

УДК 65.011.56

DOI: 10.15587/2312-8372.2019.184643

РОЗРОБКА СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ РУХОМ БЕЗЕКІПАЖНОГО НАДВОДНОГО СУДНА З ВІТРИЛЬНОЮ УСТАНОВКОЮ

Надточій В. А., Надточий А. В., Бугрім Л. І.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ БЕЗЭКИПАЖНОГО НАДВОДНОГО СУДНА С ПАРУСНОЙ УСТАНОВКОЙ

Надточий В. А., Надточий А. В., Бугрим Л. И.

DEVELOPMENT OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF MOTION OF AN UNMANNED SURFACE SHIPS WITH A SAILING INSTALLATION

Nadtochii V., Nadtochiy A., Bugrim L.

Об'єктом дослідження є безекіпажне надводне судно з вітрильною установкою. Однією з проблем при керуванні вітрильним судном за допомогою автоматичних систем є майже нескінченна кількість статичних та динамічних станів традиційних вітрил, які важко виявляти і які важко прогнозувати. Крім того, відомою є здатність традиційних вітрил до закручування та зачеплення, а всі операції з вітрилами виконуються через оперування бігучим та стоячим такелажем, тобто опосередковано. Якщо враховувати необхідність постійного розгортання та прибирання звичайних вітрил, то побудова системи автоматичного керування ними очевидно буде вкрай складним завданням.

В роботі розглядається альтернатива традиційному вітрилу – жорстке вітрило-крило. Для безекіпажних надводних суден вітрило-крило пропонується виготовляти на основі симетричних аеродинамічних профілей. Таке вітрило-крило дозволить спростити таку процедуру, як прибирання вітрила, тобто забезпечення його бездії, а також спростити процедуру переходу вітрильного судна рухом правим або лівим галсами.

В ході дослідження представлено відносно прості алгоритми керування, які можливі при використанні симетричних аеродинамічних профілей для жорстких вітрил. Такі вітрила дозволять відносно легко реалізувати режими руху безекіпажного судна галсами, а також режим без дії вітрила. Також показано необхідність побудови системи, яка поєднує функції керування кутом атаки крила-вітрила та керування курсом. При цьому система керування кутом атаки не залежить від системи керування курсом, а система керування курсом має враховувати режим вітрильної установки. Подолання же критичних точок переходу судна з одного галса на інший можливо при

використанні додаткового рушійного пристрою. Керування вітрилом-крилом може бути здійснено за допомогою одного єдиного електроприводу, що повертає його відносно вітру на заданий кут атаки, чим забезпечує його рушійну силу.

Ключові слова: безекіпажне надводне судно, керування курсом судна, керування кутом атаки вітрила, інтегрована система керування, автокермовий.

Объектом исследования является безэкипажное надводное судно с парусной установкой. Одной из проблем при управлении парусным судном с помощью автоматических систем является почти бесконечное количество статических и динамических состояний традиционных парусов, которые трудно выявлять и которые трудно прогнозировать. Кроме того, известна способность традиционных парусов к закручиванию и зацеплению, а все операции с парусами выполняются при помощи бегущего и стоячего такелажа, то есть косвенно. Если учитывать необходимость постоянного развертывания и уборки обычных парусов, то построение системы автоматического управления ими очевидно будет крайне сложной задачей.

В работе рассматривается альтернатива традиционному парусу – жесткое парус-крыло. Для безэкипажных надводных судов парус-крыло предлагается изготавливать на основе симметричных аэродинамических профилей. Такой парус-крыло позволит упростить такую процедуру, как уборка паруса, то есть обеспечить его бездействия, а также упростить процедуру перехода парусного судна движением правого или левого галса.

В ходе исследования представлены относительно простые алгоритмы управления, которые возможны при использовании симметричных аэродинамических профилей для жестких парусов. Такие паруса позволят относительно легко реализовать режимы движения безэкипажных судов галсами, а также режим бездействия паруса. Также показана необходимость построения системы, объединяющей функции управления углом атаки крыла-паруса и управления курсом. При этом система управления углом атаки не зависит от системы управления курсом, а система управления курсом должна учитывать режим парусной установки. Преодоление же критических точек перехода судна с одного галса на другой возможно при использовании дополнительного движущего устройства. Управление парусом-крылом может быть осуществлено с помощью одного единственного электропривода, который возвращает его относительно ветра на заданный угол атаки, чем обеспечивает его движущую силу.

Ключевые слова: безэкипажное надводное судно, управление курсом судна, управление углом атаки паруса, интегрированная система управления курсом, авторулевой.

1. Вступ

Створенням безекіпажних морських суден, або інакше кажучи, морських дронів, займаються всі провідні морські країни світу [1, 2]. Насамперед це

пов'язано з широкими горизонтами застосування таких технічних систем при відносно низьких експлуатаційних витратах. Розвиток України як морської держави передбачає інноваційну діяльність [3], яка також пов'язана зі створенням роботизованої морської техніки. Створенням морської робототехніки в Україні займається Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова у місті Миколаїв [4, 5].

Сферами застосування безекіпажних надводних суден (БНС) може бути охоронна діяльність, що пов'язана з природними ресурсами, акваторіями та об'єктами, моніторинг підводної/надводної обстановки, пошуково-рятувальні роботи та інше. Основною проблемою при створенні БНС, особливо малотоннажних, є низький термін автономності. Вказаний недолік суттєво обмежує попит на такі засоби морської техніки з боку зацікавлених сторін. Ця обставина обумовлює актуальність досліджень, що пов'язані зі збільшенням терміну автономності БНС, зокрема вітрильних, час перебування яких у морі практично не обмежений. Таким чином, об'єктом дослідження є безекіпажне надводне судно з вітрильною установкою. *А метою роботи* є дослідження процесів керування автоматичним вітрилом безекіпажного судна, а також просторовим рухом судна з вітрильною пропульсивною установкою.

2. Методика проведення досліджень

Як відомо, традиційні вітрила погано інтегруються в морські безекіпажні технології, а насамперед з автономними надводними судами. В якості альтернативних вітрил можуть бути застосовані жорсткі крила з аеродинамічними профілями [6, 7]. Необхідно зазначити, що проблемам застосування вітрил жорсткої конструкції приділяється багато уваги [8, 9]. В автоматичних вітрильних установках найбільш оптимальним рішенням є використання крил з симетричними профілями [10, 11]. Аеродинамічні сили на симетричному аеродинамічному профілі однакові за модулем, але дзеркально орієнтовані відносно хорди профіля при однакових кутах атаки з різними знаками. При $\alpha=0^\circ$ ($\alpha=\pm 180^\circ$) аеродинамічна сила складається тільки з сили лобового опору, яка може сягати декількох відсотків від максимального значення.

Перевагою жорстких вітрил з симетричним профілем є відмінна керованість. За допомоги одного електропривода легко керувати кутом атаки, а отже, вектором аеродинамічних сил та, в кінцевому рахунку, пропульсивною (рушійною) силою. Застосування жорстких вітрил з симетричним аеродинамічним профілем дозволяє відносно легко вирішити дві основні задачі.

1. Забезпечити однакові режими роботи вітрила при русі судна лівим та правим галсом і простий перехід з руху прямим курсом на рух галсами та навпаки.

2. Забезпечити практичну бездію вітрила, коли кут атаки $\alpha \approx 0^\circ$ ($\alpha \approx 180^\circ$) для зупинки судна або в штормових умовах. Інакше кажучи, виконувати флюгерування вітрила.

На рис. 1 дана блок-схема алгоритму роботи системи автоматичного керування вітрильною установкою з жорстким вітрилом – крилом на основі симетричного аеродинамічного профілю.

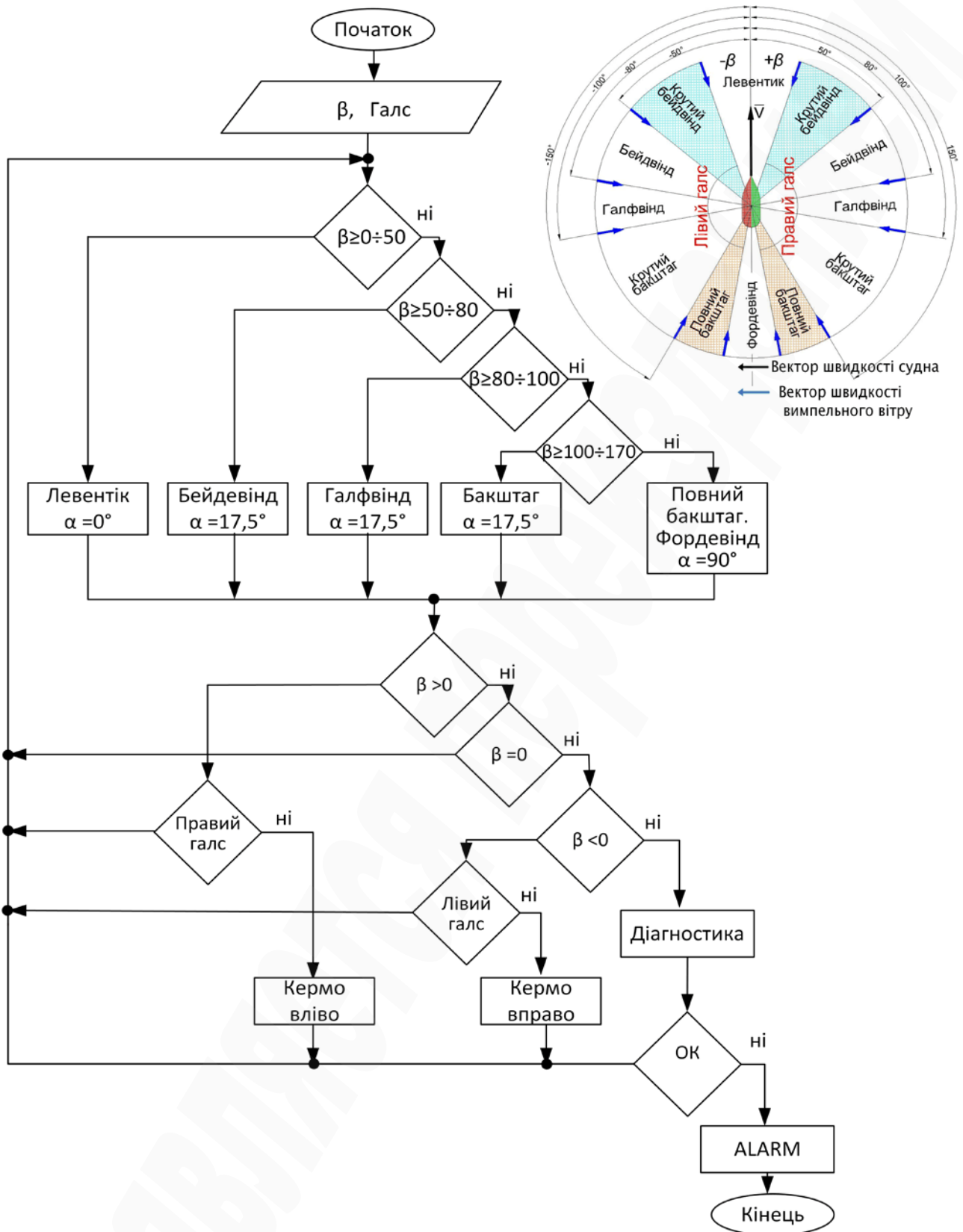


Рис. 1. Алгоритм керування кутом атаки α вітрила-крила в залежності від кута вимпельного вітру β та галсу

Кут атаки α вітрила-крила підтримується автоматично таким чином, щоб постійно забезпечувати максимальну аеродинамічну силу $\alpha=f(F \rightarrow \max)$.

Як показано на схемі рис. 2, входними даними є курсовий кут вимпельного

вітру β та заданий галс. Перший параметр піддається вимірюванню за допомогою датчика напрямку вітру. Система порівнює дійсний кут набігання вимпельного вітру з курсом судна відносно вітру. При збіганні β з відповідним курсом, система встановлює необхідний кут атаки α . Також контролюється заданий галс судна, що необхідно для руху вітрильного судна проти вітру, а в деяких випадках і за вітром. Очевидно, що напрямок вимпельного вітру β залежить також від зміни заданого курсу φ судна. Це обумовлює необхідність врахування процесу керування кутом атаки вітрила в системі керування курсом судна.

На рис. 2 наведена функціональна схема вітрильної установки у поєднанні з кермовим комплексом для безекіпажного судна.

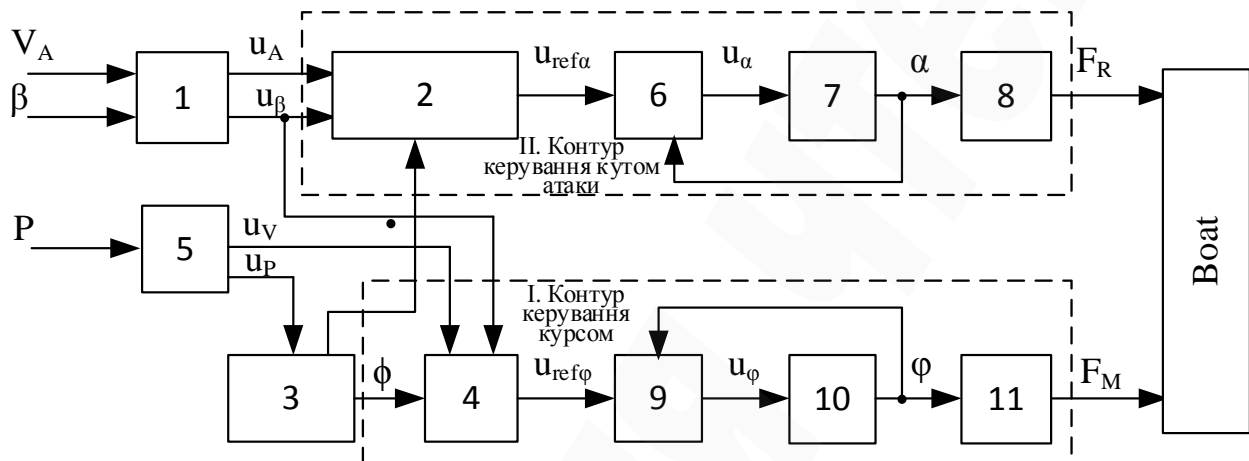


Рис. 2. Загальна функціональна схема вітрильної установки безекіпажного судна: 1 – вимірювальний комплекс швидкості та напрямку вимпельного вітру; 2 – обчислювач орієнтації вітрила; 3 – курсопрокладач; 4 – автокермовий; 5 – супутникова навігаційна система (СНС); 6 – регулятор кута атаки; 7 – електропривод повороту вітрила; 8 – вітрило; 9 – регулятор керма; 10 – електропривод керма; 11 – кермо; 12 – корпус судна

Виміряні блоком 1 сигнали V_A та β надходять до обчислювача орієнтації вітрила.

Якщо β знаходиться в межах $\pm 0 \div 50^\circ$ по відношенню до курсу судна (тобто курс *левентік*), то система керування кутом атаки вітрила дає сигнал $u_{ref\alpha}$ на встановлення $\alpha=0$, тобто переводить вітрило в режим флюгера. При цьому, аеродинамічна сила i , відповідно, рушійна сила відсутня, а сила лобового опору вітрила мінімальна і може бути подолана при необхідності електричною гребною установкою.

Якщо β знаходиться в межах $\pm 50 \div 80^\circ$ по відношенню до курсу судна (тобто курс *бейдевінд*), то система керування кутом атаки генерує сигнал $u_{ref\alpha}$ на встановлення $\alpha=\pm 17,5^\circ$ в залежності від галсу для максимальної ефективності крила-вітрила (рис. 1). Аналогічно процес повторюється, якщо β знаходиться в межах $\pm 80 \div 150^\circ$ по відношенню до курсу судна (тобто курс *бейдвінд*, *галфвінд*, *крутий бакштаг*).

Якщо β знаходиться в межах $\pm 150 \div 180^\circ$ по відношенню до курсу судна (тобто курс *повний бакштаг*, *фордевінд*), то система керування кутом атаки дає

сигнал $u_{\text{ref}\alpha}$ на встановлення $\alpha = \pm 90^\circ$ в залежності від галсу для максимального аеродинамічного опору вітрила.

Регулятор кута атаки α у відповідності до динамічних та статичних властивостей каналу керування вітрилом генерує сигнал u_α керування електроприводом вітрила 7. Електропривод вітрила задає кут атаки α , при якому на поверхні вітрила створюється аеродинамічна сила певного напрямку з рушійною складовою F_R .

Як зазначалось вище, автоматичне керування вітрилом виконується в поєднанні з керуванням курсом човна. Тому керуючий пристрій містить курсоукладач, в який занесені всі координати маршруту і який має три режими видачі завдання до автокермового:

1. Рух тільки з вітрильною пропульсивною (рушійною) установкою.
2. Рух тільки з додатковою пропульсивною установкою. В якості додаткового рушія може бути використаний двигун внутрішнього (зовнішнього згоряння) ДВЗ (ДЗЗ) або гребний електродвигун.

3. Комбінований режим.

В першому режимі курсоукладач генерує при необхідності траєкторію руху човна галсами відповідно до заданого маршруту та виміряного напрямку вимпельного вітру β .

В другому режимі курсоукладач генерує траєкторію руху, що співпадає з заданим маршрутом, а вітрильна установка працює в режимі флюгера (наприклад, курс левентік або інший).

В третьому режимі курсоукладач генерує траєкторію руху човна галсами відповідно до заданого маршруту з одночасною роботою додаткової рушійної установки. В рамках даної роботи розглядається перший режим.

Автокермовий призначений для стабілізації човна на заданому курсі і генерує сигнал завдання $u_{\text{ref}\varphi}$ для регулятора керма 9, який з необхідними динамічними характеристиками формує сигнал керування u_φ електроприводом керма 10. Електропривод керма змінює положення пера керма, яке діє на корму човна та повертає його на потрібний курс.

Система супутникової навігації передає вектор u_P поточних координат човна (широта φ та довгота λ), а також швидкість човна u_V .

3. Результати дослідження та обговорення

Задачу керування рухом безекіпажного судна з вітрильною пропульсивною установкою доцільно розділити на дві складові (відповідно рис. 2).

1. Задача курсотримання з врахуванням вимог до вітрильної установки.
2. Задача забезпечення максимальної ефективності вітрильної установки.

Перша складова вирішується побудовою спеціалізованого автокермового пристрою (АКП), який враховує специфіку руху судна під силовою дією вітрильної установки. Окрім традиційних для АКП складових елементів до нього необхідно включити систему, яка б враховувала рух судна галсами в залежності від напрямку вітру та бажаного напрямку руху. Для малотоннажного морського транспорту в якості кермових машин доцільно використовувати електроприводи. Тому загальна система керування курсом

безкіпажного судна (рис. 3) складається з наступних складових:

- M – memory (пам'ять);
- SD – setting device (задавач курсу);
- GPS – Global Positioning and Navigation System;
- CC – course corrector (коректор курсу);
- CR – course regulator (регулятор курсу);
- CS – speed control (регулятор швидкості);
- AM – actuating mechanism (виконавчий механізм);
- CB – control blade (кермо);
- BH – boat hull (корпус судна).

Пам'ять M призначена для зберігання координат зміни курсу для всієї місії. Запис цих координат виконується оператором перед виходом БНС у море.

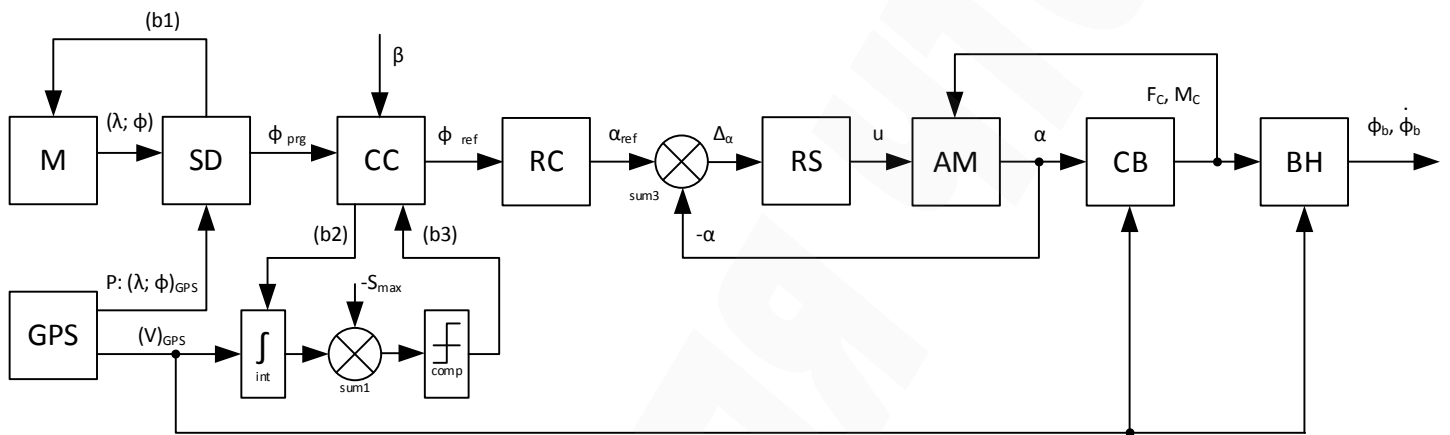


Рис. 3. Загальна структура системи керування курсом безкіпажного надводного судна з врахуванням режиму роботи вітрильної установки

Задавач курсу SD призначений для визначення програмного курсового кута φ_{prg} , або напрямку від поточних координат судна, отриманих від супутникової навігаційної системи (СНС) до наступних, записаних у пам'яті M:

$$\bar{V} = (a_1, a_2)_{\bar{V}} = (\lambda_f - \lambda_c)(\phi_f - \phi_c), \quad (1)$$

де λ_f, λ_c – довгота, відповідно, заданої та поточної координати; ϕ_f, ϕ_c – широта заданої та поточної координати.

Звідки програмний курсовий кут

$$\varphi_{prg} = \cos^{-1} \frac{(a_1)_{\bar{V}} \cdot (d_1)_{\bar{N}} + (a_2)_{\bar{V}} \cdot (d_2)_{\bar{N}}}{\sqrt{a_1^2 + a_2^2} \cdot \sqrt{d_1^2 + d_2^2}}, \quad (2)$$

де \bar{V} – вектор (a_1, a_2) на крапку зміни курсу; \bar{N} – вектор (d_1, d_2) на північ; φ_{prg} –

програмний курсовий кут.

Крім того блок SD формує сигнал запиту b1 наступної координати при досягненні заданої. На рис. 4 показано механізм формування програмного курсового кута при запрограмованому маршруті через точки ABCD. На основі координат поточної точки A і координат заданої точки зміни курсу B, визначається вектор руху \vec{V} . Далі на основі \vec{V} та відомого напрямку на магнітний північний полюс \vec{N} за виразом (2) визначається необхідний програмний курсовий кут φ_{prg} .

При досягненні крапки B, блок SD видає запит b1 до пам'яті на видачу наступної заданої точки зміни курсу C, визначається новий вектор руху \vec{V} та новий програмний курсовий кут. Далі процес повторюється, а на виході блоку SD з часом при послідовному проходженні ділянок заданого маршруту формуються необхідні напрямки руху БНС.

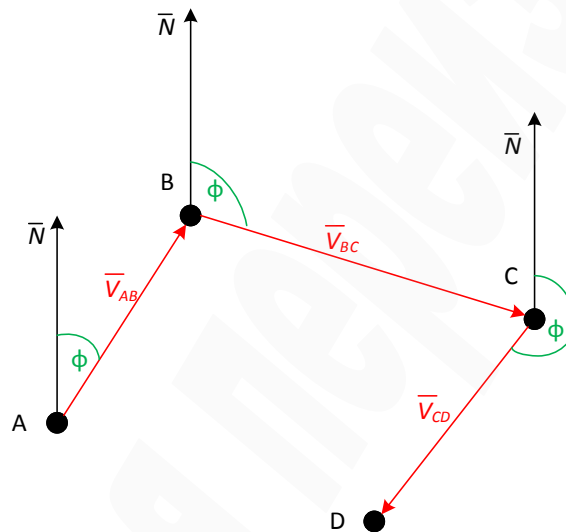


Рис. 4. Схема визначення програмного курсового кута φ_{prg} в точках заданого маршруту ABCD

Блок коректора курсу (CC) формує на основі φ_{prg} сигнал заданого курсу φ_{ref} , який може бути корегований для руху галсами, якщо вимпельний вітер відносно курсу діє під гострими кутами. Алгоритм роботи блоку описується наступними умовами:

$$\varphi_{ref} = \begin{cases} \varphi_{prg}, & \text{if } \pm 180 \leq \beta \leq \pm 50, \\ \varphi_{prg} \pm (50 - |\beta|), & \text{if } \pm 50 < \beta \leq 0, \end{cases} \quad (3)$$

де β – кут вимпельного вітру.

Операція \pm означає, якщо «+» то рух лівим галсом (вітер з лівого борту), якщо «-», то рух правим галсом (вітер з правого борту). Блок корекції курсу, як витікає з (3) вмикається при умові $\pm 50 < \beta \leq 0$.

На рис. 3 коректор курсу CC містить ланцюг, який складається з

інтегратора – int, суматора – sum1 та компаратора – comp. Призначення цих елементів – забезпечення рівнозначності пройдених шляхів при русі лівим та правим галсами. Це необхідно для утримання судна на заданому програмному курсі ϕ_{prg} . Для цього, інформація про миттєву лінійну швидкість судна – V_{GPS} , подається на інтегратор, який обчислює пройдений шлях S :

$$S = \int V_{GPS}(t) dt. \quad (4)$$

На суматорі обчислене значення пройденого шляху порівнюється з максимально дозволеним значенням цього параметра S_{MAX} , який встановлює оператор або відповідна підпрограма. Якщо $S \geq S_{MAX}$, то на виході компаратора формується бітовий сигнал b3, який сигналізує про необхідність зміни галсу. Після цього, коректор курсу змінює заданий курс ϕ_{ref} для руху іншим галсом, і при цьому змінює бітовий сигнал b2, який скидає в нульове значення результат інтегрування швидкості в інтеграторі для обрахунку шляху пройденого новим галсом.

На рис. 5 в момент часу $t1$ вимпельний вітер β змінив свій напрям (з -60° на -10°), тоді в роботу вступає коректор курсу, який змінить заданий програмний курс таким чином, щоб вітрильна установка була здатна створити рушійну силу. Судно почне рухатись правим галсом. Після проходження певного шляху S_R блок корекції змінить курс для руху судна лівим галсом згідно ϕ_{ref} до моменту подолання шляху S_L . Таким чином, судно «зигзагами» буде рухатись вздовж заданого програмного курсу ϕ_{prg} . При зміні вимпельного вітру на більший кут $\pm 50^\circ$, вітрила здатні працювати без зміни курсового кута і коректор перейде в режим безпосереднього утримання на програмному курсі коли $\phi_{ref} = \phi_{prg}$, так як показано в момент часу $t2$.

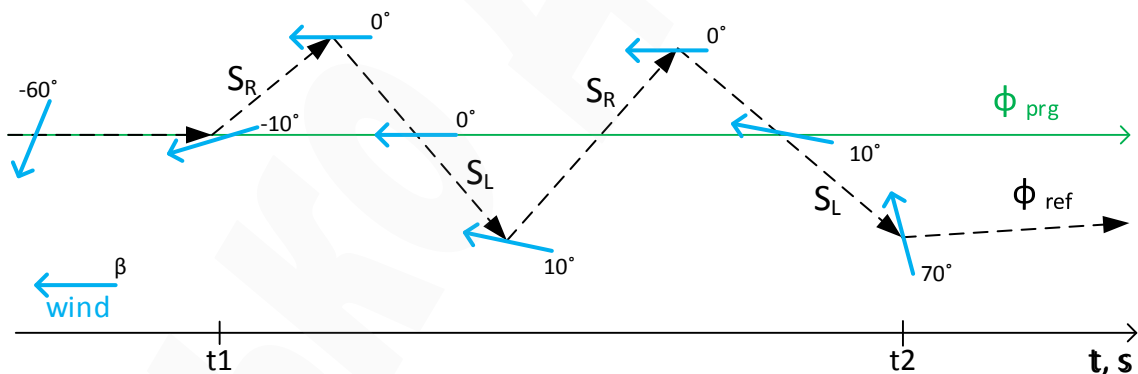


Рис. 5. Пояснення роботи коректора курсу та визначення заданого курсового кута ϕ_{ref} при русі судна відносно вітру курсом *лівий бейдвінд* – *левентік* – *правий бейдвінд*

Регулятор RC необхідний для врахування динаміки корпусу судна та хвилювання моря. Крім того даний регулятор реалізує численні поправки до курсу, як то магнітне схилення, девіацію, магнітні аномалії зокрема, власне поле і т. ін. На виході регулятора курсу формується сигнал заданого кута перекладки керма.

Регулятор швидкості RS призначений для врахування динаміки електромеханічної системи переміщення пера керма, для точного встановлення

заданого кута повороту пера керма $\alpha = \alpha_{ref}$ з заданими динамічними характеристиками ($\dot{\alpha} = optimum$, $\ddot{\alpha} = optimum$). Даний регулятор має від'ємний зворотній зв'язок по куту повороту пера керма. Вихідним сигналом регулятора RS є сигнал швидкості електропривода виконавчого механізму повороту керма AM.

Оскільки бортова електромережа БНС передбачається на постійному струмі в якості електродвигунів для привода вітрила та керма доцільно застосувати електропривод постійного струму, приводи з вентильними або кроковими двигунами. Проте не існує істотних обмежень на використання будь-якого типу електродвигунів, головне в даному випадку високий ККД та оптимальний алгоритм керування. Останні два блоки на рис. 4 описують відповідно динамічні властивості пера керма та корпусу судна як твердих тіл з оптичним профілем у потоці води.

В якості основних проблемних питань можна визначити наступні:

1. В моменти переходу судна з одного галсу на інший (тобто при $\beta=0$) виникає неоднозначність вибору курсу відносно напрямку вітру, яку можна ліквідувати врахуванням передісторії керування. Наприклад, якщо човен рухався лівим галсом, то очевидно, що при $\beta=0$ логічним буде рух правим галсом.

2. В моменти переходу судна з одного галсу на інший можливі випадки втрати швидкості і неконтрольований рух під дією вітру у підвітряну сторону. Для подолання такого явища БНС в обов'язковому порядку повинно мати резервну пропульсивну установку для можливості маневрування.

3. Складова аеродинамічної сили, що обертає судно навколо повздовжньої осі або кренить його, впливає на ефективну висоту вітрила та зміну довжини хорди профіля в горизонтальному перетині. Але можна вважати, що цей вплив незначний оскільки конструктивно БНС повинен мати дуже низький центр ваги та/або високий центр плавучості для забезпечення максимально можливої стійкості.

4. Рівнодіюча аеродинамічних сил (окрім випадків коли судно рухається курсами галфвінд та фордевінд) створює обертаючий момент відносно вертикальної осі судна, оскільки не співпадає з нею. Це приводить до відхилення судна від заданого курсу. Подолання цього моменту цілком можливо за допомогою системи керування курсом судна.

4. Висновки

В ході дослідження представлено відносно прості алгоритми керування, які можливі при використанні симетричних аеродинамічних профілей для жорстких вітрил. Такі вітрила дозволять відносно легко реалізувати режими руху безекіпажного судна галсами та режим бездії вітрила. Також показано необхідність побудови системи, яка поєднує функції керування кутом атаки крила-вітрила та керування курсом. При цьому система керування кутом атаки не залежна від системи керування курсом, а система керування курсом має враховувати режим вітрильної установки. Подолання же критичних точок переходу судна з одного галса на інший можливо при використанні додаткового рушійного пристрою.

Література

1. *The navy unmanned surface vehicle (USV) master plan (2007)*. Department of the Navy, 122.
2. Liu, Z., Zhang, Y., Yu, X., Yuan, C. (2016). Unmanned surface vehicles: An overview of developments and challenges. *Annual Reviews in Control*, 41, 71–93. doi: <http://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2016.04.018>
3. *Pro zatverdzhennia Morskoï doktryny Ukrainy na period do 2035 roku (2009)*. Postanova kabinet ministriv Ukrainy No. 1307. 07.10.2009. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/1307-2009-%D0%BF>
4. Blincov, V. S., Magula, V. E. (1997). *Proektirovanie samokhodnykh priviaznykh podvodnykh sistem*. Kyiv: Naukova dumka, 140.
5. Blintsov, O. (2016). Formation of a reference model for the method of inverse dynamics in the tasks of control of underwater complexes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4 (2 (82)), 42–50. doi: <http://doi.org/10.15587/1729-4061.2016.74875>
6. Miller, P., Judge, C., Sewell, D., Williamson, S. (2018). An Alternative Wing Sail Concept for Small Autonomous Sailing Craft. *Robotic Sailing 2017*, 3–17. doi: http://doi.org/10.1007/978-3-319-72739-4_1
7. Domínguez-Brito, A. C., Valle-Fernández, B., Cabrera-Gámez, J., Ramos-de-Miguel, A., García, J. C. (2015). A-TIRMA G2: An Oceanic Autonomous Sailboat. *Robotic Sailing 2015*, 3–13. doi: http://doi.org/10.1007/978-3-319-23335-2_1
8. Li, Q., Nihei, Y., Nakashima, T., Ikeda, Y. (2015). A study on the performance of cascade hard sails and sail-equipped vessels. *Ocean Engineering*, 98, 23–31. doi: <http://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.02.005>
9. Silva, M. F., Friebe, A., Malheiro, B., Guedes, P., Ferreira, P., Waller, M. (2019). Rigid wing sailboats: A state of the art survey. *Ocean Engineering*, 187, 106150. doi: <http://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.106150>
10. Atkinson, G. M., Binns, J. (2018). Analysis of drag, airflow and surface pressure characteristics of a segment rigid sail. *Journal of Marine Engineering & Technology*, 17 (3), 143–152. doi: <http://doi.org/10.1080/20464177.2018.1492341>
11. Pope, A. (1949). *The forces and moments over an NACA 0015 airfoil throughli 180° angle of attack*, «Aerodigest», 4.

The object of research is an unmanned surface ship with a sailing installation. One of the problems in controlling a sailing ship using automatic systems is the almost infinite number of static and dynamic states of traditional sails, which are difficult to detect and difficult to predict. In addition, the ability of traditional sails to twist and engage is known, and all operations with sails are performed through the operation of a running and standing rigging, that is, indirectly. Given the need for continuous deployment and cleaning of conventional sails, building an automatic control system for them will obviously be an extremely difficult task.

The paper considers an alternative to the traditional sail – a rigid sail-wing. For unmanned surface ships, the sail-wing is proposed to be made on the basis of symmetrical aerodynamic profiles. Such a sail-wing will simplify such a procedure as cleaning the sail, that is, ensuring its inactivity, as well as simplify the procedure for

the transition of a sailing ship by moving the right or left tacks.

The study presents relatively simple control algorithms that are possible when using symmetrical aerodynamic profiles for rigid sails. Such sails will make it relatively easy to implement the modes of motion of unmanned ships with tacks, as well as the mode of inactivity of the sail. Also shown is the need to build a system that combines the functions of controlling the angle of attack of the wing-sail and course control. In this case, the control system of the angle of attack does not depend on the heading control system, and the heading control system must take into account the sailing mode. Overcoming the critical transition points of the ship from one tack to another is possible using an additional propulsion device. The control of the sailing can be carried out using one single electric drive returns it relative to the wind at a given angle of attack, which ensures its driving force.

Keywords: *unmanned surface ship, heading control, sail angle control, integrated control system, autocontrol.*