

Дакі О.А., Пліта Л.Л., Трофименко І.В., Федунів В.М.

ОСОБЛИВОСТІ ТА ВИМОГИ ЩОДО НАВІГАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ СУДНОВОДІННЯ НА ВНУТРІШНІХ СУДНОПЛАВНИХ ШЛЯХАХ

Метою статті є розробка вимог та визначення особливостей побудови підсистеми навігаційного забезпечення безпеки судноплавства на внутрішніх судноплавних шляхах. Поставлена мета досягається шляхом аналізу наявних та перспективних систем навігаційного забезпечення безпеки судноводіння на внутрішніх водних шляхах та формулювання відповідних вимог, що забезпечать задані показники. Причому розробка вимог та визначення особливостей побудови підсистеми навігаційного забезпечення безпеки судноплавства враховують забезпечення єдності управління та контролю за функціонуванням ланцюга контрольно-коригувальних станцій на внутрішніх водних шляхах України. Доведено порядок вибору необхідних кутів нахилу супутників, що впливають на якість і дальність зв'язку. Найбільш суттєвим результатом є розробка вимог щодо точності і дискретності позиціонування диференціальних систем, що дозволяє виділити особливості розміщення контрольно-корегувальних станцій підсистеми навігаційного забезпечення безпеки судноплавства, характерні для внутрішніх судноплавних шляхів, що суттєво відрізняються від вимог для морських акваторій. Визначені основні фактори, що впливають на точність системи. Основний вплив на похибку здійснює зміна кута піднесення супутника. Доведено, що для дотримання порядку точності системи при видаленні понад 500-700 км від контрольної точки варто обмежити використання супутників з кутами піднесення більше за 10° . Необхідно враховувати час доби, географічну широту, час року та фази циклу сонячної активності. Деградація похибки при віддаленні від контрольної точки з 100 км до 500 км збільшується в 5 разів при кутах підвищення супутників. Значимість одержаних результатів полягає у формулюванні вимог та визначенні особливостей побудови підсистеми навігаційного забезпечення безпеки судноплавства на внутрішніх судноплавних шляхах з урахуванням їх специфіки, що дозволить знизити витрати на розгортання елементів системи, одночасно підвищивши його точність. Таким чином, проведені дослідження показали ефективність запропонованого підходу для подальшого розвитку підсистеми навігаційного забезпечення безпеки судноводіння.

Ключові слова: навігаційне забезпечення, безпека судноводіння, внутрішні судноплавні шляхи, точність, супутник, контрольно-корегувальна станція, диференціальна система.

Постановка проблеми. Забезпечення необхідного рівня безпеки плавання залишається однією з найважливіших проблем експлуатації сучасного внутрішнього водного транспорту [1]. Ця проблема стосується навігації не тільки у морських районах, але й на внутрішніх судноплавних шляхах (ВСШ). Окреслене питання характерне не тільки для України, але й для низки держав, що мають потужні водні внутрішні шляхи. Це пов'язано зі збільшенням інтенсивності судноплавства на ВСШ, збільшенням швидкості й вантажопідйомності річкових суден та суден класу "ріка-море" [2].

Є декілька шляхів вирішення цієї проблеми. Жоден з них не гарантує досягнення абсолютної якості вирішення завдань навігації. Кращих результатів вдається досягти при застосуванні комплексного підходу до вирішення завдань навігації. Сьогодні серйозні

позитивні результати дає конструктивне рішення завдань навігації. Воно полягає у переході від лоцманського до інструментального методу судноплавства на ВСШ. Основу управління та моніторингу при інструментальному методі судноплавства складають інфокомунікаційні системи, які забезпечують функціонування електронно-картографічних систем і систем високоточного позиціонування на основі супутникових радіонавігаційних систем.

Дані системи забезпечують ефективність виконання завдань лише в умовах дії суцільного поля диференціальної поправки. Для ВСШ України, враховуючи її географію і рельєф, таке поле може формуватися у середньому діапазоні хвиль (СХ) контрольно-коригувальними станціями (ККС) локальної диференціальної підсистеми (ЛДПС) GPS. Рациональне розміщення контрольно-коригувальних станцій ЛДПС для створення необхідної топології зон дії ККС ЛДПС забезпечує передачу коригувальної інформації у СХ діапазоні, чим досягається вищий рівень безпеки судноплавства та високоякісний моніторинг й управління транспортним процесом на ВСШ [3].

При передачі коригувальної інформації поверхневою хвилею СХ діапазону необхідно врахувати вплив підстилаючих поверхонь, загоризонтної рефракції та параметрів інфокомунікаційного обладнання. Отже, при побудові інфокомунікаційних систем та їх функціональних доповнень необхідно врахувати часткові варіації зон дії всіх ККС ЛДПС для визначення топології комплексного радіонавігаційного поля високоточного позиціонування, визначити дальність передачі диференціальних виправлень у СХ діапазоні та ін. Таким чином, для досягнення кращих результатів у безпеці судноплавства на ВСШ необхідно сформулювати вимоги й особливості побудови підсистеми навігаційного забезпечення безпеки судноводіння, в чому й полягає зміст роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Систему безпеки судноводіння (СБС) складають три основних елементи [4]: навігаційна безпека плавання (НБП), попередження зіткнень суден (ПЗС), внутрішня та зовнішня цілісність судна (рис. 1).

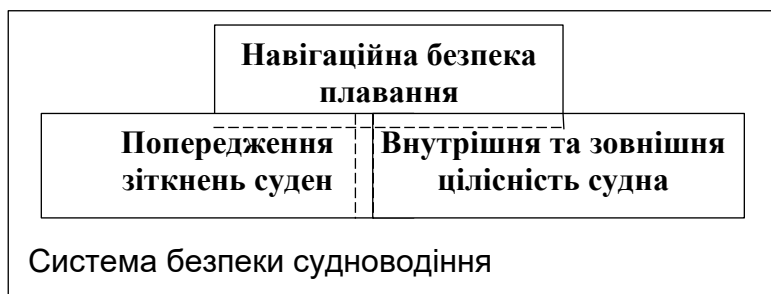


Рисунок 1 – Елементи системи безпеки судноводіння

Системою безпеки судноводіння називається взаємозв'язок елементів: судно, судноводій і навколишнє середовище, що представляють певну структуру (рис. 2), призначену для прогнозування виникнення небезпечних ситуацій, що мають наслідком руйнування судна, і здатну вживати заходів щодо їх запобігання.

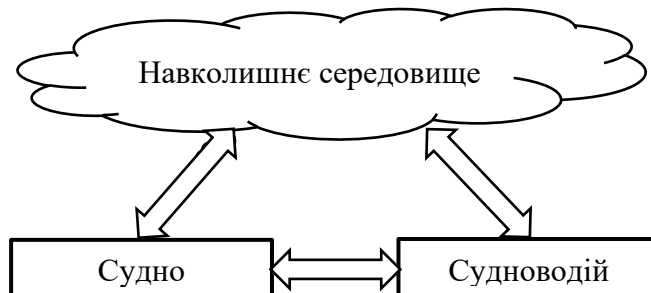


Рисунок 2 – Структура системи безпеки судноводіння

Фактично поняття СБС та її структури ототожені. У структурі СБС вказані елементи, відносини яких між собою породжують системну властивість інтегрованості, які в сукупності мають властивості, які не зводяться до властивостей окремих елементів.

Дане визначення дозволяє віднести систему безпеки судноводіння до класичної людино-машинної системи. В ній кінцевий результат досягається взаємодією трьох принципово різних середовищ: внутрішньо суднового, зовнішнього і макросередовища. В останньому формуються загальні вимоги до безпеки плавання суден: МППЗС-72 [5], рекомендації, настанови та інші обов'язкові закони, конвенції тощо, що впливають на забезпечення безпеки суден у морі.

Стандарти вимог до судноводіїв базуються на інтегрованому представленні судноводія про судно і зовнішнє середовище, яке необхідне для вироблення рішень.

До міжнародних вимог з організації та забезпечення безпеки мореплавання відносяться обов'язкові мінімальні вимоги, висунуті до капітанів, вахтових помічників та осіб рядового складу, що несуть вахту на містку (STSW-78/95), МППЗС-72 та ін.

Питання охорони людського життя на морі регламентуються єдиними технічними вимогами, що висуваються до суден для забезпечення безпечного плавання (SOLAS-74/94, chapter V), стандартами маневрених якостей суден [6], вимогами до заглибленості вантажної марки 66/69.

Управління безпечною експлуатацією суден регламентується (ISM Code) (SOLAS-74/94 chapter IX); заходами безпеки високошвидкісних суден (SOLAS-74/94 chapter X) та іншими міжнародними і національними вимогами.

У роботі Каретникова В.В. [7] вирішена проблема побудови топології диференціальних полів і визначення дальності дії контрольно-коригувальних станцій (ККС) високоточного місцевизначення на внутрішніх водних шляхах. Але при цьому не загострена увага на особливостях побудови подібних систем.

Робота [8] присвячена дослідженню питань електромагнітної захищеності систем моніторингу засобів навігаційного обладнання в автоматичних інформаційних системах. Але вимоги щодо побудови систем даного класу в явному вигляді у роботі не розглянуто.

Як відомо, основною причиною аварійності флоту є людський фактор. Виходячи з цього, ІМО розробила Систему управління безпекою (СУБ) як комплексний "гуманітарний" спосіб підтримки безпеки судноплавства шляхом створення "захисних бар'єрів" при роботі судноводіїв. Ідеологією такого підходу є теза: чим більше бар'єрів на шляху помилок судноводія, тим менше імовірність виникнення аварії або інциденту. Отже, методологія побудови СУБ, що базується на кодексах, конвенціях, постановах та ін., забезпечує механізм підтримки безпеки мореплавання шляхом вироблення адекватних вимог.

Тому актуальним залишається питання формування переліку основних вимог та особливостей при побудові підсистеми навігаційного забезпечення безпеки судноплавства на ВСШ

Метою статті є розробка вимог та визначення особливостей побудови підсистеми навігаційного забезпечення безпеки судноплавства на ВСШ.

Викладення основного матеріалу дослідження.

Забезпечення безпеки, економічності, регулярності й екологічності судноводіння (БС) вимагає чіткого моніторингу руху суден і управління швидкостями потоків суден або окремих суден. Наріжним каменем для досягнення цієї мети вважається комплексне впровадження сучасних радіотехнічних засобів на базі високоточних супутникових навігаційних технологій.

Тому у регіонах розгортають елементи системи управління судноплавством, що мають у своєму складі навігаційне забезпечення для максимального зниження ризику

аварій суден у районах з обмеженою свободою маневрування. Так, необхідно побудувати ланцюг контрольно-коригувальних станцій (ККС) глобальної навігаційної супутникової системи (ГНСС) і ланцюг базових станцій автоматизованих ідентифікаційних систем (АІС). Перші забезпечують безперервне високоточне визначення координат у межах заявленої робочої зони, високоточне навігаційне перекриття судноплавних шляхів, ланцюгів системи управління рухом суден (СУРС) для контролю руху суден у всіх проблемних, з погляду навігації, акваторіях. Другі забезпечують моніторинг морського району уздовж всього узбережжя, що гарантує своєчасне отримання сигналів небезпеки [9].

Вимоги до точності місцевизначення судна визначені Резолюцією ІМО А.953 (23), згідно з якими на внутрішніх водних шляхах похибка місця розташування судна складає не більше 10 м для $P=95\%$. Такі цифри до навігаційного забезпечення морських і річкових й споживачів можуть забезпечити ГНСС при роботі в диференційному режимі.

Для досягнення заданих показників ККС має певну структуру (рис. 3): основний і резервний комплекти опорної станції (ОС) ГНСС; основний комплект станції інтегрального контролю (СІК) з антенами ГНСС; контрольную станцію (КС) ГНСС на базі обчислювача з програмним забезпеченням [10].

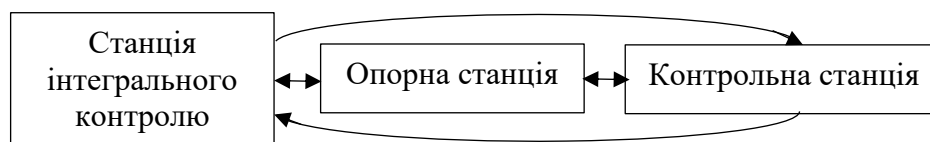


Рисунок 3 – Склад основного обладнання контрольно-коригувальної станції

Опорна станція здійснює прийом й обробку сигналів ГНСС і формування диференціальних поправок по всіх супутниках, які знаходяться в зоні радіовидимості ОС. Передача коригувальної інформації (КІ) у зовнішні пристрої здійснюється у відповідності зі стандартом RTCM SC 104 версія 2.3 (повідомлення 1, 31) [11].

Типовий ККС забезпечує такі основні технічні характеристики.

Опорна станція.

Кількість каналів приймача – 24.

Тип прийнятого сигналу – СТ, З/А, L1.

Точність виміру псевдодальності: 0,3 м (1 СКП).

Точність виміру псевдошвидкості, м/с: 0,04 (1 СКП).

Інтервал відновлення і видачі даних – < 1 с.

Час першого визначення при включенні – 2 хв.

Передача диференціальних виправлень на БС АІС здійснюється послідовним з'єднанням портів RS-232 (або RS-422, RS-485).

Живлення: від мережі змінного струму 220В, 50Гц.

Діапазон робочих температур:

– для апаратури всередині приміщень - $+5^{\circ}\text{C} - + 50^{\circ}\text{C}$;

– для антени, поза приміщенням - $50^{\circ}\text{C} - + 55^{\circ}\text{C}$.

Станція інтегрального контролю.

Кількість каналів приймача – 24.

Тип прийнятого сигналу – СТ, З/А, L1.

Інтервал відновлення і видачі даних – < 1 с.

Час першого визначення при включенні – 2 хв.

Прийом диференціальних поправок від апаратури мобільної АІС здійснюється за послідовним портом RS-232 (або RS-422, RS-485).

Діапазон робочих температур:

– для апаратури всередині приміщень: $+5^{\circ}\text{C} - + 50^{\circ}\text{C}$

– для антени, поза приміщенням: $- 50^{\circ}\text{C} - + 55^{\circ}\text{C}$

Контрольна станція забезпечує контроль параметрів та управляє роботою ОС і СІК.

Розглянуті вимоги відносяться до обладнання ККС, які працюють у СХ-діапазоні. Також є технічна можливість передавати диференціальні поправки по каналах системи АІС.

При установці супутникових антен необхідно враховувати існуючу інфраструктуру для того, щоби не допустити затінення антен у горизонтальній площині, що може призвести до переривання прийому сигналів від супутників. Крім того, на вибір місця для розміщення супутникових антен впливає розподіл супутників на орбітах і структура їх сигналів. Опорна станція здійснює формування диференціальних поправок для супутників, кути узвишся яких над обрієм складають від $7,5^{\circ}$. Ефект багатопроменевості прийнятих сигналів, що виникає за рахунок відбиття супутникових сигналів від близько розташованих до антени металевих об'єктів, будівель тощо, що мають добру відбиваючу здатність, вимагає вилучення таких предметів від супутникових прийомних антен. Спосіб установки антен ГНСС повинні виключати рухливість антен від впливу зовнішніх факторів.

Прокладка антенних кабелів здійснюється по кабельних трасах, а антенна щогла матиме надійне заземлення для захисту від грозових розрядів. Опорна станція використовує власне відоме місце розташування для розрахунку диференціальних поправок. Приймач ГНСС працює в опорних системах координат WGS-84.

Крім вказаних вимог й обмежень, серйозна увага приділяється розробці вимог щодо точності і дискретності позиціонування диференціальних систем. Причому їх розміщення відрізняється для морських акваторій і ВСШ.

При дискретних обсерваціях у морі, коли судно рухається за обчисленням, маємо:

$$M_{\text{обч}}(t) = \sqrt{M_0^2 + M_c^2(t)}, \quad (1)$$

де $M_{\text{обч}}$ – радіальна середньоквадратична похибка (СКП) обчисленого місця судна на даний момент; M_0 – радіальна СКП обчислення.

Для розрахунків в умовах морського плавання використовується вираз:

$$M_c(t) = 0,7K_c t, \quad \text{при } t < 2 \text{ год}; \quad (2)$$

$$M_c(t) = K_c \sqrt{t} \quad \text{при } t \geq 2 \text{ год}.$$

Більшість річкових суден не мають курсовказівників, достовірних даних про величину коефіцієнта точності обчислення K_c , стабільності на маршруті і не ведуть прокладку на карті. Тому формула (2) є неактуальною для використання при плаванні на ВСШ. Річкові судна на ВСШ рухаються в умовах обмеженої видимості, а разом з системами автоматичного управління курсом (річковими авторулевими) застосовують покажчики швидкості повороту (ПШП). Іншими словами, при плаванні по обчисленню на ВСШ необхідна інформація про кутову та лінійну швидкості судна.

ПШП має зони нечутливості (ω_{min}). Тому навіть на прямолінійній ділянці судно буде зміщатися з осі суднового ходу. Визначимо час, за який судно зміститься на допустиму за умовами плавання величину $Y_{\text{доп}}$ при лінійній швидкості судна V :

$$t_{\text{доп}} = \sqrt{\frac{2}{V \times \omega_{\text{min}}}} \times Y_{\text{доп}} \quad (3)$$

У таблиці 1 наведені значення $t_{\text{доп}}$ для $\omega_{\text{min}} = 5^{\circ}/\text{хв}$ [12].

Таблиця 1 – Час зміщення судна на величину $Y_{\text{доп}}$, с для $\omega_{\text{min}} = 5^{\circ}/\text{хв}$

V , км/ч \ \ $Y_{\text{доп}}$, м	1	2	3	5	10
10	22	31	38	49	70
15	18	25	31	41	57
20	16	22	24	35	50
25	14	20	24	31	44

Похибка по пройденій відстані вздовж вісі суднового ходу ΔX дорівнює:

$$\Delta X = \frac{V \times \omega_{\text{min}}^2}{6} \times t_{\text{доп}}^2 \quad (4)$$

і для наведених у таблиці 1 значень $Y_{\text{доп}}$ практично може не враховуватися.

Таблиця 1 допомагає однозначно встановити час корекції руху судна для ідеальних умов. Але сильна звальна течія або інші впливи потребують більш часті корекції руху.

На криволінійних ділянках суднового ходу з заданим радіусом повороту $R_{\text{Зад}}$, який визначається по карті при проробленні маршруту, величина похибки зсуву з осі суднового ходу Y дорівнює похибці ΔR , що є різницею між заданим та дійсним радіусом повороту:

$$Y = R_{\text{Зад}} \sqrt{\left(\frac{\Delta\omega}{\omega}\right)^2 + \left(\frac{\Delta V}{V}\right)^2}, \quad (5)$$

де $\Delta\omega$ та ΔV – похибка кутової швидкості ω та лінійної швидкості V судна відповідно.

Зазвичай відносна похибка виміру кутової швидкості складає приблизно 10%. Якщо відносна похибка виміру швидкості судна дорівнює 10%, то з (5) отримаємо $Y \leq 0,14 R_{\text{Зад}}$.

Отже, на відміну від морських умов, при русі на криволінійних ділянках ВСШ інформація тільки від засобів числення не забезпечує безпеки плавання. Крім того, на ВСШ недостатньо апроксимації маршруту відрізками прямих ліній. Тому до формату шляхових точок має закладатися радіус повороту, кут повороту та маршрутні координати X початку повороту. Якщо судно робить поворот з похибкою за часом Δt , то є зсув точки повороту уздовж осі суднового ходу на величину

$$\Delta x = V \cdot \Delta t. \quad (6)$$

Зміщення з траєкторії руху (первісна похибка при повороті судна) визначається як

$$Y \geq R_{\text{cx}} \left(\frac{\Delta X^2}{2R_{\text{cx}}^2 - \Delta x^2} \right) = R_{\text{cx}} \left(\frac{V^2 \times \Delta X^2}{2R_{\text{cx}}^2 - V^2 \Delta t^2} \right). \quad (7)$$

Максимальне значення похибки досягається при повороті на кут у 90° :

$$Y_{max} = \Delta x. \quad (8)$$

Окремі результати розрахунку радіальної похибки позиціонування наведені у таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати досліджень, виконані з використанням логіко-інформаційної моделі

Завдання, які вирішуються	Райони плавання	Радіальна похибка позиціонування, м (P=0,95)
Рух судна по внутрішніх водних шляхах	1. Озера та водоймища	25,0-45,0
	2. Річки	5,0-10,0
	3. Канали	2,0-5,0
Розміщення знаків судноплавної обстановки і визначення габаритів ВВШ	1. Озера и водоймища	2,5-4,5
	2. Річки	0,5-1,0
	3. Канали	0,3-0,5

Згідно з даними табл. 2, для забезпечення безпеки плавання на ВСШ, крім особливо скрутних для судноплавства ділянок, радіальна похибка позиціонування не повинна перевищувати 10 м (з $\Delta P = 0,95$) при дискретності обсервації 5-10 с з використанням засобів числення і 1-2 с при безпосередньому керуванні судном по сигналах ГНСС.

У диференціальному методі позиціонування виключаються систематичні похибки. Тому точність виправлень у робочій зоні залежить від випадкових похибок у контрольній точці та у місці прийому на судні; росту похибки залежно від дистанції до контрольної точки, в якій вона була визначена; змін похибок у часовій області.

На значення випадкової похибки впливають нестабільність еталону часу та навігаційної підсистеми (2,7 м); тропосферна похибка (2,0 м); шуми приймача і похибки обробки (1,5 м); багатопроменевість (1,2 м); інші причини (0,87 м). Ці складові випадкової похибки визначають еквівалентну похибку виміру псевдодальності 3,97 м (1σ) і результуючу похибку визначення координат (у горизонтальній площині) у 4 м.

При оцінці зростання похибки залежно від дистанції до контрольної точки враховується, що при поширенні у тропосфері швидкість і траєкторія сигналу визначаються показниками переломлення (індексом рефракції). Групова затримка радіосигналу $\tau_{гр}$ має характер квазідетермінованої функціональної залежності вигляду:

$$C \times \tau_{гр} = C_{тр} \times N(h) \times cosec(E), \quad (9)$$

де C – швидкість світла; $C_{тр}$ – постійна, яка залежить від стану тропосфери; $N(h)$ – лінійний інтеграл функції рефракції від споживача до супутника; E – кут піднесення супутника відносно споживача у градусах.

Використання даних про стандартну атмосферу дозволяє усунути значну частину похибки. Тоді залишкова похибка (приблизно 4-8%) залежить від $\Delta C_{тр}$ – залишкової тропосферної затримки і T_0 – абсолютної температури в точці прийому:

$$\Delta(C \times \tau_{гр}) = \Delta C_{тр} \times \exp\left(\frac{-0,034}{T_0}\right) \times cosec(E). \quad (10)$$

Зрозуміло, що залишкова похибка (10) компенсується в контрольній точці визначення диференціальних поправок. Ця похибка, залежно від віддалення від

контрольної точки, визначається різницею кутів піднесення супутника щодо споживача та контрольної точки, а також різницею висот й температур у цих точках. Отже, на похибку найбільше впливає зміна кута піднесення супутника ΔE . Максимального значення ця зміна досягає при розташуванні судна, контрольної точки та супутника в одній площині.

Розрахунки показують, що дотримання порядку точності системи при видаленні понад 500-700 км від контрольної точки, варто обмежити використання супутників з кутами піднесення більше за 10° , враховуючи при цьому час доби, географічну широту, час року та фази циклу сонячної активності.

Швидкості зміни тропосферної та іоносферної затримок зазвичай складають кілька метрів за годину. При малих кутах нахилу сигнали до споживачів надходять через значні товщі іоносфери та тропосфери. Тоді швидкість зміни зростає у декілька разів.

Але при часі диференційної похибки до 10...15 с зміна швидкості іоносферної та тропосферної затримок істотного значення на точність позиціонування не має. Деградація похибки при віддаленні від контрольної точки з 100 км до 500 км збільшується в 5 разів при кутах підвищення супутників.

Висновки. У статті вирішено актуальне завдання з розробки вимог та визначення особливостей побудови підсистеми навігаційного забезпечення безпеки судноплавства на ВСШ, яке має важливе значення для удосконалення функціонування водного транспорту.

Доведено, що формування єдиного диференціального поля, що є локальним функціональним доповненням ГНСС, залежить від забезпечення єдності управління та контролю за функціонуванням ланцюга контрольно-коригувальних станцій на внутрішніх водних шляхах України.

Визначено вимоги до точності і дискретності навігаційного місцезнаходження за сигналами річкової диференціальної підсистеми ГНСС на внутрішніх судноплавних шляхах. Доведено порядок вибору необхідних кутів нахилу супутників, що впливають на якість і дальність зв'язку.

Подальшими напрямками роботи є визначення особливостей впливу підстилаючої поверхні, пори року та діапазонів радіохвиль на дальність передачі коригувальної інформації у річковій диференційній підсистемі ГНСС.

ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України «Про внутрішній водний транспорт» № 1054-IX, 2020.
2. Калініченко А. П. Проблеми безпеки на внутрішніх водних шляхах України / А. П. Калініченко // Наука і правоохорона. – 2010. – No 1. – С. 206-212.
3. Parkinson B.W., Fitzgibbon K.T. Optimal Locations of Pseudolites for Differential GPS // Navigation (USA). Winter 1986-1987. Vol. 33. No 4. Pp. 2569-283.
4. Положення про систему управління безпекою судноплавства на морському і річковому транспорті: затверджене наказом Міністерства транспорту України від 20 листопада 2003 р. No 904 // Офіційний вісник України. – 2003. – No 52 (Частина 2). – Ст. 2844.
5. International Regulations for Preventing Collisions at Sea (1972) Parliament of the United Kingdom [режим доступу https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwi5hvL1os_8AhX8S_EDHX7ZBAUQFnoECDEQAQ&url=https%3A%ghdYFmszamq4IptdD22qA], дата звернення: 12.11.2022].

6. SOLAS - International Convention for the Safety of Life at Sea. [режим доступа http://library.arcticportal.org/1696/1/SOLAS_consolidated_edition2004.pdf, дата звернення: 12.11.2022].
7. Rizos C. Trends in GPS Technology & Applications. Electronic Resource available at: <https://www.researchgate.net/publication/267254924>, дата звернення: 12.11.2022.
8. Hakansson M., Jensen ABO, Horemuz M., and Hedling G (2017) Review of code and phase biases in multi GNSS-positioning. GPS Solutions 21:849-860. <https://doi.org/10.1007/s10291-016-0572-7>, дата звернення: 12.11.2022.
9. Hilla S., and Cline M (2004) Evaluation pseudorange effects at stations in the National CORS Network. GPS Solutions 7:253-267. <https://doi.org/10.1007/s10291-003-0073-7>, дата звернення: 12.11.2022.
10. Guide For Ground Based Augmentation System Implementation // International Civil Aviation Organization [режим доступа to icaosam@icao.int, дата звернення: 12.11.2022].
11. Ассоциация Электронной Промышленности. Интерфейс между терминальным оборудованием данных и оборудованием передачи данных, применяющий последовательный двоичный обмен данными (EIA RS-232-C), 2001, Ай Стрит, Нью-Йорк, штат Вашингтон, D. C. 2006. 125 с.
12. URL: <http://forinsurer.com/public/14/07/07/3824> (дата звернення 12.11. 2022).

REFERENCES

1. Law of Ukraine (2020), "On Inland Water Transport" ["Pro vnutrishniy vodnyy transport"] No. 1054-IX.
2. Kalinichenko A.P. (2010), "Safety problems on the internal waterways of Ukraine" ["Problemy bezpeky na vnutrishnikh vodnykh shlyakhakh Ukrayiny"] / A.P. Kalinichenko // Science and law enforcement. – No. 1. – P. 206-212.
3. Parkinson B.W., Fitzgibbon K.T. *Optimal Locations of Pseudolites for Differential GPS // Navigation (USA)*. Winter 1986-1987. Vol. 33. No 4. Pp. 2569-283.
4. (2003), "Regulations on the safety management system of maritime and river transport: approved by the order of the Ministry of Transport of Ukraine" ["Obzor vozmozhnykh metodov rascheta radiusa deystviya kontrol'no-korrektiruyushchikh stantsiy (KKS)"] dated November 20, 2003 No. 904 // Official Gazette of Ukraine. – No. 52 (Part 2). - Art. 2844.
5. *International Regulations for Preventing Collisions at Sea* (1972) Parliament of the United Kingdom [режим доступа https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKewi5hvL1os_8AhX8S_EDHX7ZBAUQFnoECDEQAQ&url=https%3A%ghdYFmszamq4IptdD22qA, , дата звернення: 12.11.2022].
6. SOLAS - *International Convention for the Safety of Life at Sea*. [режим доступа http://library.arcticportal.org/1696/1/SOLAS_consolidated_edition2004.pdf, дата звернення: 12.11.2022].
7. Rizos C. Trends in GPS Technology & Applications. Electronic Resource available at: <https://www.researchgate.net/publication/267254924>, дата звернення: 12.11.2022.
8. Hakansson M., Jensen ABO, Horemuz M., and Hedling G (2017) Review of code and phase biases in multi GNSS-positioning. GPS Solutions 21:849-860. <https://doi.org/10.1007/s10291-016-0572-7>, дата звернення: 12.11.2022.

9. Hilla S., and Cline M (2004) *Evaluation pseudorange effects at stations in the National CORS Network*. *GPS Solutions* 7:253-267. <https://doi.org/10.1007/s10291-003-0073-7>, дата звернення: 12.11.2022.
10. "Guide For Ground Based Augmentation System Implementation" // International Civil Aviation Organization [режим доступу to <https://www.icao.int/SAM/eDocuments/GBASGuide.pdf>, дата звернення: 12.11.2022].
11. (2001), Electronic Industry Association. "Interface between Data Terminal Equipment and Data Communication Equipment Employing Serial Binary Data" Exchange (EIA RS-232-C), I Street, New York, WA, D.C. 2006. 125 p.
12. URL: <http://forinsurer.com/public/14/07/07/3824> (дата звернення 12.11. 2022).

Daki O.A., Plita L.L., Trofymenko I.V., Fedunov V.M.

FEATURES AND REQUIREMENTS FOR NAVIGATIONAL SAFETY OF NAVIGATION ON INLAND WATERWAYS

The purpose of the article is to develop requirements and to determine the features of building a subsystem of navigational safety of navigation on inland waterways. This goal is achieved by analyzing existing and prospective systems of navigation safety support for navigation on inland waterways and formulating appropriate requirements that will ensure the specified indicators. Moreover, the development of requirements and determination of the features of building a subsystem of navigational safety of navigation consider the unity of management and control over the functioning of the chain of control and correction stations on inland waterways of Ukraine. The procedure for selecting the necessary angles of inclination of satellites that affect the quality and range of communication is proved. The most significant result is the development of requirements for the accuracy and discreteness of positioning of differential systems, which allows us to highlight the features of the placement of control and correction stations of the subsystem of navigation safety of navigation, characteristic of inland waterways, which differ significantly from the requirements for marine areas. The main factors affecting the accuracy of the system are determined. The main influence on the error is made by the change of the satellite elevation angle. It is proved that to maintain the accuracy of the system at more than 500-700 km from the control point, it is necessary to limit the use of satellites with elevation angles greater than 10°. It is necessary to consider the time of day, geographical latitude, time of year and phases of the solar activity cycle. The degradation of the error at a distance from the control point from 100 km to 500 km increases by 5 times at the angles of satellite elevation. The significance of the obtained results lies in the formulation of requirements and determination of the peculiarities of building a subsystem of navigation safety of navigation on inland waterways, considering their specifics, which will reduce the cost of deploying system elements, while increasing its accuracy. Thus, the studies have shown the effectiveness of the proposed approach for the further development of the subsystem of navigation safety of navigation.

Keywords: *navigation support, navigation safety, inland waterways, accuracy, satellite, control and correction station, differential system.*