозировать траектории движения судна за счет моделирования по упреждению на математических моделях движения судна;

- обеспечивать рекомендательные информационные сообщения судоводителю для переключения между режимами работы, в зависимости от изменения параметров движения, навигационной обстановки, и др.

Интеллектуальная система управления судном должна работать как комплексная система

управления, сочетающая принципы математического моделирования движения судна, теории автоматического управления, основываясь на системах правил и выводов.



Рисунок 3 – Процесс функционирования интеллектуальной системы управления

Выводы (Conclusions)

В работе обсуждаются принципы и проблемы управления судами, оснащенным винторулевыми колонками. Особенности использования такого типа управляющих устройств не позволяют использовать традиционные методы управления такими судами. В работе обсуждаются и формулируются требования к проектированию автоматизированной интеллектуальной системы для управления судном, оснащенным винторулевыми колонками. В основе интеллектуальной системы управления лежат принципы принятия решений на основе практики и знаний экспертов-судоводителей, а также сведения по маневрированию судов, оснащенными винторулевыми колонками.

Литература

1. Масик, И.П. Инновационные системы поддержки судовождения / И.П. Масик, Д.П. Коломиец // Водный транспорт. – 2014. – № 3(21). – С. 83-89.
2. Бень, А.П. Концептуальные основы создания систем поддержки принятия решений в судовождении / А.П. Бень // Искусственный интеллект. – 2012. – № 3. – С. 222-227.
3. Шерстюк В.Г., Бень А.П. Гибридная интеллектуальная СППР для управления судном. // Искусственный интеллект. – 2008. – 3
4. Kobylinski, L. (2013). Problems of Handling Ships Equipped with Azipod Propulsion Systems. Prace

naukowe politechniki warszawskiej, 95, 232–245. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/PROBLEMS-OF-HANDLING-SHIPS-EQUIPPED-WITH-AZIPOD-Kobyli-Propellers/07eb3bed2d83392609caff50dda787a656f025a8>

5. Голиков В. В. Методологические основы управления судном с двумя поворотными колонками аzipод / В. В. Голиков // Судовождение. – 2013. – Вып. 23. – С. 56-64. – Режим доступа: http://nbuv.gov.ua/UJRN/sudovozhdenie_2013_23_10
6. Системы AZIPOD: новые формы взаимодействия ходового мостика и машинного отделения Электронный ресурс <http://www.morvesti.ru/themes/1696/88123/>
7. Боран-Кешишьян, С. Л. Автоматические и автоматизированные системы швартовки судов, как эргатический комплекс управления судном и буксирной группой / С. Л. Боран-Кешишьян // Транспортное дело России. – 2020. – № 4. – С. 122-128.
8. Пашенцев, С. В. Анализ маневрирования судна, снабженного двумя аzipодами, с помощью его математической модели / С. В. Пашенцев, В. Ю. Егоров // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. – 2019. – Т. 22. – № 4. – С. 461-470. – DOI 10.21443/1560-9278-2019-22-4-461-470
9. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018666912 Российская

Федерация. Программный комплекс моделирования управления судном, снабженным двумя винто-рулевыми колонками (азиподами): № 2018664433: заявл. 14.12.2018: опубл. 24.12.2018 / С. В. Папенцев, В. Ю. Егоров ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Мурманский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «МГТУ»)

10. Презентация «Руководство по маневрированию» [Электронный ресурс]: <https://www.vumpu.com/en/document/view/13677403/piloting-vessels-fitted-with-azimuthing-control-devices-acds>

References

1. Masik, I. P. Innovacionnye sistemy podderzhki sudovozhdeniya / I. P. Masik, D. P. Kolomiec // Vodnyj transport. – 2014. – № 3(21). – S. 83-89.
2. Ben', A. P. Konceptual'nye osnovy sozdaniya sistem podderzhki prinyatiya reshenij v sudovozhdenii / A. P. Ben' // Iskusstvennyj intellekt. – 2012. – № 3. – S. 222-227.
3. V.G. SHERstyuk, A.P. Ben' Gibridnaya intellektual'naya SPPR dlya upravleniya sudnom. «Iskusstvennyj intellekt» 3'2008
4. Kobylnski, L. (2013). Problems of Handling Ships Equipped with Azipod Propulsion Systems. Prace naukowe politechniki warszawskiej, 95, 232–245. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/PROBLEMS-OF-HANDLING-SHIPS-EQUIPPED-WITH-AZIPOD-Kobyli-Propellers/07eb3bed2d83392609caff50dda787a656f025a8>
5. Golikov V. V. Metodologicheskie osnovy upravleniya sudnoms dvumya povorotnymi kolonkami azipod / V. V. Golikov // Sudovozhdenie. – 2013. – Vyp. 23. – S. 56-64. – Rezhim dostupu: http://nbuv.gov.ua/UJRN/sudovozhdenie_2013_23_10
6. Sistemy AZIPOD: novye formy vzaimodejstviya hodovogo mostika i mashinnogo otdeleniya Elektronnyj resurs <http://www.morvesti.ru/themes/1696/88123/>
7. Boran-Keshish'yan, S. L. Avtomaticheskie i avtomatizirovannye sistemy shvartovki sudov, kak ergaticheskij kompleks upravleniya sudnom i buksirnoj gruppoj / S. L. Boran-Keshish'yan // Transportnoe delo Rossii. – 2020. – № 4. – S. 122-128.
8. Pashencev, S. V. Analiz manevrirovaniya sudna, snabzhennogo dvumya azipodami, s pomoshch'yu ego matematicheskoy modeli / S. V. Pashencev, V. YU. Egorov // Vestnik MGTU. Trudy Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2019. – T. 22. – № 4. – S. 461-470. – DOI 10.21443/1560-9278-2019-22-4-461-470
9. Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlya EVM № 2018666912 Rossijskaya Federaciya. Programmnyj kompleks modelirovaniya upravleniya sudnom, snabzhennym dvumya vinto-rulevymi kolonkami (azipodami): № 2018664433: yayavl. 14.12.2018: opubl. 24.12.2018 / S. V. Pashencev, V. YU. Egorov ; yayavitel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhethoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya «Murmanskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet» (FGBOU VO «MGTU»)
10. Prezentaciya «Rukovodstvo po manevrirovaniyu» Elektronnyj resurs]: <https://www.vumpu.com/en/document/view/13677403/piloting-vessels-fitted-with-azimuthing-control-devices-acds>

УДК 528.7

DOI: 10.34046/aumsuomt102/10

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ КАРТИРОВАНИЯ ДНА НЕГЛУБОКИХ ВОДОЕМОВ МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ БАТИМЕТРИИ

А.А. Гаджиев, аспирант (Азербайджанская Республика)

Статья посвящена вопросам разработки методики картирования дна неглубоких водоемов методом лазерной батиметрии. Сформулирована и решена задача разработки способа картирования рельефа дна неглубоководных водоемов. В качестве излучателя используется лазер, установленный на борту летательного аппарата. На основе геометрического представления хода оптических лучей в лазерной батиметрии и анализа известных результатов измерений предложена ступенчатая модель дна водоема, высота и ширина ступенек которой изменяются в широких пределах. На основе известного метода картирования дна неглубоководного водоема с одной точки предложен способ двухточечного измерения с применением ступенчатой модели дна. Проведенные модельные исследования показали, что погрешность измерения предложенного способа находится в пределах $\pm 4.5\%$.

Ключевые слова: батиметрия, лазер, картирование, погрешность, летательный аппарат.

DEVELOPMENT OF A METHOD FOR MAPPING THE BOTTOM OF SHALLOW WATER BODIES BY THE METHOD OF LASER BATHYMETRY

A.A. Gadzhiev

The article is devoted to the development of methods for mapping the bottom of shallow water bodies by laser bathymetry. The problem of developing a method for mapping the topography of the bottom of shallow water