

УДК 629.123

DOI: [https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.3\(23\).117-122](https://doi.org/1034169/2414-0651.2019.3(23).117-122)**А. В. КОСЯКОВСЬКИЙ,**

кандидат технічних наук

<https://orcid.org/0000-0002-4796-3299>

(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

В. С. ДАВИДОВ, кандидат технічних наук, доцент<https://orcid.org/0000-0002-7417-2521>

(Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ)

А. І. ОВЧІННИКОВА<https://orcid.org/0000-0003-4121-2336>

(Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ)

Математична модель забезпечення безпеки плавання буксирних складів, що штовхаються, на річках і в прибережній морській зоні

У статті визначено підходи до створення математичної моделі забезпечення безпеки плавання буксирних складів, що штовхаються, на річках і в прибережній морській зоні шляхом визначення сукупності параметрів, що підлягають дослідженню, і встановленню алгоритмічної залежності вихідного ефекту системи від їх значень. В якості показників ефективності розглянуто основні параметри, що впливають на експлуатацію і безпеку плавання буксирних складів, що штовхаються. Шляхом багатокритеріальної оптимізації в якості основних обрано такі показники: бокове відхилення центру мас рухомого складу від заданого маршруту; відстань до підводних і надводних навігаційних орієнтирів (небезпек) або поворотної точки від місцезнаходження буксирних складів, що штовхаються, на траєкторії їх руху, яка визначена за допомогою додаткової опції електронно-картографічної навігаційно-інформаційної системи, що допускає використання рухомого координатного курсору в режимі високоточного кутотірно-дальномірного пристрою способом автоматичного захоплення ім різних навігаційних об'єктів; імовірність отримання повної і достовірної інформації про місцезнаходження буксирного складу, що штовхається, на траєкторії його руху; середній час кругового рейсу буксирного складу, що штовхається. При подальших дослідженнях запропоновано встановити головний показник – середній час кругового рейсу, який обраний в якості критерію ефективності, що необхідно мінімізувати, а інші показники перевести в розряд обмежень.

Ключові слова: буксирний склад, що штовхається, забезпечення безпеки плавання, річка і прибережна зона, алгоритмічна залежність, вихідний ефект моделі.

В статье определены подходы к созданию математической модели обеспечения безопасности плавания толкаемых буксирных составов, на реках и в прибрежной морской зоне путем определения совокупности параметров, подлежащих исследованию, и установлению алгоритмической зависимости выходного эффекта системы от их значений. В качестве показателей эффективности рассмотрены основные параметры, влияющие на эксплуатацию и безопасность плавания толкаемых буксирных составов. Путем многокритериальной оптимизации в качестве основных выбраны следующие показатели: боковое отклонение центра масс подвижного состава от заданного маршрута; расстояние до подводных и надводных навигационных ориентиров (опасностей) или поворотной точки от местонахождения толкаемых буксирных составов на траектории их движения, определяемое с помощью дополнительной опции электронно-картографической навигационно-ин-

формационной системы, допускающее использование подвижного координатного курсора в режиме высокоточного угломерно-дальномерного устройства способом автоматического захвата им различных навигационных объектов; вероятность получения полной и достоверной информации о местонахождении толкаемого буксирного состава на траектории его движения; среднее время кругового рейса толкаемого буксирного состава. При дальнейших исследованиях предлагается установить главный показатель - среднее время кругового рейса, выбранный в качестве критерия эффективности, который необходимо минимизировать, а другие показатели перевести в разряд ограничений.

Ключевые слова: толкаемый буксирный состав, обеспечение безопасности плавания, река и прибрежная зона, параметры, алгоритмическая зависимость, выходной эффект модели.

ВСТУП

Результати аналізу вантажоперевезень річковим транспортом України в прибережній зоні плавання і гирлах річок свідчать про те, що незважаючи на їх незначний обсяг, аварійність суден змішаного «річка-море» плавання та барже-буксирного флоту, в основному через їх фізичний та моральний знос, залишається досить високою. Високоточні диференціальні режими роботи глобальних навігаційних супутникових систем (ГНСС) GPS і ГЛОНАСС не зробили істотного впливу на зниження аварійності суден і складів, пов'язаних з посадками на мілину і дотиками до ґрунту. Впровадження на річковому транспорті річкових інформаційних систем (PIC) і річкових електронно-картографічних навігаційно-інформаційних систем (INLAND ECDIS) також не вирішили повністю існуюче протиріччя між точністю знання свого місця на траєкторії руху і навігаційною аварійністю. Це підтверджує 25-річний досвід використання ECDIS на морських судах. Основними причинами, що впливають на аварійність річкових суден та складів при плаванні по річках і в прибережних умовах, являються не похибки у визначенні місцезнаходження кормової частини складу, де, як правило, встановлені антени ГНСС, на траєкторії руху, а фактори, що зазначені нижче:

неточний облік інерційно-гальмівних характеристик і елементів поворотності традиційними штурманськими і лоцманськими методами, а також місцезнаходження полюса (центру) повороту в тій чи іншій ситуації;

низька точність знання місця розташування на траєкторії руху буксирного складу, що штовхається (БСШ), його носової частини, яка, з урахуванням довжини сучасних модульних БСШ, знаходиться на відстані до 300 м від краю корми і найчастіше схильна зіштовхуватись з підводними і надводними об'єктами;

відсутність на БСШ технічних засобів, які дозволяли б прогнозувати наперед їх місця розташування на траєкторії руху з урахуванням безперервної зміни відстаней до небезпечних об'єктів, в умовах мінливої ходової навігаційно-гідрографічної, гідрометеорологічної і гідрологічної обстановки.

Мета роботи – визначення наукових підходів до вибору показників ефективності експлуатації БСШ на річках і в прибережній морській зоні України та створення математичної моделі цієї системи.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Успішний розвиток економіки України вимагає прийняття негайних заходів щодо відродження водного транспорту країни. Державні програми: «Державна програма розвитку внутрішнього водного транспорту на період 2014-2020 рр.» [1] і «Державна цільова програма безпечної експлуатації внутрішніх водних шляхів та судноплавних шлюзів України на 2011-2020 рр.» [2] визначили стратегію розвитку водного транспорту та внутрішніх водних шляхів країни на відносно тривалий період. У зазначені програми увійшли такі заходи: розробка програми будівництва національного річкового флоту, участь у відродженні європейського річкового шляху Е-40, орієнтованого на транзитний потенціал Дніпра.

В Україні досі не реалізований величезний потенціал водного транспорту, його логістичні та економічні переваги в порівнянні з іншими видами транспорту. Так, перевезення тонни вантажу автотранспортом складає вартість в еквіваленті близько 11,5 \$, залізницею – 7,8 \$, водним транспортом – приблизно 4,5 \$ [3]. Всі європейські країни багаторазово випереджають Україну за показниками річкових вантажоперевезень. За даними 2014 року в Україні річковим транспортом перевезено 5 млн. т. вантажів, що становить 0,5% від загальноєвропейських річкових перевезень. За протяжністю внутрішніх водних шляхів, Україна займає 4-е місце в Європі. Через українську територію проходять акваторії трьох судноплавних річок, що входять до п'ятірки найбільших в Європі: це Дніпро, Дунай і Південний Буг, які використовуються лише на 0,5% в системі вантажоперевезень [4].

Основними особливостями експлуатації та управління морехідними якостями БСШ є:

великі габарити складів, що займають широку смугу суднового ходу;

значні похибки в обліку параметрів керованості і маневреності через неможливість проведення випробувань буксирних складів з метою їх визначення, через короткі часові терміни проведення транспортної операції і змінності об'єктів буксирування;

постійна зміна параметрів суднового ходу: напрямку, ширини і глибини;

недостатня точність визначення місця розташування складу щодо осі суднового ходу і поворотної точки при відсутності диференціального режиму ГНСС;

мінливість рівня води щодо нуля глибин (НГ) при спуску води з водосховищ або сильних паводках, що призводить до зміни конфігурації берегової лінії, і як наслідок, похибок при використанні суднових РЛС;

складності, і як наслідок, значні похибки в обліку морехідних характеристик: інерційно-гальмівних, поворотності, керованості через мінливості течій і знесення вітром в умовах відсутності технічних можливостей для визначення розташування носової частини складу на траєкторії руху;

недостатня оперативність в доведенні інформації про зміни в обстановці і режиму плавання.

При проводці БСШ в складних навігаційних умовах, до яких відносяться річки, канали, рейди і акваторії портів, при виконанні маневрів швартування до причалу або судна, що знаходиться на рейді, найчастіше відстань до навігаційних небезпек, бровок каналів, причалів або судів вимірюється малими величинами в межах десятків або декількох метрів [5].

В цих умовах судноводіїв в першу чергу цікавить положення носа та корми складу щодо навігаційних небезпек, а також положення діаметральної площини судна на траєкторії його руху щодо осей каналів та фарватерів. При поворотах БСШ його рух на циркуляції являє собою смугу руху, ширина якої може досягати до сотні метрів, оскільки сучасні модульні склади досягають довжини до 285 м.

Наприклад, для БСШ довжиною 200 метрів ширина смуги руху на усталеній траєкторії руху на циркуляції становить близько 67 метрів. Неврахування цієї обставини при проводці складів по річках і в прибережній зоні, де плавання здійснюється в основному по фарватерах і каналах, веде до збільшення їх аварійності та є основним фактором їх аварійності.

Особливо актуальним вирішення цього завдання постає у зв'язку з переходом на перевезення вантажів БСШ великої тоннажності як найбільш рентабельних, які будуть становити більше десяти тисяч реєстрових тонн. Довжина сучасних БСШ, серії «Макс» може становити до 300 метрів, ширина на річці Дніпро в межах 18 метрів. Відповідно до існуючої архітектури будови суден, надбудова з ходовим містком і антенами ГНСС, РЛС і ЗАРП знаходиться на буксирних судах в кормовій частині. При визначенні місцеположення судна за допомогою ГНСС або РЛС з використанням електронних карт INLAND ECDIS на моніторі спостерігача обсервоване місце буксирного судна спостерігається відносно місця встановлення антени [6].

Положення носової частини складу судноводії зазвичай оцінюють на око або лоцманськими прийомами. Похибка оцінки відстані при цьому може становити до 25% від відстані до навігаційних небезпек і берегових споруд.

Комплексне використання ECDIS, приймачів ГНСС та антен, розташованих на краях великотоннажних морських суден та складів для контролю місця розташування носа і корми судна, щодо навігаційних небезпек і орієнтирів за допомогою рухомого координатного курсору розглядалося в роботах [7 - 9], ці пропозиції можна застосувати і для БСШ з INLAND ECDIS, що в значній мірі доповнить можливості РЛС і ЗАРП щодо контролю дистанції, збільшить точність її визначення за рахунок більш точного знання поточних географічних координат носа і корми БСШ по ГНСС, що працюють в спеціальних режимах. Запропонований спосіб може бути застосований при вирішенні таких високоточних завдань судноводіння, як:

при проводці БСШ для визначення відстаней до навігаційних орієнтирів, реперних точок, підводних рифів, банок, затонулих об'єктів і напрямків на них, відносно носа і корми складу;

виведення БСШ в точку початку повороту і контролю місця розташування носа складу і корми буксира на циркуляції;

створення «штучних» створів за допомогою реперних точок при плаванні поблизу необладнаного узбережжя та річок;

забезпечення підходу БСШ до судна, що стоїть на рейді або біля причалу по траєкторії, що задається пеленгом зближення і контролю дистанції до причалу в процесі швартування складу.

БСШ являє собою складну технічну систему, що складається із зчленованих, як правило, жорсткою механічною зчипкою в єдине ціле буксирного судна та несамохідної баржі.

Для здійснення безпечною проведення в складних річкових умовах цієї системи, необхідна розробка математичної моделі [10], яка включає велику кількість підсистем і джерел різномірної інформації з безліччю різних параметрів, які після відповідної математичної обробки перетворюються в інформаційні дані і керуючі сигнали при її експлуатації. Створена модель забезпечення безпечної експлуатації БСШ покликана встановити алгоритмічну залежність вихідного ефекту пропонованої системи, що визначається цільовою функцією $F(T)$ та її показниками ефективності (α) від сукупності параметрів (Y) [11, 12].

$$Y \in Z = \{F(T), \alpha \in G\},$$

$$Y = Y(\bar{A}_1, \bar{A}_2, \bar{A}_3, \bar{A}_4, \bar{A}_5, \bar{A}_6, \bar{A}_7, \bar{A}_8, \bar{A}_9, \bar{A}_{10}, \bar{A}_{11}),$$

де: \bar{A}_1 – основні техніко-експлуатаційні характеристики складу;

\bar{A}_2 – інерційно-гальмівні параметри складу;

\bar{A}_3 – параметри стійкості складу на курсі;

\bar{A}_4 – параметри повороткості складу;

\bar{A}_5 – параметри розташування носа і корми складу на траєкторії руху;

\bar{A}_6 – параметри розташування об'єктів в електронній базі ENLAND ECDIS і кінця координатного курсору;

\bar{A}_7 – параметри гідрологічної обстановки;

\bar{A}_8 – параметри гідрометеорологічних умов;

\bar{A}_9 – параметри основних суднових берегових засобів визначення місця розташування складу на траєкторії руху;

\bar{A}_{10} – параметри експлуатації PIC і ENLAND ECDIS;

\bar{A}_{11} – параметри рентабельності експлуатації складу.

До числа найбільш важливих показників ефективності системи, що утворюють сукупність і визначаються на моделі, відносяться чинники виразу:

$$G = \{B_C, D_{HO}, P_C, t_{KP}\}.$$

де: B_C – бокове відхилення центру мас складу від заданого маршруту, що є функцією часу, з урахуванням його габаритів, маневрених характеристик, характеристик керованості і точності методів позиціонування складу на траєкторії руху;

D_{HO} – відстань до підводних і надводних навігаційних орієнтирів (небезпек) або поворотної точки від носа

і корми БСШ на траєкторії його руху, яке визначається за допомогою електронного курсору з точністю, яка відповідає точності масштабу електронної карти ENLAND ECDIS і спеціальних режимів роботи ГНСС;

P_C – імовірність отримання повної і достовірної інформації про місце розташування БСШ на траєкторії руху, що надходить від суднових і зовнішніх джерел навігаційної інформації;

T_{KP} – середній час кругового рейсу БСШ.

Фізичне значення параметрів $\bar{A}_1 - \bar{A}_{11}$ наступне.

$$\bar{A}_1 = F(L_{max}, B_{max}, D_{пор}, DW, W_{зерн}, V_{max}, S_{max}, t_{кр}),$$

де: L_{max} – довжина рухомого буксирного складу;

B_{max} – ширина рухомого буксирного складу;

$D_{пор}$ – вантажопідйомність порожнього складу;

DW – дедвейт складу;

$W_{зерн}$ – зернова вантажомісткість складу;

V_{max} – максимальна швидкість складу;

S_{max} – дальність плавання;

$t_{кр}$ – тривалість кругового рейсу.

$$\bar{A}_2 = F(S_{пр}, t_{пр}, S_{ш}, t_{ш}, S_{ар}, t_{ар}, S_{пш}, t_{пш}),$$

де: $S_{пр}$ – відстань, яку проходить склад при розгоні;

$T_{пр}$ – час розгону складу;

$S_{ш}$ – відстань, яку проходить склад при пригальмуванні;

$t_{ш}$ – час пригальмування складу;

$S_{ар}$ – відстань, яку проходить склад при активному гальмуванні;

$t_{ар}$ – час активного гальмування складу;

$S_{пш}$ – відстань, яку проходить склад при пасивному гальмуванні;

$t_{пш}$ – час пасивного гальмування складу.

$$\bar{A}_3 = F(T_\delta, Q, \pm \omega_o, \pm \delta_{po}, t_o(\delta), \theta_o(\delta), X_p),$$

де: T_δ – постійна часу затримки повороту складу;

Q – критерій стійкості складу на курсі;

$\pm \omega_o, \pm \delta_{po}$ – зона нестійкості складу на траєкторії руху;

$t_o(\delta), \theta_o(\delta)$ – характеристики отримання повороту складу;

X_p – положення полюса повороту складу відносно центру мас.

$$\bar{A}_4 = F(l_1(\delta), l_2(\delta), l_3(\delta), D_T(\delta), D_V(\delta), T_\mu(V_H, \delta) \Delta R),$$

де: $l_1(\delta)$ – висув складу на циркуляції;

$l_2(\delta)$ – зміщення складу на циркуляції;

$l_3(\delta)$ – зворотне зміщення складу на циркуляції;

$D_T(\delta)$ – тактичний діаметр циркуляції складу;

$D_V(\delta)$ – діаметр усталеної циркуляції складу;

$T_\mu(V_H, \delta)$ – період циркуляції складу;

ΔR – ширина смуги руху складу на циркуляції.

$$\bar{A}_5 = F(B_{cx}, B_C, T_{пр}, \varphi_{нс}, \lambda_{нс}, \varphi_{кб}, \lambda_{кб}, M_o),$$

де: B_{cx} – ширина суднового ходу;

B_c – бічне відхилення центру мас БСШ від заданого маршруту на прямолінійній ділянці траєкторії руху;

$T_{пр}$ – прохідна осадка складу;

$\varphi_{нс}$ – географічна широта місця розташування носа складу;

$\lambda_{нс}$ – географічна довгота місця розташування носа складу;

$\varphi_{кб}$ – географічна широта місця розташування корми буксира;

$\lambda_{кб}$ – географічна довгота місця розташування корми буксира;

M_o – середньоквадратична похибка визначення місцеположення носа складу і корми буксира на траєкторії руху.

$$\bar{A}_6 = F(\varphi_{кк}, \lambda_{кк}, \varphi_{но}, \lambda_{но}, \Pi_{но}, D_{но}, M_{кк}),$$

де: $\varphi_{кк}$ – широта кінця координатного курсору;

$\lambda_{кк}$ – довгота кінця координатного курсору;

$\varphi_{но}$ – широта навігаційних орієнтирів в електронній базі ENLAND ECDIS;

$\lambda_{но}$ – довгота навігаційних орієнтирів в електронній базі ENLAND ECDIS;

$\Pi_{но}$ – істинний пеленг з носа (корми) складу на навігаційний орієнтир;

$D_{но}$ – відстань від носа (корми) складу до навігаційного орієнтира;

$M_{кк}$ – середньоквадратична похибка вимірювання відстаней за допомогою координатного курсору.

$$\bar{A}_7 = F(H_T, H_{min}, \Delta h_{cp}, K_T, V_T, \beta_T),$$

де: H_T – критерій гарантованої глибини плавання;

H_{min} – мінімально допустима глибина в районі плавання;

Δh_{cp} – падіння рівня води в річці при скиданні;

K_T – напрямок течії;

V_T – швидкість течії;

β_T – кут зносу при течії.

$$\bar{A}_8 = F(q_w, W, \alpha, h_{вх}, \tau_{вх}, l_{вх}, D_e, P_{нгму}),$$

де: q_w – курсовий кут удаваного вітру;

W – швидкість удаваного вітру;

α – кут дрейфу складу від вітру;

$h_{вх}$ – висота вітрової хвилі;

$\tau_{вх}$ – період вітрової хвилі;

$l_{вх}$ – довжина вітрової хвилі;

D_e – географічна дальність видимого горизонту;

$P_{нгму}$ – ймовірність несприятливих гідрометеорологічних умов.

$$\bar{A}_9 = F(Q_{рл}, Q_{гк}, Q_{ГНСС}, Q_{БРЛ}, Q_{лд}, P_{тр}),$$

де: $Q_{рл}$ – експлуатаційні характеристики суднових радіолокаторів;

$Q_{гк}$ – експлуатаційні характеристики суднових курсоказівників;

$Q_{ГНСС}$ – експлуатаційні характеристики ГНСС;

$Q_{БРЛ}$ – експлуатаційні характеристики берегових радіолокаторів;

$Q_{лд}$ – експлуатаційні характеристики лазерних далекомірів;

$P_{тр}$ – ймовірність отримання повної і достовірної інформації про місце розташування БСШ на траєкторії руху, що надходить від суднових і зовнішніх джерел навігаційної інформації.

$$\bar{A}_{10} = (Q_{РІС}, Q_{ЕКНІС}),$$

де: $Q_{РІС}$ – експлуатаційні характеристики річкових інформаційних систем;

$Q_{ЕКНІС}$ – експлуатаційні характеристики річкових електронно-картографічних навігаційно-інформаційних систем.

$$\bar{A}_{11} = (C_{фр}, P_e, R_{ТС}),$$

де: $C_{фр}$ – фрахтова ставка транспортування 1 тонни вантажу;

P_e – експлуатаційні витрати на транспортування вантажу на рейд при повному використанні дедвейту типового складу;

$R_{ТС}$ – рентабельність роботи типового складу на один круговий рейс.

Основною вимогою, що висувається до даної транспортної системи з вантажних барж і буксира-штовхача, є досягнення всіма показниками ефективності своїх найкращих значень. При цьому, в загальному випадку повинні бути виконані наступні умови:

$$t_{кр} \rightarrow \min, B_c \rightarrow \min, D_{но} \rightarrow \max, P_c \rightarrow \max.$$

З вищевикладеного стає очевидним, що досягнення поставленої мети – підвищення ефективності експлуатації БСШ на річках і в прибережній морській зоні України – досягається декількома показниками, тобто виникає задача багатокритеріальної оптимізації.

На практиці досить широко застосовується підхід до побудови критерію [11, 12], при якому від декількох показників переходять до однієї багатоцільової функції $F(T)$ цих показників – так зване згортання показників. В подальшому розвитку даної теми пропонується виділення серед показників одного головного і перехід інших в розряд обмежень.

При заданих параметрах $\bar{A}_1 - \bar{A}_{11}$ необхідно мінімізувати середній час кругового рейсу буксирного складу, що штовхається, за таким критерієм:

$$J = t_{кр} \rightarrow \min.$$

При заданих обмеженнях:

$$B_c \leq B_{c3ад}, D_{но} \geq D_{но3ад}, P_c \geq P_{c3ад};$$

$$\bar{A}_5 = (B_{СХ}, B_{ТС}, T_{пр}, \varphi_{НС}, \lambda_{НС}, \varphi_{К}, \lambda_{К}, M_o);$$

$$\bar{A}_6 = (\varphi_{кк}, \lambda_{кк}, \varphi_{но}, \Pi_{но}, D_{но}, M_{кк});$$

$$\bar{A}_7 = (H_T, H_{\min}, \Delta h_{\text{ср}}, K_T, K_T, V_T, \beta_T);$$

$$\bar{A}_8 = (q_w, W, \alpha, h_B, \tau_B, l_B, D_e, P_{\text{НГМУ}}).$$

ВИСНОВКИ

На підставі запропонованого підходу до вибору показників ефективності експлуатації штовхаємих буксирних складів на річках і в прибережній морській зоні України стає можливим:

1. Врахування значної кількості різнорідних показників, які прямо або побічно впливають на ефективність експлуатації БСШ на річках і в прибережній морській зоні.

2. Розроблення математичної моделі для забезпечення безпеки плавання при експлуатації БСШ, що встановлює алгоритмічну залежність між її вихідним ефектом і сукупністю пропонувананих для дослідження параметрів.

3. На підставі аналізу можливостей досліджуваної транспортної системи, що складається з барж і буксира-штовхача, розробити способи, алгоритми та практичні рекомендації щодо поліпшення критеріїв її роботи.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ

1. Проект «Державна Програма розвитку внутрішнього водного транспорту України на період 2014-2020 рр.» [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.mtv.gov.ua/uk/alias_50/33386.html.
2. Проект концепції Державної цільової програми безпечної експлуатації внутрішніх водних шляхів та судноплавних шлюзів України на 2011-2020 рр. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://transport-journal.com/komentarii-obzori/resursnyj-potentsyal>.
3. ІАЦ BlackSeeTrans. Матеріали 2016 р. [Електронний ресурс] – Режим доступу: portsukraine.com/node/8/.
4. White Paper on Efficient and Sustainable Inland Water Transport in Europe // United nations economic commission for Europe. – New York and Geneva, 2011. 56 p.
5. Егоров А. Г. Определение главных размерений барже-буксирного состава смешанного плавания «Днепро-Макс» класса. Одесса : Вестн. ОНМУ, 2013. Вып. 39. С. 37-61.
6. Recommendation on electronic chart display and information system for inland navigation (Inland ECDIS) // United Nations. – New York and Geneva, 2011. – 268 p.
7. Давидов В. С., Овчинникова А. І. Підвищення безпеки судноводіння великогабаритних судів і складів в прибережній зоні плавання і гирлах річок шляхом використання координатного курсору ЕКНІС в режимі високоточного кутомірного-далекомірного пристрою. Херсон: Науковий вісн. ХДМА, 2018. №1 (18). С. 4-9.

8. Давидов В. С., Демічев В. В., Кожухаренко Р. В., Овчинникова А. І. Підвищення безпеки експлуатації великотоннажних суден шляхом оптимізації використання ЕКНІС. Водний транспорт. Київ: КДАВТ, 2016. №1 (24). С. 20 – 24.
9. Богом'я В. І., Давидов В. С., Кожухаренко Р. В., Демічев В. В. Спосіб контролю місця розташування великотоннажних морських суден на траєкторії руху шляхом використання системи приймачів ГНСС пов'язаних з ЕКНІС // Науковій твір. Свідчення про реєстрацію авторського права на твір від 06.07.2015, 60486.
10. Stewart, W. J. Probability, Markov Chains, Queues, and Simulation: The Mathematical Basis of Performance Modeling. – Princeton: Princeton Univ. Press, 2009. 546 p.
11. Сиразетдинов Т. К. Методы решения многокритериальных задач синтеза технических систем. М.: Машиностроение, 1988. 158 с.
12. Сергиенко И. В. Математические модели и методы решения задач дискретной оптимизации. Київ: Наукова думка, 1988. 427 с.

REFERENCES

1. Project «Derzhavna Prohrama rozvytku vnutrishn'oho vodnoho transportu Ukrainy na period 2014-2020 rr.» [State Program for the Development of Inland Water Transport of Ukraine for the period 2014-2020] available at: www.mtv.gov.ua/uk/alias_50/33386.html.
2. Proekt kontseptsiyi Derzhavnoyi tsil'ovoyi prohramy bezpechnoyi ekspluatatsiyi vnutrishnikh vodnykh shlyakhiv ta sudnoplavnykh shlyuziv Ukrainy na 2011-2020 rr. [Concept of the State Target Program for the Safe Operation of Inland Waterways and Navigation Gateways of Ukraine for 2011-2020] available at: www.transport-journal.com/komentarii-obzori/resursnyj-potentsyal.
3. IACz BlackSeeTrans. Materials 2016, available at: www.portsukraine.com/node/8/.
4. White Paper on Efficient and Sustainable Inland Water Transport in Europe // United nations economic commission for Europe. New York and Geneva, 2011. 56 p.
5. Egorov, A. G. (2013), «Opredelenie glavnyih razmereniy barzhe-buksirnogo sostava smeshannogo plavanya «Dnepro-Maks» klassa [Determination of the main dimensions of the barge-tug structure of the Dnepro-Max mixed swimming class]. Odessa: Vestn. ONMU, 2013. Vol. 39. pp. 37-61.
6. Recommendation on electronic chart display and information system for inland navigation (Inland ECDIS) // United Nations. New York and Geneva, 2011. 268 p.
7. Davydov, V. S. and Ovchinnikova, A. I. (2018), «Pidvyshchennya bezpeky sudnovodinnya velykohabarytnykh sudiv i skladiv v pryberezhniy zoni plavannya i hyrlakh richok shlyakhom vykorystannya koordynatnoho kursoru EKNIS v rezhymi vysokotochno

- kutomirnoho-dalekomirnoho prystroyu» [Enhancement of the safety of navigation of large-sized vessels and warehouses in the coastal zone of navigation and estuaries of rivers using the coordinate cursor of ECNIS in the mode of high-precision gauge-range-finding device]. Kherson: Scientific her. CDMA, No. 1 (18). Pp. 4-9.
8. Davydov, V. S., Demichyev, V. V., Kozhukharenko, R. V. and Ovchinnikova, A. I. (2016). «Pidvyshchennya bezpeky ekspluatatsiyi velykotonazhnykh suden shlyakhom optymizatsiyi vykorystannya EKNIS» [Enhancing the safety of the operation of large-tonnage vessels by optimizing the use of ECNIS], Water transport. K.: KDAVT, 2016. No. 1 (24). Pp. 20 - 24.
 9. Bogomya, V. I., Davydov, V. S., Kozhuharenko, R. V. and Demichev, V. V. «Sposib kontrolyu mistysya roz-tashuvannya velykotonazhnykh mors'kykh suden na trayektoriyi rukhu shlyakhom vykorystannya systemy pryumachiv HNSS pov'yazanykh z EKNIS» [Method of monitoring the location of large-scale marine vessels on the trajectory of motion using the system of receivers of GNSS related to ECNIS] Scientific work. Certificate of registration of copyright in a work dated 06.07.2015, 60486.
 10. Stewart, W. J. Probability, Markov Chains, Queues, and Simulation: The Mathematical Basis of Performance Modeling. – Princeton: Princeton Univ. Press, 2009. 546 p.
 11. Sirazetdinov, T. K. (1988). «Metody resheniya mnogokriterial'nykh zadach sinteza tekhnicheskikh sistem» [Methods for solving multicriteria problems of technical systems synthesis]. Mashinostroenie, M., 1988. 158 p.
 12. Sergiyenko, I. V. (1988). «Matematicheskiye modeli i metody resheniya zadach diskretnoy optimizatsii» [Mathematical models and methods for solving discrete optimization problems]. Naukova Dumka, K., 427 p.

Відомості про авторів:**Косяковський Андрій Валерійович**

кандидат технічних наук

начальник науково-дослідного управління розвитку морських озброєнь та техніки Військово-Морських Сил Центрального науково-дослідного інституту озброєння та військової техніки Збройних Сил України

м. Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-4796-3299>

e-mail: andrey77kos@gmail.com

Давидов Володимир Семенович

кандидат технічних наук

доцент

професор кафедри судноводіння та управління рухом судна Державного університету інфраструктури та технологій м. Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-7417-2521>

e-mail: vladimir.s.davydov@gmail.com

Овчиннікова Анастасія Ігорівна

аспірант кафедри судноводіння та управління рухом судна Державного університету інфраструктури та технологій м. Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0003-4121-2336>

e-mail: nastyonask92@gmail.com

Information about the authors:**Andriy Kosiakovskiy**

Candidate of Technical Sciences

Chief of the Directorate for Scientific Research of Armament and Military Equipment of the Navy of Central Research Institute of Armament and Military Equipment of the Armed Forces of Ukraine,

Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-4796-3299>

e-mail: andrey77kos@gmail.com

Volodimir Davydov

Candidate of Technical Sciences

Associate Professor

Professor at the Department of navigation and ship management of the State University of Infrastructure and Technologies Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-7417-2521>

e-mail: vladimir.s.davydov@gmail.com

Anastasya Ovchinnikova

Doctoral Student at the State University of Infrastructure and Technologies

Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0003-4121-2336>

e-mail: nastyonask92@gmail.com

Стаття надійшла до редколегії 03.06.2019 р.

Рецензент А. В. Дерпа, д-р техн. наук

(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

<https://orcid.org/0000-0001-7334-2237>**Рецензент С. В. Лапицький, д-р техн. наук, професор**

(Центральний науково-дослідний інститут озброєння та військової техніки Збройних Сил України, м. Київ)

<https://orcid.org/0000-0003-2645-0256>