

## МЕТОДИ ЗБЛИЖЕННЯ ПОВІТРЯНОГО АБО МОРСЬКОГО СУДНА З ІНШИМ СУДНОМ, ТА АЛГОРИТМІВ ТРАЄКТОРНОГО КЕРУВАННЯ НИМИ

**Селіванов С. Є.**, д.т.н., професор Херсонської державної морської академії, e-mail: selivanstas1940@gmail.com, ORCID: 0000-0001-8813-6276

**Годованюк С. П.**, к.т.н., старший викладач Херсонської державної морської академії, e-mail: godovaniuk1969@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0382-2440

*Згідно стандарту вищої освіти України: перший (бакалаврський) рівень, галузь знань 27 – Транспорт, за спеціальністю 275 – Транспортні технології до спеціальних (фахових, предметних) компетентностей відноситься «здатність організовувати взаємодію видів транспорту», тому у роботі наводяться результати наукових досліджень по зазначеній темі. Необхідність взаємодії між морським і повітряним судном або морським судном з іншим може виникнути в тих випадках, якщо одне з них або перебуває в аварійній ситуації, або бере участь в операціях SAR (search and rescue – пошук і рятування). Для поліпшення характеристик траєкторії керованого руху рятувальних засобів в точку зустрічі з аварійним судном повітряного або морського судна, запропоновано вводити в систему керування та стабілізації рятувального засобу алгоритм (метод) зближення. Аналіз досвіду керування суднами показує, що метод прямого зближення використовується при зближенні з неманевреними малорухомими об'єктами. Розглянутий алгоритм прямого зближення при командному керуванні повітряним судном; метод зближення з найвигіднішою точкою випередження під час штурвального керування повітряним судном; синтез методів зближення морських засобів рятування на воді та алгоритмів траєкторного керування; проаналізовані методи зближення морських суден з аварійним об'єктом; показано, що метод прямого зближення суттєво не відрізняється від методу зближення повітряного судна із аварійним судном; приведена схема стабілізації судна на відрізках маршруту.*

**Ключові слова:** синтез методів, методи зближення, повітряне судно, морське судно, рятувальне судно, алгоритм траєкторного керування, схема стабілізації судна.

**DOI: 10.33815/2313-4763.2020.2.23.040–049**

**Вступ.** У разі виникнення аварійної ситуації на морі починає працювати єдина система пошуку та рятування на морі в Україні. Залежно від обстановки, яка супроводжує аварійну ситуацію та швидкості її розвитку, в процесі порятунку застосовуються авіаційні або морські засоби рятування, а в разі високої динаміки розвитку аварійної ситуації можуть використовуватися і ті й інші засоби одночасно або послідовно. Для широкомасштабної пошуково-рятувальної операції прийняте скорочення MRO (mass rescue operation) [1, 2].

Авіаційні засоби зближення із судном використовуються у випадку надання допомоги екіпажу судна. У цьому випадку використовується метод прямого зближення. Для надання допомоги екіпажу судна, наприклад, що дрейфує та рухається прямолінійно з постійною швидкістю, доцільно використовувати метод зближення з найдоцільнішою точкою зустрічі.

Після визначення оптимального району, у якому необхідно розгортати зближення повітряного або морського судна необхідно спланувати план дій, у якому вказується, коли, де повинно знаходитися засіб що бере участь у операції [3, 4]

Для поліпшення характеристик траєкторії керованого руху рятувальних засобів в точку зустрічі з аварійним судном повітряного або морського судна, запропоновано вводити в систему керування та стабілізації рятувального судна алгоритм (метод) зближення суден. Аналіз досвіду керування суднами показує, що метод прямого зближення використовується при зближенні з неманевреними малорухомими об'єктами.

**Постановка задачі.** Залежність параметра керування траєкторним зближенням від параметрів, що характеризують взаємне переміщення аварійного судна й авіаційного засобу порятунку (літака, вертольота) у процесі їх зближення, окреслюється алгоритмом траєкторного керування. Кожному алгоритму траєкторного керування та відповідному рівнянню ідеального зв'язку відповідає певний метод зближення літака (вертольота) з аварійним судном. Під час руху літака протягом усього часу польоту по траєкторії

зближення, для якої виконуються умови ідеального зв'язку для каналів бічного й поздовжнього рухів, можна стверджувати, що літак рухається ідеальною траєкторією, яку в розрахунках можна вважати опорною.

На вибір методу зближення впливають тип об'єкта, який рятують, і характер його руху (дрейфу), а також вид технічних засобів рятування [5].

На вибір певного методу зближення істотно впливають маневрені властивості літака (вертольота) та судна, яке рятується у дрейфі. Якщо ці судна мають малу маневреність, то траєкторне керування літаком за курсом на етапі зближення з аварійним судном зводиться відповідно до методу прямого наведення. Перевага такого методу полягає в тому, що повітряне судно не повинно робити значний маневр у горизонтальній площині.

Із урахуванням параметрів керування записується алгоритм прямого зближення при командному керуванні повітряним судном, розглядається метод зближення з найвигіднішою точкою випередження під час штурвального керування повітряного судна. По визначеному сценарію проаналізовані методи зближення морських суден з аварійним об'єктом і обрані типові з них.

**Мета роботи.** Головною метою синтезу методу є визначення алгоритму траєкторного керування, що забезпечує суттєве скорочення часу на подолання відстані до точки зустрічі засобів рятування з аварійним судном.

**Результати досліджень.** Дослідження проводились по двом сценаріях: 1. Синтез методів зближення авіаційних засобів рятування із судном, що потерпає від лиха, та алгоритмів траєкторного керування ними; 2. Синтез методів зближення морських засобів рятування на воді та алгоритмів траєкторного керування.

Розглянемо перший сценарій для цього проведемо результати дослідження алгоритму прямого зближення при командному керуванні повітряним судном.

Параметрами керування траєкторним зближення  $U_{\text{пр.Г}}$  й  $U_{\text{пр.В}}$  повітряного судна для каналів бічного та поздовжнього керування є кути  $\varphi_{\text{Г}}$ ,  $\varphi_{\text{В}}$ , які утворюють дві взаємно перпендикулярні проекції кута між поздовжньою віссю і лінією візування в площині, у яких здійснюється керування за курсом і тангажем відповідно до такого алгоритму [6]:

$$U_{\text{пр.Г}} = k_{\text{п.м}} \varphi_{\text{Г}}; \quad (1)$$

$$U_{\text{пр.В}} = k_{\text{п.м}} \varphi_{\text{В}}. \quad (2)$$

Основна перевага цього методу полягає в простоті одержання необхідних керувальних сигналів  $\varphi_{\text{Г}}$  і  $\varphi_{\text{В}}$ .

Істотним недоліком методу прямого зближення є вимога стабілізації поздовжньої осі повітряного судна по лінії візування  $s_{\text{о}}$  (рис. 1). Задовольнити цю вимогу можна тільки під час зближення з нерухомим об'єктом порятунку. З аналізу рис. 1. випливає, що навіть при ідеальному зближенні, повітряне судно летить у фіктивну точку  $O_{\text{ф.АС}}$ . Тому, рятувальне повітряне судно буде наближатися до судна, що потерпає від лиха, завжди із задньої напівсфери. Із цього аналізу видно, що метод прямого зближення може бути прийнятним під час зближення повітряного судна із нерухомим об'єктом, що терпить лихо на воді.

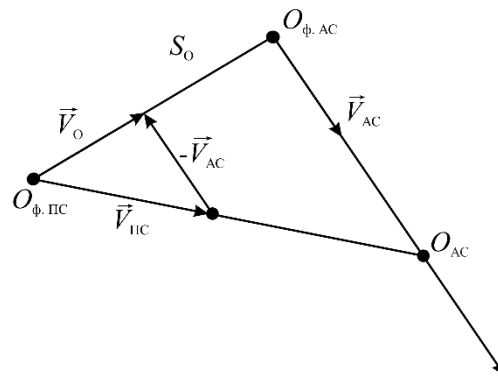


Рисунок 1 – Геометричні співвідношення, що характеризують процес ідеального зближення повітряного судна у горизонтальній площині

Розглянемо метод зближення з найвигіднішою точкою випередження під час штурвального керування повітряного судна.

У разі зближення повітряного судна із аварійним судном, використовуючи цей метод зближення, параметрами керування в ручному режимі будуть [7]:

$$U_{NG} = k_{Г.М}(\varphi_{Г}^* - \varphi_{Г.Н}^*); \tag{3}$$

$$U_{NB} = k_{П.М}(\varphi_{В}^* - \varphi_{В.Н}^*), \tag{4}$$

де  $\varphi_{Г}^*$  і  $\varphi_{В}^*$  – фактичні кути між лінією візування й вектором повітряної швидкості в площині його поздовжнього й бічного рухів;  $k_{Г.М}$  – масштабний коефіцієнт, аналогічний  $k_{П.Н}$  при методі прямого наведення.

Кути  $\varphi_{Г}^*$  і  $\varphi_{Г.Н}^*$  визначаються в горизонтальній площині, а кути  $\varphi_{В}^*$  і  $\varphi_{В.Н}^*$  – у вертикальній.

Припускаючи, що повітряне судно рухається на зближення з аварійним судном на постійній висоті зі сталою швидкістю, побудуємо трикутник їх зближення  $O O_{AC} O_{ТЗ}$  у горизонтальній площині (рис. 2).

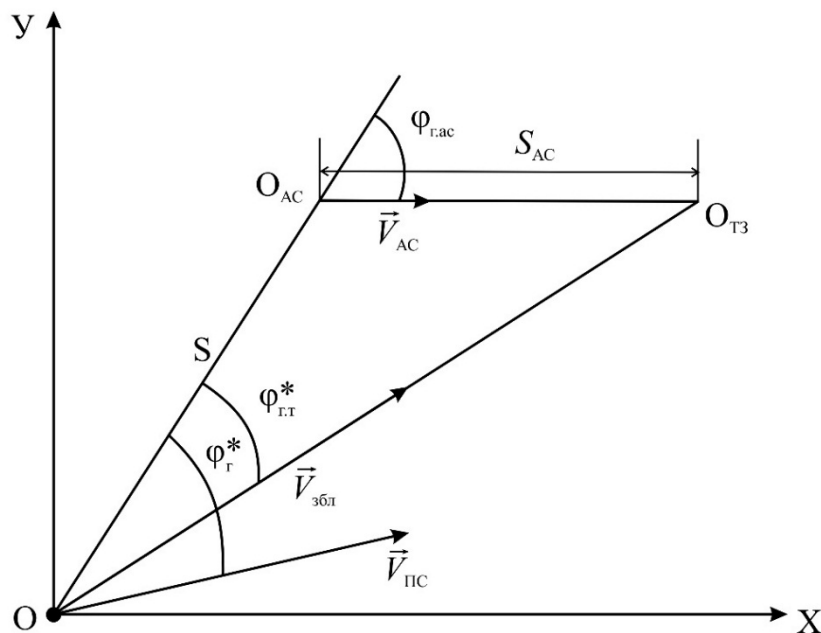


Рисунок 2 – Трикутник зближення повітряного судна з аварійним судном, що дрейфує, у горизонтальній площині

На рис. 2. точками  $O O_{AC} O_{T3}$  позначено положення повітряного судна, судна, що потерпає аварію та найвигіднішої точки упередження в поточний момент часу. У процесі їх ідеального зближення, повітряне судно рухається прямолінійно в напрямку точки  $O_{T3}$ , куди само дрейфує аварійне судно.

Для визначення кута упередження  $\varphi_{ГТ}^*$ , скориставшись трикутником рис. 1, запишемо:

$$S = V_c t_H \cos \varphi_{ГТ}^* - V_{AC} t_H \cos \varphi_{Гac}^*; \quad (5)$$

$$V_{AC} t_H \sin \varphi_{Гac}^* = V_c t_H \sin \varphi_{ГТ}^*. \quad (6)$$

У рівняннях (5) і (6)  $V_{AC}$  – вектор швидкості аварійного судна (його дрейф);  $t_H$  – час зближення повітряного судна з аварійним судном,  $S$  – відстань між повітряним судном і аварійним судном  $O O_{AC}$ ;  $U_{HT}$  – кутова похибка зближення,  $U_{HT} = \varphi_{ГТ} \cdot \varphi_{ГТ}^*$  щодо лінії  $O O_{T3}$ ;  $\varphi_{Гac}^*$  – кут між вектором  $V_{AC}$  і лінією візування  $O O_{AC}$ .

Додамо до динамічних рівнянь кінематичні рівняння:

$$V_{збл} = V_{AC} \cos \varphi_{Гac}^* - V_c \cos \varphi_{ГТ}^*; \quad (7)$$

$$S \dot{\varepsilon} = V_c \sin \varphi_{Гac}^* - V_{AC} \sin \varphi_{Гac}^*, \quad (8)$$

які визначаються як проекції векторів  $V_{AC}$  і  $V_{T3}$  на лінію візування  $O O_{T3}$  і є нормальні до неї. Щоб виразити кут  $\varphi_{ГТ}^*$  через параметри взаємного руху повітряного судна і судна, що терпить лихо, досить розв'язати системи рівнянь (7), (8), (5) і (6). Насправді, помноживши обидві частини рівняння (5) на час  $t_H$  і вносячи отриманий результат (6), визначимо:

$$\sin \varphi_{ГТ}^* = -\frac{StH}{V_{ctc}} + \dot{\varepsilon}_H, \quad (9)$$

на практиці замість (5) використовують більш компактне представлення:

$$\varphi_{ГТ}^* = -S\omega_{ГТ} / k_{SV}. \quad (10)$$

Необхідний кут  $\varphi_{BT}^*$  визначається за тою самою методикою, що і  $\varphi_{ГТ}^*$ .

Необхідний кут приблизно можна обчислити:

$$\varphi_{BT}^* = -S\omega_B / k_{SV}, \quad (11)$$

де  $\omega_B$ ,  $\omega_{ГТ}$  – кутові швидкості по лінії візування  $S$  у вертикальній і горизонтальній площинах відповідно. Вирази (10) і (11) являють собою алгоритми роботи бортового обчислювача при визначенні  $\varphi_{ГТ}^*$  і  $\varphi_{BT}^*$ .

Таким чином, під час рятування людей з судна, що терпить лихо, доцільно використовувати авіаційні засоби порятунку, що є ефективними в цьому випадку та використовувати технічні засоби порятунку людей. Отже для проведення операції рятування людей на морі можна застосовувати метод прямого зближення. Для надання допомоги судну, що дрейфує та рухається прямолінійно з постійною швидкістю, доцільно використовувати метод зближення з найдоцільнішою точкою зустрічі.

При зближенні з аварійним судном, що маневрує, найвигідніше зближатися методом пропорційної навігації [8].

У цьому випадку керуючі впливи залежать від кутової швидкості обертання лінії візування  $S$  :

$$\left. \begin{aligned} U_{\Gamma} &= k_{\text{пн}} \dot{\varphi}_{\Gamma, \Gamma}^* \\ U_{\text{В}} &= k_{\text{пн}} \dot{\varphi}_{\text{ВТ}}^* \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

де  $k_{\text{пн}}$  – коефіцієнт пропорційної навігації (зближення);  $\dot{\varphi}_{\Gamma, \Gamma}^*$  і  $\dot{\varphi}_{\text{ВТ}}^*$  – проекції кутової швидкості лінії  $S$  на горизонтальну та вертикальну площини відповідно.

Проекції кутової швидкості лінії візування  $\omega_s$  вимірюються відповідними датчиками кутової швидкості  $ДКШ_{\Gamma}$  і  $ДКШ_{\text{В}}$  та вносяться у вигляді виправлень у систему керування та стабілізації (рис. 2).

Таким чином, при рятуванні суден, що терплять лихо на морі та дрейфують під впливом зовнішніх факторів, скоротити час прибуття повітряного судна у точку зустрічі можна введенням у закон керування відповідних складових, що коригують рух рятувального повітряного судна по найвигіднішій траєкторії зближення (рис. 3).

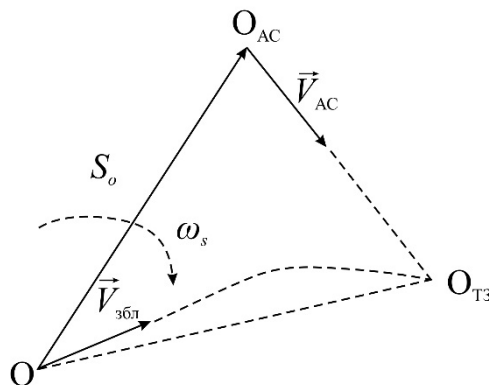


Рисунок 3 – Траєкторія зближення в точку зустрічі повітряного судна  $O_{\text{ТЗ}}$  методом пропорційної навігації

Типовими методами зближення рятувального повітряного судна з аварійним слід уважати: для неманевреного дрейфу з постійною швидкістю – метод зближення з найвигіднішою точкою зустрічі; для аварійного судна, що маневрує, – метод пропорційного зближення (навігації).

Другий сценарій результату досліджень: синтез методів зближення морських засобів рятування на воді та алгоритмів траєкторного керування.

У разі виникнення аварійної ситуації на морі починає працювати єдина система пошуку та рятування на морі в Україні. Залежно від обстановки, яка супроводжує аварійну ситуацію та швидкості її розвитку, в процесі порятунку застосовуються авіаційні або морські засоби рятування, а в разі високої динаміки розвитку аварійної ситуації можуть використовуватися і ті й інші засоби одночасно або послідовно. Траєкторне зближення авіаційних засобів і алгоритм керування було розглянуте вище.

Проаналізуємо методи зближення морських суден з аварійним об'єктом і виберемо типові з них.

У цьому випадку, з урахуванням того, що метод паралельного зближення є окремим випадком методу пропорційної навігації також можуть застосовуватися три методи зближення [9]:

- метод прямого зближення;
- метод зближення з найвигіднішою точкою випередження;
- метод пропорційного зближення (навігації).

Метод прямого зближення суттєво не відрізняється від методу зближення ПС із аварійним судном. Він характерний тим, що капітан судна-рятувальника повинен утримувати поздовжню вісь свого судна постійно спрямованою на судно, яке рятує. Очевидно, такого добитися вкрай складно при зближенні з об'єктом, що рухається. Метод застосовується тільки при зближенні з нерухомим об'єктом (людьми на воді та ін.).

Метод зближення з найвигіднішою точкою зустрічі аналогічний зближенню за цим методом ПС із судном, що терпить лихо. Однак, ураховуючи відносно малу швидкість дрейфу аварійного судна, цей метод застосовуємо для зближення з об'єктом на великих відстанях – рух судна-рятувальника по маршруту на його лінійних відрізках. Вимогою до системи прямування судна по лінійному відрізку маршруту є точне визначення часу початку повороту на новий відрізок. Ця вимога може бути виконана в разі використання сучасних методів прогнозу маневру судна-рятувальника.

Критерієм оптимальності керування курсом є функціонал, що враховує дисперсію ризику та дисперсію перекладання керма [6, 7]:

$$J = V_{ар}(\Psi) + P V_{ар}(\beta),$$

де  $V_{ар}(\Psi)$  і  $P V_{ар}(\beta)$  – дисперсія кута ризику та кутів перекладання керма відповідно;  $P$  – ваговий коефіцієнт.

Загалом закон перекладання керма у роботі визначається:

$$\beta_u = k_p \Psi + k_d \dot{\Psi} + k_i \int_{t_1}^{t_2} \Psi dt, \quad (13)$$

де  $k_p$ ,  $k_d$ ,  $k_i$  – коефіцієнти підсилення пропорційної, диференціюючої та інтегруючої ланок відповідно.

Аналіз досвіду керування суднами показує, що такий метод зближення використовується при зближенні з неманевреними малорухомими об'єктами.

Пропорційне зближення судна-рятувальника з аварійним маневруючим об'єктом застосовується при маневруванні судна-рятувальника, що зближується з аварійним маневруючим об'єктом задля скорочення часу (шляху) під час зближення  $t_j$ .

Рівняння ризику у спрощеному вигляді запишемо так [7]:

$$\tau_1 \dot{\Psi} \pm \Psi = k_1 \beta, \quad (14)$$

або з урахуванням, що  $\dot{\Psi} \approx \omega_{\Psi}$  маємо

$$\tau_1 \omega_{\Psi} \pm \omega_{\Psi} = k_1 \beta, \quad (15)$$

де  $\tau_1$  – стала часу судна;  $k_1$  – коефіцієнт передачі за керуючим впливом, знак «плюс» у формулі (15) відповідає стійким на курсі суднам, знак «мінус» – нестійким.

Критерій оптимальності для такого закону керування запишемо у вигляді:

$$J = V_{ар}(\Delta U) = \min, \quad (16)$$

де  $V_{ар}(\Delta U)$  – дисперсія коригувань курсу.

На поточне значення бічного відхилення судна  $Y$  від лінії шляху накладається обмеження:  $Y < Y_{доп}$ .

Крім критерію (16), якість корекції траєкторії зближення визначається рівнем статичної похибки утримання судна на маршруті (рис. 4). Визначимо маршрутні

координати системи. Зв'язок між географічними  $\varphi$ ,  $\lambda$  і маршрутними  $Y$ ,  $S$  координатами судна на активному відрізку маршруту АВ (рис. 4) опишемо залежностями [7]:

$$\begin{cases} \Delta\varphi = \varphi - \varphi_A; \\ \Delta\omega = (\lambda - \lambda_A) \cos[0,5(\lambda - \lambda_A)] \end{cases} \quad (17)$$

де  $\varphi_A$ ,  $\lambda_A$  – широта й довгота початкової точки активного відрізка маршруту.

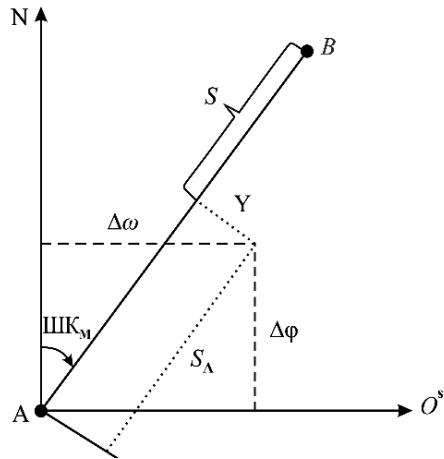


Рисунок 4 – Маршрутні координати судна-рятувальника

Маршрутні координати судна розраховуються по його прямокутних координатах  $\Delta\omega$ ,  $\Delta\varphi$ :

$$\begin{cases} \lambda = \Delta\omega \cos ШК_M - \Delta\varphi \sin ШК_M; \\ S_A = \Delta\omega \sin ШК_M - \Delta\varphi \cos ШК_M, \end{cases} \quad (18)$$

де  $ШК_M$  – шляховий кут (магнітний).

Відстань по відрізку маршруту до шляхової точки  $B$  дорівнює:

$$S = S_{AB} - S_A,$$

де  $S_{AB}$  – довжина відрізка маршруту.

Стабілізацію судна на відрізку шляху можна здійснити двоконтурною схемою (рис. 5), яка включає регулювальний курс обладнання (АР) і систему, що керує рухом по траєкторії (Track control system) і відрізняється від відомих схем введенням в неї додаткової корекції, що враховує метод зближення.

Від позиційного датчика (приймач-індикатор однієї із супутникових систем: GPS, Глонас, DGPS, ДГлонас) у Track control system надходять дані про координати судна й параметри руху ( $\varphi$ ,  $\lambda$ , ШК,  $V$ ), також у цю систему від модуля планування шляхів вводяться дані запланованого маршруту та методу зближення.

У разі втримання судна на відрізку маршруту заданий алгоритм коригування курсу (стабілізації) можна визначити в такий спосіб [7]:

$$k_{ui} = k_A + U_i. \quad (19)$$

У виразі (19)  $k_A$  – ШК<sub>М</sub> маршрутний шляховий кут активного відрізка маршруту;  $U_i$  – курсова поправка до  $k_A$ . Пропорційно-інтегральний закон вироблення виправлень до  $k_A$  при пропорційному методі зближення буде таким:

$$U_i = r_n Y_i + r_u \int_{t_1}^{t_2} Y_i dt = U_n + U_k, \quad (20)$$

де  $r_n$ ,  $r_u$  – коефіцієнти пропорційної  $U_n$  та інтегральної  $U_u$  складових закону коригування.

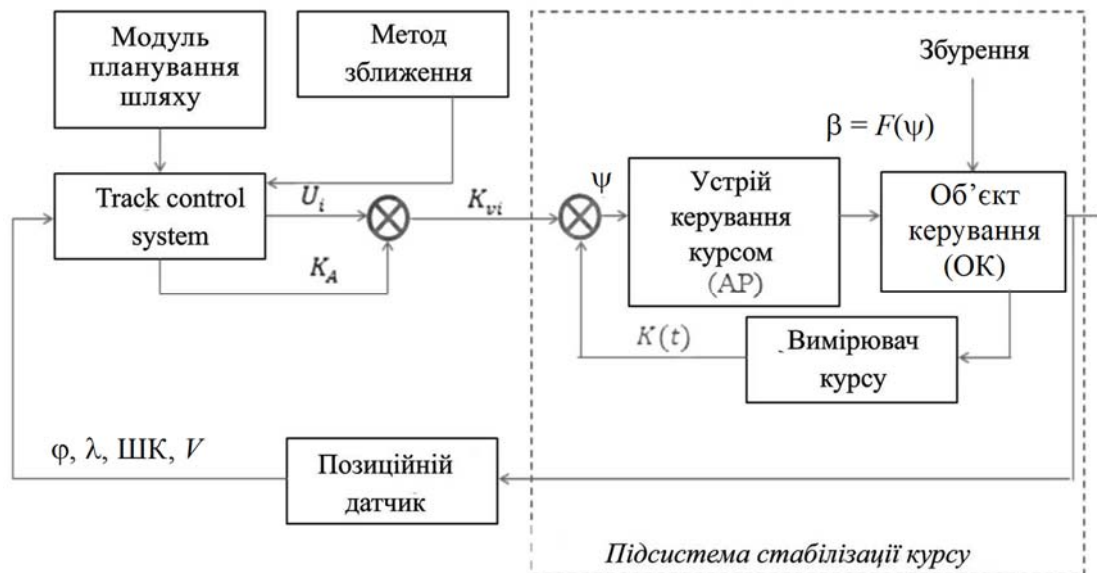


Рисунок 5 – Схема стабілізації судна на відрізках маршруту

Складова закону коригування (20)  $U_n = r_n Y_i$  є основним керуванням, що забезпечує пропорційне повернення на лінію шляху.

Отже, у разі виникнення аварійної ситуації на морі, залежно від аварії і швидкості та характеру її розвитку, для рятувальних робіт можуть залучатися:

- для порятунку судна – авіаційні й морські засоби рятування, які використовують метод зближення з найвигіднішою точкою упередження при прямолінійному дрейфі з малою швидкістю або методу пропорційної навігації при зближенні з аварійним судном, що маневрує;
- для рятування людей на воді можуть залучатися авіаційні засоби рятування та евакуації, а також найближчі до місця аварії морські засоби, що наводяться за методом прямого зближення.

Ураховуючи швидкоплинність розвитку аварійної ситуації й трудомісткість процесу рятування на морі, усі види робіт з ліквідації наслідків аварії потребують автоматизації, а також скорочення часу, що витрачається на подолання відстані між судном-рятувальником і судном, яке рятуєть [10].

**Висновки.** Проведено синтез методів зближення авіаційних та морських засобів пошуку та рятування на морі із аварійним судном та алгоритмів траєкторного керування ними. Встановлено, що найбільш ефективним є зближення за методом пропорційної навігації з аварійним судном, яке зазнає швидкісний дрейф з маневруванням та за методом зближення з найвигіднішою точкою випередження, якщо аварійне судно дрейфує прямолінійно з незначною швидкістю, що дало можливість рекомендувати розробникам систем керування судном додати до таких систем режим автоматизованого вводу метода зближення.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Про відновлення єдиної системи пошуку та рятування на морі : постанова Кабінету Міністрів України № 158 від 24 лютого 2016 р. Київ, 2016.
2. Наставление по международному авиационному и морскому поиску и спасанию (ИАМСАР). Санкт-Петербург : ЦНИИМФ, 2013. Том 2. 552 с.
3. Руководство по международному авиационному и морскому поиску и спасанию. Лондон: ИМО, 2013. Т. I. 150 с. Т. II. 522 с.
4. Международная Конвенция по охране человеческой жизни на море 1974 года СОЛАС (текст, измененный Протоколом 1988 года к ней, с поправками). Санкт-Петербург : ЦНИИМФ, 2010. 992 с.
5. Сичкарев В. И. Использование в судовождении гидрометеорологической информации. Новосибирск : ГАВТ, 1999. 175 с.
6. Казак В. М. Системні методи відновлення живучості літальних апаратів в особливих ситуаціях у польоті. Київ : НАУ-друк, 2010. 284 с.
7. Вагущенко Л. Л., Цымбал Н. Н. Системы автоматического управления движением судна. Одесса : Ластар, 2002. 310 с.
8. Казак В. Н., Бояринов И. А. Оценивание параметров математической модели беспилотного летательного аппарата. Проблемы експлуатації та надійності авіаційної техніки : збірник наукових праць. Київ : КМУЦА, 1998. С. 67–71.
9. Ермолаев Г. Г., Зотеев Е. С. Основы морского судовождения. Москва : Транспорт, 1988. 265 с.
10. Березин С. Я., Тетюев Б. А. Системы автоматического управления движением судна по курсу. Ленинград : Судостроение, 1990. 256 с.

## REFERENCES

1. Pro vidnovlennia yedynoi systemy poshuku ta riativannia na mori : postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy # 158 vid 24 liutoho 2016. Kyiv.
2. Nastavlenie po mezhdunarodnomu aviacionnomu i morskому poisku i spasaniyu (IAMSAR). (2013). Sankt-Peterburg : CNIIMF. Vol. 2.
3. Rukovodstvo po mezhdunarodnomu aviacionnomu i morskому poisku i spasaniyu. (2013). London: IMO. Vol. I. Vol. II.
4. Mezhdunarodnaya Konvenciya po okhrane chelovecheskoj zhizni na more 1974 goda SOLAS (tekst, izmenennihj Protokolom 1988 goda k nej, s popravkami). (2010). Sankt-Peterburg : CNIIMF.
5. Sichkarev V. I. (1999). *Ispoljzovanie v sudovozhdenii gidrometeorologicheskoy informacii*. Novosibirsk : GAVT.
6. Kazak V. M. (2010). *Systemni metody vidnovlennia zhyvuchosti litalnykh aparativ v osoblyvykh situatsiiakh u poloti*. Kyiv : NAU-druk.
7. Vaguthenko L. L. & Cihmbal N. N. (2002). *Sistemih avtomaticheskogo upravleniya dvizheniem sudna*. Odessa : Lastar.
8. Kazak V. N., Boyarinov I. A. (1998). Ocenivanie parametrov matematicheskoy modeli bespilotnogo letatel'nogo apparata. *Problemy ekspluatatsii ta nadiinosti aviatsiinoi tekhniki : zbirnyk naukovykh prats*. Kyiv : KMUTSA, 67–71.
9. Ermolaev G. G., Zoteev E. S. (1988). *Osnovih morskogo sudovozhdeniya*. Moskva : Transport.
10. Berezin S. Ya., Tetyuev B. A. (1990). *Sistemih avtomaticheskogo upravleniya dvizheniem sudna po kursu*. Leningrad : Sudostroenie.

**Селиванов С. Е., Годованюк С. П. МЕТОДЫ СБЛИЖЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ИЛИ МОРСКОГО СУДНА С ДРУГИМ СУДНОМ, И АЛГОРИТМОВ ТРАЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ИМИ**

*Согласно стандарта высшего образования Украины: первый (бакалаврский) уровень, область знаний 27 – Транспорт, по специальности 275 – Транспортные технологии к специальным (профессиональным, предметным) компетенциям относится «способность организовывать взаимодействие видов транспорта», поэтому в работе приводятся результаты научных исследований по указанной теме. Необходимость взаимодействия между морским и воздушным судном или морским судном с другим, может возникнуть в тех случаях, если одно из них или находится в аварийной ситуации, или принимает участие в операциях SAR (search and rescue – поиск и спасения). Для улучшения характеристик траектории управляемого движения спасательных средств в точку встречи с аварийным судном воздушного или морского судна, предложено вводить в систему управления и стабилизации спасательного судна алгоритм (метод) сближения суден. Анализ опыта управления суднами показывает, что метод сближения используется при сближении с неманевренными малоподвижными объектами. Рассмотренный алгоритм прямого сближения при командном управлении воздушным судном; метод сближения с наиболее выгодной точкой опережения во время штурвального управления воздушным судном; синтез методов сближения морских средств спасания на воде и алгоритмов траекторного управления; проанализированные методы сближения морских судов с аварийным объектом; показано, что метод прямого сближения существенно не отличается от метода сближения воздушного судна с аварийным судном; приведена схема стабилизации судна на отрезках маршрута.*

**Ключевые слова:** синтез методов, методы сближения, воздушное судно, морское судно, спасательное судно, алгоритм траекторного управления, схема стабилизации судна.

**Selivanov S. E., Godovanyuk S. P. METHODS OF APPROACHING AN AIRCRAFT OR SEA SHIP WITH ANOTHER VESSEL, AND ALGORITHMS OF THE TRACTOR CONTROL OF THEM**

*According to the standard of higher education of Ukraine: the first (bachelor's) level, area of knowledge 27 – Transport, in specialty 275 – Transport technologies, special (professional, subject) competencies include "the ability to organize the interaction of modes of transport", therefore, the work provides the results of scientific research on topic. The need for interaction between sea and air ship or sea vessel with another, may occur in cases where one of them is either in an emergency, or takes part in SAR (search and rescue) operations. To improve the characteristics of the trajectory of the controlled movement of life-saving appliances to the point of meeting with the damaged aircraft or sea vessel, it is proposed to introduce an algorithm (method) of approaching ships into the control and stabilization system of the rescue vessel. Analysis of the experience of ship control shows that the rendezvous method is used when rendezvous with non-maneuverable sedentary objects. The considered algorithm of direct approach for command control of the aircraft; the method of approaching the most advantageous lead point during steering control of the aircraft; synthesis of methods for approaching marine rescue equipment on water and algorithms for traction control; analyzed methods of approaching ships with an emergency facility; it is shown that the method of direct rendezvous does not differ significantly from the method of rendezvous between an air craft and an emergency ship; the scheme of vessel stabilization on the route sections is shown.*

**Keywords:** synthesis of methods, methods of rendezvous, aircraft, sea-going vessel, rescue vessel, algorithm, trajectory control algorithm, vessel stabilization scheme.

© Селіванов С. Е., Годованюк С. П.

Статтю прийнято  
до редакції 26.08.20