

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ “ОДЕСЬКА МОРСЬКА АКАДЕМІЯ”  
(НУ «ОМА»)

Кулаков Максим Олександрович



УДК 656.61.052

**РОЗРОБКА СПОСОБУ ВИБОРУ МАНЕВРУ РОЗХОДЖЕННЯ ЗМІНОЮ  
ШВИДКОСТЕЙ СУДЕН ПРИ ЇХ ЗОВНІШНЬОМУ  
УПРАВЛІННІ**

Спеціальність 05.22.13 - навігація та управління рухом

Дисертація на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Одеса – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному університеті «Одеська морська академія» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент,  
завідувач кафедри управління судном,  
**Бурмака Ігор Олексійович,**  
Національний університет «Одеська морська академія»  
Міністерства освіти і науки України.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,  
завідувач кафедри морських технологій,  
**Зайцев Володимир Васильович,**  
Національний університет кораблебудування ім. адм.  
Макарова Міністерства освіти і науки України.

кандидат технічних наук, доцент кафедри технічних  
систем і процесів управління в судноводінні,  
**Доронін Володимир Васильович,**  
Державний університет інфраструктури та технологій  
Міністерства освіти і науки України.

Захист відбудеться 30 січня 2019 р. о 10:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.106.01 в Національному університеті «Одеська морська академія» за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8, корп. 1, зала засідань вченої ради.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету «Одеська морська академія» за адресою: м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8, корп. 2 та за електронною адресою: [www.onma.edu.ua/zakhist-dissertatsiy](http://www.onma.edu.ua/zakhist-dissertatsiy).

Автореферат розісланий 27 грудня 2018 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
д. т. н., професор



Нікольський В.В.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Однією з найважливіших є проблема забезпечення безпеки судноводіння, оскільки від її успішного розв'язання залежить зменшення кількості аварійних випадків, що веде до зниження шкоди людському життю, навколишньому середовищу і майну.

У стислих водах навігаційні перешкоди та інтенсивне судноплавство значно ускладнюють плавання морських суден і створюють передумови для виникнення аварійних ситуацій. Саме стислі води облаштовуються станціями управління рухом суден, які в разі потреби забезпечують зовнішнє управління процесом розходження суден при виникненні ситуації небезпечного зближення. Тому розробка способів зовнішнього управління суднами, що небезпечно зближуються, чому присвячено дану роботу, є актуальним і перспективним науковим напрямом.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Виконання роботи проводилося згідно з положеннями Транспортної стратегії України на період до 2020 р. (розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 р., №2174-р), рішення Ради національної безпеки і оборони України від 16.05.2008 р. «Про заходи щодо забезпечення розвитку України як морської держави» (указ Президента України від 20.05.2008 р. №463 / 2008), а також в рамках планів наукових досліджень національного університету "Одеська морська академія" за держбюджетною темою "Забезпечення безпеки судноводіння в стислих районах плавання" (№ ДР 0115U003580, 2016 р.), у якій здобувачу належить окремий підрозділ.

### **Мета і задачі дослідження.**

Мета дисертаційного дослідження – підвищення безпеки судноводіння шляхом удосконалення методів попередження зіткнень суден.

Головна задача дисертаційного дослідження – створення нового способу вибору оптимального за часом маневру розходження суден зниженням швидкостей, який реалізований в комп'ютерному модулі, та відрізняється принципом зовнішнього управління процесом їх розходження і застосуванням області небезпечних швидкостей.

Наукова гіпотеза дисертаційного дослідження – існування можливості підвищення оперативності і простоти вибору маневру розходження судна з небезпечною ціллю при зовнішньому управлінні за допомогою зниження швидкостей, заснованим на використанні області небезпечних швидкостей.

Головна задача дисертаційного дослідження методами системного аналізу була розділена на наступні три допоміжні задачі:

1. Формування області небезпечних швидкостей за допомогою розрахунку її меж.
2. Визначення умов існування множини допустимих маневрів розходження суден зміною їх швидкостей.

3. Розробка способу вибору оптимального за часом маневру розходження суден зниженням їх швидкостей за допомогою графічного відображення області небезпечних швидкостей, яке реалізоване в комп'ютерному модулі.

**Об'єктом дослідження** є процес руху суден у стислих умовах.

**Предметом дослідження** є маневр розходження суден.

**Методи дослідження.** Рішення поставлених задач було досягнуте за допомогою використання у дисертаційному дослідженні наступних методів:

- дедукції при аналізі основних підходів вирішення проблеми безпеки судноводіння;
- системного аналізу для вибору теми дисертаційної роботи і під час формування технології наукового дослідження;
- системного аналізу для розділення головної задачі дисертаційного дослідження на допоміжні задачі;
- математичного аналізу для вирішення рівнянь руху судна і пошуку залежності параметрів руху судна від керуючих впливів;
- теоретичної механіки для складання диференціальних рівнянь руху судна;
- аналітичної геометрії для формування області небезпечних швидкостей суден.

**Наукова новизна** полягає у створенні нового реалізованого в комп'ютерному модулі способу вибору оптимального за часом маневру розходження суден зниженням швидкостей, який відрізняється зовнішнім управлінням процесом їх розходження і застосуванням області небезпечних швидкостей.

У дисертаційній роботі:

- вперше отримано спосіб вибору оптимального за часом маневру розходження зниженням швидкостей суден за допомогою області небезпечних швидкостей;
- удосконалено спосіб формування області небезпечних швидкостей з розрахунком її меж і графічним відображенням;
- дістала подальшого розвитку процедура визначення можливостей існування множини допустимих маневрів розходження суден зміною їх швидкостей.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у тому, що його результати можуть бути впроваджені на судна в процесі експлуатації, а також використані розробниками навігаційних інформаційних систем, призначених для зовнішнього управління процесом розходження судна.

Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені приватним вищим навчальним закладом «Інститут післядипломної освіти» «Одеський морський тренажерний центр» для підготовки судноводіїв (акт впровадження від 27.03.2018 р.), крьюінговою компанією «В.Шіпс (Україна)» для навчання, підготовки і перепідготовки офіцерів морських суден за напрямом «Судноводіння» з метою забезпечення безпеки плавання (акт впровадження від 10.04.2018 р.). Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в

навчальному процесі національного університету «Одеська морська академія» (акт від 23.04.2018 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Дисертантом самостійно здійснений інформаційний пошук та аналіз основних наукових результатів, проблем підвищення безпеки судноводіння, також здійснена розробка методологічного забезпечення дослідження та процедура визначення умов існування множини припустимих маневрів розходження суден зміною їх швидкостей, також розроблені необхідні алгоритми, запропоновано спосіб вибору оптимального за часом маневру розходження зниженням швидкостей суден за допомогою області небезпечних швидкостей, здійснена імітаційна верифікація розробленої програми. З наукових праць, опублікованих ним у співавторстві, у дисертаційній роботі використані лише ті положення, які належать автору особисто: формалізація процедури розрахунку меж області небезпечних швидкостей [1], процедура формування областей небезпечних швидкостей [6], визначення характеристик групи суден при зовнішньому керуванні [3], використання областей небезпечних швидкостей для визначення маневру розходження [7], вибір безпечного маневру розходження використанням областей неприпустимих швидкостей [8], особливості розходження суден в стислих водах зміною швидкості [10], вираз для розрахунку межі визначення знаку зміни відстані між суднами [12], початкова умова існування множини маневрів розходження зміною швидкості [14], опис першого рівня гібридної системи взаємодії суден [5], процедура формування областей небезпечних швидкостей [9].

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати і положення роботи доповідалися, обговорювалися і були схвалені на науково-практичних, науково-технічних і науково-методичних конференціях:

науково-технічна конференція «Морські перевезення та інформаційні технології в судноплавстві» (Одеса, 19-20 листопаду 2015 р.), науково-технічна конференція «Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавство, перевезення, безпека» (Одеса, 16-17 листопаду 2016 р.), VIII Міжнародна науково - практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016)» (Херсон, 24-26 травня 2016 р.), IX Міжнародна науково - практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017)» (Херсон, 23-25 травня 2017 р.), Всеукраїнська науково-технічна конференція «Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд» (Миколаїв, 17-18 травня 2017 р.).

**Публікації.** За результатами виконаних досліджень автором опубліковано 14 наукових праць (з них 4 одноосібно), в тому числі: в наукових профільних виданнях, що входять до переліку МОН України - 5 наукових статей [1-5]; в зарубіжних наукових профільних виданнях - 4 наукові статті [6-9]; в збірниках матеріалів наукових конференцій - 5 доповідей [10-14].

**Структура роботи.** Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних літературних джерел (132 найменування) і

трьох додатків. Загальний обсяг роботи становить 271 сторінок та містить 108 рисунків, зокрема: 184 сторінок основного тексту, 15 сторінок списку використаних джерел, 72 сторінок додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**Вступ** роботи містить загальну характеристику роботи починаючи з актуальності теми, зв'язок її з програмами наукових досліджень, наведено мету, головну та допоміжні задачі, наукову новизну та практичне значення результатів дослідження.

У **першому розділі** шляхом огляду літературних джерел здійснений пошук основних напрямів вирішення проблеми зниження аварійності суден шляхом забезпечення безпеки судноводіння з використанням методу дедукції.

Виявлені основні напрями рішення проблеми забезпечення безпеки судноводіння в стислих умовах методами попередження зіткнень суден у прибережних районах плавання, моделювання руху судна під час плавання в стислих районах, що сприяє їх більш ефективному і безпечному плаванню, та забезпеченню точності контролю місця судна і оцінки безпеки судноводіння в стислих умовах.

Вітчизняні вчені Аксютін Л.Р., Кондрашихін В.Т., Воробйов Ю.Л., Вагущенко Л.Л., Мальцев А.С., Цимбал М.М. та іноземні вчені Фрейдзон І.Р., Lisowski J., Hornauer S, Statheros T. зробили значний внесок в рішення зазначених проблем, і показали, що центральним напрямом рішення проблеми підвищення безпеки судноводіння є вдосконалення методів попередження зіткнень суден у ситуаціях їх небезпечних зближень. Це дозволило виявити проблеми безпеки при розходженні суден в стислих умовах.

У **другому розділі** методом був здійснений вибір теми дисертаційного дослідження за факторами актуальності та наукової відповідності до спеціальності, обґрунтовані об'єкт та предмет дослідження плавання.

Методами системного підходу розроблено **технологічну карту** дисертаційного дослідження, в якій сформульовані мета, головна задача дисертаційного дослідження, робоча гіпотеза, та визначено його об'єкт та предмет. За допомогою методів системного аналізу було сформульовано три допоміжні задачі для вирішення головної наукової задачі дисертації.

Вивчена суть проблеми і методи, які необхідні для вирішення головної задачі дисертаційного дослідження.

Розглянуто принцип компенсації ситуативного збурення елементарної групи суден при зовнішньому типі управління процесом їх розходження. Наведена характеристика елементарної групи суден, зокрема представлені аналітичні вирази, що пов'язують відносний курс з істинними курсами судна і цілі. Також наведені залежності для дистанції найкоротшого зближення і швидкості зміни дистанції між судном і ціллю.

Наведено оцінку рівня небезпеки зближення суден за допомогою ситуативного збурення. Показано, що стратегії розходження судна залежно від

значення ситуативного збурення відносяться до стандартних стратегій або стратегій екстреного розходження. Отримано діаграми для визначення значення ситуативного збурення.

**Третій розділ** присвячений рішенням **першої допоміжної задачі**, а саме: формуванню області небезпечних швидкостей суден, які небезпечно зближуються з незмінними курсами через стислі умови плавання.

При рішенні даної задачі були використані такі методи наукового дослідження як: системний аналіз, математичний аналіз, аналітична геометрія.

Розглядається ситуація, коли пара суден, що небезпечно зближуються, не можуть змінювати свої курси (наприклад через навігаційні небезпеки), та попередження зіткнення можливе тільки зміною їх швидкостей. В цьому випадку при зовнішньому управлінні рухом суден, тобто системою контролю і управління рухом суден (СУРС), множину станів системи пари суден доцільно представити областю небезпечних швидкостей, в якій кожній позиції  $(V_1, V_2)$  парних швидкостей суден відповідає дистанція найкоротшого зближення між суднами. Межа небезпечної області швидкостей, кожна крапка якої відповідає дистанції найкоротшого зближення  $D_{\min}$ , що дорівнює граничній-допустимій дистанції  $D_d$ , описується рівнянням:

$$D_{\min} = \Delta D \sin(\alpha - K_{ot}) = D_d,$$

де  $D$  і  $\alpha$  - відповідно дистанція і пеленг;  $K_{ot}$  - відносний курс;  $\Delta = -1$ , при  $\sin(\alpha - K_{ot}) < 0$ , інакше  $\Delta = 1$ .

Рішення приведенного рівняння дозволяє записати рівняння для верхньої та нижньої межі небезпечної області швидкостей відповідно:

$$V_1^* = V_2 \frac{\sin(K_2 - \gamma^*)}{\sin(K_1 - \gamma^*)}; \quad V_{1*} = V_2 \frac{\sin(K_2 - \gamma_*)}{\sin(K_1 - \gamma_*)},$$

де  $\gamma^* = \alpha - \arcsin D_d/D$ ,  $\gamma_* = \alpha + \arcsin D_d/D$ .

Очевидно, при постійних значеннях курсів  $K_1, K_2$ , і параметрів  $\gamma^*, \gamma_*$  межі небезпечної області швидкостей є лінійними. На рис. 1 показана область неприпустимих швидкостей для пари суден, що небезпечно зближуються, курси яких є незмінними. Як приклад вибрана ситуація небезпечного зближення суден з параметрами:  $\alpha = 90^\circ$ ,  $D = 3,0$  милі,  $D_d = 1,0$  милі,  $K_1 = 45^\circ$ ,  $K_2 = 315^\circ$ , з початковими швидкостями  $V_1 = 15$  вузлів і  $V_2 = 15$  вузлів. В цьому випадку  $\gamma^* = 70,5^\circ$  і  $\gamma_* = 109,5^\circ$ , а вирази для верхньої  $G_r^*(V_1, V_2)$  і нижньої  $G_r_*(V_1, V_2)$  меж:

$$V_1^* = 2,097V_2 \quad \text{і} \quad V_{1*} = 0,477V_2.$$

Як впливає з наведеного рисунку, крапка з початковими швидкостями  $M_o$  належить області неприпустимих швидкостей і зближення суден небезпечне. Якщо судно, швидкість якого становить  $V_2$ , має незмінні параметри, а судно з швидкістю  $V_1$  маневруватиме зміною швидкості, то безпечне розходження на дистанції  $D_d=1,0$  милі можливе при збільшенні швидкості  $V_1$  до значення 31,5 вузли (крапка  $M^*$ ) або її зменшенні до значення 7,2 вузли (крапка  $M_*$ ). Вказані крапки знаходяться на верхній  $Gr^*(V_1, V_2)$  і нижній  $Gr_*(V_1, V_2)$  межах області небезпечних швидкостей.

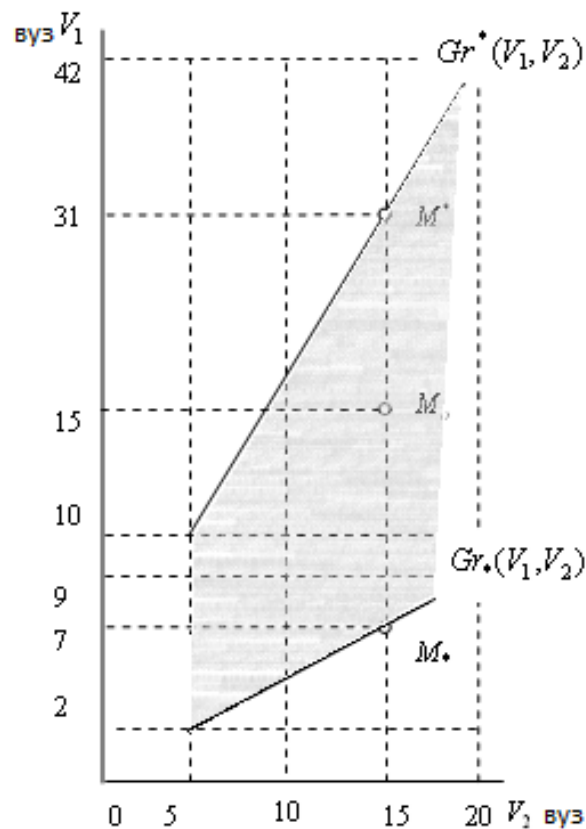


Рис. 1. Область неприпустимих швидкостей

Якщо зміна швидкості  $V_1$  до вказаних меж можлива практично миттєво, то значення дистанції  $D$  і пеленга  $\alpha$  не змінюються і судна розходяться на заданій граничній-допустимій дистанції. Проте через інерційність судна для зміни швидкості  $V_1$  до необхідних значень потрібен інтервал часу, який залежить від його інерційно-гальмівних характеристик.

Область небезпечних швидкостей є базовою складовою компенсації ситуативного збурення елементарної групи суден за допомогою зміни їх швидкостей при зовнішньому типі управління процесом їх розходження.

**Науковий результат рішення першої допоміжної задачі:** удосконалено спосіб формування області небезпечних швидкостей з розрахунком її меж і графічним відображенням. Для ситуації в стислих умовах плавання при незмінних курсах суден, коли є можливість маневрувати тільки швидкістю, було отримано межі області небезпечних швидкостей, які є лінійними



функціями - прямими, від значення коефіцієнтів яких залежить розташування вказаної області. Множина точок розташованих вище верхньої та нижче нижньої прямих відповідають парі швидкостей суден, при яких вони розійдуться на безпечній дистанції.

**Четвертий розділ** присвячений рішенням другої допоміжної задачі, а саме: дослідженню умов існування множини допустимих маневрів розходження суден зміною швидкостей з урахуванням їх інерційності. Під час рішення даної задачі були використані такі методи наукового дослідження як: теоретична механіка, математичний аналіз, аналітична геометрія.

Перша з умов можливого існування множини безпечних маневрів розходження зміною швидкостей суден полягає в з'ясуванні можливості зміни початкового відносного курсу при зміні швидкостей суден, що зближуються. Для цього розглянемо першу похідну початкового відносного курсу  $K_{otn}$  по

швидкості судна  $V_1$ . Якщо перша похідна  $\frac{\partial K_{otn}}{\partial V_1}$  буде дорівнювати нулю, то

змінити початковий відносний курс  $K_{otn}$  маневром швидкості неможливо. В іншому разі слід переконатися, чи можна розійтися з ціллю в допустимій дистанції найкоротшого зближення. З такою метою в роботі одержано вираз

похідною  $\frac{\partial K_{otn}}{\partial V_1}$ , який має наступний вигляд:

$$\frac{\partial K_{otn}}{\partial V_1} = -\frac{V_2 \sin \Delta K}{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K}.$$

Як витікає з аналізу отриманого виразу при значенні  $\Delta K = 0^\circ$  і  $\Delta K = 180^\circ$  похідна дорівнює нулю, що означає при проходженні суден на протилежних і паралельних курсах зміна швидкості судна не впливає на величину відносного курсу. Тому в таких ситуаціях маневр розходження зміною швидкості судна неможливий і множина безпечних маневрів розходження є порожньою. Для характеристики зміни відносного курсу при зміні швидкостей обох суден

необхідно знайти змішану похідну  $\frac{\partial^2 K_{otn}}{\partial V_1 \partial V_2}$  від попереднього виразу по змінній

$V_2$ :

$$\frac{\partial^2 K_{otn}}{\partial V_1 \partial V_2} = -\frac{\partial}{\partial V_2} \left( \frac{V_2 \sin \Delta K}{V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K} \right).$$

Диференціюючи праву частину рівності, отримаємо:

$$\frac{\partial^2 K_{\text{отн}}}{\partial V_1 \partial V_2} = - \frac{\Delta V (V_1 + V_2) \sin \Delta K}{(V_1^2 + V_2^2 - 2V_1 V_2 \cos \Delta K)^2}.$$

Аналіз одержаного виразу  $\frac{\partial^2 K_{\text{отн}}}{\partial V_1 \partial V_2}$  показує, що при значенні  $\Delta K = 0$  і

$\Delta K = 180$  чисельник виразу дорівнює нулю, що означає при проходженні суден на протилежних і паралельних курсах зміна швидкостей суден не впливає на величину відносного курсу. Тому в таких ситуаціях маневр розходження суден зміною швидкостей неможливий, тобто множина безпечних маневрів розходження є порожньою.

Із виразу також витікає, що при рівності поточних швидкостей суден ( $\Delta V = 0$ ) величина відносного курсу  $K_{\text{отн}}$  також не змінюється. Тому у разі рівності початкових судових швидкостей при їх однакою зміні маневр розходження суден зміною швидкостей неможливий.

Урахування інерційних характеристик суден при виборі безпечного маневру розходження суден зміни їх швидкостей полягає в наступному.

За допомогою області небезпечних швидкостей визначається пара безпечних швидкостей  $V_{1y}$  і  $V_{2y}$ . Через інерційність суден для досягнення необхідних швидкостей розходження  $V_{1y}$  і  $V_{2y}$  потрібен час  $\tau_{1y}$  і  $\tau_{2y}$ .

У загальному випадку ці інтервали часу не рівні між собою. Тому тривалість перехідного процесу  $t_p$  від початку зміни швидкостей суден до вибраних значень  $V_{1y}$  і  $V_{2y}$  визначається більшим з інтервалів  $\tau_{1y}$  і  $\tau_{2y}$ , тобто  $t_p = \max(\tau_{1y}, \tau_{2y})$ . Якщо у цей момент часу при незмінних курсах суден  $K_1$  і  $K_2$ , а також сталих швидкостях  $V_{1y}$  і  $V_{2y}$  дистанція найкоротшого зближення буде рівна або більше граничної-допустимої дистанції, то множина безпечних маневрів розходження існує.

Очевидно, значення швидкостей  $V_{1y}$  і  $V_{2y}$  є меншими, ніж їх початкові значення  $V_1$  і  $V_2$ , тобто маневр розходження суден зміною швидкостей виконується їх гальмуванням, і судна із зниженими швидкостями слідує до моменту часу найкоротшого зближення, після чого збільшують швидкості до початкових значень. Оскільки маневр розходження суден потребує гальмування суден, то в роботі отримані вирази тривалості перехідних процесів  $\tau_{1y}$  і  $\tau_{2y}$  обох суден, а також відстаней  $S_1$  і  $S_2$ , які судна проходять за ці інтервали часу. При цьому враховано, що зниження швидкостей суден можливе як активним, так і пасивним гальмуванням. Тому в роботі розглянуто три варіанти маневру розходження: обидва судна знижують швидкість активним гальмуванням, одне з суден використовує активне гальмування, а друге судно – пасивне гальмування і обидва судна виконують маневр пасивного гальмування. При будь-якому з варіантів маневру розходження враховуються початкові

швидкості руху суден  $V_1, V_2$  і вибрані безпечні швидкості  $V_{1y}, V_{2y}$ . Маневри розходження відрізняються значенням моменту часу початку маневру розходження  $t_n$ , причому при нерівності  $D_{\min} \geq D_d$  значення  $t_n$  змінюється від 0 до значення  $t_n^*$ , при якому  $D_{\min} = D_d$ , тобто  $t_n \in [0, t_n^*]$ .

**Науковий результат рішення другої задачі:** дістала подальшого розвитку процедура визначення умов існування множини допустимих маневрів розходження суден зміною їх швидкостей. Множина допустимих маневрів розходження суден зміною їх швидкостей є наявною при послідовному виконанні трьох умов: перша – підтвердження можливості зміни відносного курсу при зміні швидкостей суден використовуючи вираз першої похідної; друга – розраховані коефіцієнти лінійних функцій меж області небезпечних швидкостей мають не однакове значення; третє - підтвердження можливості виконання маневру розходження враховуючи інерційність руху суден та тип гальмування кожного з них.

**Четвертий розділ** також присвячений рішенням **третьої допоміжної задачі**, а саме: вибору оптимального за часом маневру розходження зниженням швидкостей суден за допомогою області небезпечних швидкостей. Під час рішення даної задачі були використані такі методи наукового дослідження як: системний аналіз, математичний аналіз, аналітична геометрія.

Оптимальним маневром розходження є такий маневр, при виконанні якого досягають мінімуму втрати ходового часу суден  $\Delta t_{mv}$ , викликаного маневром, що, як показано в роботі, досягається при  $t_n = t_n^*$ . Розрахунок  $t_n^*$  проводиться з допомогою виразу:

$$t_n^* = \frac{\Delta_p D_d - S_{mx} \sin(K_{отр} - K_{mx}) - [S_{mn} + V_{mny}(t_p - \tau_{mn})] \sin(K_{отр} - K_{mn})}{V_{mx} \sin(K_{отр} - K_{mx}) - V_{mn} \sin(K_{отр} - K_{mn})},$$

де  $K_{отр}$  - відносний курс в момент часу  $t_p$ , коли параметри руху обох суден стають незмінними;

$S_{mx}$  і  $S_{mn}$  - відстані, які проходять відповідно судна  $c_{mx}$  і  $c_{mn}$  за час перехідного процесу зміни швидкостей  $\tau_{mx}$  та  $\tau_{mn}$ , причому через  $c_{mx}$  позначено судно, перехідний період якого більший і рівний тривалості загального перехідного процесу  $t_p$ . Судно з меншим перехідним періодом позначено  $c_{mn}$ .

Практично розрахунок значення  $t_n^*$  доцільно виконувати по наступному алгоритму. Початковим є вираз для визначення  $D_{\min}$ :

$$D_{\min} = \text{Abs}[D_p \sin(K_{отр} - \alpha_p)]. \quad (1)$$

Після завершення перехідного процесу при  $t_n = 0$  справедлива нерівність  $D_{\min} > D_d$  і відносний курс  $K_{отр}$  є постійним, то із зростанням  $t_n$  значення

$D_{\min}$  зменшується, а також змінюються величини пеленга  $\alpha_p$  і дистанції  $D_p$ . Тому для кожного значення  $t_n > 0$  слід розрахувати величини  $\alpha_p$  і  $D_p$ , по яких за допомогою формули (1) визначається величина  $D_{\min}$ . Набуте значення  $D_{\min}$  порівнюється з величиною граничної-допустимої дистанції  $D_d$ . Процес розрахунку циклічно продовжується до тих пір, поки не досягається рівність  $D_{\min} = D_d$ , при цьому  $t_n = t_n^*$ .

Існують два варіанти вибору оптимального за часом маневру: по-перше, при заданих швидкостях розходження суден необхідно обрати час початку їх гальмування, мінімізуючи критерій оптимальності; по-друге, гальмування суден починається в нульовий момент часу, мінімізація критерію оптимальності досягається вибором їх швидкостей розходження.

**Науковий результат рішення третьої допоміжної задачі:** отриманий вперше спосіб, який дозволяє вибрати оптимальний за часом маневр розходження суден зміною їх швидкостей, базується на врахуванні інерційності руху суден та використанні послідовних наближень до максимальної мінімізації критерію оптимальності - значення втрати ходового часу суден. Умова оптимальності виконується, коли дистанція найкоротшого зближення суден дорівнює гранично-допустимій дистанції при їх розходженні.

**Четвертий та п'ятий розділи** присвячені рішенням головної задачі, а саме: створенню нового способу вибору оптимального за часом маневру розходження суден зниженням швидкостей, який реалізований в комп'ютерному модулі, та відрізняється принципом зовнішнього управління процесом їх розходження і застосуванням області небезпечних швидкостей.

Під час рішення головної задачі були використані такі методи наукового дослідження як: дедукція, системний аналіз, теоретична механіка, дослідження операцій, математичний аналіз, аналітична геометрія.

У реальних ситуаціях небезпечного зближення можуть виникати чинники, що не дозволяють обирати для розходження оптимальне значення моменту часу початку маневру  $t_n^*$ , наприклад, інші судна або плавальні засоби. У таких ситуаціях необхідно вибрати момент часу  $t_n$  найближчий до оптимального значення  $t_n^*$ , який забезпечує безпечне розходження суден при заданих режимах гальмування, чого можна досягти розробка комп'ютерної програми, що дозволяє визначати значення  $D_{\min}$  при покроковій зміні величини  $t_n$ .

Тому у дисертаційній роботі запропонований можливий варіант такої комп'ютерної програми, який дозволяє визначити значення  $t_n^*$  по зміні дистанції найкоротшого зближення  $D_{\min}$ . Спочатку передбачене введення параметрів ситуації небезпечного зближення: пеленга, дистанції, швидкостей  $V_1, V_2$  і курсів  $K_1, K_2$  суден, а також граничної-допустимої дистанції  $D_d$ . Як показано на рис. 2, дані параметри виводяться на екран монітора, причому розраховується і також виводиться дистанція найкоротшого зближення  $D_{\min}$ .

Для наведеної ситуації небезпечного зближення параметри дорівнюють наступним значенням:  $\alpha_0 = 229^\circ$ ,  $D_0 = 5$  миль,  $K_1 = 267^\circ$ ,  $K_2 = 24^\circ$ ,  $V_1 = 18$  вуз.,  $V_2 = 19$  вуз.,  $D_d = 1$  миля. У правій частині екрану показана початкова ситуація зближення.

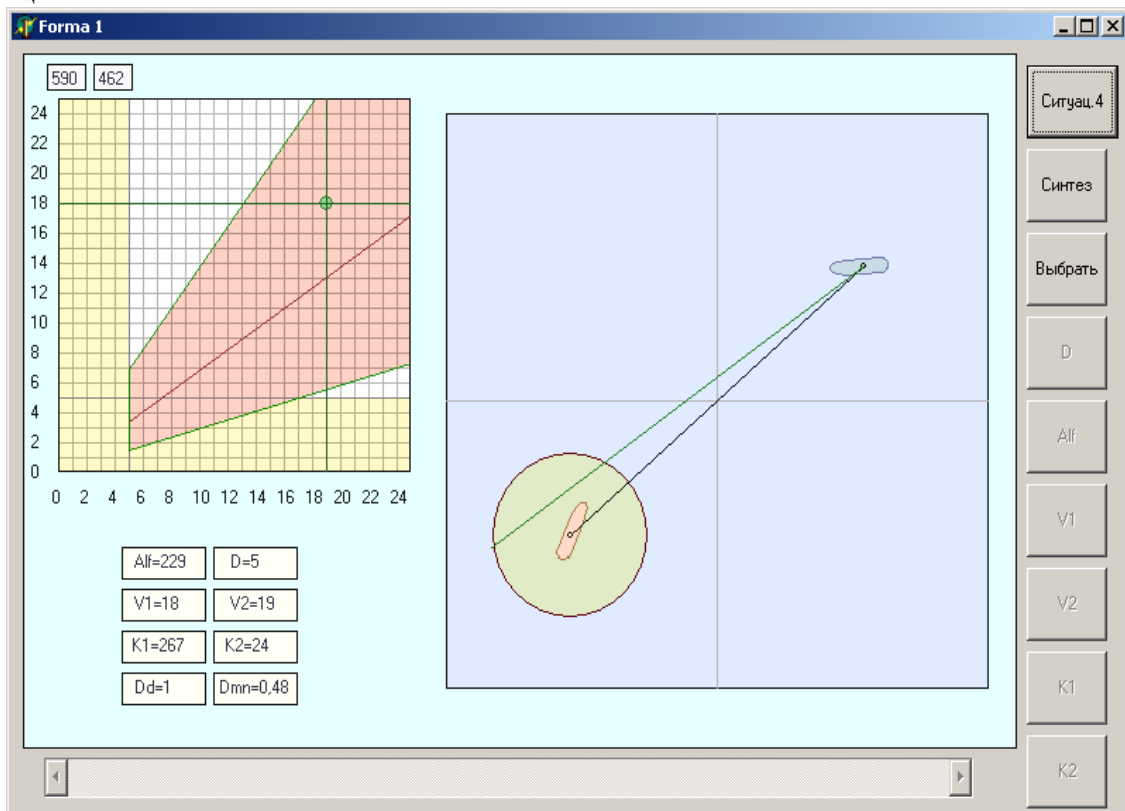


Рис. 2. Відображення ситуації небезпечного зближення

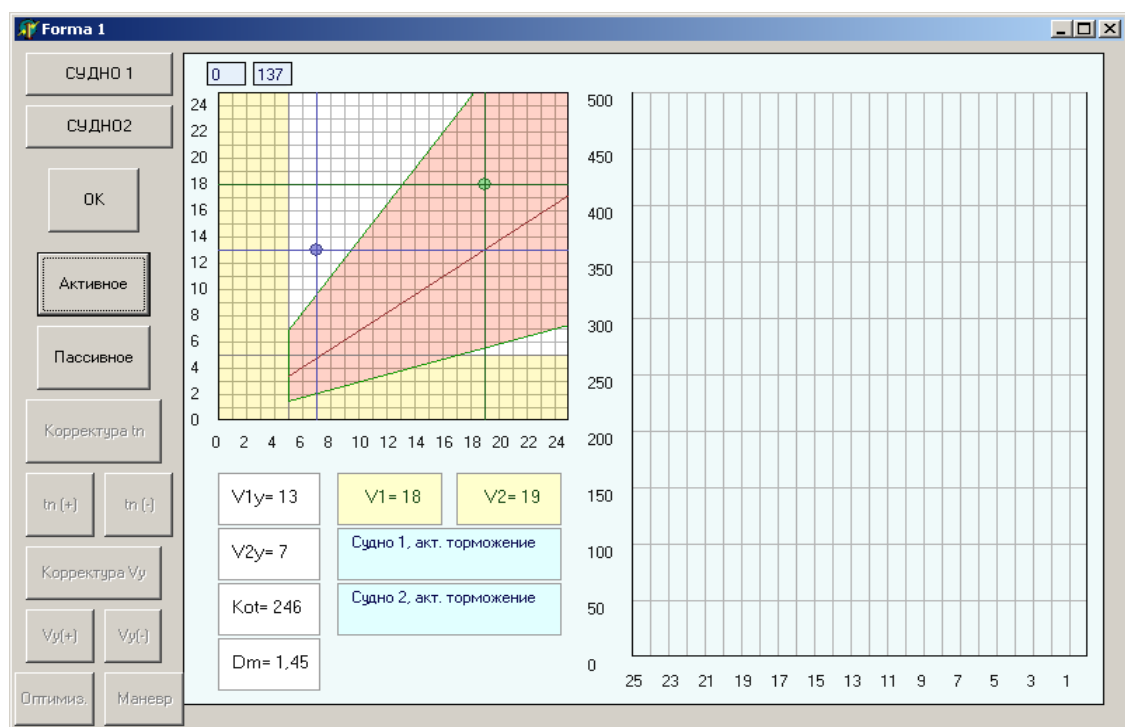


Рис. 3. Вибір безпечних швидкостей і режимів гальмування суден

Для безпечного розходження суден зміною швидкості вибрана точка швидкостей розходження, яка не належить області небезпечних швидкостей, причому  $V_{1y} = 13$  вуз.,  $V_{2y} = 7$  вуз., що показано на рис. 3.

За допомогою клавіш, що позначають судна і режим гальмування, для першого судна обрано зниження швидкості активним гальмуванням. Потім, як показано на тому ж рис. 3, і для іншого судна також обраний режим активного гальмування. Програма виконує необхідні розрахунки, такі як тривалості перехідних процесів кожного з суден  $\tau_{1y} = 23$  с і  $\tau_{2y} = 82$  с, пройдені за цей час відстані  $S_1 = 0,98$  кбт. і  $S_2 = 2,63$  кбт. Також виводиться повідомлення про можливість маневру розходження та оптимальне значення  $t_n^* = 227$  с, при якому  $D_{\min} = 0,99$  милі, тобто дорівнює граничній-допустимій дистанції  $D_d$ . У правій частині екрану наведені криві залежності швидкості суден від часу при активному гальмуванні, причому на кривих відмічені початкові швидкості суден і швидкості, вибрані для розходження, що відображено на рис. 4.

За допомогою клавіші " $t_n(+)$ " поступово збільшується значення моменту часу початку гальмування суден  $t_n$ . Із збільшенням моменту часу початку гальмування  $t_n$  обидва криві гальмування на графіку переміщуються вгору на величину  $t_n$ . При цьому горизонтальна лінія на графіку, яка відповідає закінченню перехідного процесу наближається до лінії, відповідної  $t_d = 309$  с.

Так, на рис. 5  $t_n = t_n^* = 226$  с лінія закінчення перехідного процесу суміщена з лінією, відповідною  $t_d = 309$  с, а оптимальному маневру відповідає  $D_{\min} = 1,00$  милі.

В роботі було розглянуто чотири ситуації небезпечного зближення і обрані оптимальні маневри розходження різними поєднаннями режимів гальмування суден. Було зроблено висновок, що за допомогою процедури комп'ютерного графічного визначення оптимального за часом маневру розходження зміною швидкостей, задаючись режимами гальмування кожного з суден, що небезпечно зближуються, можна визначити можливість виконання обраного маневру, а при позитивному висновку обрати оптимальний за часом маневр або маневр максимально близький до оптимального.

Також запропоновано процедуру комп'ютерного графічного визначення оптимального за часом маневру розходження зміною швидкостей суден при умові початку їх гальмування в початковий момент часу  $t_n = 0$ . Для перевірки коректності запропонованої процедури приведені приклади визначення оптимального за часом маневру розходження зміною швидкостей суден, що небезпечно зближуються, різними режимами гальмування. Знаходження оптимального за часом маневру відбувається у першому модулі вказаної програми.

Наведено докладний опис комп'ютерної імітаційної програми вибору маневру розходження суден зміною їх швидкостей з урахуванням інерційно-гальмівних характеристик суден.

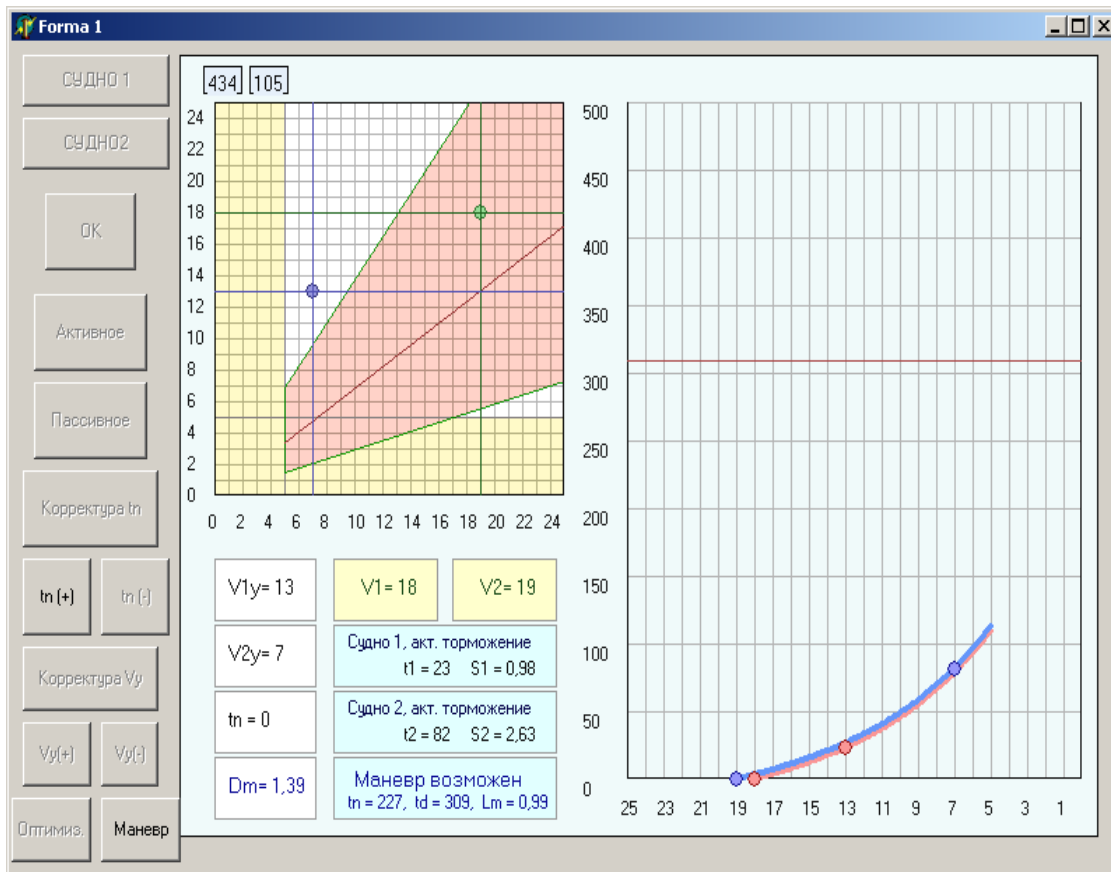
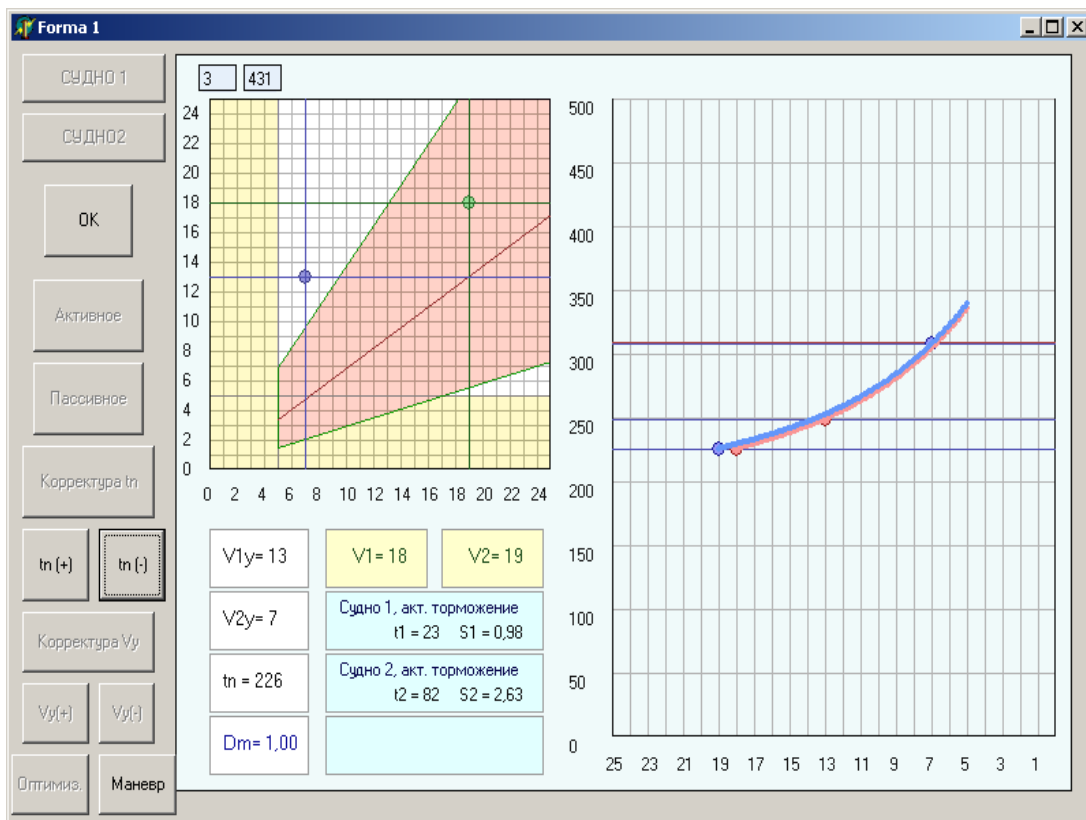


Рис. 4. Криві гальмування суден та характеристики маневру розходження

Рис. 5. Характеристика маневру розходження при  $t_n = t_n^* = 226$  с

Показано, що введення початкової ситуації небезпечного зближення можливе вибором однієї з десяти стандартних ситуацій, які відповідають вимогам існування множини маневрів розходження, або ситуація небезпечного зближення генерується введенням її параметрів. Після вибору початкової ситуації за допомогою першого модуля імітаційної програми визначається оптимальний за часом маневр розходження. Передбачена оптимізація за часом початку гальмування суден або по значенням швидкостей розходження суден. Процедура вибору оптимального за часом маневру розходження характеризується простотою і оперативністю. Таким чином, імітаційна комп'ютерна програма має наступну функціональну схему (рис. 6):

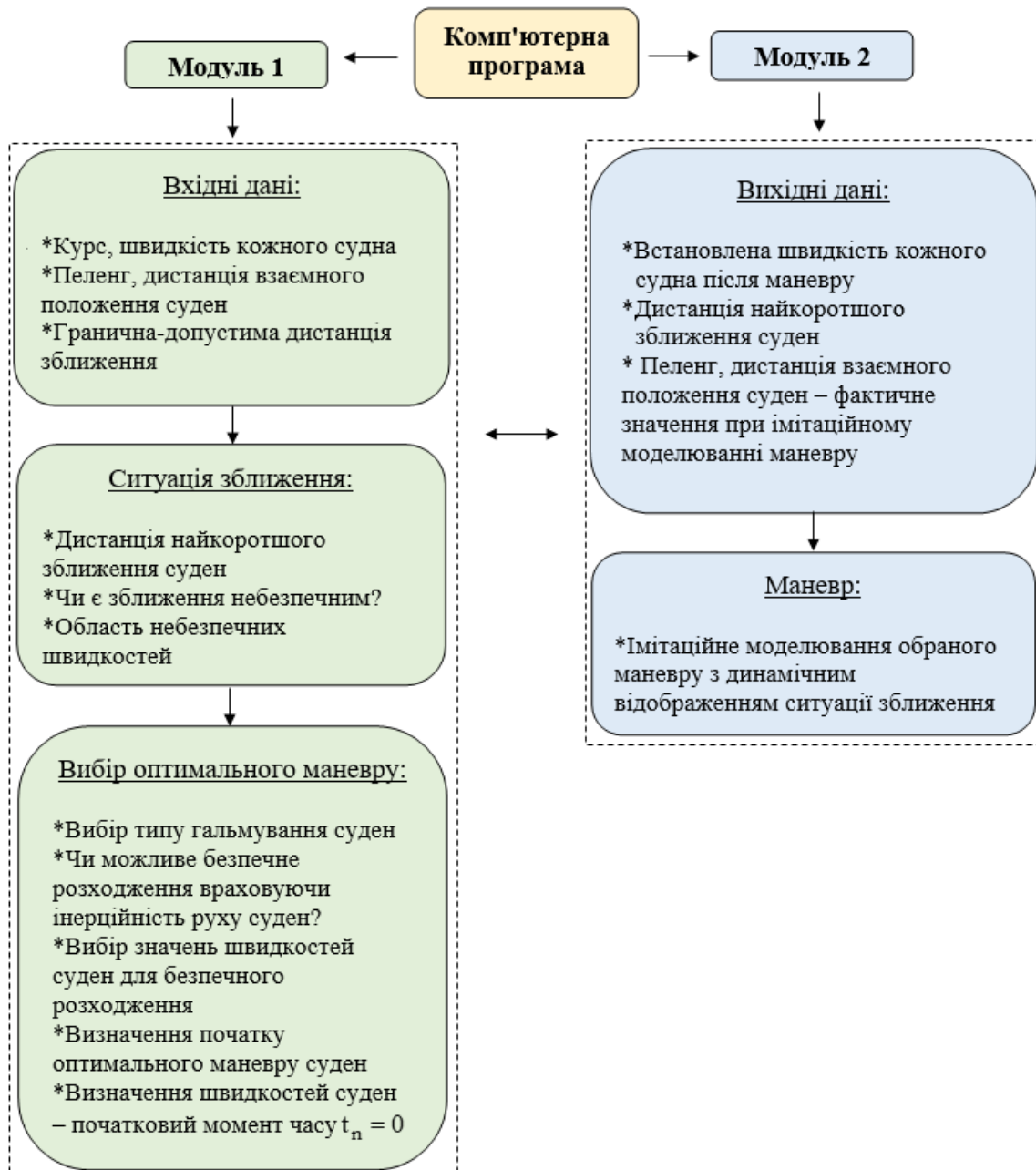


Рис. 6. Функціональна схема імітаційної комп'ютерної програми



**Науковий результат рішення головної задачі:** розроблений новий спосіб вибору оптимального за часом маневру розходження суден при зовнішньому управлінні їх руху за допомогою області небезпечних швидкостей, який реалізується у формі комп'ютерної програми: перший модуль дозволяє знайти маневр розходження суден зниженням швидкостей та його оптимізацію розраховуючи певний час початку маневру суден за допомогою методу послідовного наближення або розраховуючи значення пар швидкостей приймаючи початок маневру в нульовий момент часу; в другому модулі програми виконується функція перевірки коректності обраного маневру шляхом імітації ситуації розходження суден та виведення результуючих даних програного маневру.

Також в п'ятому розділі детально розглядається другий модуль програми з імітаційним моделюванням для проведення верифікації коректності отриманих маневрів розходження. З цією метою обирався ряд початкових ситуацій небезпечного зближення, для яких визначалися оптимальні маневри розходження. Потім проводилося імітаційне моделювання отриманих маневрів, аналіз якого показав коректність всіх маневрів, тобто розрахункові значення тривалості перехідних процесів гальмування обох суден, часу і дистанції найкоротшого зближення збіглися із значеннями, отриманими в результаті імітаційного моделювання маневру для всіх розглянутих випадків.

В якості прикладу скористаємося ситуацією 2, для якої обране активне гальмування першого судна і пасивне гальмування другого судна, а їх безпечні швидкості розходження склали для першого судна  $V_{1y} = 14,0$  вуз., а для другого судна -  $V_{2y} = 7,1$  вуз., що показано на рис. 7. На ньому також приводиться оптимальне значення часу початку маневру  $t_n^* = 37$  с. Потім була здійснена оптимізація за часом початку маневру гальмування, як показано на рис. 7, залишаючи незмінними обрані швидкості розходження обох суден.

Після формування маневру розходження відбулося його імітаційне моделювання, причому на екрані монітору відображається початкова ситуація небезпечного зближення і виводяться значення її параметрів, а також час початку гальмування суден, час закінчення перехідного процесу і час найкоротшого зближення (рис. 8). У лівій частині екрану процес розходження відображається у відносному русі, а у правій частині - в істинному русі.

На рис. 9 відображено процес розходження суден в моменту часу найкоротшого зближення, який дорівнює 802 с, причому дистанція найкоротшого зближення складає 0,99 милі і дорівнює граничній-допустимій дистанції.

Таким чином у другому модулю програми методом імітаційного моделювання була проведена перевірка коректності отриманих оптимальних за часом маневрів розходження зміною швидкостей суден з виведенням відповідних параметрів їх розходження.

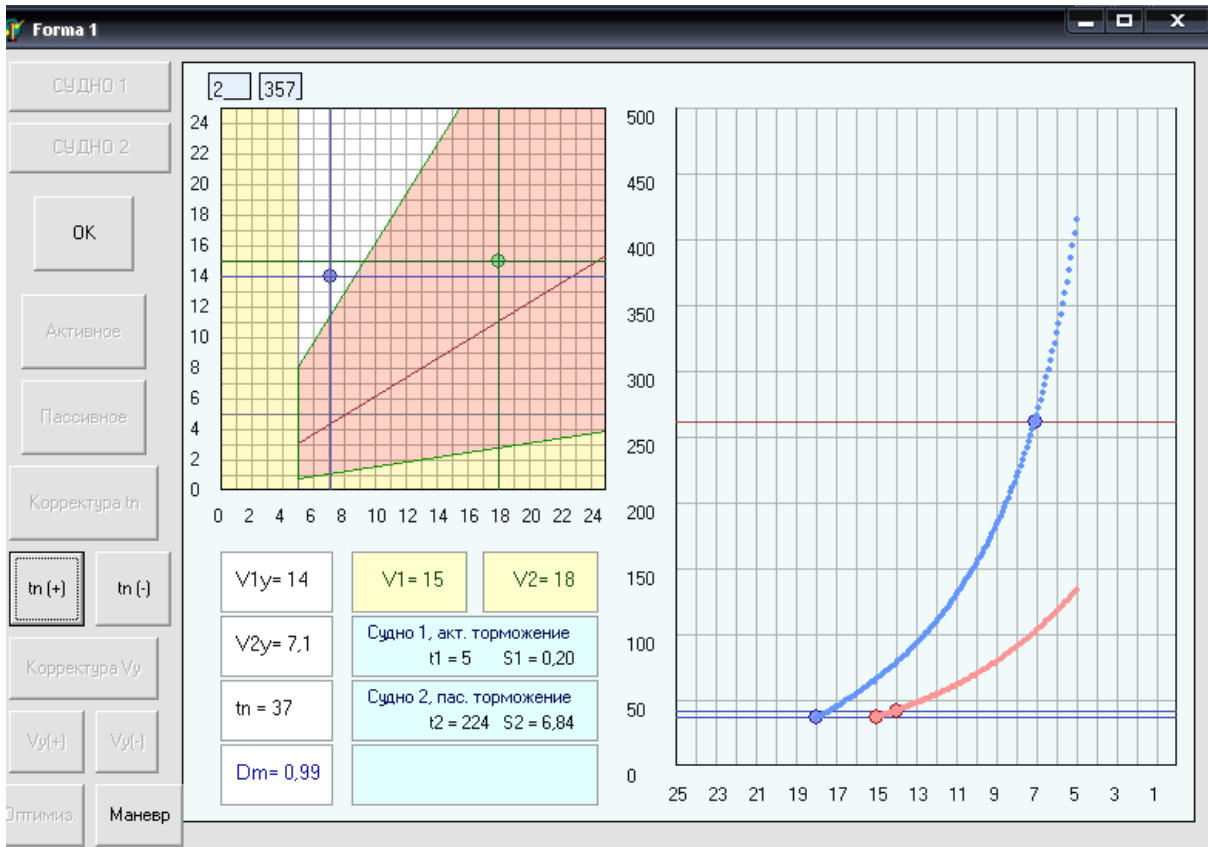


Рис. 7. Оптимізація часу початку маневру

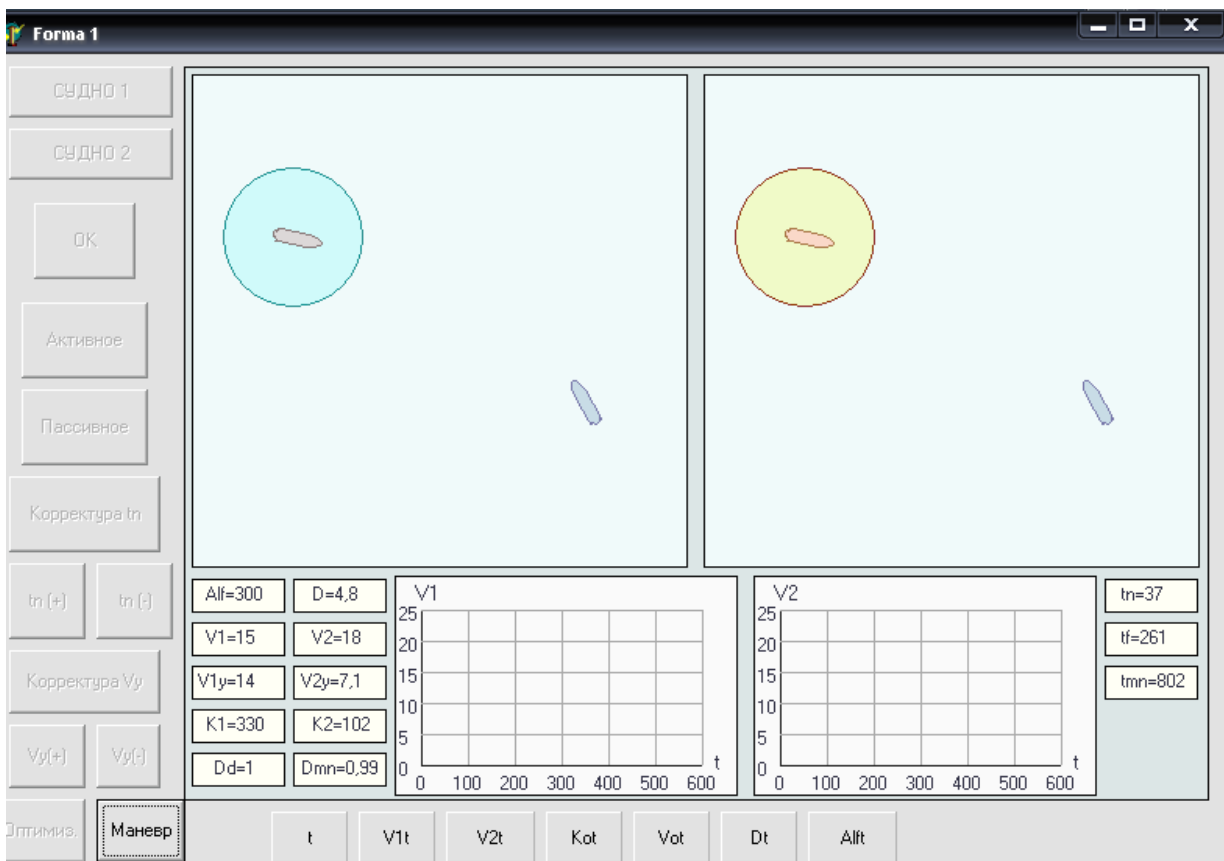


Рис. 8. Початковий стан процесу розходження

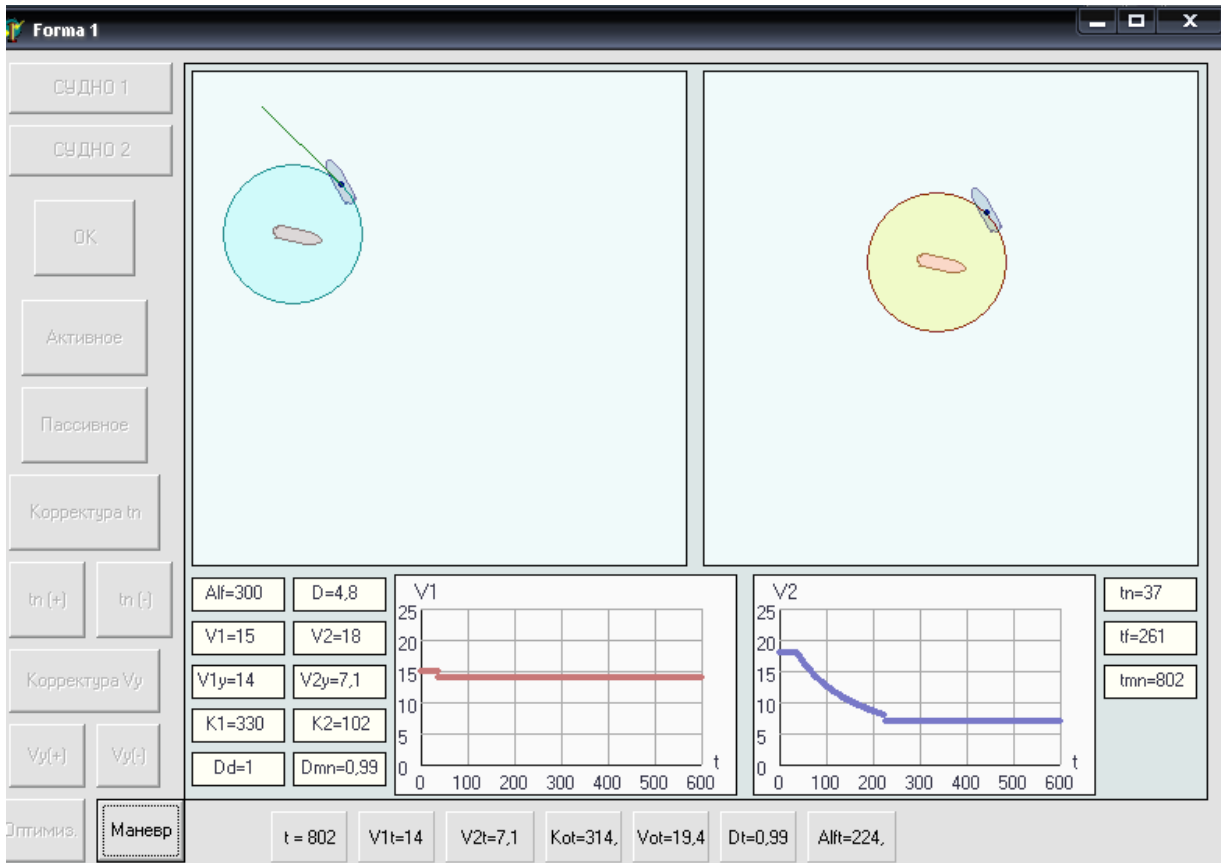


Рис. 9. Момент часу  $t=802$  с найкоротшого зближення суден

Також успішно було проведено експериментально-дослідницькі випробування маневру розходження суден зміною швидкості на судні типу балкер з середньою швидкістю ходу 13.5 вузлів в стислих умовах плавання Сінгапурського проливу. Виконано сімнадцять маневрів з різними значеннями зміни швидкостей вказаного судна для безпечного розходження з іншими судами в умовах, коли зміна курсу власного судна була неможливою через навігаційні перешкоди та курс і швидкість іншого судна були постійними. Практично виконані маневри розходження змінною швидкості та обрані за допомогою розробленого способу в даному дисертаційному дослідженні, використовуючи область небезпечних швидкостей та оптимізацію маневру, були оптимальними за часом та безпечними.

**Практичне значення** отриманих результатів полягає у тому, що його результати можуть бути впроваджені на судна в процесі експлуатації, а також використані розробниками навігаційних інформаційних систем, призначених для зовнішнього управління процесом розходження судна.

#### **Наукове положення.**

Підвищення безпеки судноводіння в стислих умовах та вдосконалення методів попередження зіткнень суден забезпечується оптимальним та безпечним маневром з мінімальною втратою ходового часу під зовнішнім управлінням при співвідношенні певних швидкостей, які не входять до області небезпечних швидкостей.

## ВИСНОВКИ

У дисертації отримано теоретичне узагальнення і нове вирішення задачі забезпечення безпеки судноводіння шляхом розробки нового способу вибору оптимального за часом маневру розходження суден зниженням швидкостей, який реалізований в комп'ютерному модулі, та відрізняється принципом зовнішнього управління процесом їх розходження і застосуванням області небезпечних швидкостей. Забезпечення безаварійного судноводіння сприяє зменшенню кількості аварійних випадків, що веде до збереження людського життя на морі та зниження шкоди навколишньому середовищу.

Основні теоретичні і практичні результати, отримані в дисертації, можуть бути використані не лише на судах, а також розробниками навігаційних інформаційних систем, призначених для зовнішнього управління процесом розходження судна, та в процесі навчання і підвищення кваліфікації судноводіїв.

У дисертаційній роботі були отримані наступні наукові результати:

- вперше отримано спосіб вибору оптимального за часом маневру розходження зниженням швидкостей суден за допомогою області небезпечних швидкостей;

- удосконалено спосіб формування області небезпечних швидкостей з розрахунком її меж і графічним відображенням;

- дістала подальшого розвитку процедура визначення можливостей існування множини допустимих маневрів розходження суден зміною їх швидкостей.

Вирішення головної задачі було досягнуто у наступному: був створений реалізований в комп'ютерному модулі новий спосіб вибору оптимального за часом маневру розходження суден зниженням швидкостей при їх зовнішньому управлінні із застосуванням області небезпечних швидкостей.

Якісним показником результатів дисертаційної роботи є можливість підвищення вірогідності попередження зіткнень суден методами зовнішнього управління їх процесу розходження. Мінімізація втрат ходового часу на маневр запобігання зіткненням являється кількісним показником.

Практичні результати дисертаційного дослідження впроваджені приватним вищим навчальним закладом «Інститут післядипломної освіти» «Одеський морський тренажерний центр» для підготовки судноводіїв (акт впровадження від 27.03.2018 р.), крьюнговою компанією «В.Шіпс (Україна)» для навчання, підготовки і перепідготовки офіцерів морських суден за напрямом «Судноводіння» з метою забезпечення безпеки плавання (акт впровадження від 10.04.2018 р.). Матеріали дисертаційного дослідження використовуються в навчальному процесі національного університету «Одеська морська академія» (акт від 23.04.2018 р.).

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Кулаков М.А. Использование областей опасных скоростей для выбора маневра расхождения судов/ Кулаков М.А., Калиниченко Г.Е., Петриченко Е. А. // Автоматизация судовых технических средств. – 2016. – № 22. – С. 62 – 65.
2. Кулаков М.А. Процедура определения маневра расхождения изменением скоростей судов/ Кулаков М.А. // Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 27. – Одесса: «ИздатИнформ», 2016
3. Бурмака И.А. Основные характеристики группы судов при внешнем управлении процессом судовождения / Бурмака И.А., Калиниченко Г.Е., Кулаков М.А.// Судовождение: Сб. научн. трудов./ ОНМА, Вып. 26. – Одесса: «ИздатИнформ», 2015 - С. 35-41.
4. Кулаков М.А. Выбор оптимальных скоростей судов при внешнем управлении их процессом расхождения/ Кулаков М.А. // Автоматизация судовых технических средств. – 2017. – № 23. – С. 51-57.
5. Бужбецкий Р.Ю. Гибридная система управления взаимодействием судов в ситуации их опасного сближения /Бужбецкий Р.Ю., Кулаков М.А.// Судовождение: Сб. научн. трудов./ НУ «ОМА», Вып. 28. – Одесса: «ИздатИнформ», 2017
6. Бурмака И.А. Управление парой судов в ситуации опасного сближения/ Бурмака И.А., Калиниченко Г. Е., Кулаков М.А.// Вестник Государственного университета морского и речного флота им.адмирала С. О. Макарова. Санкт-Петербург.– 2016. – выпуск 3 (37). – С. 64 - 71.
7. Бурмака И.А. Использование областей опасных курсов и опасных скоростей для выбора маневра расхождения/Бурмака И.А., Пасечнюк С. С., Кулаков М.А.// Эксплуатация, безопасность и экономика водного транспорта. Вестник Государственного морского университета им.адмирала Ф. Ф. Ушакова. Новороссийск.– 2017. – выпуск 2 (83). – С. 76 - 80.
8. Бурмака И.А. Предупреждение столкновений судов методами внешнего управления процессом расхождения / Бурмака И.А., Калиниченко Г.Е., Кулаков М.А. // Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences, V(14), Issue: 132, 2017.- С. 56 - 60.
9. Бурмака И.А. Применение областей недопустимых значений параметров для предупреждения столкновений судов при их внешнем управлении./ Бурмака И.А.,Кулаков М.А.,Пасечнюк С.С.// East European Scientific Journal, №11 (27), 2017, part 1.- С. 40-48.
10. Бурмака И.А. Использование областей опасных скоростей для расхождения судов в стесненных условиях/ Бурмака И.А., Кулаков М.А.// Морські перевезення та інформаційні технології в судноплаванні: Матеріали наук.-техн. конф., 19-20 листоп. 2015 – Одеса : ОНМА, 2015. – С. 115–117
11. М.А. Кулаков. Определение маневра расхождения с помощью области опасных скоростей судов/Кулаков М.А.// Річковий та морський транспорт: інфраструктура, судноплавання, перевезення, безпека: Матеріали наук.-техн. конф., 16-17 листоп. 2016 – Одеса : ОНМА, 2016. – С. 123–125.

12. Калиниченко Г.Е. Анализ условия сближения судов / Калиниченко Г., Кулаков М.А. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2016): Матеріали VIII Міжнародної наук.-практ. конф., 24-26 травня. 2016 – Херсон: ХДМА, 2016. – С. 122–125.

13. Кулаков М.А. Применение области опасных скоростей судов для выбора маневра расхождения / Кулаков М.А. // Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT-2017): Матеріали IX Міжнародної наук.-практ. конф., 23-25 травня. 2017 – Херсон: ХДМА, 2017. – С. 122–125.

14. Бурмака И.А. Определение допустимого множества маневров расхождения судов изменением скоростей / Бурмака И. А., Кулаков М.А., Калиниченко Г.М. // Сучасні технології проектування, побудови, експлуатації і ремонту суден, морських технічних засобів і інженерних споруд: Матеріали Всеукраїнської наук.-тех. конф., 17-18 травня 2017 р. – Івано-Франківськ : МУК, 2017. – С. 21–23.

## АНОТАЦІЯ

**Кулаков М.О.** Розробка способу вибору маневру розходження зміною швидкостей суден при їх зовнішньому управлінні. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом (271-Річковий та морський транспорт). - Національний Університет "Одеська морська академія", Одеса, 2018.

Отримано аналітичний метод і графічні діаграми, за допомогою яких можна визначити значення ситуативного збурення залежно від поточної ситуації зближення для випадку, коли швидкість судна менше швидкості цілі. У разі ситуації, коли неможливе маневрування зміною курсу, запропонована процедура формування областей небезпечних швидкостей, за допомогою якої можна обрати маневр розходження суден зміною їх швидкостей.

Основна частина роботи присвячена питанням вибору оптимального за часом маневру розходження зміною швидкостей суден з урахуванням їх інерційно-гальмівних характеристик в різних режимах гальмування. Показано, що, виходячи з початкової ситуації небезпечного зближення суден, за допомогою області їх небезпечних швидкостей визначається існування множини безпечних маневрів розходження суден зміною швидкостей з урахуванням їх інерційності в режимах активного і пасивного гальмування.

Запропонована процедура визначення оптимального за часом маневру розходження суден зміною їх швидкостей аналітичним способом, яка дозволяє розрахувати момент часу початку їх гальмування, при якому дистанція найкоротшого зближення дорівнює граничній-допустимій дистанції зближення.

У роботі запропонована процедура комп'ютерного графічного визначення оптимального за часом маневру розходження зміною швидкостей суден. Для перевірки коректності запропонованої процедури наведені приклади визначення оптимального за часом маневру розходження зміною швидкостей суден, що небезпечно зближуються, з різними режимами гальмування.

Імітаційним моделюванням виконана перевірка коректності отриманих маневрів розходження. З цією метою обирався ряд початкових ситуацій небезпечно зближення, для яких визначалися оптимальні маневри розходження. Потім проводилося імітаційне моделювання отриманих маневрів, аналіз якого показав коректність всіх маневрів, тобто розрахункові значення тривалості перехідних процесів гальмування обох суден, часу і дистанції найкоротшого зближення збіглися із значеннями, отриманими в результаті імітаційного моделювання маневру для всіх розглянутих випадків.

**Ключові слова:** безпека судноводіння, попередження зіткнень суден, зовнішнє управління, маневр розходження зниженням швидкостей, область небезпечних швидкостей.

## АННОТАЦІЯ

**Кулаков М.А.** Разработка способа выбора маневра расхождения изменением скоростей судов при их внешнем управлении.– Квалификационный научный труд на правах рукописи. Диссертация на получение научной степени кандидата технических наук (доктора философии) за специальностью 05.22.13 – навигация и управление движением (271-речной и морской транспорт). - Национальный Университет "Одесская морская академия", Одесса, 2018.

В работе введено понятие элементарной группы судов и проведена ее характеристика. Приведена процедура формирования областей опасных курсов элементарной группы судов для разных соотношений скоростей сближающихся судов.

Для случая, когда скорость судна меньше скорости цели, показаны аналитический метод и графические диаграммы, с помощью которых можно определить значение ситуационного возмущения в зависимости от текущей ситуации сближения. В ситуации, когда невозможно маневрирование изменением курса, предложена процедура формирования областей опасных скоростей, с помощью которой можно выбрать маневр расхождения судов изменением их скоростей.

Основная часть работы посвящена вопросам выбора оптимального маневра расхождения изменением скоростей судов с учетом их инерционно-тормозных характеристик в различных режимах торможения.

Показано, что, исходя из начальной ситуации опасного сближения судов, с помощью области их опасных скоростей определяется существование множества безопасных маневров расхождения судов изменением скоростей с учетом их инерционности в режимах активного и пассивного торможения.

В случае существования множества безопасных маневров расхождения судов изменением скоростей предложена процедура определения оптимального маневра расхождения изменением скоростей аналитическим способом, которая позволяет рассчитать момент времени начала торможения судов, при котором дистанция кратчайшего сближения равна предельно-допустимой дистанции сближения. Получены выражения для расчета оптимального значения момента времени начала торможения судов при использовании судами различных вариантов режимов торможения.

В работе предложена процедура компьютерного графического определения оптимального маневра расхождения изменением скоростей судов. Для проверки корректности предложенной процедуры приведены примеры определения оптимального маневра расхождения изменением скоростей опасно сближающихся судов с различными режимами торможения.

Имитационным моделированием произведена проверка корректности полученных маневров расхождения. С этой целью выбирался ряд исходных ситуаций опасного сближения, для которых определялись оптимальные маневры расхождения. Затем проводилось проигрывание полученных маневров, анализ которого показал корректность всех маневров, т. е. расчетные значения длительности переходных процессов торможения обоих судов, времени и дистанции кратчайшего сближения совпали со значениями, полученными в результате проигрывания маневра для всех рассмотренных случаев.

**Ключевые слова:** безопасность судоходства, предупреждения столкновений судов, внешнее управление, маневр расхождения снижением скоростей, область опасных скоростей.

## ANNOTATION

**Kulakov M.O.** Development of method to choice the maneuver of collision avoidance by the ships' speed under external management. It is a qualifying scientific labor on rights of the manuscript. Dissertation on the receipt of scientific degree as candidate of engineering sciences (Ph.D.) according to specialty 05.22.13 - navigation and steering (271- river and marine transport). National University "Odessa marine academy", Odessa, 2018.

Creating procedure of region of dangerous courses for elementary vessels group taking into account changing of their speeds is resulted at dissertation research accordingly.



An analytical method and graphic diagrams allow to define the situation indignation value depending on the current approaching each other situation for a case, when the ship's speed less than the speed of target. In instance, when maneuvering by the change of course is impossible, creature procedure of region for dangerous speeds is offered, by which it is possible to choose the maneuver of collision avoidance through the changing of their speeds.

Dissertation research basic part is devoted to such question as choice of optimum maneuver of vessels collision avoidance through the changing of their speeds taking into account their inertia-brake descriptions in different modes of speed slowdown. Based on the initial situation of dangerous vessels approaching each other, existence of great number of safe maneuvers of vessels collision avoidance through the changing of their speeds can be determined by using the region of dangerous speeds taking into account their inertia-brake descriptions in active and passive modes of speed slowdown.

Offered determination procedure of optimum maneuver of vessels collision avoidance through the changing of their speeds based on analytical method allows to calculate the time moment for vessels slowdown commencement, at which distance of the shortest approaching is equal to minimum-possible distance of approaching.

Procedure of computer graphic determination of optimum maneuver of vessels collision avoidance through the changing of their speeds is offered in dissertation research. To verify offered procedure accuracy, the examples of determination of optimum maneuver of vessels collision avoidance through the changing of their speeds with different modes of speed slowdown are offered.

Accuracy verification of maneuver of vessels collision avoidance is provided by simulation. For this purpose, some of initial situations of dangerous approaching were taken to determine optimum maneuver of vessels collision avoidance for each one. Simulating of that maneuvers was provided same as their analysis, which shown good accuracy of all of them. That means following - calculated values of transition period for both vessels speed slowdown, time and distance for closest point of approaching are equal to the same values obtained for all considered maneuverers.

**Keywords:** safety of navigation, vessels collision avoidance, external management, maneuver of collision avoidance through the speed-reducing, region of dangerous speeds.

Підп. до друку 19.12.2018. Формат 60x84/16. Папір офсет.  
Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,39.  
Тираж 100 пр. Зам. № И18-12-73

Національний університет «Одеська морська академія»  
65029, м. Одеса, Дідріхсона, 8.  
Тел./факс (0482) 34-14-12  
[publish-r@onma.edu.ua](mailto:publish-r@onma.edu.ua)  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
ДК № 1292 від 20.03.2003