

1(61). – S. 97-105. URL: <https://doi.org/10.47049/2226-1893-2020-1-97-105>. (data zvernennia 17.12.2023)

36. Marianov D. N. Povyshenye effektivnosti funktsionirovaniya spetsyalnykh system spetsyalyzovannykh morskikh sudov // Universum: Tekhnicheskoye nauki : elektron. nauchn. zhurn. – 2020. – № 4(73). URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/9291> (data zvernennia 16.12.2023)

Chymshyr V.I., Danylenko O.B., Shulga Y.M.

SAFETY OF NAVIGATION IN MARITIME AND INLAND WATERWAY TRANSPORT AS AN OBJECT OF SCIENTIFIC RESEARCH

In today's global economic market, the role of maritime and inland waterway transport is becoming extremely important, as more than 80% of international trade is carried out by sea. The growth in the number of ships and their characteristics requires enhanced measures to improve shipping safety. The problem is becoming especially urgent due to the digital transformation and the revolution in information technology, as well as in the face of unpredictable natural conditions and heavy traffic.

In the context of the importance of shipping safety, it is important to develop technologies that affect shipping volumes, as well as regulation and management standards. In particular, the problems of technical and human factors, as well as digitalization in the shipping industry, which are affected by total digital transformation, determine the relevance of the issue.

It is noted that the incompatibility of regulations and the lack of relevant international standards for shipping management can lead to danger. In particular, the human factor is recognized as a major factor in ship accidents, and the International Maritime Organization focuses on crew safety.

Ukraine, which is facing a blockade of its seaports due to military aggression, is finding it necessary to improve safety not only in the waters of its seaports but also on the Dnipro River. The situation creates the need to analyse and reduce the impact of factors that significantly affect the level of safety of navigation.

The purpose of the article is to summarize the results of scientific research to determine

Key words: *safety of navigation, sea and inland waterway transport, international trade, international standards, technical factor, human factor, regulations, information technology, digital transformation, ship accidents, shipping regulation*

УДК 629.783:528.88

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.25

Трофименко І.В., Урум Н.С., Іваненко В.М., Федунів В.М.

ВИКОРИСТАННЯ ІНФРАЧЕРВОНОГО ДІАПАЗОНУ ВИПРОМІНЮВАННЯ НЕБЕСНИХ СВІТИЛ ДЛЯ НАВІГАЦІЇ МОРСЬКИХ СУДЕН

Метою статті є обґрунтування необхідності розробки та впровадження на суднових астронавігаційних систем для підвищення надійності навігації морських суден при виході з ладу систем глобального позиціонування. Поставлена мета досягається шляхом проведення аналізу уразливості глобальних навігаційних супутникових систем як основного засобу для визначення місця судна в сучасному судноплаванні; проведення оцінки реального стану морехідної астрономії як можливої альтернативи глобальним навігаційним супутниковим системам під

час визначення місця судна у відкритому морі; доведення можливості застосування інфрачервоного діапазону хвиль в астронавігаційних системах на борту морського судна для підвищення ефективності морехідної астрономії. Доведені переваги ІЧ-діапазону перед оптичним для визначення місцеположення морських суден, що виражаються у незалежності від яскравості фону денного неба, суттєво меншої залежності від гідрометеоумов, насамперед від вологості, вищою прозорістю атмосфери у спектральних вікнах під час переходу з видимої в ближню ІЧ-область спектра. Показано, що найкращими для використання в астронавігаційних системах є інфрачервоні зірки пізніх спектральних класів K, M, N, C в ближній ІЧ-області за характеристиками кількості, розподілу по всій небесній сфері, стаціонарністю інфрачервоного зображення і постійністю зоряної величини. Показані «вікна прозорості» атмосфери Землі в ближній інфрачервоній області спектра. Математично обґрунтована ємність оптимального каталогу навігаційних світил для спостереження в ближній інфрачервоній області спектра, для відмічених діапазонів прозорості наведені дані щодо зоряних величин для найяскравіших навігаційних світил. Найбільш суттєвим результатом є розробка структури астронавігаційної системи морських суден для автоматизованого визначення координат місця судна за допомогою стеження за небесними природними орієнтирами (зірками і планетами), вимірювання астронавігаційних параметрів та обробки результатів вимірювань обчислювальним пристроєм системи. Подальшим напрямом роботи є надання пропозицій відносно побудови фотоприймача запропонованої системи.

Ключові слова: навігація, небесне світило, інфрачервоний діапазон, морське судно, випромінювання, «вікно прозорості», астронавігаційна система.

Постановка проблеми. Початок 90-х років ХХ століття ознаменувався стрімким розвитком супутникової навігації в усьому світові і в Україні, зокрема. І хоча навігація – це приблизно лише 15% від загальної економічної вигоди у 1,4 трильйона доларів, що надає GPS, ніхто не хоче залишати такий солоденький пиріг іншому гравцеві. Навігація судна за допомогою GPS підвищує безпеку судноплавства, розвантажує судноплавні шляхи, дозволяє уникати зіткнень. Тріумфальна хода GPS на водному транспорті спричинила різке скорочення публікацій у галузі розробки та впровадження астронавігаційних систем як альтернативного джерела навігаційної інформації у складі навігаційних комплексів на судах торгового ті пасажирського флоту. Це пояснювалося дуже просто – у порівнянні з глобальними навігаційними супутниковими системами (ГНСС) астронавігаційні при дещо меншій точності мають суттєво нижчу ймовірність використання. Тому є свої причини: часті зміни хмарності і непостійний рівень освітленості неба заважають використанню цих систем в оптичному діапазоні хвиль, а обмежена кількість радіоастроорієнтирів – у радіоканалі.

За фактом сталося, що сучасну навігацію всіх суден здійснюють ГНСС, які частково дублюють інерціальні навігаційні системи (ІНС). Альтернативи, як говориться, немає. Разом з тим, і використовувані системи навігації мають недоліки. Так, для ІНС потрібна постійна корекція. Що стосується ГНСС, то не дивлячись на їх безперечні переваги, вони виробляють високоточну корекцію тільки координат місцеположення судна та, головне, можуть бути знищені або заблоковані противником під час ведення бойових дій, чи вносити такі похибки, які не дозволять здійснювати стійку навігацію. Саме до такого стану ми вперше наблизилися у теперішній час. І хоча партнери поки постійно надають точну навігаційну інформацію, не можна виключати можливості впливу противника на їх СНС та внесення збоїв та проблем в їх функціонуванні. Тоді можуть виникнути дуже серйозні наслідки під час плавання в будь-яких акваторіях Світового океану. І вони вже виникають. Ось декілька прикладів останніх років.

У звіті Центру передових оборонних досліджень (Foreign Policy) йдеться про регулярний спуфінг, тобто трансляцію фальшивого сигналу GPS та інших ГНСС в певному місці для введення в оману приймачів GPS/ГНСС. Найчастіше випадки маніпулювання сигналами GPS та інших ГНСС пов'язані з російською, китайською та іранською владою.

Так, при відкритті моста між Росією і Кримом, судна, що перебували поблизу, раптово

отримали повідомлення від своїх GPS/ГНСС-приймачів про знаходження за десятки кілометрів від свого фактичного місцезнаходження [1].

У грудні 2019 року у журналі Scientific American Пол Талліс описує вразливості GPS і наслідки, які можуть виникнути при її виведенні з ладу на широкому рівні. І у цьому сенсі проблеми навігації покажуться лише квітками: багато об'єктів критичної інфраструктури покладаються на часові мітки GPS. Інші ГНСС-системи мають наземні резервні системи, а GPS – ні, що вимагає найскорішого створення резервної системи eLORAN [1].

А ось повідомлення про Китай, свіженьке, від листопада 2019 року. Хтось підробляє GPS-сигнали в Шанхаї, але не з'ясовано, як вони змінюють GPS-координати суден.

Зонами небезпеки є східне і центральне Середземне море, Суецький канал, Перська затока, Ормузька протока та Оманська затока, де судна можуть зіткнутися з перешкодами GPS, підробкою зв'язку або іншими перешкодами зв'язку.

Крім того, у звіті C4ADS йдеться про те, що російські підробки сигналам загрожують безпеці судноплавства у Російській Федерації, Криму і Сирії. Отже судна, які плавали в цих регіонах, могли відчувати незвичні перешкоди у роботі GPS [1].

Крім того, природні аномалії та активність Сонця також можуть негативно позначитися на функціональних можливостях ГНСС.

Отже, у разі неможливості виконувати навігацію за допомогою приладів GPS необхідно застосовувати класичні методи морехідної астрономії, які можна реалізувати не тільки вручну, а й з використанням автоматизованих суднових астронавігаційних систем.

Тому з повною впевненістю можна вважати, що на використанні астрономічних засобів корекції, що мають порівняні з СНС характеристики, зарано поставили крапку. Крім Сонця і Місяця, є багато космічних джерел випромінювання, і не тільки в оптичному діапазоні, які можна використовувати для розв'язання цієї проблеми. Для того щоб навігаційна система не залежала від хмарності та освітленості неба, необхідно уважно придивитися на природні космічні джерела електромагнітного випромінювання. Мова йде про прикладні аспекти використання властивостей небесних світил в інфрачервоному (ІЧ) діапазоні (не тільки теплове випромінювання, а й нетеплові механізми [2-4]) та інших космічних джерел радіовипромінювання – у радіодіапазоні. Вище вказані факти підкреслюють актуальність піднятого питання та необхідність проведення подальших досліджень.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для обґрунтування необхідності впровадження на морських судах астронавігаційних систем і розробки основних принципів побудови такої системи необхідно провести аналіз можливості використання інфрачервоного діапазону випромінювання небесних світил для навігації морських суден та стану робіт у даній предметній області.

Робота [1] присвячена розгляду загальних питань щодо принципів та прикладів застосування спуфінгу, що призвели до проблем у навігації морських суден.

У роботах [2-4] розглядаються перспективи використання ІЧ- та радіодіапазону для навігації транспортних засобів, у т. ч. морських суден.

У роботах [5-7] наведені відомості щодоприкладних аспектів використання хвиль ІЧ-діапазону для авіаційних навігаційних систем у складних метеорологічних умовах.

Роботи [8, 9] містять дані про блиск (зоряні величини) небесних світил Сонячної системи та віддалених зірок в оптичному діапазоні, які можуть використовуватися у прикладних завданнях навігації.

Особливості кліматичних умов та переваги застосування проміжного ІЧ-діапазону у приполюсних районах Арктичного басейну розглянуті у роботах [10, 11].

У роботі [12] сформульовані основні завдання та принципи побудови суднової астронавігаційної системи і характеристики, які можуть бути досягнуті цією системою.

Метою дослідження є обґрунтування необхідності розробки та впровадження на суднових астронавігаційних систем для підвищення надійності навігації морських суден при виході з ладу систем глобального позиціонування.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз уразливості ГНСС як основного засобу для визначення місця судна в сучасному судноплаванні;
- провести оцінку реального стану морехідної астрономії як можливої альтернативи ГНСС під час визначення місця судна у відкритому морі;
- довести можливості застосування ІЧ-діапазону хвиль в астронавігаційних системах на борту морського судна для підвищення ефективності морехідної астрономії.

Основні результати дослідження. Неможливість визначення місця судна у відкритому морі з використанням ГНСС штовхає судноводія на застосування класичних засобів (секстант) і методів (висотний, азимутальний, різницево-азимутальний, швидкісно-висотний, швидкісно-азимутальний, висотно-азимутальний) морехідної астрономії. На жаль, усі ці методи вимагають наявності спеціальних пристроїв для вимірювання з досить високою точністю астронавігаційних параметрів світил. А це важко, а іноді неможливо, робити вночі та у складних метеоумовах.

Підвищення ефективності використання астрономічних способів для навігації суден передбачає застосування сучасних високотехнологічних технічних засобів і методів обробки астронавігаційної інформації. Так, перехід від класичного навігаційного секстанту на використання радіосекстанту підвищує ймовірність правильного визначення місця розташування судна з 0,07 до 0,75, а на використання радіооптичного секстанту – до 1.

Аналіз типової послідовності дій судноводія під час визначення місця судна або поправки курсовказівки показав, що за традиційної методики ручного опрацювання астрономічних спостережень близько 40% часу витрачається на обчислення місцевих годинникових кутів і схилень світил. Реальну допомогу надає автоматизація оброблення вимірювань, але вона є частковою и не стосується виконання вимірювань. Отже, для підвищення ефективності використання методів морехідної астрономії необхідно збільшити кількість вимірюваних астронавігаційних параметрів шляхом використання спеціальних технічних засобів вимірювань та їх обробки.

Як відомо, ІЧ-діапазон спектра поширюється від видимого (від 0,39 мкм до 0,76 мкм з ефективною довжиною хвилі $\lambda_0 = 0,55$ мкм у максимумі оптичного спектра) до радіодіапазону (довжина хвилі більше 1,0 мм). Тобто ІЧ-діапазон спектра займає інтервал від 0,76 мкм до 1,0 мм [2-5]. При розрахунках видимості небесних світил сигналів враховують силу світла й атмосферні умови у видимому діапазоні світлових хвиль за умови забезпечення порогової освітленості на зіниці ока спостерігача. Прозорість атмосфери значною мірою змінюється при добових коливаннях температури та вологості повітря. Атмосфера Землі – це суміш газів, водяної пари та зважених частинок аерозолів – краплинок води, частинок диму, пилу тощо розміром від $5 \cdot 10^{-6}$ до $5 \cdot 10^{-3}$ мкм, саме які найсуттєвіше впливають на умови проходження випромінювання в атмосфері. Більше 90% водяної пари зосереджено в нижньому шарі атмосфери (до висоти у 5 км). Розсіювання променевої енергії частинками, розміри яких значно менші довжини хвилі випромінювання, суттєво знижується. Саме цим і пояснюється краще походження ІЧ-випромінювання порівняно з видимим [6]. Розміри крапель води, льоду, пилу та ін., менші за довжину хвилі світлового випромінювання, дозволяють світлу з більш довгими хвилями проходити через атмосферу. Тобто пропускання атмосферою променів довгих хвиль дозволяє застосовувати ІЧ-діапазон випромінювання [7]. Аналіз проходження хвиль різної довжини ІЧ-випромінювання небесних світил дозволяє з'ясувати вимоги для приймальних пристроїв, узгодити характеристики фотоприймача з «вікнами прозорості (видимості)» атмосфери [5]. Через ці вікна здійснюється пропускання ІЧ-випромінювання під час проходження атмосфери Землі, де їх більша частина поглинається молекулами водяної пари і вуглекислого газу.

Чому фахівці знову цікавляться ІЧ-діапазоном хвиль? Відповідь проста – це можливість обсервації світил у денний час доби та сутінки, в тумани і крізь малопотужні хмари з низькою вологістю, при значно нижчій висоті світил ($h \geq 10^\circ$ для ІЧ-каналу на відміну від $h \geq 15^\circ$ для

оптичного). Усі ці переваги ІЧ-діапазону пояснюються незалежністю прийому від яскравості фону денного неба, суттєво меншою залежністю від гідрометеоумов, насамперед від вологості, вищою прозорістю атмосфери у спектральних вікнах під час переходу з видимої в ближню ІЧ-область спектра. Отже, при створенні автоматизованих оптико-електронних каналів навігаційних систем, що працюватимуть в умовах денних фонових засвічень, головна роль відводиться вибору оптимального спектрального діапазону.

На вибір оптимального спектрального ІЧ-діапазону впливає низка чинників: абсолютні значення потоків випромінювання від навігаційних світил і фонового випромінювання неба та їх співвідношення, кількість і обсяги газів, аерозолів та твердих частинок в одиниці об'єму повітря, що визначають прозорість земної атмосфери, температура, пора року, географічне розташування, можливості фотоприймальних пристроїв за спектральною і пороговою чутливістю, наявність потрібної кількості світил в обраному діапазоні.

Співвідношення між довжиною хвилі ІЧ променевого потоку і розмірами атмосферних частинок викликає молекулярне (на досить малих частинках), дифракційне (на частинках, порівняних з довжиною хвилі) і геометричне (на частинках відносно великих розмірів) розсіювання. ІЧ-випромінювання, проходячи через атмосферу, через резонансність його частоти хвиль для багатоатомних молекул атмосферних газів і водяної пари вибірково поглинається ними, особливо парами H_2O , CO_2 та O_3 .

У приземному шарі атмосфери смуги поглинання парів води перекривають смуги поглинання інших газів. Смуги поглинання водяної пари відповідають ділянкам спектра поблизу довжин хвиль 0,92; 1,13; 1,4; 1,88; 2,7; 3,2; і 6,3 мкм.

Вуглекислий газ потужно поглинає хвилі з довжинами 2,7; 4,3; і 14,5 мкм. Остання смуга поглинання шириною 13 – 17 мкм поряд із спектром поглинання водяної пари при $\lambda > 17$ мкм є основною причиною непрозорості атмосфери для ІЧ-випромінювання з довжиною хвилі $\lambda > 14$ мкм.

Хоча найсильніше озон поглинає ІЧ-хвилі з довжиною 9,6 мкм, через незначний вміст озону в атмосфері його поглинаючою здатністю можна зневажати.

Приземні шари атмосфери завжди утримують у зваженому стані тверді і рідкі частинки, що утворюють хмари, тумани й атмосферні опади. На цих частинках відбувається геометричне і дифракційне розсіювання ІЧ-випромінювання, характер та інтенсивність якого залежить від співвідношення між радіусом частинок r , що розсіюють, і довжиною хвилі падаючого випромінювання λ . Через те, що кількості води у дощових краплях як мінімум у 5 разів менше, ніж води, що знаходиться в атмосфері у вигляді водяної пари, й вибіркоче поглинання в краплях води є незначним у порівнянні з вибіркочим поглинанням у водяній парі. Тобто, дощ не викликає помітного збільшення вибіркового поглинання у «вікнах прозорості».

З погляду на вказані чинники, для астронавігації за небесними світилами у світлий час доби можливе використання області ближнього ІЧ-випромінювання (0,7-4,0 мкм). Як відомо, яскравість фону неба зумовлена розсіюванням сонячного випромінювання в атмосфері, і вона зменшується зі збільшенням довжини хвилі випромінювання. Крім того, саме у цій ділянці спектра значна кількість світил випромінюють більшу частину своєї енергії. Хоча H_2O , CO_2 та інші речовини активно поглинають ІЧ-випромінювання, є «вікна прозорості» (0,95-1,1; 1,2-1,3 мкм; 1,4-1,7 мкм; 2,0-2,5 мкм; 3,0-4,2 мкм) у ближній ІЧ-область спектра. Причому лише за довжин хвиль $\lambda_0 > 4$ мкм теплове випромінювання атмосфери починає суттєво впливати на яскравість неба. Наприклад, яскравість фону денного неба у вікні прозорості атмосфери (2,0-2,5 мкм) приблизно в 100 разів менша, ніж у видимій ділянці спектра, що створює всі передумови для використання даного спектрального діапазону для вирішення завдань визначеного класу. Таким чином, при створенні комплексного оптико-електронного каналу астронавігаційної системи, в якій поєднана обробка інформації для пеленгації астроорієнтирів за центром або краєм світила у близьких, але різних, діапазонах хвиль, за ІЧ об'єкти можна прийняти природні космічні джерела випромінювання у спектрі $\lambda = 0,7 - 2,5$ мкм.

Аналіз свідчить, що далеко не всі космічні об'єкти підходять на роль джерел

випромінювання. Як це не дивно, саме Сонце і Місяць такі близькі, потужні, яскраві, не можуть застосовуватися у цієї ролі. Це викликано нестаціонарністю і розмитістю їхнього ІЧ-зображення та нечіткістю спостережуваності країв. Крім того, Місяць має фази, що також суттєво відбивається на його ІЧ-характеристиках. Що стосується планет сонячної системи, тут також є свої труднощі. Насамперед, вони пов'язані з їх власним орбітальним рухом навколо Сонця. Це викликає їх мінливість спостережуваності, відмінності широт місця спостереження на Землі і мінливість їхньої зоряної величини залежно від конфігурацій планет відносно Сонця і Землі.

У цьому зв'язку найкращими видаються інфрачервоні зірки пізніх спектральних класів K, M, N, C в ближній ІЧ-області. Вони характеризуються великою кількістю, рівномірним розподілом по всій небесній сфері, точковим стаціонарним інфрачервоним зображенням і постійною зоряною величиною. На рис. 1 зображені спектральні смуги реакції (світла) фотометрії Джонсона I, J, H, K, що відповідають «вікнам прозорості» атмосфери в ближній інфрачервоній ділянці спектра, з ефективними довжинами хвиль λ_0 у цих вікнах [5].

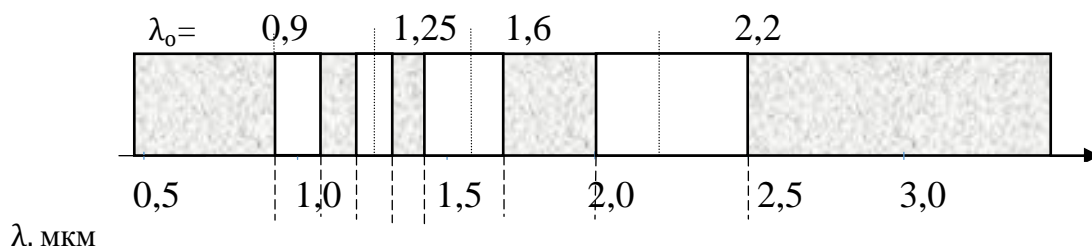


Рисунок 1 – «Вікна прозорості» атмосфери Землі в ближній інфрачервоній області спектра

Для створення робочого каталогу ІЧ-зірок необхідно визначити можливість роботи навігаційної системи у зоні пеленгування хоча б за одним світилом. Імовірність спостереження одного навігаційного світила P_{XM} в просвітах хмарності бальності W залежно від загальної кількості навігаційних світил у зоні пеленгування n дорівнює:

$$P_{\text{XM}} = 1 - (0,1W)^n \tag{1}$$

З формули (1) за зворотним перетворенням легко знайти загальну кількість навігаційних світил у зоні пеленгування, що забезпечує заданий рівень імовірності P_{XM} :

$$n = \frac{\lg(1-P_{\text{XM}})}{\lg(0,1W)} \tag{2}$$

Загальна кількість навігаційних світил у каталозі N дорівнює:

$$N = \frac{4\pi}{\Omega_n} n, \tag{3}$$

де Ω_n – тілесний кут, охоплюваний зоною пеленгування навігаційних світил, величина якого дорівнює $\Omega_n = 4\pi(\sin h_{\text{max}} - \sin h_{\text{min}})$, де $[h_{\text{min}}; h_{\text{max}}]$ – граничні висоти зони пеленгування навігаційних світил.

Розрахунки за виразом (3) свідчать, що ємність оптимального каталогу навігаційних світил становить $N = 110 - 130$ одиниць для спостереження в ближній ІЧ-області спектра хоча б однієї зірки з імовірністю $P_{\text{XM}} = 0,99$ за хмарності $W = 9$ балів.

Для навігаційних каталогів небесних світил у різних діапазонах, у т.ч. I, J, H, K, вибирають найяскравіші зірки, рівномірно розподілені по небесній сфері. Так, для відмічених діапазонів наведені дані щодо зоряних величин $m = m(\lambda, N)$ для 110-130 найяскравіших навігаційних світил (табл. 1).

Таблиця 1 – Зоряні величини навігаційних світил у ближній ІЧ-області спектра

«Вікна прозорості»	I	J	H	K
Блиск (зоряні величини)	m_I	m_J	m_H	m_K
Діапазон блиску	$-2,5 \div +1,5^m$	$-3,0 \div +0,78^m$	$-3,7 \div -0,09^m$	$-4,0 \div -0,57^m$

Астронавігаційна система працюватиме без збоїв при виключенні зі списку найяскравіших навігаційних світил змінних зірок, подвійних зірок і зірок-перешкод, які мають різницю координат $\Delta\alpha \leq 5^\circ$ і $\Delta\delta \leq 2^\circ$ і утруднюють розпізнавання світил. Так, блиск (зоряні величини) небесних світил Сонячної системи в оптичному діапазоні наведений у таблиці 2 [8, 9], що дозволяє порівняти його з ІЧ-зірками.

Таблиця 2 – Блиск (зоряна величина) об'єктів Сонячної системи в оптичній області спектра

№ з/п	Об'єкт	Блиск (видима зоряна величина)	
		m_{\max}	m_{\min}
1	Сонце	- 26,8 ^m	-
2	Місяць у повному місяці	- 12,7	-
3	Меркурій	- 1,5	+ 1,9 ^m
4	Венера	- 4,4	- 3,2
5	Марс	- 2,7	+ 2,0
6	Юпітер	- 2,4	- 1,4
7	Сатурн	- 0,9	+ 1,4
8	Уран	+ 5,7	+ 5,9
9	Нептун	+ 7,7	+ 7,8
10	Плутон	+ 13,7	+ 15,9

Для переходу з видимої (V) частини спектра в ІЧ-діапазон використовуються показники кольору V – I, V – J, V – H, V – K у розглянутому спектральному діапазоні. Це дозволяє оцінити блиск у будь-якій зі спектральних смуг: I = V – (V – I); J = V – (V – J); H = V – (V – H); K = V – (V – K). Для світил Сонячної системи використовують показники кольору для Сонця (табл. 3) [8].

Таблиця 3 – Стандартна фотометрична система для Сонця

V	V – I	V – J	V – H	V – K
- 26,75 ^m	+ 0,78 ^m	+ 1,06 ^m	-	+ 1,41 ^m

Порівняльний аналіз таблиць 2 і 3 показує, що найбільший інтерес для навігаторів у ближньому ІЧ-діапазоні становлять Венера, Марс, Юпітер і Сатурн. Звісно, всі ці планети мають викладені вище недоліки. Але вони порівняні за зоряною величиною з найяскравішими ІЧ-зірками, що слід враховувати під час вибору каталогу навігаційних світил і розпізнавання астроорієнтирів.

Оптичний і міліметровий канали вимірювань значною мірою залежать від вологості та хмар. Порівняно з оптичним діапазоном проміжний інфрачервоний діапазон у меншому ступені залежить від вологості, що дає змогу використовувати ІЧ-канал у тумани. Через особливості приполюсного району Арктичного басейну, де превалюють сухі малопотужні хмари [10, 11], саме він є найбільш сприятливим для астроізрежень в ІЧ-діапазоні.

Астронавігаційною системою називають засіб навігаційного устаткування морських суден, призначений для автоматизованого визначення координат місця судна за допомогою стеження за небесними природними орієнтирами (зірками і планетами), вимірювання астронавігаційних параметрів та обробки результатів вимірювань обчислювальним пристроєм системи.

Автоматизована суднова астронавігаційна система вирішуватиме такі завдання:

- 1) автоматичне формування площини штучного істинного горизонту;
- 2) розрахунок екваторіальних і горизонтальних координат світил для наведення на світило вимірювального пристрою;

- 3) наведення на світило вимірювального пристрою і вимірювання астронавігаційних параметрів у діапазоні випромінювання;
- 4) оброблення вимірної астронавігаційної інформації в реальному масштабі часу, відображення результатів цього оброблення та їх трансляція в системи автоматичного числення;
- 5) визначення місця судна, напрямку географічного меридіана, поправок систем і приладів курсовказівки;
- 6) визначення і зберігання точного часу;
- 7) оцінка природної освітленості.

Принципи побудови суднової астронавігаційної системи:

- 1) модульність, універсальність, компактність;
- 2) можливість одночасного автоматизованого вимірювання декількох астронавігаційних параметрів та комплексного застосування з іншими судновими навігаційними приладами і системами;
- 3) можливість зміни функціоналу у широкому діапазоні;
- 4) простота інтерфейсу;
- 5) автоматизоване періодичне оновлення астрономічних координат;
- 6) невисока вартість.

Сформульовані завдання суднової астронавігаційної системи і принципи її побудови дозволяють скласти структурну схему (рисунок 2).

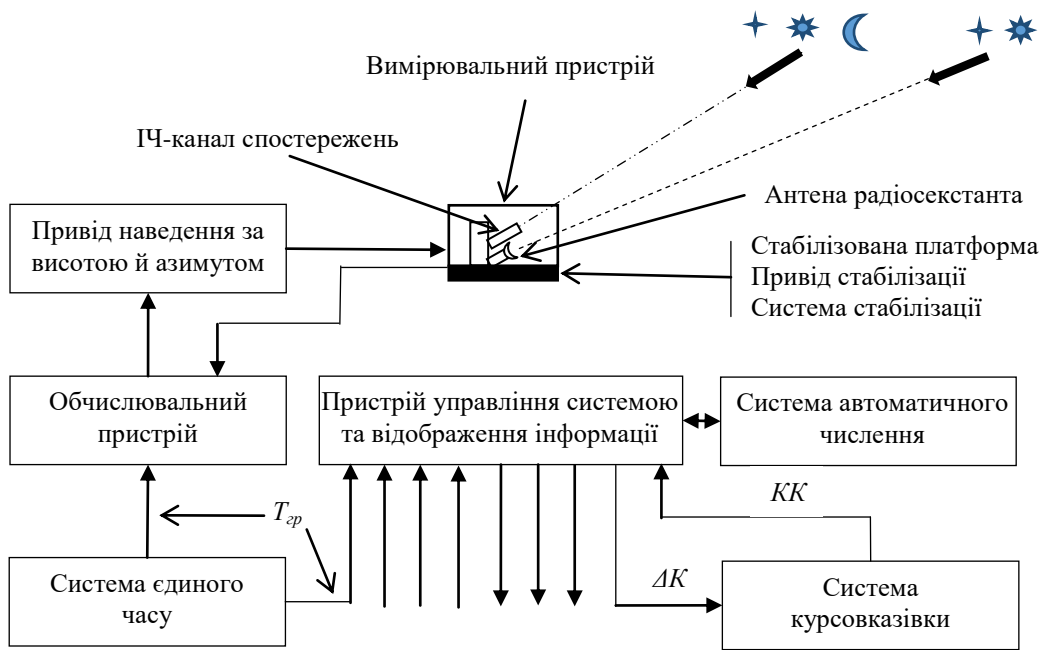


Рисунок 2 – Укрупнена структурна схема суднової автоматизованої астронавігаційної системи

В якості каналу спостережень вибрано інфрачервоний оптико-електронний автоматизований канал, який забезпечує вимірювання астронавігаційних параметрів понад 100 світил у діапазоні 0,7-2,5 мкм незалежно від яскравості фону неба в денний час доби і сутінки та меншою мірою залежить від метеоумов і стану повітряної маси земної атмосфери. Канал забезпечує імовірність визначення обсервованого місця судна близько 0,99 (за хмарності до 9 балів) [12].

Залишилося сформувати каталог навігаційних світил за даними щодо абсолютних спектральних розподілів енергії зірок у діапазоні ближнього ІЧ-випромінювання.

При створенні астронавігаційних систем велике значення приділяється фотоприймачам зображень у ближній ІЧ-області. У теперішній час використовують матричні різної спектральної та порогової чутливості. Для охоплення оптичного та ближнього інфрачервоного

діапазонів ($\lambda = 0,4-2,5$ мкм) слід застосовувати широкосмугові фотоприймачі, а повне охоплення цього діапазону вимагає застосування комбінації двох фотоприймачів. В якості порогової чутливості ІЧ-приймачів слід орієнтуватися на зоряні величини найслабших зірок (див. табл. 2). Ефемеридне забезпечення навігаційних світил ближньої ІЧ-області спектра не відрізняється від оптичного і вимагає лише доповнення деяких вихідних даних для ІЧ-зірок на певну епоху. Рефракція в ІЧ-діапазоні дещо вища, ніж в оптичному, що передбачає використання сучасної моделі ІЧ-рефракції.

Висновки.

1. Таким чином, методи і засоби морехідної астрономії є єдиними дублюючими стосовно ГНСС методами і засобами для визначення місця судна у відкритому морі. Своєю чергою, астрономічні методи можуть бути автоматизовані за допомогою астронавігаційних систем, що значно збільшить імовірність застосування цих методів, скоротить час і підвищить точність розв'язання навігаційних завдань.

2. ІЧ-хвилі проходять через прозору атмосферу, серпанку чи туман значно краще видимого світла за рахунок зменшення розсіювання більш довгими хвилями випромінювання при порівняно малих розмірах частинок, що замутнюють атмосферу, що дозволяє їх використовувати у певних атмосферних умовах.

3. Збільшення якості спостереження досягається за рахунок використання тих довжин хвиль, що співпадають з «вікнами прозорості» атмосфери. З декількох «вікон прозорості» атмосфери у всьому ІЧ-діапазоні тільки два: $0,95-1,05$ мкм і $8-13$ мкм є найбільш широкими та прозорими. Але найкращими видаються інфрачервоні зірки у ближній ІЧ-області, що вимагає надання пріоритету «вікнам прозорості» у спектрі $\lambda = 0,7 - 2,5$ мкм. Таким чином, для досягнення максимального ефекту необхідно налаштувати характеристики фоторезисторних або фотодіодних матриць приладів спостереження з «вікнами прозорості» атмосфери, через які проходить максимальний потік ІЧ-випромінювання астрофізичних об'єктів.

4. Для забезпечення корекції курсу і координат місця судна до складу астронавігаційної системи має входити ІЧ-оптико-електронний автоматизований канал, що забезпечує вимірювання висот і азимутів $110-130$ навігаційних світил у світлий і темний час доби. При цьому в умовах хмарності до 9 балів буде забезпечена ймовірність обсервації порядку $P = 0,99$.

5. Наявні дані щодо абсолютних спектральних розподілів енергії зірок у діапазоні ближнього ІЧ-випромінювання достатні для складання повного каталогу навігаційних світил для автоматизованого оптико-електронного каналу астронавігаційної системи, який працює за випромінюванням ІЧ-зірок усередині оптимального діапазону $0,7-2,5$ мкм.

ЛІТЕРАТУРА

1. The Map Room. URL: <https://www.maproomblog.com/> (дата звернення: 12.12.2023).
2. Elkins L., Sellers D., Monach W.R. The autonomous maritime navigation (AMN) project: Field tests, autonomous and cooperative behaviors, data fusion, sensors, and vehicles. *Journal of Field Robotics*. 2010. Vol. 27(6). P. 790–818.
3. Paull L., Saeedi S., Seto M., Li H. AUV navigation and localization: A review. *Oceanic Engineering, IEEE Journal of*. 2014. Vol. 39(1). P. 131–149.
4. Meduna D.K., Rock S.M., McEwen R.S. Closed-loop terrain relative navigation for AUVs with non-inertial grade navigation sensors. In: *Autonomous Underwater Vehicles (AUV), 2010 IEEE/OES*. IEEE, 2010. P. 1–8.
5. Головенський В.В. Збільшення дальності виявлення аеродромних променевих сигналів у складних метеорологічних умовах. *Вісник Національного авіаційного університету*. 2018. №1. Т. 74. С. 53–60
6. Гаркавенко А.С., Зубарев В.В., Ленков С.В., Лукомский Д.В., Мокрицкий В.Л. Новые лазеры – методы, средства и технологии. Одесса : Астропринт, 2002. 280 с.
7. Головенський В.В., Лісовенко В.Д. Використання хвиль інфрачервоного діапазону для авіаційних навігаційних систем у складних метеорологічних умовах. *Збірник наукових праць*

Військової академії. Одеса, 2017. № 1(7). С. 31–34.

8. Satellite Based AIS. URL: https://www.kystverket.no/en/EN_Maritime-Services/Reporting-and-Information-Services/ais/Satellite-based-AIS/ (дата звернення: 12.12.2023).

9. Fiorini M., Capata A., Bloisi D.D. AIS Data Visualization for Maritime Spatial Planning (MSP). *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy*. 2016. Vol. 5. P. 45–60.

10. Iphar C., Napoli A., Ray C., Alincourt E., Brosset D. Risk Analysis of falsified Automatic Identification System for the improvement of maritime traffic safety. In: *ESREL 2016 Conference Proceedings*. Glasgow, UK, 2016. P. 25–29.

11. Iphar C., Napoli A., Ray C. An expert-based method for the risk assessment of anomalous maritime transportation data. *Applied Ocean Research*. 2020. Vol. 104. P. 102337.

12. Madden R. USCG Rolling Out AIS Aids to Navigation: Are They Safe AND Secure? URL: <https://gcaptain.com/uscg-ais-aton-navigation/> (дата звернення: 06.12.2023).

REFERENCES

1. The Map Room. (2023, February 12). <https://www.maproomblog.com/>
2. Elkins, L., Sellers, D., & Monach, W. R. (2010). The autonomous maritime navigation (AMN) project: Field tests, autonomous and cooperative behaviors, data fusion, sensors, and vehicles. *Journal of Field Robotics*, 27(6), 790-818.
3. Paull, L., Saeedi, S., Seto, M., & Li, H. (2014). AUV navigation and localization: A review. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 39(1), 131-149.
4. Meduna, D. K., Rock, S. M., & McEwen, R. S. (2010). Closed-loop terrain relative navigation for AUVs with non-inertial grade navigation sensors. In *2010 IEEE/OES Autonomous Underwater Vehicles* (pp. 1-8). IEEE.
5. Holovenskyi, V.V. (2018). Zbilshennia dalnosti vyivlennia aerodromnykh promenevykh syhnaliv u skladnykh meteorolohichnykh umovakh [Increasing the detection range of airfield beam signals in difficult meteorological conditions]. *Visnyk Natsionalnoho aviatsiinoho universytetu*, Vol. 74., 1, 53-60. (in Ukrainian)
6. Harkavenko, A. S., Zubarev, V. V., Lenkov, S. V., Lukomskyi, D. V., & Mokrytskyi, V. L. (2002). Novye lazery – metody, sredstva y tekhnolohyy [New lasers - methods, tools and technologies]. *Astroprynt*. (in Russian)
7. Holovenskyi, V. V., & Lisovenko, V. D. (2017). Vykorystannia khvyl infrachervonoho diapazonu dlia aviatsiinykh navihatsiinykh system u skladnykh meteorolohichnykh umovakh [The use of infrared waves for aircraft navigation systems in difficult weather conditions]. *Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoi akademii*, 1(7), 31-34. (in Ukrainian)
8. Satellite Based AIS. (2023, February 12). Kystverket. https://www.kystverket.no/en/EN_Maritime-Services/Reporting-and-Information-Services/ais/Satellite-based-AIS/
9. Fiorini, M., Capata, A., & Bloisi, D. D. (2016). AIS data visualization for maritime spatial planning (MSP). *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy*, 5, 45-60.
10. Iphar, C., Napoli, A., Ray, C., Alincourt, E., & Brosset, D. (2016). Risk analysis of falsified automatic identification system for the improvement of maritime traffic safety. In *ESREL 2016 conference proceedings*.
11. Iphar, C., Napoli, A., & Ray, C. (2020). An expert-based method for the risk assessment of anomalous maritime transportation data. *Applied Ocean Research*, 104, 102337.
12. Madden, R. (2021, March 6). USCG rolling out AIS aids to navigation: Are they safe AND secure? gCaptain. <https://gcaptain.com/uscg-ais-aton-navigation/>

Trofymenko I.V., Urum N.S., Ivanenko V.M., Fedunov V.M.
**USE OF THE INFRARED RADIATION RANGE OF CELESTIAL BODIES FOR
NAVIGATION OF SHIPS**

The purpose of the article is to substantiate the need to develop and implement astronavigation systems on ships to improve the reliability of navigation of ships in the event of a global positioning system failure. This goal is achieved by analysing the vulnerability of global navigation satellite systems as the main means for determining the location of a ship in modern navigation; assessing the real state of navigational astronomy as a possible alternative to global navigation satellite systems when determining the location of a ship on the high seas; proving the possibility of using the infrared waveband in astronavigation systems on board a ship to improve the efficiency of navigational astronomy. The advantages of the infrared range over the optical range for determining the location of ships have been proved, which are expressed in independence from the brightness of the daytime sky background, significantly less dependence on hydrometeorological conditions, primarily on humidity, and higher atmospheric transparency in spectral windows during the transition from the visible to the near-infrared spectral region. It is shown that infrared stars of the late spectral classes K, M, N, C in the near-infrared region are the best for use in astronavigation systems due to the characteristics of their number, distribution over the entire celestial sphere, stationarity of the infrared image, and constancy of the stellar magnitude. The «windows of transparency» of the Earth's atmosphere in the near-infrared region of the spectrum are shown. The capacity of the optimal catalog of navigational luminaries for observation in the near-infrared spectral region is mathematically substantiated, and data on stellar magnitudes for the brightest navigational luminaries are given for the marked transparency ranges. The most significant result is the development of the structure of the astronavigation system of marine vessels for automated determination of the ship's position by tracking celestial natural landmarks (stars and planets), measuring astronavigation parameters and processing the measurement results by the system's computing device. The further direction of work is to provide proposals for the construction of the photodetector of the proposed system.

Keywords: navigation, celestial body, infrared range, sea vessel, radiation, «window of transparency», astronavigation system.

УДК 621.311:629.12/.13

doi.org/10.33298/2226-8553.2023.2.38.26

Дакі О.А., Якусевич Ю.Г., Тришин В.В., Колесник В.В.

**РОЗРОБКА ПІДХОДІВ ДО ФІЛЬТРАЦІЇ НЕАКТИВНОЇ ТА АКТИВНОЇ НАПРУГИ
НА ШИНАХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ В СУДНОВІЙ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНІЙ
СИСТЕМІ**

Метою статті є розробка підходів до фільтрації напруги на шинах живлення в електроенергетичній системі судна, що дозволяє забезпечити повне усунення гармонійних складових струму і напруги в будь-яких живильних електричних мережах, як з нескінченними генеруючими потужностями, так і порівняними з потужністю, споживаною навантаженням, при будь-яких, як лінійних, так і нелінійних навантаженнях. Поставлена мета досягається шляхом розробки двох підходів до фільтрації неактивної та активної напруги на шинах електропостачання в судновій електроенергетичній системі. Встановлено,