

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Одеська морська академія»

Кваліфікаційна наукова
робота на правах рукопису

Шишкін Олександр Володимирович

УДК 656.61

ДИСЕРТАЦІЯ
ІНТЕГРУВАННЯ СИСТЕМ МОРСЬКОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ І НАВІГАЦІЇ В
РАМКАХ РОЗВИТКУ КОНЦЕПЦІЇ Е-НАВІГАЦІЇ

спеціальність 05.22.13 – навігація та управління рухом

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
(271 – Річковий та морський транспорт)

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



Шишкін О.В.

Науковий консультант:
Кошевий Віталій Михайлович, д.т.н., професор,
заслужений діяч науки і техніки України

Одеса – 2021

АНОТАЦІЯ

Шишкін О.В. Інтегрування систем морського радіозв'язку і навігації в рамках розвитку концепції е-навігації. – Кваліфікаційна наукова робота на правах рукопису. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.13 – навігація та управління рухом (271 – Річковий та морський транспорт). – Національний університет «Одеська морська академія», Одеса, 2021.

Робота присвячена розробці методів підвищення техніко-експлуатаційних характеристик суднових засобів радіозв'язку і навігації за рахунок їхнього інтегрування і спільної обробки даних в умовах збереження базового складу суднового обладнання, практичних вимог користувачів – вахтових офіцерів і врахування світових трендів розвитку морських технологій за концепцією е-навігації, що висунута і активно просувається Міжнародною морською організацією (ІМО).

Аналіз розвитку сучасного судноплавства за останні дві декади засвідчив впровадження низки нових систем морського радіозв'язку і навігації таких як глобальна морська система зв'язку у разі лиха та безпеки (ГМЗЛБ), система цифрового вибіркового виклику (ЦВВ), супутникові системи ІНМАРСАТ, КОСПАС-SARSAT, Ірідіум, глобальна навігаційна супутникова система GPS/ГЛОНАСС, автоматична ідентифікаційна система (АІС), електронна картографічна і інформаційна система (ЕКНІС), інші. Розвиток і вдосконалення цих систем був прискорений імплементацією стратегічного плану е-навігації, який передбачає всебічну цифровізацію і стандартизацію суднових систем для підтримки процесу прийняття рішень вахтовим офіцером судноводієм на борту судна і забезпечення ефективності і безпеки судноплавства. Концепція е-навігації базується на трьох

компонентах: суднове обладнання, берегова інфраструктура і системи радіозв'язку.

Засоби зв'язку ГМЗЛБ безпосередньо впливають на ефективне і безпечне судноплавство, але на практиці впровадження нових систем зв'язку, зокрема, ЦВВ, не дозволяють отримати належну оперативність і ефективність радіозв'язку, створюють додаткове навантаження на вахтового офіцера з організації наземного радіозв'язку з використанням ЦВВ, як того вимагає Регламент Радіозв'язку. Різноманітність радіообладнання, складність і довготривалість ручних операцій з управління радіозв'язком призводять на практиці до нехтування вимогами правил зв'язку, помилкам ідентифікації суден, що у кінцевому рахунку впливає на безпеку судноплавства і ефективність морського судноплавства.

Зважаючи на

- існуючи невирішені проблеми експлуатації суднових систем радіозв'язку і навігації;
- нагальні запити практичного використання суднового обладнання радіозв'язку і навігації вахтовими офіцерами на ходовому містку;
- міжнародні вимоги до складу і техніко-експлуатаційних характеристик суднового обладнання навігації і зв'язку та його сумісності;
- стратегічний світовий напрямок розвитку судноплавства е-навігації

Основним керівним принципом впровадження і розвитку елементів е-навігації є врахування у першу чергу не технологічних досягнень, а практичних потреб моряків з належної експлуатації суднових систем і пристроїв для зменшення адміністративного навантаження на борту судна таким чином щоб вахтовий офіцер був націлений на вирішення завдань з безпечної навігації і ефективного виконання суднових операцій.

Засоби зв'язку ГМЗЛБ безпосередньо впливають на ефективне і безпечне судноплавство, але на практиці впровадження нових систем зв'язку, зокрема, ЦВВ, не дозволяють отримати належну оперативність і

ефективність радіозв'язку, створюють додаткове навантаження на вахтового офіцера з організації наземного радіозв'язку з використанням ЦВВ, як того вимагає Регламент Радіозв'язку. Різноманітність радіообладнання, складність і довготривалість ручних операцій з управління радіозв'язком призводять на практиці до нехтування вимогами правил зв'язку, помилкам ідентифікації суден, що у кінцевому рахунку впливає на безпеку судноплавства і ефективність морського судноплавства.

В інтегрованій системі здійснюється об'єднання даних системи радіозв'язку ЦВВ і системи навігації АІС на основі їх асоціації з спільним ідентифікатором. Оскільки пакет даних АІС і виклична послідовність ЦВВ містить ідентифікатор морської рухомої служби (ІМРС), то за загальним значенням ідентифікатора дані повідомлень систем АІС і ЦВВ можуть бути об'єднані. В результаті такого об'єднання на судні, що приймає виклик в системі ЦВВ, стандартний набір параметрів викличної послідовності доповнюється параметрами АІС-ціль. При відображенні інформації на графічному інформаційному дисплеї АІС-ціль супроводжується миготливою відміткою.

Для виклику судна у системі ЦВВ не потрібно вводити його 9-тизначний ІІРС, про котрий ще потрібно дізнатися за допомогою, наприклад, АІС або ЕКНІС. Вахтовому офіцеру достатньо вибрати АІС-ціль на інформаційному дисплеї за допомогою трекболу, або іншого відповідного маніпулятора і надіслати виклик на каналі 70 ЦВВ в ефір. Робочій радіотелефонний канал встановлюється за замовченням, наприклад, 77. Таким чином вахтовий офіцер позбавлений ручних операцій з абстрактними даними для формування викличної послідовності і всіляко сконцентрований на вирішенні безпосередньо навігаційного завдання.

Запропоновано використання графічного інтерфейсу для моніторингу/управління радіозв'язком з інформаційного дисплея. Таке рішення цілком відповідає тенденції впровадження дисплеїв на ходовому містку судна для

моніторингу/управління різноманітними інформаційними процесами на судні. Використання графічного інтерфейсу управління радіозв'язком дозволяє підвищити його ефективність і надійність у напрямку судно-судно, забезпечити стандартизацію користувальницького інтерфейсу на протипагу різноманіття кнопочних приборних інтерфейсів радіообладнання численних виробників.

Обґрунтовано і досліджено вибір комунікаційного інтерфейсу для дистанційного управління модулями радіозв'язку в інтегрованій системі. Запропонована реалізація інформаційного обміну за стандартами серії IEC 61162 (NMEA 0183) в судових мережах радіозв'язку і навігації для здійснення віддаленого моніторингу/управління радіозв'язком з використанням цифрового вибіркового виклику. Електронне дистанційне управління приймо-передавальними пристроями зв'язку замість ручного способу дозволяє реалізувати модульний принцип створення судових систем радіозв'язку з єдиним стандартизованим інтерфейсом управління вахтовим офіцером, що значно зменшує його робоче навантаження на ходовому містку і прискорює адаптацію до іншого судна при зміні екіпажу.

Розроблений спосіб автоматичної ідентифікації (AI) радіотелефонних передач і передавання додаткової інформації із залученням сучасної технології цифрових водяних знаків (ЦВЗ). Доведені переваги цього способу AI для своєчасної ідентифікації станції, що передає в порівнянні з існуючими способами мовної ідентифікації і системою ATIS, яка використовується на внутрішніх водах континентальної Європи.

Додатково AI радіотелефонних передач дозволяє підвищити навігаційну безпеку (safety) і кібербезпеку (security), зокрема:

- вчасно виявляти анонімні радіотелефонні передавання без використання засобів радіопеленгування, що вкрай важливо для захисту каналів (частот) лиха та безпеки;

- ідентифікувати навмисно несправжні (фейкові) радіоповідомлення від іншої станції з будь-яких міркувань;
- виявляти випадкові або навмисні западання тангенти слухавки (так званий “keying effect”), що може привести к блокуванню УКХ каналів берегових станцій управління рухом суден;
- здійснювати приховану передачу конфіденційних даних у разі терористичних загроз.

Дані ідентифікації (або інші додаткові дані) судна, яке передає, завдяки функції AI спрямовуються у інформаційний дисплей для маркування цього судна (відображення даних), що сприяє поліпшенню навігаційного спостереження вахтовим офіцером.

Розроблені і досліджені алгоритми формування і виявлення ЦВЗ, які придатні для практичного використання в реальних радіоканалах за умови врахування впливу усіх можливих перешкод (атак). Вирішена задача оптимізації компромісних параметрів алгоритмів в площині кількість інформації – якість сигналу – завадостійкість. Доведено, що найкращі показники дозволяють отримати алгоритми вбудовування даних ЦВЗ в частотній області дискретного перетворення Фур’є. Рекомендовано застосування розмірності ДПФ 256 відліків при частоті дискретизації 8 кГц.

Розроблені алгоритми формування і виявлення ЦВЗ, які придатні для практичного використання в реальних радіоканалах за умови врахування впливу усіх можливих перешкод (атак) і виконано їх математичне моделювання. Встановлено, що найбільш руйнівними завадами для даних ЦВЗ є коливання амплітуди сигналу, MCI, помилки часової синхронізації. Доведено, що найбільш ефективними алгоритмами вбудовування ЦВЗ є такі, що побудовані за умови знання звукового сигналу, тобто використання поінформованого кодеру. При використанні поінформованого кодеру затримка сигналу на передачу дорівнює приблизно 64 мс при швидкості

передавання даних ЦВЗ 32 біт/с і забезпеченні загальної слухової нечутливості вбудованих даних.

Розроблене експериментальне обладнання:

- експериментальний випробувальний АПК (стенд) інтегрованої системи у складі засобів радіозв'язку УКХ, ПХ/КХ радіотелефонії/ЦВВ, АІС, приймача GPS, інформаційного дисплея;

- експериментальна система АІ УКХ радіотелефонного зв'язку, яка реалізована на мікроконтролері STM32 Discovery і GPS модулі NEO-6M-0-001 із застосуванням штатних суднових трансиверів IC-M330 і Sailor RT-2048.

Проведені натурні випробування і дослідження експериментальних прототипів в реальних радіоканалах ЦВВ, АІС і радіотелефонії морської рухомої служби, які довели справедливність розроблених теоретичних положень і математичних моделей.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

Вперше:

- розроблена концепція управління радіозв'язком, яка ґрунтується на інтегруванні комунікаційного і навігаційного обладнання, використання графічного інтерфейсу і спільної обробки даних автоматичної ідентифікаційної системи та цифрового вибіркового виклику в інформаційному дисплеї і ідентифікації радіотелефонних передач;

- розроблена методологія інтегрування систем радіозв'язку і навігації на основі існуючих суднових конвенційних систем: автоматичної ідентифікаційної системи, електронної картографічної і навігаційної системи, інтегрованої навігаційної системи, систем наземного радіозв'язку УКХ, ПХ/КХ діапазонів з використанням цифрового вибіркового виклику і радіотелефонії, яка дозволяє отримати синергетичний ефект і досягти мети поліпшення навігаційного спостереження і створення зручного інтерфейсу (SMART інтерфейсу) управління радіозв'язком і його моніторингу за

рахунок спільної обробки даних від незалежних суднових засобів навігації і зв'язку;

- запропонований новий спосіб автоматичної ідентифікації радіотелефонних передач і передавання додаткової інформації в аналогових радіотелефонних каналах морської рухомої служби, заснований на сучасних методах цифрової обробки сигналів із застосуванням технології цифрових водяних знаків, якій дозволяє підвищити надійність ідентифікації у порівнянні з мовною ідентифікацією і використати цифрові додаткові дані в інших суднових системах;

- розроблені нові алгоритми прихованого передавання даних в радіотелефонних сигналах і їх синхронізації за допомогою сигналів точного часу приймача глобальної навігаційної супутникової системи (GPS), які дозволяють найкращим чином вирішити компромісну задачу отримання конкуруючих параметрів кількість вбудованої інформації – якість сигналу-носія – стійкість даних до перешкод в реальному УКХ радіоканалі.

Отримали подальший розвиток:

- методи і засоби практичної реалізації інформаційного обміну за стандартами серії IEC 61162 (NMEA 0183) в суднових мережах радіозв'язку і навігації для здійснення віддаленого моніторингу/управління радіозв'язком з використанням цифрового вибіркового виклику;

- методи прихованого вбудовування додаткової інформації у звукові сигнали для інформованого кодеру з урахуванням стану сигналу-носія;

- методи виявлення і ідентифікації випадків порушень радіоефіру у вигляді анонімних УКХ радіопередач або проявів западання кнопки передавання (тангенти) радіостанції;

- методи прихованого передавання інформації у цифрових радіоканалах наземного і супутникового зв'язку.

Практичне значення одержаних результатів полягає у наступному:

- інтегровані системи типів EKNIS/AIS – УКХ/ПХ/КХ/ЦВВ і AIS – УКХ/ПХ/КХ/ЦВВ – Інформаційний дисплей дозволяють усунути ручні операції формування виклику суден, що підвищує ефективність і надійність адресного УКХ радіотелефонного зв'язку в реальному часі з дотриманням усіх експлуатаційних процедур без заміни базового суднового обладнання навігації і зв'язку;

- графічний інтерфейс людина-машина (ІЛМ) інтегрованих систем дозволяє зробити найбільш повний і оперативний ситуаційний аналіз поточної навігаційної обстановки за рахунок маркування AIS-відміток цілей суден, що викликають за допомогою ЦВВ, або передають радіотелефоном;

- позбавлення судноводія оперування з абстрактними даними в процедурах формування ЦВВ на різноманітних кнопкових панелях апаратури різних фірм-виробників і перехід до управління радіозв'язком у стандартизованому режимі з інформаційного дисплея;

- реалізація функції AI в радіотелефонному зв'язку дозволяє усунути різного роду помилки і затримки ідентифікації вахтовим офіцером судна що передає, виявляти анонімних порушників ефіру і блокування каналів зв'язку у зоні відповідальності служби управління рухом суден (СУРС);

- використання інтегрованих систем і AI на берегових станціях СУРС і при проведенні пошуково-рятувальних операцій підвищує оперативність проведення пошуково-рятувальних операцій.

Результати роботи були використані:

- в Казенному підприємстві «Морська пошуково-рятувальна служба», м. Одеса;

- в пропозиціях, що розроблені в Національному університеті «Одеська морська академія» і представлені на державному рівні від України в структури ІМО, а саме:

- Підкомітет ІМО з Радіозв'язку, пошуку та рятування (COMSAR/14) у 2009 р.;

– Підкомітет ІМО з Навігації, радіозв'язку, пошуку та рятування (NCSR/3) у 2016 р., (NCSR/4) у 2017 р., (NCSR/5) у 2018 р.;

– Комітет ІМО з навігації (NAV/56) у 2010 р., (NAV/58) у 2012 р., (NAV/59) у 2013 р., Комітет ІМО з безпеки мореплавства (MSC/97) у 2016 р.

Результати дисертаційної роботи використані в держбюджетних науково-дослідних роботах: «Методи та засоби побудови систем захисту інформації на основі технології стеганографії і цифрових водяних знаків», ДР № 0108U001486, «Розробка методів і засобів автоматичної ідентифікації радіотелефонних передач у морській рухомій службі», ДР № 0109U001536, «Розробка суднових інтегрованих систем радіозв'язку і навігації у рамках загальної концепції розвитку електронної навігації», ДР № 0112U000354, «Інтегрування суднових систем радіозв'язку і навігації для підвищення безпеки судноплавства в рамках концепції е-навігації», ДР № 0119U001652, «Розроблення стандартизованого інтерфейсу морського радіозв'язку на основі його інтегрування з навігаційними системами», НТР за державним замовленням за розпорядженням Кабінету Міністрів України від 10 липня 2019 р. № 530-р, ДР № 0119U103293, що виконувались в Національному університеті «Одеська морська академія» відповідно плану Міністерства освіти і науки України, у яких автор був відповідальним виконавцем.

За результатами роботи отримано 10 патентів України на винаходи та 2 міжнародні патенти на корисну модель у Німеччині. Заявником та патентовласником в усіх патентах є Національний університет «Одеська морська академія».

Ключові слова: цифровий вибірковий виклик, автоматична ідентифікаційна система, радіотелефонія, інтерфейс, ідентифікація, цифрові водяні знаки, інформація.

SUMMARY

Shyshkin O.V. Integration of marine radio and navigation systems in the frame of the e-navigation concept development. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript. The thesis for the degree of doctor of technical sciences on a specialty 05.22.13 – navigation and control of the movement (271 – River and sea transport). – National University "Odessa Maritime Academy", Odesa, 2021.

The work is devoted to the development of methods to improve the technical and operational characteristics of vessel's maritime radio communication and navigation installation by means their integration and joint data processing while maintaining the basic composition of ship equipment, considering user needs – officers of the watch (OOW) – and taking into account global trends in marine technology according to the e-navigation concept that founded and actively promoted by the International Maritime Organization (IMO). The concept of e-navigation is based on three components: ship equipment, shore infrastructure and radio communication systems.

The analysis of the development of modern shipping over the past two decades has shown the introduction of a number of new maritime radio communication and navigation systems such as the Global Maritime Distress and Safety System (GMDSS), Digital Selected Calling (DSC), satellite systems INMARSAT, COSPAS-SARSAT, Iridium, global navigation satellite system GPS/GLONASS, automatic identification system (AIS), electronic chart display and information system (ECDIS), others. The development and improvement of these systems has been accelerated by the implementation of the e-navigation strategic implementation plan (SIP) that emphasizes comprehensive digitization and standardization of ship systems to support the decision-making process of a ship's officer on board and ensure the efficiency and safety of navigation.

The main guiding principle of the implementation and development of e-navigation elements is to take into account primarily not technological advances, but the practical needs of seafarers for the proper operation of ship systems and devices to reduce the administrative burden on board so that the watch officer is focused on safe navigation and efficient execution of ship operations.

GMDSS communication installation directly affect the efficient and safe navigation, but in practice the introduction of new communication systems, in particular, DSC, does not allow to obtain proper efficiency and effectiveness of radio communication, and creates extra burden for OOW on providing terrestrial communication using DSC according Radio Regulations. The variety of radio equipment, the complexity and long-term manual control operations in practice lead to neglect of the rules of communication, errors in the identification of vessels, which ultimately affects the safety and the efficiency of maritime navigation.

Taking into account

- existing problems in the practical operation of ship's radio and navigation systems;
- user needs of watch officers on the bridge on practical using of ship's radio and navigation installation;
- SOLAS requirements for the composition and technical and operational characteristics of ship navigation and communication equipment and its compatibility;
- strategic global direction of e-navigation shipping development

in the dissertation the new ideas on integrating shipborn communication (DSC, radiotelephony) and navigation (GPS, AIS, ECDIS) systems are designed for joint data processing that allows obtaining new the capabilities in radio control and navigation watching.

The designed integration fuses the data of DSC communication system and AIS navigation system based on a common identifier. Because the AIS data packet

and the DSC sequence contain maritime mobile self-identifier (MMSI), the AIS and DSC messages can be combined. The standard set of parameters of the call sequence is supplemented by the parameters of the AIS target on the vessel receiving the call in the DSC system, as a result of such integration. When displaying information on the graphical information display AIS-target is accompanied by a flashing mark.

It is not necessary entering a 9-digit MMSI of the vessel to be called in the DSC system, which still needs to be find out using, for example, AIS or ECDIS. It is enough for the watch officer to select AIS target on the information display by means of a trackball, or other suitable manipulator and to transmit a call on DSC channel 70. The working radiotelephone channel is set by default, for example, 77. Thus the watch officer is free of manual operations with abstract data for forming a calling sequence and is entirely concentrated on the decision making of directly navigation task.

It is proposed to use a graphical interface for monitoring / control of radio communication, which allows increasing the efficiency and reliability of addressed radio communication, and providing standardization of the user interface as opposed to the variety of button-based interfaces of radio equipment from a variety of industrial manufacturers.

The choice of communication interface for remote control of radio communication modules is researched and grounded. Implementation of data exchange according to the standards of the IEC 61162 series (NMEA 0183) in ship radio and navigation networks for remote monitoring / control of radio communication using a digital selective call is proposed. Electronic remote control of transceivers instead of the manual handling allows implementing the modular principle construction of shipboard radio communication systems with a single standardized human-machine interface for OOW. Such interface reduces his workload on the bridge and speeds up adaptation to another ship when changing crew.

A method of automatic identification (AI) of radiotelephone transmissions and transmission of additional information with the involvement of innovative technology of digital watermarking (DWM) has been developed. The advantages of this method of AI for timely identification of the transmitting station in comparison with the existing methods of voice identification and the ATIS system used in the inland waters of continental Europe are proved.

Additionally AI of radiotelephone transmissions allows increasing navigation safety and cyber security, in particular it provides:

- timely detection of anonymous radiotelephone transmissions without use of radio direction-finding devices, which is extremely important for the protection distress and safety frequencies;
- identifying of intentionally false (fake) radio messages from another station for any reasons;
- detecting accidental or intentional falling-down of the handset tangent (so-called “keying effect”), which can lead to blocking of VHF channels of vessel traffic services (VTS);
- providing the hidden transfer of confidential data in case of terrorist threats.

Thanks to AI function identification (or other additional) data from the transmitting vessel is forwarded to the information display for marking the vessel (displaying data), which helps to enhance navigation awareness by the watch officer.

Algorithms for the formation and detection of DWM have been developed and studied, which are suitable for practical use in real radio channels, provided that the influence of all possible interferences (attacks) is taken into account. The trade-off task of DWM algorithm parameters in the domain volume of information – signal quality – noise immunity is solved. It was proved that the best parameters can be obtained for DWM algorithms in the frequency domain of discrete Fourier

transform (DFT) using an informed encoder. It is recommended using the 256 point DFT dimension at a sampling frequency of 8 kHz.

Algorithms for the DWM forming and detection, which are applicable for practical use in real radio channels, taking into account the impact of all possible interferences (attacks), are designed. It is proved that the most effective algorithms for DWM data embedding are those that use the information on the carrier audio signal (so called informed coder). When using the informed encoder, the transmission of radiotelephone message is approximately 64 ms at a hidden data rate of 32 bit/s and a total auditory insensitivity of the embedded data.

Mathematical simulation of algorithms is performed; experimental prototypes of the hard-software complex of the integrated radio communication and navigation system and AI system of radiotelephone transmissions in real radio channels of sea communication are developed.

The next experimental equipment is designed:

- experimental hard-software complex of the integrated system which includes VHF, MF/HF radios with radiotelephony/DSC regimes, AIS, GPS receiver, information display;
- experimental AI VHF radiotelephone system, which is implemented on a microcontroller STM32 Discovery and GPS modules NEO-6M-0-001 using standard maritime transceivers IC-M330 and Sailor RT-2048.

Full-scale tests and researches of experimental prototypes in real radio VHF radiotelephony/DSC and AIS maritime channels were carried out which proved validity of the developed theoretical principles and mathematical models.

For the first time are developed:

- the concept of radio communication control, which is based on the integration of communication and navigation equipment, the use of graphical interface and joint AIS and DSC data processing in the information display and identification of radiotelephone transmissions;

- the integration methodology of radio communication and navigation systems using existing ship conventional systems: AIS, ECDIS, integrated navigation system, VHF, MF/HF terrestrial radio communication systems with digital selective calling and radiotelephony that allows obtaining synergistic effect and achieve the goal of enhancing navigation awareness and creating a user-friendly interface (SMART interface) for radio communication controlling and monitoring through joint data processing coming from independent ship navigation and communication facilities;

- the new method of automatic identification of radiotelephone transmissions and transmission of additional information in analog radiotelephone channels of the maritime mobile service, based on modern methods of digital signal processing using digital watermark technology, which increases the reliability of identification compared to voice identification and also use additional digital data in other ship systems;

- the new algorithms for hidden data transmission in radiotelephone signals and their synchronization with the aid of precise time signals of the receiver of the global navigation satellite system (GPS), which allow to best solving the compromise task of competing parameters choosing: capacity of embedded information – carrier signal quality – data robustness against interferences in the real VHF radio channels.

There were gotten:

- methods and facilities for practical implementation of information exchange according to IEC 61162 series standards (NMEA 0183) in ship radio and navigation networks for remote monitoring / control of radio communication using digital selective calling;

- methods of hidden embedding additional information into audio signals for the informed encoder, taking into account the state of the carrier signal;

- methods of detection and identification of violations of radio broadcasting in the form of anonymous VHF radio broadcasts or manifestations of the transmission button (tangents) falling down in the radio station;

- methods of hidden information transmission in the digital radio channels of terrestrial and satellite communication.

The results were used:

- in the State Enterprise "Maritime Search and Rescue Service", Odessa;

- in the proposals developed at the National University "Odessa Maritime Academy" and presented at the state level from Ukraine to the IMO, namely:

- IMO Subcommittee on Radiocommunication, Search and Rescue (COMSAR / 14) in 2009;

- IMO Subcommittee on Navigation, Radio, Search and Rescue (NCSR / 3) in 2016, (NCSR / 4) in 2017, (NCSR / 5) in 2018;

- IMO Navigation Committee (NAV / 56) in 2010, (NAV / 58) in 2012, (NAV / 59) in 2013, IMO Maritime Safety Committee (MSC / 97) in 2016.

The results of the dissertation were used in 5 state budget research works, including scientific and technical development by state order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated July 10, 2019 № 530-p, DR № 0119U103293, performed at the National University "Odessa Maritime Academy" according to the plan of the Ministry of Education and Science of Ukraine, in which the author was the responsible executor.

According to the results of the work, there were obtained: 10 patents of Ukraine for inventions and 2 international patents for utility models in Germany. The applicant and patent owner in all patents is the National University "Odessa Maritime Academy".

Key words: digital selective calling, automatic identification system, radio telephony, interface, identification, digital watermarking, information.

СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ НАУКОВИХ РОБІТ ЗА
ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові роботи в національних і іноземних фахових виданнях:

1. Шишкин А.В., Кошевой В.М. Устойчивая к атакам масштабирования стеганографическая передача информации с исключением мешающего влияния сигнала-носителя. // Изв. вузов Радиоэлектроника, 2007, №6, т. 50, С. 3 – 15. DOI: 10.3103/S0735272707060015. Наук. фахове видання України кат. А; індексується у Scopus.
2. Шишкин А.В. Цифровые водяные знаки с расширением спектра для аудиосигналов при использовании информации о сигнале-носителе. // Изв. вузов Радиоэлектроника, 2008, №6, т. 51, С. 22 – 32. DOI: 10.3103/S0735272708060034. Наук. фахове видання України кат. А; індексується у Scopus.
3. Шишкин А.В. Применение адаптивных алгоритмов в звуковых стеганографических системах с расширением спектра сигнала. // Изв. вузов Радиоэлектроника, 2008, №10, т. 51, С. 10 – 21. DOI: 10.3103/S0735272708100026. Наук. фахове видання України кат. А; індексується у Scopus.
4. Шишкин А.В. Синдромный метод формирования цифровых водяных знаков и стеганографической передачи с использованием дополнительной информации о носителе // Изв. вузов Радиоэлектроника, 2010, №1, т. 53, С. 12 – 19. DOI: 10.3103/S0735272710010024. Наук. фахове видання України кат. А; індексується у Scopus.
5. Шишкин А.В. Устойчивые цифровые водяные знаки для звуковых сигналов // Изв. вузов Радиоэлектроника, 2011, №3, т. 54, С. 30 – 38. DOI: 10.3103/S0735272711030046. Наук. фахове видання України кат. А; індексується у Scopus.
6. Шишкин А.В. Идентификация радиотелефонных передач в УКВ диапазоне морской радиосвязи // Изв. вузов Радиоэлектроника, 2012, №11, т. 55, С. 11 – 20. DOI: 10.3103/S0735272712110027. Наук. фахове видання України кат. А; індексується у Scopus.
7. Шишкин А.В., Кошевой В.М. Автоматическая идентификация радиотелефонных передач в УКВ диапазоне морской подвижной службы // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2008. – Вып. 14. Одесса: ОНМА. – С. 101 – 109.
8. Кошевой В.М., Шишкин А.В. Помехоустойчивая идентификация радиотелефонных передач в аналоговых каналах морской радиосвязи //

Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2009. – вып. 15. Одесса: ОНМА. – С. 29 – 36.

9. Кошевой В.М., Шишкин А.В. Повышение эффективности УКВ радиосвязи в интегрированной судовой системе радиосвязи и навигации // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 21. – Одесса: «ИздатИнформ», 2012 – С. 129 – 137.

10. Шишкин А.В. Алгоритмы формирования цифровых водяных знаков для автоматической идентификации // Автоматизация судовых технических засобів: наук. – техн. зб. – 2013 - Вип. 19. Одесса. С. 89 – 95.

11. Шишкін О.В. Формування і виявлення цифрових водяних знаків у системі автоматичної ідентифікації ультракороткохвильових радіопередач // Вісник Національного авіаційного університету, № 2 (55), 2013, С. 57 – 61.

12. Koshevoy V.M., Shishkin A.V. Novel Function of ECDIS for SMART VHF Communication // Науковий вісник Херсонської державної морської академії № 1 (10), 2014. С. 22 – 29.

13. Кошевий В.М., Шишкін О.В. Удосконалення системи УКХ радіозв'язку морського судноплавства // Наукові праці: Науково-методичний журнал. Серія «Техногенна безпека», Чорноморський державний університет ім. Петра Могили комплексу «Києво-Могилянська академія», Випуск 221, 2014, том. 233. С. 15 – 20.

14. Кошевой В.М. Модернизация ЭКНИС для взаимодействия с системой УКВ радиосвязи / Кошевой В.М., Шишкин А.В. // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 24. Одесса: «ИздатИнформ», 2014 – С. 92 – 100.

15. Шишкін О.В. Прихована цифрова модуляція звукових сигналів / О.В. Шишкін // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2014. – № 58. – С. 129-138.

16. Шишкин А. В. Статистические цифровые водяные знаки звуковых сигналов / А.В. Шишкин // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія: Радіотехніка. Радіоапаратобудування, 2015, Вип. 62. - С. 20 – 30. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKPI_tr_2015_62_4. Наук. фахове видання України кат. А.

17. Koshevyy V.M., Shyshkin O.V., Lisaj A. ECDIS – VHF Integration in River Information Services // Автоматизация судовых технических средств: Науч.-технический сб. – 2015. вып. 21 – Одесса: ОНМА, С. 82 – 91.

18. Koshevyy V.M., Shyshkin O.V., Lisaj A. A method of Automatic Transmitter Identification for Inland VHF Communication // Автоматизация

судовых технических средств: Науч.-технический сб. – 2015. вып. 21 – Одесса: ОНМА, С. 92 – 99.

19. Шишкин А.В., Кошевой В.М. Цифровые водяные знаки для радиотелефонных каналов с межсимвольной интерференцией. Цифрові технології: Збірник / ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2018. – Вип. 23. С. 17 – 29.

20. Кошевой В.М., Ковалев Н.И., Шишкин А.В. Стандартизация интерфейса интегрированной системы радиосвязи / В.М. Кошевой, Н.И. Ковалев, А.В. Шишкин // Судовождение: Сб. научн. трудов НУ «ОМА», Вып. 29. – Одеса: «ІздатІнформ», 2019. – С. 116 – 125. DOI: 10.31653/2306-5761.29.219.116-125.

21. Miyusov M.V., Koshevoy V.M., Shishkin A.V. Increasing Maritime Safety: Integration of the Digital Selective Calling VHF Marine Radiocommunication System and ECDIS // TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 5, No. 2, June 2011, pp. 159 – 161.

22. Shyshkin O.V., Koshevyy V.M. Stealthy Information Transmission in the Terrestrial GMDSS Radiotelephone Communication. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 7, No. 4 – December 2013, pp. 541 – 548. DOI: 10.12716/1001.07.04.09.

23. Koshevyy V.M., Shyshkin O.V. ECDIS Modernization for Enhancing Addressed VHF Communication. // TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 9, No. 3 – September 2015, pp. 327-331. DOI: 10.12716/1001.09.03.04. Видання входить до МНБ Scopus, Web of Science.

24. Koshevyy V.M., Shyshkin O.V. Standardization of Interface for VHF, MF/HF Communication Using DSC within Its Integration with INS in the Framework of e-Navigation Concept. // TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 13, No. 3 – September 2019, pp. 593 – 596. DOI: 10.12716/1001.13.03.15. Видання входить до МНБ Scopus, Web of Science.

25. Koshevyy V.M., Konovets V.I., Shyshkin O.V. SMART Digital Selective Calling User Interface on the Base of Integration Maritime Navigation and Radiocommunication Equipment. // TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 15, No. 2 – June 2021, pp. 291 – 297. DOI: 10.12716/1001.15.02.03. Видання входить до МНБ Scopus, Web of Science.

26. Shyshkin O.V., Koshevyy V.M., Ryaboshapka I.V. GPS Synchronization of Audio Watermarks in the Maritime Automatically Identified Radiotelephony. //

TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 15, No. 2 – June 2021, pp. 307 – 311. DOI: 10.12716/1001.15.02.05. Видання входить до МНБ Scopus, Web of Science.

Патенти на винаходи (27 – 35, 38) та корисні моделі (36, 37):

27. Патент України № 78762, МПК (2006) H04Q 7/32, B63B 49/00. Пристрій для цифрового вибіркового виклику з підвищеною оперативністю / Кошевий В.М., Шишкін О.В., Заїчко В.С. Опубл. 25.04.2007, бюл. № 5, 2007 р.

28. Патент України № 81951, МПК (2006) G064K 9/00, H03M 7/00. Пристрій для прихованої передачі інформації у звукових сигналах / Шишкін О.В., Кошевий В.М. Опубл. 25.02.2008, бюл. № 4, 2008 р.

29. Патент України № 85189, МПК (2009) H01K 1/00. Пристрій для прихованої передачі інформації у звукових сигналах / Шишкін О.В., Кошевий В.М. Опубл. 12.01.2009, бюл. № 1, 2009 р.

30. Патент України № 90497, МПК (2009) H04W 92/00, G01B 5/14. Інтегрована система цифрового вибіркового виклику / Шишкін О.В., Кошевий В.М., Заїчко В.С. Опубл. 11.05.2010, бюл. № 9, 2010 р.

31. Патент України № 91375, МПК (2009) H04J 13/02, H04J 4/00, H04B 7/14. Пристрій для автоматичної ідентифікації радіотелефонних передач / Шишкін О.В., Кошевий В.М. Опубл. 26.07.2010, бюл. № 14, 2010 р.

32. Патент України № 92735, МПК (2009) H04J 13/02, H04J 13/00, H04J 4/00, H04M 11/00. Пристрій для автоматичної ідентифікації радіотелефонних передач / Шишкін О.В. Опубл. 10.12.2010, бюл. № 23, 2010 р.

33. Патент України № 94276, МПК (2011.01) H03M 9/00, H04Q 9/00. Пристрій для віддаленого контролю і управління апаратурою цифрового вибіркового виклику морської рухомої служби / Кошевий В.М., Шишкін О.В., Заїчко В.С., Маляренко Ю.В. Опубл. 26.04.2011, бюл. № 8, 2011 р.

34. Патент України № 104349, МПК (2014.01) H04J 13/00, H04M 11/06, H04L 25/00. Пристрій для автоматичної ідентифікації радіотелефонних передач із підвищеною стійкістю до міжсимвольних спотворень / Шишкін О.В., Кошевий В.М., Ляшко О.О. Опубл. 27.01.2014, бюл. № 2, 2014 р.

35. Патент України № 110063, МПК (2015.01) G01C 21/00, H04B 7/26. Електронна картографічна навігаційна і інформаційна система / Кошевий В.М., Шишкін О.В. Опубл. 10.11.2015, бюл. № 21, 2015 р.

36. Integriertes Systemeines digitalen Selektivrufs und einer elektronischen nautischen Seekartographie, DE 112007003617 T5 2010.08.12, H04B 7/26 PCT/UA2007/000073, WO2009022999 A1 Publ. date Nov 15, 2011 / Shishkin O.V., Koshevyy V.M., Zaichko V.S. (Патент Німеччини).

37. Elektronisches kartografisches Navigations und Information System, DE 212014000248 U1, PCT/UA2014/000112, WO2015112106A1. Publ. date Sep 2, 2016 / Koshevyy V.M., Shishkin O.V. (Патент Німеччини).

38. Патент України № 123326 Інтегрована система морського радіозв'язку/ Кошевий В.М., Шишкін О.В. 18.03.2021 р. Опубліковано 10.06.2019, бюл. № 11, 2021 р.

Опубліковані роботи апробаційного характеру:

39. Шишкин А.В., Кошевой В.М., Рудометов Ю.А. Скрытная передача информации в речевых сигналах // 2-й Международный радиоэлектронный форум. «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития». Сб. научных трудов. Т. III. Харьков: АНПРЭ, ХНУРЭ, 19 – 23 сентября 2005. С. 417 – 419.

40. Шишкин А.В., Кошевой В.М., Купровский В.И. Судовая интегрированная система радиосвязи и навигации // 2-й Международный радиоэлектронный форум. «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития». Сб. научных трудов. Т. II. Харьков: АНПРЭ, ХНУРЭ, 2005. С. 499 – 501.

41. Шишкин А.В. Information embedding and watermarking for multimedia and communication. Proceedings of IEEE. East-West Design & Test Workshop (EWDTW'06), Sochi, Russia, September 15-19, 2006, pp. 386 – 389.

42. Шишкин А.В., Кошевой В.М. Стеганографическая передача информации в звуковых сигналах // Труды 7-й Международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии, СИЭТ06»: Одесса, 2006, с. 234.

43. Шишкин А.В. Эффективные алгоритмы стеганографической передачи информации // 12-я Международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь». Сб. научных трудов. Воронеж: САКВОЕЕ, 2006. С. 793 – 801.

44. Shishkin A. Watermarking Technique for Images under Amplitude Scaling and JPEG Compression. IEEE. East-West Design & Test Symposium, 2007, Yerevan, Armenia, September 7-10, pp. 73 – 77.

45. Шишкин А.В., Кошевой В.М. Робастная к JPEG сжатию скрытная передача информации в изображениях // Труды 8-й Международной научно-

практической конференции «Современные информационные и электронные технологии, СИЭТ07»: Одесса, 21 – 25 мая 2007, с. 189.

46. Шишкин А.В., Кошевой В.М. Обнаружение цифровых водяных знаков в аудиосигналах // Труды 9-й Международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии, СИЭТ08»: Одесса, 19 – 23 мая 2008, т. 1. с. 197.

47. Шишкин А.В., Кошевой В.М. Способ автоматической идентификации радиотелефонных передач в морской радиосвязи. - Автоматика-2008: доклады XV междунар. конф. по автоматическому управлению, 23 – 26 сентября 2008 г. - Одесса: ОНМА. – 992 с., С. 663 – 666; вклад автора: розроблена схема автоматичної ідентифікації радіопередач з використанням не інформованого кодеру.

48. Shishkin A.V. Automatic Identification of Radiotelephone Transmissions in the Maritime Communication // Proc. 6th IEEE East–West Design & Test Symposium (EWDTS'08), Lviv, Ukraine, October 9 – 12, 2008. – pp. 306 – 309.

49. Koshevy V.M., Shishkin A.V. Robust Audio Watermarking for Identification and Monitoring of Radiotelephone Transmissions in the Maritime Communication // Proc. 7th IEEE East–West Design & Test Symposium (EWDTS'09). Moscow, Russia, September 18 – 21, 2009. – pp. 377 – 380.

50. Шишкин А.В., Кошевой В.М. Аутентификация изображений с помощью цифровых водяных знаков // Холодильная техника и технологию Сб. тезисов 9-й конференции «Математическое моделирование и информационные технологии», Одесса, 2009, С. 58 – 59.

51. Шишкин А.В. Применение кода Хемминга для стеганографической передачи информации в младших разрядах отсчетов носителя. // Труды 10-й Международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии, СИЭТ09»: Одесса, 18 – 22 мая 2009, т. 1. с. 269.

52. Shishkin A.V. OFDM-based audio watermarking for electronic radiotelephone identification // IEEE East–West Design & Test Symposium (EWDTS), 2010, pp. 190 – 194, 17 – 20 Sept. 2010. DOI: 10.1109/EWDTS.2010.5742037.

53. Шишкин А.В. Скрытая передача цифровой информации в аналоговых аудио каналах // Современные информационные и электронные технологии: Труды XI международной научно-практической конференции “СИЭТ–2010”, 24 – 28 мая 2010, Одесса, Украина.– Одесса: Изд-во “Политехпериодика”, 2010. – Т. 1. – С. 210.

54. Шишкин А.В. Передача цифровой информации в аналоговых УКВ радиотелефонных каналах морской и воздушной подвижных служб радиосвязи: // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии: Материалы 20-й Международной Крымской конференции, 13 – 17 сентября 2010 г. Севастополь, Крым, Украина. – С. 345 – 346.

55. Шишкин А.В., Ляшко А.А. Применение OFDM модуляции для идентификации радиотелефонных передач в морской Радиосвязи: // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии: Материалы 21-й Международной Крымской конференции, 12 – 16 сентября 2011 г. Севастополь, Крым, Украина. – С. 398 – 399.

56. Shishkin O.V., Lyashko O.O. OFDM-based Audio Watermarking for Covered Data Transmission in VHF Radiotelephony IEEE East–West Design & Test Symposium (EWDTS'11), Sevastopol, Ukraine, September 9 – 12, 2011. – pp. 389 – 392.

57. Ляшко А.А., Шишкин А.В. Автоматическая идентификация радиотелефонных передач с повышенной устойчивостью к межсимвольным искажениям // Труды 7-й Международной молодежной научно-технической конференции «Современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций РТ-2011»: Севастополь, 2011. С. 79.

58. Шишкин А.В. Формирование и обнаружение цифровых водяных знаков в системе автоматической идентификации УКВ радиопередач // Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM: тези доповідей науково-технічної конференції, м. Київ, 28 – 30 листопада 2012 р., Національний авіаційний університет / редкол.: М.С. Кулик та ін. – К.: НАУ, 2012. – 128 с. – с. 50.

59. Шишкин А.В., Ляшко А.А. Мультиплексирование цифровой информации в морской УКВ радиотелефонии: // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии: Материалы 22-й Международной Крымской конференции, 10 – 14 сентября 2012 г. Севастополь, Крым, Украина. – С. 330 – 331.

60. Shishkin A.V., Lyashko A.A. Hash-based Detection of OFDM Watermarking Symbol for Radiotelephone Identification // IEEE East–West Design & Test Symposium (EWDTS'12), Kharkov, Ukraine, September 14 – 17, 2012. – pp. 389 – 392.

61. Шишкин А.В. Алгоритм формирования цифровых водяных знаков для аудиосигналов // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии: Материалы 23-й Международной Крымской конференции, 8 – 14 сентября 2013 г. Севастополь, Крым, Украина. – С. 454 – 455.

62. Koshevoy V.M., Shishkin A.V. ECDIS Enhancement for Smart VHF Radio Communication // Матеріали шостої Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT – 2014)», 27 – 29 травня 2014 р., Херсон, Україна, С. 45 – 48.

63. Шишкин А.В. Применение помехоустойчивых кодов в стеганографии // Труды XV Международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии (СИЭТ-2014)», 26 – 30 мая 2014 г. Одесса, Украина, Том 1, С. 147 – 148.

64. Шишкин А.В. Повышение помехоустойчивости системы автоматического опознавания передач в морской радиосвязи // Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті MINTT – 2015)», 26 – 28 травня 2015 р., Херсон, Україна, С. 43 – 46.

65. Кошевой В.М., Шишкин А.В. Совершенствование морских судовых систем навигации и радиосвязи в рамках развития электронной навигации // Збірник тез доповідей науково-практичної конференції «Стан та удосконалення безпеки інформаційно-телекомунікаційних систем (SITS'2015)» 09 – 12 червня 2015 р., Миколаїв – Коблево, С. 53 – 55.

66. Коновец В.И., Шишкин А.В. Новые стандарты интегрирования бортовых морских средств навигации и радиосвязи // Матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT – 2017)», 23 – 25 травня 2017 р., Херсон, Україна, С. 217 – 220.

67. Koshevyy V., Shyshkin O. Standardized VHF/MF/HF Interface in the Integrated Maritime Communication System. IEEE Proc. of the Fourth Intern. Conf. on Information and Telecom. Techn. and Radio Electronics – UkMiCo'2019. 09 – 13 September 2019, Odessa, Ukraine. DOI: 10.1109/UkrMiCo47782.2019.9165503.

Підручник (71), навчальні посібники (69, 70, 78), розділи в монографіях, збірниках наукових праць (решта):

68. Кошевой В.М., Шишкин А.В., Купровский В.И., Малявин И.П. и др. Человек в измерениях XX века. Монография. Т. 3: Международная академия проблем человека в авиации и космонавтике, Региональный межвузовский НИЦ по проблемам человеческого фактора. – Россия – Украина, 2001. – 418 с.

69. Кошевой В.М., Шишкин А.В., Купровский В.И. Система и устройства автоматической идентификации судов: Учебное пособие. – Одесса: ОНМА, 2005. – 116 с.

70. Шишкин А.В., Купровский В.И., Кошевой В.М. Глобальная морская система связи при бедствии и для обеспечения безопасности мореплавания (ГМССБ): Учебное пособие. – М. ТрансЛит, 2007 – 544 с., ил.

71. Кошевий В.М., Купровський В.І., Шишкін О.В. Глобальний морський зв'язок для пошуку та рятування (GMDSS) : Підручник для студентів вищих навчальних закладів. Затверджено МОН України / В.М. Кошевий, В.І. Купровський, О.В. Шишкін. – Одеса : Екологія, 2011. – 248 с., іл.

72. Shishkin O.V., Koshevyy V.M. Audio Watermarking for Automatic Identification of Radiotelephone Transmissions in VHF Maritime Communication, Watermarking – Vol. 2, pp. 209 – 227. InTech, 2012. ISBN 978-953-51-0619-7.

73. Shishkin A.V., Koshevoy V.M. Audio Watermarking in the Maritime VHF Radiotelephony // Weintrit A. (ed.): Navigational Problems. Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. A Balkema Book, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton – London – New York – Leiden, 2013, ISBN: 978-1-138-00107-7. pp. 293 – 298.

74. Koshevoy V.M., Shishkin A.V. Enhancement of VHF Radiotelephony in the Frame of Integrated VHF/DSC – ECDIS/AIS System // Weintrit A. (ed.): Navigational Problems. Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. A Balkema Book, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton – London – New York – Leiden, 2013, ISBN: 978-1-138-00107-7. pp. 299 – 303.

75. Shyshkin O., Koshevyy V. Hidden Communication in the Terrestrial and Satellite Radiotelephone Channels of Maritime Mobile Services // Weintrit A., Neumann T. (ed.): Information, Communication and Environment. Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. A Balkema Book, CRC Press, Taylor & Francis Group, London, UK, 2015, ISBN: 978-1-138-02857-9. pp. 13 – 19.

76. Koshevyy V.M., Shyshkin O.V. VHF/DSC – ECDIS/AIS Communication on the Base of Lightweight Ethernet // Proceedings of the International Conference on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation (TransNav 2017), Gdynia, Poland, 21 – 23 June 2017, Editor Adam Weintrit // CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton – London – New York – Leiden, 2017, ISBN: 978-1-138-29762-3 pp. 385 – 390.

77. Shyshkin O., Koshevyy V. Voice Subtitle Transmission in the Marine VHF Radiotelephony // Proceedings of the International Conference on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation (TransNav 2017), Gdynia, Poland, 21 – 23 June 2017, Editor Adam Weintrit // CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton – London – New York – Leiden, 2017, ISBN: 978-1-138-29762-3 pp. 379 – 384.

78. Пашенко О.Л. Радіостанція SAILOR VHF DSC 6222. Експлуатаційні процедури радіозв'язку: навчальний посібник / О.Л. Пашенко, В.І. Купровський, О.В. Шишкін. – Одеса: НУ «ОМА» 2021. – 51 с..

Інші публікації:

79. Кошевой В.М., Шишкин А.В., Галинский А. Интеграция систем радиосвязи и навигации // Порты Украины, № 01 (123) 2013. С. 40 – 41.

80. Koshevyu V., Shishkin A. DSC operation could be more intuitive // Maritime Information Technologies and Electronics. 2013. February/March, pp. 22 – 23.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	32
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНИЙ СТАН І НАПРЯМОК РОЗВИТКУ СУДНОВИХ СИСТЕМ НАВІГАЦІЇ І РАДІОЗВ'ЯЗКУ	44
1.1. Стратегічний план е-навігації щодо суднових і берегових систем морської навігації та радіозв'язку	44
1.2. Глобальна морська система зв'язку у разі лиха та безпеки	51
1.3. Автоматична ідентифікаційна система	63
1.4. Електронна картографічна навігаційна інформаційна система	68
1.5. Об'єднання навігаційних даних	72
1.6. Особливості систем навігації та радіозв'язку в річкових інформаційних службах (PIS)	76
1.7. Система автоматичної ідентифікації передавача у PIS	78
1.8. Служби управління рухом суден	80
1.9. Інтегровані навігаційні і радіо комунікаційні системи	81
РОЗДІЛ 2. ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА НАВІГАЦІЇ ЕКНІС/АІС І РАДІОЗВ'ЯЗКУ УКХ/ЦВВ	86
2.1. Обґрунтування теми дослідження	86
2.2. Методологія інтегрування суднових систем навігації та радіозв'язку	88
2.3. Об'єднання даних в системах навігації і радіозв'язку	91
2.4. Дуалізм процесів об'єднання даних і управління судном	96
2.5. Інтегрована система УКХ/ЦВВ – АІС як система реального часу	100
2.6. Роль і місце наземного радіозв'язку з ЦВВ	108
2.7. Інтерфейс УКХ/ЦВВ на основі ЕКНІС	112
2.8. Інтерфейс УКХ/ЦВВ на основі інтегрованої системи радіозв'язку	116
2.9. Оцінка навігаційної ситуації в інтегрованій системі ЕКНІС – АІС – ЦВВ на основі байєсовського підходу	118
2.10. Невизначеність виклику ЦВВ в інтегрованій системі при наявності цілей без АІС	124
2.11. Аналіз потоку викликів ЦВВ	130
2.12. Кібербезпека суднових систем радіозв'язку та навігації	136

РОЗДІЛ 3. АВТОМАТИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ УКХ РАДІОТЕЛЕФОННИХ ПЕРЕДАЧ МОРСЬКОГО РУХОМОГО ЗВ'ЯЗКУ	141
3.1. Спосіб автоматичної ідентифікації голосових повідомлень в МРС	141
3.2. Застосування технології ЦВЗ для ідентифікації радіотелефонних передач в аналогових каналах морського радіозв'язку	142
3.3. Стеганографічне (приховане) вбудовування інформації	144
3.4. Пропускна здатність стегосистеми	147
3.5. Стегосистема з неінформованим кодером	148
3.6. Модуляція індексу квантування	151
3.7. Крок квантування	154
3.8. Аналіз стегосистеми МІК-РП в каналі з АБГШ	155
3.9. Інваріантна до мультиплікативної завади МІК	157
3.10. Статистично інформований кодер	159
3.11. Повністю інформований кодер	161
РОЗДІЛ 4. ФОРМУВАННЯ, ВИЯВЛЕННЯ І ДЕКОДУВАННЯ ЦВЗ ДЛЯ АНАЛОГОВИХ РАДІОТЕЛЕФОННИХ КАНАЛІВ З УРАХУВАННЯМ РЕАЛЬНИХ ЗАВАД	166
4.1. Модель каналу передавання ЦВЗ	166
4.2. ЦВЗ із збереженням норми сигналу	169
4.3. Квантування коефіцієнту кореляції	175
4.4. Дисперсія сигналу ЦВЗ при модуляції коефіцієнтів кореляції	182
4.5. Вибір виду квантування КК за показниками спотворення – завадостійкість	187
4.6. Формування ЦВЗ на основі ортогонального частотного мультиплексування	189
4.7. Двоетапна модуляція ЦВЗ	198
4.8. Асинхронне передавання ЦВЗ	200
4.9. Виявлення пакета ЦВЗ для багатоканального алгоритму	202
4.10. Обчислення порога виявлення ЦВЗ	207
4.11. Характеристики виявлення	212
4.12. Виявлення ЦВЗ в системі з неінформованим кодером	213
4.13. GPS синхронізація пакетів ЦВЗ	223
4.14. Завадостійке кодування в системі ЦВЗ	225

РОЗДІЛ 5. ПЕРЕДАЧА ДОДАТКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ У ЦИФРОВИХ РАДІОКАНАЛАХ	230
5.1. Методи стеганографічної передачі інформації у цифрових каналах	230
5.2. Інформаційні характеристики цифрового стеганографічного каналу	233
5.3. Синдромний метод вбудовування інформації	236
5.4. Передача додаткової інформації в структурі ЦВЗ-АЦП-канал.....	245
5.5. Аналіз впливу АБГШ.....	251
5.6. Виграш сигнал - шум від додаткової обробки.....	254
РОЗДІЛ 6. РЕЗУЛЬТАТИ АПАРАТУРНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ, ЕКСПЕРИМЕНТІВ І КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	259
6.1. Інтегрована система цифрового вибіркового виклику і морської електронної навігаційної картографії	259
6.2. Модернізація ЕКНІС.....	262
6.3. Пристрій прихованої передачі інформації за методом фазового кодування	266
6.4. Система передачі додаткової інформації в радіотелефонії на основі ПВП	268
6.5. Пристрій АІ з обіляючим фільтром в приймачі.....	270
6.6. Пристрій автоматичної ідентифікації радіотелефонних передач з підвищеною завадостійкістю до МСІ	273
6.7. Результати моделювання системи з багатоканальним алгоритмом.....	280
6.8. Результати моделювання системи з завадостійким кодуванням	283
6.9. Пристрій АІ з синхронізацією GPS	287
6.10. Експериментальний зразок АПК інтегрованої системи	293
6.11. Графічний інтерфейс інформаційного дисплея/процесора	299
ВИСНОВКИ	304
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	308
ДОДАТОК А Технологічна карта дослідження	327
ДОДАТОК Б Копії патентів на винаходи, корисні моделі.....	329
ДОДАТОК В Копії актів, інших документів, що засвідчують впровадження результатів дисертаційної роботи	341

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ATIS	Automatic Transmission Identification System, Автоматична ідентифікаційна система передавань
COM	Communication, Зв'язок
COMSAR	Communication Search and Rescue, Підкомітет ІМО з радіозв'язку, пошуку та рятування
CPA	Closest Point of Approach, Найближча точка зближення
FSK	Frequency Shift Keying, Маніпуляція зсувом частоти
GEO	Geostationary Earth Orbit, Геостационарна орбіта Землі
GPS	Global Positioning System, Глобальна система позиціонування
ICS	Integrated Communication System
IMO	Міжнародна морська організація, International Maritime Organization
INMARSAT	International Maritime Satellite, Міжнародна морська супутникова система
LEO	Low Earth Orbit, Низька орбіта Землі
LRIT	Long Range Identification and Tracking, Далека ідентифікація і стеження
MEO	Medium Earth Orbit, Середня орбіта Землі
MSC	Maritime Safety Committee, Комітет ІМО з морської безпеки
NAV	Navigation, Комітет ІМО з навігації
NBDP	Narrow Band Direct Printing, Вузьке смугове літеро друкування
NCSR	Navigation, Communication, Search and Rescue, Підкомітет ІМО з навігації, радіозв'язку, пошуку та рятування
NMEA	National Maritime Electronic Association, Національна асоціація морської електроніки
OFDM	Orthogonal Frequency Division Modulation, Модуляція з ортогональним частотним розподілом
SMART	Specific, Measurable, Assignable, Realistic, Timely
TCPA	Time to Closest Point of Approach, Час до найближчої точки зближення
АБГШ, AWGN	Адитивний білий гаусів шум, Additive White Gaussian Noise

AI, AI	Автоматична ідентифікація, Automatic Identification
AIC, AIS	Автоматична ідентифікаційна система, Automatic Identification System
АК	Амплітудне квантування
АПК	Апаратно-програмний комплекс
АРБ, EPIRB	Аварійний радіобуй, Emergency Position Indicating Radio Beacon
АФК	Амплітудне-фазове квантування
АЦП, ADC	Аналого-цифровий перетворювач, Analog to Digit Converter
БЧХ, BCH	Боуза-Чоудхурі-Хоквінгема (код), Bouse-Coudhury-Hocwingen
ГЛОНАСС	Глобальна навігаційна супутникова система
ГМЗЛБ, GMDSS	Глобальний морський зв'язок лиха та безпеки, Global Maritime Distress and Safety System
ГНСС, GNSS	Глобальна навігаційна супутникова система, Global Navigation Satellite System
ДІКМ, DPCM	Диференціальний імпульсно-кодовий модулятор, Differential Pulse Code Modulator
ДПФ, DFT	Дискретне перетворення Фур'є, Discrete Fourier Transform
ЕКНІС, ECDIS	Електронна картографічна навігаційна інформаційна система, Electronic Chart Display and Information System
ЕНК, ENC	Електронна навігаційна карта, Electronic Navigation Chart
ЗАРП, ARPA	Засоби автоматичної радіолокаційної прокладки, Automatic Radar Plotting Aid
ІКМ, PCM	Імпульсно-кодовий модулятор, Pulse Code Modulator
ІЛМ, HMI	Інтерфейс людина – машина, Human-Machine Interface
ІМРС, MMSI	Ідентифікатор морської рухомої служби, Maritime Mobile Service Identity
ІНС, INS	Інтегрована навігаційна система, Integrated Navigation System
ІСР, ICS	Інтегрована система радіозв'язку, Integrated Communication System
КОСПАС, SARSAT	Космічна система пошуку аварійних суден, Search and Rescue Satellite Aided Tracking
КХ, HF	Короткі хвилі, High frequency
МЕК, IEC	Міжнародна електротехнічна комісія, International Electro technical Committee

МК, MC	Мікроконтролер, Microcontroller
МІЗЗС, COLREG	Міжнародні правила запобігання зіткненню суден, Collision Regulation
МРКЦ, MRCC	Морський рятувально-координаційний центр, Maritime Rescue Coordination Centre
МРС, MMS	Морська рухома служба, Maritime Mobile Service
МРСС, MMSS	Морська рухома супутникова служба, Maritime Mobile Satellite Service
МСЕ, ITU	Міжнародний союз електрозв'язку, International Telecommunication Union
МСІ, ISI	Міжсимвольна інтерференція, Intersymbol Interference
ПВП, PRS	Псевдовипадкова послідовність, Pseudorandom Sequence
ПХ, MF	Проміжні хвилі, Medium frequency
РІС, RIS	Річкова інформаційна система, River Information System
РЛС, RADAR	Радіолокаційна станція, Radio Detection and Ranging
РР, RR	Регламент радіозв'язку, Radio Regulations
РТ, RT	Радіотелефонія, Radiotelephony
СКВ, MSR	Середнє квадратичне відхилення, Mean Square Root
СНР	Системи навігації і радіозв'язку
СОЛАС, SOLAS	Міжнародна конвенція з безпеки життя в морі, International Convention for the Safety of Life at Sea
СУРС, VTS	Служба управління рухом суден, Vessel Traffic Service
СХ, MF	Середні хвилі, Medium Frequency
УКХ, VHF	Ультракороткі хвилі, Very High Frequency
ФК	Фазове квантування
ЦАП, DAC	Цифро-аналоговий перетворювач, Digit to Analog Converter
ЦВВ, DSC	Цифровий вибіркового виклик, Digital Selective Calling
ЦВЗ, DWM	Цифрові водяні знаки, Digital Watermarks (Watermarking)
ШПФ, FFT	Швидке перетворення Фур'є, Fast Fourier Transform
ШПС	Шумоподібний сигнал

ВСТУП

Актуальність теми. У останнє двадцятиріччя на морських судах за рішеннями міжнародних конвенцій впроваджена низка нових систем морського радіозв'язку і навігації: глобальна морська система зв'язку у разі лиха та безпеки (ГМЗЛБ), система цифрового вибіркового виклику (ЦВВ), супутникові системи ІНМАРСАТ, Коспас-Сарсат, Ірідіум, глобальна навігаційна супутникова система GPS/ГЛОНАСС, автоматична ідентифікаційна система (АІС), електронна картографічна і інформаційна система (ЕКНІС), інші. Розвиток і вдосконалення цих систем був прискорений розробкою Міжнародною морською організацією (ІМО) стратегічного плану е-навігації, який передбачає всебічну цифровізацію і стандартизацію суднових систем для підтримки процесу прийняття рішень вахтовим офіцером судноводієм на борту судна і забезпечення ефективності і безпеки судноплавства. Концепція е-навігації базується на трьох компонентах: суднове обладнання, берегова інфраструктура і системи радіозв'язку.

Основним керівним принципом впровадження і розвитку елементів е-навігації є врахування у першу чергу не технологічних досягнень, а практичних потреб моряків з належної експлуатації суднових систем і пристроїв для зменшення адміністративного навантаження на борту судна таким чином щоб вахтовий офіцер був націлений на вирішення завдань з безпечної навігації і ефективного виконання суднових операцій.

Засоби зв'язку ГМЗЛБ безпосередньо впливають на ефективне і безпечне судноплавство, але на практиці впровадження нових систем зв'язку, зокрема, ЦВВ, не дозволяють отримати належну оперативність і ефективність радіозв'язку, створюють додаткове навантаження з організації радіозв'язку на вахтового офіцера суднового містка. Різноманітність радіобладнання, складність і довготривалість ручних операцій з управління

радіозв'язком призводять на практиці до нехтування вимогами правил зв'язку, помилкам ідентифікації суден, що у кінцевому рахунку впливає на безпеку судноплавства і ефективність морського судноплавства.

Неналежне використання апаратури ЦВВ на практиці не дозволяє отримати усіх переваг ЦВВ. Різні спроби вдосконалення управління радіозв'язком, залишаючись тільки в рамках цієї системи, не призвели до бажаного результату. Належне використання апаратури ЦВВ залишається каменем спотикання в управлінні зв'язком.

З іншого боку впровадження сучасних суднових засобів навігації і зв'язку створили можливості не тільки для вдосконалення навігації за рахунок їхнього первинного призначення, але відкрили нові можливості вдосконалення систем радіозв'язку. Основна ідея цього вдосконалення полягає в інтегруванні систем навігації і радіозв'язку для отримання нових якостей судового радіозв'язку, які неможливі для досягнення, знаходячись тільки в рамках існуючих засобів наземного радіозв'язку.

Актуальність теми дослідження обумовлена наявністю практичних проблем належної експлуатації засобів радіозв'язку судноводіями і необхідністю їх вирішення, залишаючись в рамках конвенційного складу обладнання навігації і зв'язку морських суден.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Напрямок досліджень відповідає міжнародному стратегічному плану розвитку засобів навігації та зв'язку на морському флоті, національним програмам розвитку транспортної галузі України (розпорядження уряду від 20 жовтня 2010 р. № 2174, Указ Президента від 20 травня 2008 р. № 463/2008 «Про заходи щодо забезпечення розвитку України як морської держави»).

Робота виконувалась в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт: «Методи та засоби побудови систем захисту інформації на основі технології стеганографії і цифрових водяних знаків», ДР № 0108U001486, «Розробка методів і засобів автоматичної ідентифікації радіотелефонних передач у

морській рухомій службі», ДР № 0109U001536, «Розробка суднових інтегрованих систем радіозв'язку і навігації у рамках загальної концепції розвитку електронної навігації», ДР № 0112U000354, «Інтегрування суднових систем радіозв'язку і навігації для підвищення безпеки судноплавства в рамках концепції е-навігації», ДР № 0119U001652, «Розроблення стандартизованого інтерфейсу морського радіозв'язку на основі його інтегрування з навігаційними системами», НТР за державним замовленням за розпорядженням Кабінету Міністрів України від 10 липня 2019 р. № 530-р, ДР № 0119U103293, що виконувались в Національному університеті «Одеська морська академія» відповідно плану Міністерства освіти і науки України, у яких автор був відповідальним виконавцем.

Мета й задачі дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності функціонування морських систем навігації і зв'язку для забезпечення безпеки судноплавства за рахунок інтегрування цих систем і спільної обробки інформації при збереженні конвенційного складу судового обладнання. Для досягнення цієї мети були поставлені і вирішені наступні задачі:

- Аналіз сучасних конвенційних морських систем навігації і радіозв'язку (СНР) в умовах їхньої практичної експлуатації, впливу впровадження нових систем на безпеку мореплавства, проблем практичного застосування і перспектив подальшого розвитку за стратегічним напрямком е-навігації.

- Розробка концепції управління радіозв'язком, яка ґрунтується на інтегруванні комунікаційного і навігаційного обладнання, використання графічного інтерфейсу і спільної обробки даних АІС, ЦВВ в інформаційному дисплеї і ідентифікації радіотелефонних передач.

- Розробка методології інтегрування СНР на основі існуючих конвенційних систем АІС, ЕКНІС, інтегрованих навігаційних систем (ІНС), систем наземного радіозв'язку на ультракоротких хвилях (УКХ), проміжних хвилях (ПХ) і коротких хвилях (КХ) з використанням ЦВВ з метою

поліпшення навігаційного спостереження і створення зручного інтерфейсу (SMART інтерфейсу) управління радіозв'язком і його моніторингу з інформаційного дисплею.

- Підвищення надійності ідентифікації станцій радіотелефонного зв'язку в існуючих радіотелефонних каналах морської рухомої служби (МРС) за рахунок розробки автоматичної ідентифікації (AI) радіотелефонних передач.

- Розробка алгоритмів і пристроїв AI радіопередач на основі застосуванні технології цифрових водяних знаків (ЦВЗ) в умовах діючих завад і перешкод в реальних каналах МРС і забезпечення сумісності з діючою апаратурою без функції AI.

- Розробка методів прихованого передавання додаткової інформації по каналах МРС і морської рухомої супутникової служби (МРСС) для вирішення спеціальних задач обміну інформацією у разі терористичних загроз та для забезпечення кібербезпеки на морському транспорті.

- Розробка експериментальних зразків апаратури управління радіозв'язком і AI, алгоритмічного та програмного забезпечення для проведення натурних випробувань і верифікації результатів теоретичних досліджень.

Об'єктом дослідження є експлуатація морських систем радіозв'язку і навігації.

Предметом дослідження є техніко-експлуатаційні характеристики систем морського радіозв'язку з розробленими новими функціями аналізу навігаційної ситуації з урахуванням радіозв'язку.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження базуються на використанні математичного апарату теорії інформації, цифрової обробки сигналів, об'єднання даних, теорії ЦВЗ і стеганографічного (прихованого) передавання інформації. Для проведення експериментальних досліджень

використовувались методи математичного моделювання в системі МАТЛАБ і натурних випробувань.

Наукова новизна отриманих результатів:

Вперше:

- розроблена концепція управління радіозв'язком, яка ґрунтується на інтегруванні комунікаційного і навігаційного обладнання, використання графічного інтерфейсу і спільної обробки даних автоматичної ідентифікаційної системи та цифрового вибіркового виклику в інформаційному дисплеї і ідентифікації радіотелефонних передач;

- розроблена методологія інтегрування систем навігації і радіозв'язку на основі існуючих суднових конвенційних систем: автоматичної ідентифікаційної системи, електронної картографічної і навігаційної системи, інтегрованої навігаційної системи, систем наземного радіозв'язку УКХ, ПХ/КХ діапазонів з використанням цифрового вибіркового виклику і радіотелефонії, яка дозволяє отримати синергетичний ефект і досягти мети поліпшення навігаційного спостереження і створення зручного інтерфейсу (SMART інтерфейсу) управління радіозв'язком і його моніторингу за рахунок спільної обробки даних від незалежних суднових засобів навігації і зв'язку;

- запропонований новий спосіб автоматичної ідентифікації радіотелефонних передач і передавання додаткової інформації в аналогових радіотелефонних каналах морської рухомої служби, заснований на сучасних методах цифрової обробки сигналів із застосуванням технології цифрових водяних знаків, якій дозволяє підвищити надійність ідентифікації у порівнянні з мовною ідентифікацією і використати цифрові додаткові дані в інших системах;

- розроблені нові алгоритми передавання даних в радіотелефонних сигналах і їх синхронізації за допомогою сигналів точного часу приймача глобальної навігаційної супутникової системи (GPS), які дозволяють найкращим чином вирішити компромісну задачу отримання конкуруючих

параметрів кількість вбудованої інформації – якість сигналу-носія – стійкість даних до перешкод в реальному УКХ радіоканалі.

Отримали подальший розвиток:

- методи і засоби практичної реалізації інформаційного обміну за стандартами серії ІЕС 61162 (NMEA 0183) в суднових мережах радіозв'язку і навігації для здійснення віддаленого моніторингу/управління радіозв'язком з використанням цифрового вибіркового виклику;

- методи вбудовування додаткової інформації у звукові сигнали для інформованого кодеру з урахуванням стану сигналу-носія;

- методи виявлення і ідентифікації випадків порушень радіоефіру у вигляді анонімних УКХ радіопередач або проявів западання кнопки передавання (тангенти) радіостанції;

- методи прихованого передавання інформації у цифрових радіоканалах наземного і супутникового зв'язку.

Практичне значення одержаних результатів полягає у наступному:

- інтегровані системи типів ЕКНІС/АІС – УКХ/ПХ/КХ/ЦВВ і АІС – УКХ/ПХ/КХ/ЦВВ – Інформаційний дисплей дозволяють усунути ручні операції формування виклику суден, що підвищує ефективність і надійність адресного УКХ радіотелефонного зв'язку в реальному часі з дотриманням усіх експлуатаційних процедур без заміни базового суднового обладнання навігації і зв'язку;

- графічний інтерфейс людина-машина (ІЛМ) інтегрованих систем дозволяє зробити найбільш повний і оперативний ситуаційний аналіз поточної навігаційної обстановки за рахунок маркування АІС-відміток цілей суден, що викликають за допомогою ЦВВ, або передають радіотелефоном;

- позбавлення судноводія оперування з абстрактними даними в процедурах формування ЦВВ на різноманітних кнопкових панелях апаратури різних фірм-виробників і перехід до управління радіозв'язком у стандартизованому режимі з інформаційного дисплея;

- реалізація функції AI в радіотелефонному зв'язку дозволяє усунути різного роду помилки і затримки ідентифікації вахтовим офіцером судна що передає, виявляти анонімних порушників ефіру і блокування каналів зв'язку у зоні відповідальності служби управління рухом суден (СУРС);

- використання інтегрованих систем і AI на берегових станціях СУРС і при проведенні пошуково-рятувальних операцій підвищує оперативність проведення пошуково-рятувальних операцій.

Результати роботи були використані:

- в Казенному підприємстві «Морська пошуково-рятувальна служба»;
- в пропозиціях, що розроблені в Національному університеті «Одеська морська академія» і представлені на державному рівні від України в структури ІМО, а саме:

- Підкомітет ІМО з Радіозв'язку, пошуку та рятування (COMSAR/14) у 2009 р.,

- Підкомітет ІМО з Навігації, радіозв'язку, пошуку та рятування (NCSR/3) у 2016 р., (NCSR/4) у 2017 р., (NCSR/5) у 2018 р.

- Комітет ІМО з навігації (NAV/56) у 2010 р., (NAV/58) у 2012 р., (NAV/59) у 2013 р., Комітет ІМО з безпеки мореплавства (MSC/97) у 2016 р.

Особистий внесок здобувача. Авторіві належить: ідея, її розвиток, розробка методів технічної реалізації відображення навігаційної обстановки з урахуванням радіопередач інших суден, ідентифікації суднових станцій, що передають за допомогою ЦВВ або радіотелефонії [7 – 9, 12 – 14, 17 – 26, 39 – 40, 42, 45 – 47, 49 – 50, 57, 59 – 60, 62, 65 – 67, 72 – 77, 79, 80]; розробка методів інтегрування системи ЦВВ в мережі стандарту LWE (Light Weight Ethernet) [76]; розробка технічних засобів відображення навігаційної обстановки з урахуванням ЦВВ у напрямку контролер ЦВВ – ЕКНІС у патентах на винаходи [27, 30, 33, 35 – 38]; розробка технічних засобів для AI радіотелефонних передач і передавання додаткової інформації у патентах на винаходи [28, 29, 31, 34]; розробка інформованого кодеру вбудованих даних з

нечутливістю до амплітудних коливань сигналу-носія [1]; розробка методів і алгоритмів застосування технології OFDM для протидії міжсимвольної інтерференції (МСІ) [55, 56]; написання розділів 1 – 5 [69]; глав 1 – 7 [70]; розділу «Морські райони ГМЗЛБ» [68]; глав 1 – 9 [71], параграфів 2 – 4 [78]. Інші роботи (22 публікації, включно 1 патент України на винахід) виконані самостійно.

Апробація наукових результатів дисертації. Результати досліджень доповідалися та обговорювалися на:

- 2-му Міжнародному радіоелектронному форумі «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития». Харьков, ХНУРЕ, 2005;
- Міжнародних симпозиумах IEEE East-West Design & Test International Symposium: EWDTS'06, Sochi, Russia, 2006, EWDTS'07, Yerevan, Armenia, 2007, EWDTS'08, Lviv, Ukraine, 2008, EWDTS'09, Moscow, Russia, 2009, EWDTS'10, St. Petersburg, Russia, 2010, EWDTS'11, Sevastopol, Ukraine, 2011, EWDTS'12, Kharkov, Ukraine, 2012, EWDTS'13, Rostov-Don, Russia, 2014;
- Міжнародних Кримських конференціях «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии», CriMiCo, Севастополь, Україна у 2010, 2011, 2012 і 2013 роках;
- 15-ї Міжнародної конференції з автоматичного управління «Автоматика-2008», Одеса, 2008;
- 9-ї Конференції «Математическое моделирование и информационные технологии», Одеса, 2009;
- Науково-технічної конференції «Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM», Київ, 2012;
- Всеукраїнських науково-практичних конференціях «Стан та удосконалення безпеки інформаційно-телекомунікаційних систем», Коблево, Миколаївська обл. у 2013, 2014, 2015 роках;
- Міжнародних науково-практичних конференціях «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT)», Херсон у 2014, 2015, 2017 роках;

- Міжнародних науково-практичних конференціях «Сучасні інформаційні та електронні технології»: CIET-2006, Одеса, 2006, CIET-2007, Одеса, 2007, CIET-2008, Одеса, 2008, CIET-2009, Одеса, 2009, CIET-2014, Одеса, 2014;
- Міжнародних конференціях «International Conference on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation»: TransNav 2011, TransNav 2013, TransNav 2015, TransNav 2017, TransNav 2019, TransNav 2021, Gdynia, Poland;
- Міжнародній конференції UkrMiCo'2019, Одеса, 2019 р.
- щорічних науково-технічних конференціях «Практичні проблеми розвитку радіозв'язку і радіонавігації в ГМЗЛБ, в системах АІС, СУРС та РІС» у 2000 – 2020 роках: Одеса, 2000 - 2007, 2009, 2011, 2013, 2015, 2016 - 2020, Київ, 2008, 2014, Севастополь, 2010, 2012.

Публікації. Основні наукові результати дисертації викладено в 80 публікаціях (з них 22 одноосібно), у тому числі: 26 публікацій в національних і іноземних фахових виданнях (7 статей в наук. фахових виданнях України категорії А, 4 статті в виданні іншої держави, Польща, яке входить до МНБ Scopus, Web of Science), отримано 10 патентів України на винаходи та 2 міжнародні патенти на корисну модель (Німеччина), 29 публікацій – у працях і матеріалах конференцій. За темою дисертації надрукований підручник з грифом МОН України, 3 навчальних посібника, 7 розділів в вітчизняної і іноземних монографіях, інші – 2 публікації.

16 робіт зареєстровані в міжнародній наукометричній базі Scopus (<https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=24537803200>).

12 робіт зареєстровані в міжнародній базі ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9781-9391>).

Структура дисертації. Дисертація складається з анотації, вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Дисертація включає 350 сторінок, 102 рисунка, 16 таблиць, список використаних джерел з 228 найменувань.

РОЗДІЛ 1.

СУЧАСНИЙ СТАН І НАПРЯМОК РОЗВИТКУ СУДНОВИХ СИСТЕМ НАВІГАЦІЇ І РАДІОЗВ'ЯЗКУ

1.1. Стратегічний план е-навігації щодо суднових і берегових систем морської навігації та радіозв'язку

Е-навігація – це стратегія, що розвивається Міжнародною Морською Організацією (ІМО) в першу чергу для підвищення безпеки морського судноплавства [1, 2, 5, 9, 36, 91, 92, 94, 128, 152, 211].

В основу е-навігації покладена задача розробки стратегії об'єднання різних сучасних морських технологій в єдину систему навігації і зв'язку. Офіційно концепція е-навігації вперше була представлена на 81-й сесії в 2006 році Комітету з безпеки мореплавання ІМО низкою країн (Японія, Маршалські острови, Нідерланди, Норвегія, Сінгапур, Велика Британія, Сполучені Штати). В оригінальному викладі е-навігація визначається як: «e-Navigation is the harmonized collection, integration, exchange and presentation of maritime information onboard and ashore by electronic means to enhance berth to berth navigation and related services, for safety and security at sea and protection of the marine environment» [69]. Дослівний переклад цього визначення е-навігації звучить наступним чином: «е-навігація – це гармонізоване збирання, інтеграція, обмін і представлення морської інформації на борту і на березі з використанням електронних засобів для вдосконалення судноплавства від причалу до причалу і відповідних сервісів для безпеки і охорони на морі та захисту морського навколишнього середовища».

Слід підкреслити, що поняття е-навігації являє собою не просто новий тип обладнання, а саме концепцію, яка охоплює широкий спектр навігаційних систем і служб на морі.

Основними об'єктами розвитку і впровадження систем е-навігації є суднові бортові системи, берегові системи і системи зв'язку [36, 128] (Рисунок 1.1).

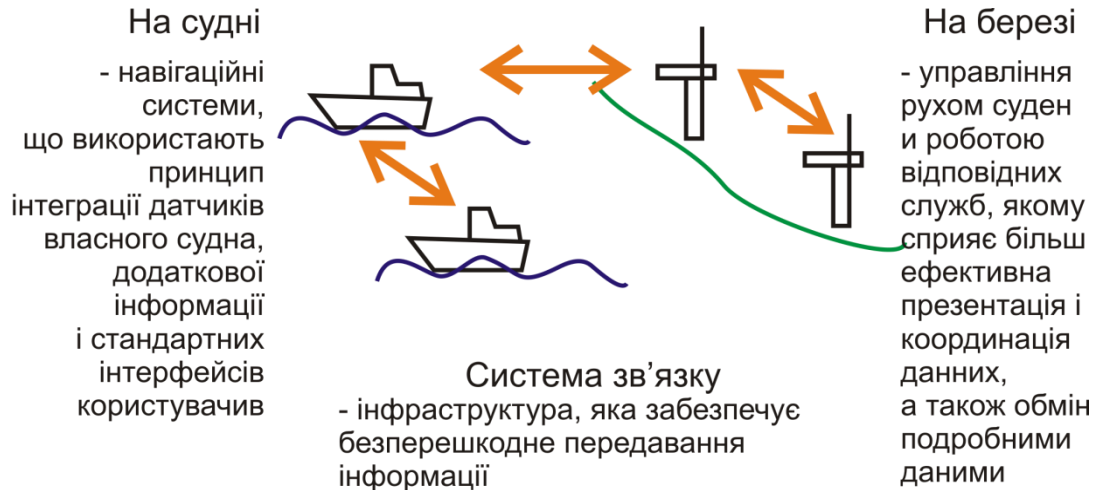


Рисунок 1.1 – Основні об'єкти розвитку и впровадження систем е-навігації

На борту судна це: навігаційні системи з використанням інтеграції власних датчиків судна, допоміжної інформації, стандартного інтерфейсу, а також комплексної системи для контролю охоронних зон і оповіщення. Основні елементи такої системи будуть включати в себе високоінтегровані пристрої позиціонування, електронні навігаційні карти (ЕНК) і системи аналізу, що зменшують людські помилки, активно залучаючи судноводія в процесі навігації і запобігаючи вплив перешкод і надмірні навантаження.

На березі: служби управління рухом суден і супутні служби на березі за рахунок кращого забезпечення, координації та обміну різноманітними даними в форматах, які будуть більш зрозумілі і прості для берегових операторів з метою підтримки безпеки судна та забезпечення ефективності судноплавства.

Системи зв'язку: інфраструктура, що забезпечує надійну і безперервну передачу корисної інформації на борту судна, між суднами, між судном і берегом і між береговими адміністраціями та іншими сторонами, включаючи скорочення помилки з боку окремої людини.

Ключовий фактор успіху розвитку е-навігації полягає в інтеграції технологій, зручності використання і зменшення людського фактору в навігації [211].

Ідея концепції е-навігації виникла у відповідь на нагальні потреби користувачів бортових і берегових засобів навігації та радіозв'язку в сучасних, надійних системах, орієнтованих на підтримку прийняття рішень і дружній інтерфейс людина-машина. Генеральною метою є підвищення безпеки судноплавства і зниження ризику помилок. При цьому, однак, існує небезпека, що існуючий технологічний прогрес без належної координації створить перешкоди в розвитку морських навігаційних систем, зайву складність і несумісність з існуючими системами.

Аналіз статистики морських аварій показує, що вони в своїй більшості пов'язані із зіткненнями і посадками на мілину. Серед подібних аварій переважна більшість складають ті, які пов'язані з помилками судноводія і можна було б уникнути при правильній організації процесу прийняття рішень [20, 73]. Приблизно 60% аварій типу зіткнень і посадки на мілину викликані людським фактором, в тому числі через прийняття вахтовим офіцером рішень поодиночі в умовах скорочення чисельності екіпажу.

При розробці концепції е-навігації на перше місце було поставлено потреби безпосередніх користувачів і сформульовані очікування на «високому рівні», (тобто що потрібно в кінцевому підсумку, не вдаючись у деталі технічної реалізації). Для цього протягом 2006 – 2008 років кореспондентська група з е-навігації за підтримки Міжнародної Асоціації Маячних Служб (МАМС) і Навігаційного Інституту провела дослідження в частині вивчення потреб користувачів. Реальні користувачі засобів радіозв'язку і навігації, як на морі, так і на березі було опитано для з'ясування, що ж слід розуміти під такими термінами: узгоджений збір, узгоджена інтеграція, узгоджений обмін, узгоджене уявлення і узгоджений аналіз морської інформації електронними засобами в морі і на березі. В

результаті обробки відповідей були сформульовані запити користувачів [69, 128], зокрема наступні:

Ефективний і стійкий зв'язок. Явна потреба існує в наявності ефективної і стійкого зв'язку для берегових і суднових користувачів. Для досягнення ефективності зв'язку з іншими суднами і берегом повинні використовуватися найкращим чином усі аудіо/візуальні засоби і стандартні фрази для мінімізації лінгвістичних проблем і перешкод для оператора.

Необхідність подання інформації, орієнтованої на людину. Навігаційні дисплеї повинні бути спроектовані так, щоб ясно показувати ризики і оптимізувати можливість прийняття рішень. Увага повинна бути приділена інтегрованим системам індикації попереджень і систем, які забезпечують підтримку прийняття рішень з певних попереджень. Користувачі мають потребу в уніфікованих і сумісних функціоналах презентації і управління для підвищення ефективності стандартизованих на міжнародному рівні програм підготовки, сертифікації та освоєння.

Для реалізації цих положень висунута і цілком підтримана для застосування на суднах так звана концепція стандартного режиму (S-mode, від англ. Standard) [71, 82, 93]. Берегові користувачі повинні мати гнучку можливість використання як загального робочого зображення, так і робочого зображення, визначеного користувачем.

Інтерфейс людина-машина. Оскільки електронні системи набувають все більшу роль, потрібна розробка засобів для отримання та подання інформації. Подання інформації для всіх користувачів має бути реалізовано таким чином, щоб зменшити «помилки однієї людини» і посилити командні дії. Є також явна необхідність застосування ергономічних принципів, як в частині матеріального становища приладів, так і використання світла, квітів, символіки і мови.

Цілісність даних і систем. Системи е-навігації повинні бути стійкими і враховувати проблеми достовірності, правдоподібності і цілісності даних,

стійкості, надійності і незалежності систем. Повинні бути враховані вимоги надмірності, особливо щодо систем визначення координат.

Аналіз. Системи е-навігації повинні забезпечувати підтримку прийняття правильних рішень, покращувати продуктивність і запобігати помилкам однієї людини. Для цього бортові системи повинні включати функції аналізу, що допомагають користувачеві в прийнятті рішень з відповідним правилам, планування рейсу, оцінці ризику і запобігання зіткнень і посадки на мілину. Берегові системи повинні підтримувати аналіз впливу навколишнього середовища, оцінки небезпек/ризиків і запобігання інцидентів.

Питання реалізації. Навчання і підготовка з усіх питань, що відносяться до е-навігації для всіх користувачів повинні бути ефективними і проведені до технічного освоєння. Системи е-навігації наскільки це піддається реалізації повинні бути сумісні з вже існуючими системами вперед і назад і підтримувати інтеграцію з обладнанням і системами, які є обов'язковими за міжнародними і національними вимогами і експлуатаційними стандартами. Найвищий рівень взаємодії між пристроями і системами повинен використовуватися, якщо це можливо.

З аналізу «запитів користувачів» витікає, що процес підтримки прийняття рішень визначається не тільки кращими технологіями, але за допомогою найкращого використання на практиці таких технологій і необхідності тренажерної підготовки, як в частині технології, так і в частині процедур.

Після обробки отриманих відповідей за цими нагальним потребам судноводіїв були вироблені і сформульовані основні принципи е-навігації [69]. У відповідності зі своїми основними цілями е-навігація, зокрема повинна [36]:

- удосконалювати зв'язок, включаючи обмін даними в напрямках судно-судно, судно-берег, берег-судно і між іншими користувачами;

- інтегрувати і представляти інформацію на борту і на березі за допомогою інтерфейсу, який максимізує безпеку судноплавства і мінімізує ризики помилок і неправильної інтерпретації користувачем;
- інтегрувати і представляти інформацію на борту і на березі для управління навантаженням користувачів, в той же час, мотивуючи і залучаючи користувачів і створюючи умови для прийняття рішень;
- забезпечити глобальне охоплення, сумісні стандарти, заходи і взаємну сумісність і взаємодію обладнання, систем, символіки і експлуатаційних процедур, уникаючи тим самим потенційних конфліктів між користувачами;
- бути гнучкою для забезпечення зручності використання всіма потенційними морськими користувачами.

Стратегію е-навігації слід розглядати швидше як еволюційний процес, а не як революцію. Вона повинна бути спроектована таким чином, щоб залишатися відкритою для реалізації нововведень. Вигоди від реалізації планів е-навігації в широкому сенсі очікуються в:

- підвищенні безпеки судноплавства за рахунок просування нових стандартів навігаційної безпеки;
- кращого захисту навколишнього середовища;
- додаткової безпеки (security) за допомогою реалізації прихованого режиму для берегових зацікавлених осіб для внутрішнього контролю і моніторингу.

При розробці основоположних принципів концепції е-навігації найважливіша роль відводилася так званого людського фактору (Human element) [102]. Для досягнення глобальних цілей е-навігації необхідна розробка нових засобів навігації та зв'язку і адаптація вже наявних з урахуванням насамперед потреб безпосередніх користувачів цих коштів. Облік цих потреб є більш пріоритетним, ніж можливості, які надаються новими технологічними досягненнями.

Стратегічний план реалізації концепції е-навігації (Strategy Implementation Plan, SIP) заснований на наступних п'яти пріоритетних напрямків е-навігації [69, 134]:

S1: поліпшена, узгоджена і зручна конструкція ходового містка;

S2: засоби для стандартизованого і автоматизованого звітування;

S3: підвищення надійності, відмовостійкості та цілісності місткового обладнання та навігаційної інформації;

S4: інтеграція і представлення доступної інформації на графічних дисплеях, отриманих через обладнання зв'язку; а також

S9: поліпшення радіозв'язку з набором сервісів служб управління рухом суден (СУРС).

Напрямок S4 в документі [69] розбитий ще на кілька пунктів, що зокрема включають наступні дії:

- стандартизація інтерфейсів для інформаційного обміну систем навігації та радіозв'язку на борту судна;
- автоматизація вибору систем зв'язку і каналів для оптимального вирішення завдань радіозв'язку з урахуванням обсягу повідомлень, смуги частот, вартості і т.п.;
- реалізація отримання всієї інформації, одержаної від зовнішніх датчиків, в гармонізованій і стандартизованій формі з урахуванням потреб користувачів, людського фактора і запобігання перевантажень судноводія;
- забезпечення функціональності сповіщень для інформації, отриманої обладнанням радіозв'язку та відображеної в інтегрованій навігаційній системі (ІНС).

Реалізація концепції е-навігації покликана об'єднати існуючі та нові технології для поліпшення безпеки навігації, комерційної ефективності та безпечного (security) судноплавства [4, 212].

Таким чином, розробка і розвиток концепції е-навігації повинні дати поштовх розвитку морських технологій, залучити світову спільноту до

вирішення найважливіших завдань судноплавства найбільш раціональним і скоординованим чином.

1.2. Глобальна морська система зв'язку у разі лиха та безпеки

ГМЗЛБ (англ. Global Maritime Distress and Safety System, GMDSS) – глобальна морська система зв'язку у випадках лиха і для забезпечення безпеки мореплавства, що використовує сучасні системи цифрового і супутникового радіозв'язку [50, 73, 78, 146, 175, 207, 224].

Вимоги ГМЗЛБ поширюються на:

- усі пасажирські судна і вантажні судна валовою місткістю понад 300 тонн, що здійснюють міжнародні рейси;
- неконвенційні судна (каботажні, рибальські і т.п.) – за рішенням Адміністрації країни реєстрації.

Відмітними рисами ГМЗЛБ є:

- високий ступінь автоматизації передачі і прийому повідомлень, заснований на широкому використанні супутникових і удосконалених традиційних засобів і методів зв'язку;
- напрямок оповіщень про лихо в першу чергу в пошуково-рятувальні центри і чітка координація дій при проведенні пошуково-рятувальних операцій;
- швидка і достовірна передача і прийом оповіщень про лихо на будь-якій відстані від берега незалежно від умов поширення радіохвиль;
- централізоване забезпечення суден інформацією з безпеки мореплавства.

Поетапне впровадження ГМЗЛБ почалося з 1992 року і завершилось 1 лютого 1999 року.

З 1 липня 2002 року почалась поетапна установка на суднах радіоустаткування автоматичної ідентифікаційної системи (AIC), яка на теперішній час є обов'язковою.

Система також забезпечує зв'язок, що стосується безпеки та терміновості, передачу інформації, необхідну для безпеки мореплавства, включаючи навігаційні і метеорологічні попередження. Іншими словами, будь-яке судно, незалежно від району плавання, зможе здійснювати зв'язок, життєво важливу для безпеки самого судна та інших суден, що перебувають в даному районі.

Загальний принцип побудови ГМЗЛБ [175] показаний на рисунку 1.2.

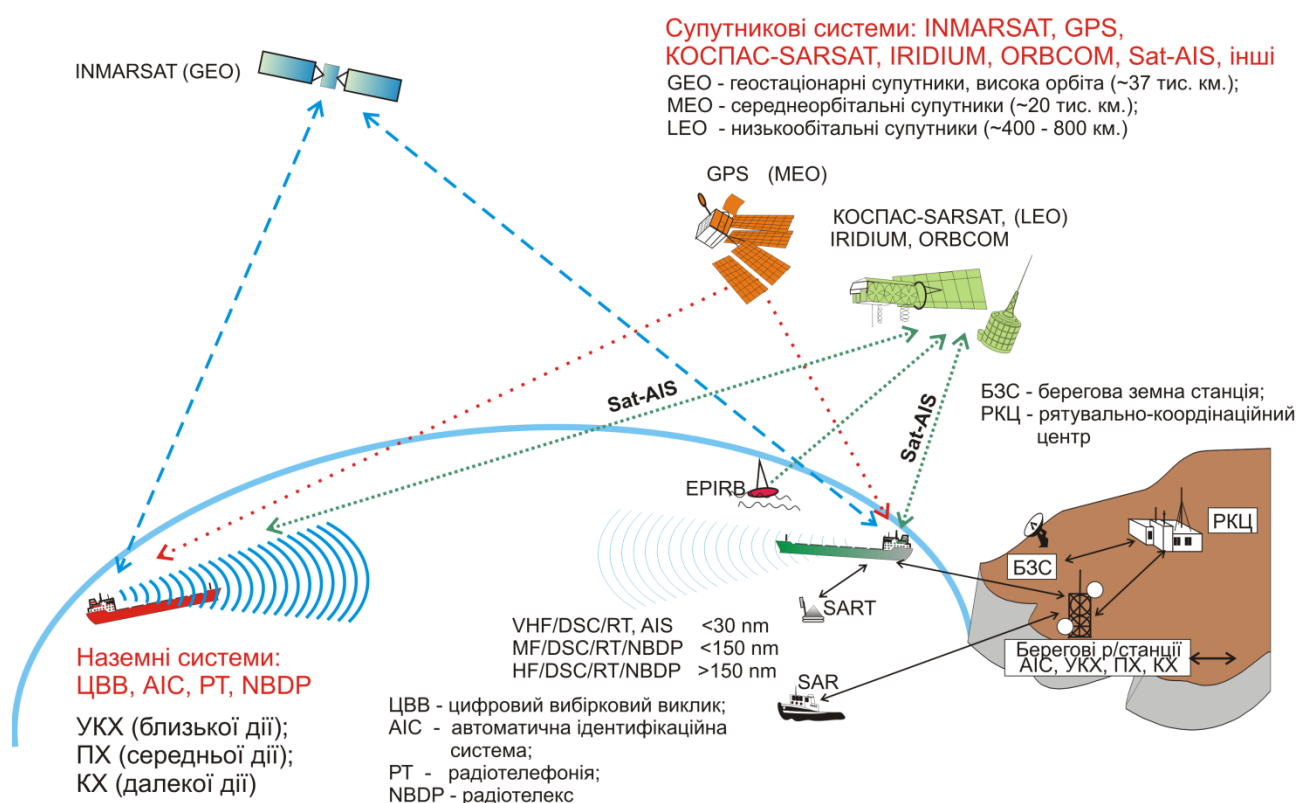


Рисунок 1.2 – Системи морського радіозв'язку і навігації

У ГМЗЛБ використовуються супутникові і наземні системи зв'язку.

Супутникові системи [110]:

- ИНМАРСАТ – на основі геостационарних супутників Землі, забезпечує оповіщення про лихо, яке передається судном, з використанням суднової земної станції і можливість двостороннього зв'язку з абонентом;

- КОСПАС-SARSAT – заснована на використанні низькоорбітальних (LEO) супутників на приполярних орбітах і геостаціонарних (GEO) супутників для ретрансляції сигналів лиха від аварійних радіобуїв в діапазоні частот 406,0-406,1 МГц. Система забезпечує оповіщення про лихо і визначення місця розташування супутникових АРБ по доплеровському зсуву частоти;
- Ірідіум (IRIDIUM) – заснована на використанні LEO супутників, найближчим часом буде повністю актуалізована в ГМЗЛБ;
- ORBCOM, Sat-AIS – LEO супутникові системи для здійснення далекого моніторингу суден шляхом приймання повідомлень судових AIS;
- GPS – глобальна навігаційна система (ГНСС) визначення координат і точного часу на основі використання середньо орбітальних (МЕО) супутників.

Наземні системи зв'язку, що використовують традиційні засоби радіозв'язку, в діапазонах УКХ, ПХ/КХ і СХ діапазонах:

- морська рухома служба (МРС) в смузі частот 156 – 174 МГц (УКХ діапазон), що забезпечує оповіщення про лихо в режимі цифрового вибіркового виклику (ЦВВ) і зв'язок в режимі телефонії на ближніх відстанях;
- МРС в смузі частот 4 – 27,5 МГц (КХ діапазон), що забезпечує оповіщення про лихо в режимі ЦВВ і зв'язок в режимах телефонії та літеродрукування на далеких відстанях;
- МРС в смузі частот 415-535 кГц (СХ діапазон) і 1605 – 4000 кГц (ПХ діапазон), що забезпечує оповіщення про лихо в режимі ЦВВ і зв'язок в режимах телефонії та літеродрукування на середніх відстанях.

В даний час ГМЗЛБ знаходиться на етапі її модернізації, особливо в зв'язку з імплементацією концепції е-навігації [20, 51]. Планується введення у повному обсязі до складу ГМЗЛБ супутникової системи IRIDIUM. В даний час ця система використовується на судах для розширення можливостей комерційного супутникового зв'язку.

Встановлено [31, 150, 157], що одним з найбільш актуальних аспектів забезпечення безаварійності судноводіння є попередження зіткнень суден при плаванні в стислих водах. Важливим засобом забезпечення безпечного маневрування суден у таких умовах є УКХ зв'язок. УКХ зв'язок за сучасними вимогами [105, 106] здійснюється з використанням ЦВВ.

Результати опитувань свідчать що переважна більшість (94,7%) судноводіїв схвалюють застосування УКХ зв'язку при маневруванні і 87,4% судноводіїв використовують УКХ радіотелефонію для узгодження маневрів для попередження зіткнень [73]. При цьому 60% стверджують, що існують труднощі з встановленням УКХ зв'язку. З цього числа респондентів (110 осіб) труднощі з встановленням УКХ радіозв'язку знаходять в: напруженому трафіку (80 відповідей), ідентифікацією судна (62 відповіді).

Система ЦВВ є в ГМЗЛБ однією з головних систем зовнішнього зв'язку. Відповідно Рекомендації ITU-R M.493 "Digital Selective-Calling System for Use in the Maritime Mobile Service" всім радіотелефонним і радіотелексним передачам будь-якого пріоритету (лихо, терміновість, безпека і звичайний) повинен передувати відповідний цифровий виклик. ЦВВ введений в ГМЗЛБ для того, щоб в якійсь мірі автоматизувати процес встановлення радіозв'язку радіотелефоном і радіотелексом, зняти обов'язкову слухову вахту на частотах 16 каналу УКХ і 2182 кГц ПХ діапазону.

З введенням ЦВВ в ГМЗЛБ процедура встановлення радіозв'язку на близькій відстані тобто в межах прямої видимості (приблизно 30 морських миль) в УКХ діапазоні виглядає наступним чином [218]. Судно, що викликає, спочатку робить виклик на 70-му каналі, використовуючи формат ЦВВ, а потім після підтвердження виклику переходить на робочий радіотелефонний канал. Така процедура використовується для зв'язку з усіма пріоритетами важливості — лихо, терміновість, безпеку, звичайний — і повинна використовуватися у всіх частотних піддіапазонах УКХ, ПХ/КХ морської рухомої служби.

У ГМЗЛБ всі види наземного радіозв'язку повинні починатися з передавання ЦВВ. У разі лиха станція робить спочатку ЦВВ лиха. Виклик лиха нормально підтверджується береговою станцією протягом трьох хвилин також в режимі ЦВВ. Тоді судно, яке отримало підтвердження від берегової станції, має повну впевненість, що радіозв'язок в обох напрямках судно-берег і берег-судно можлива. Після отримання підтвердження судно, що терпить

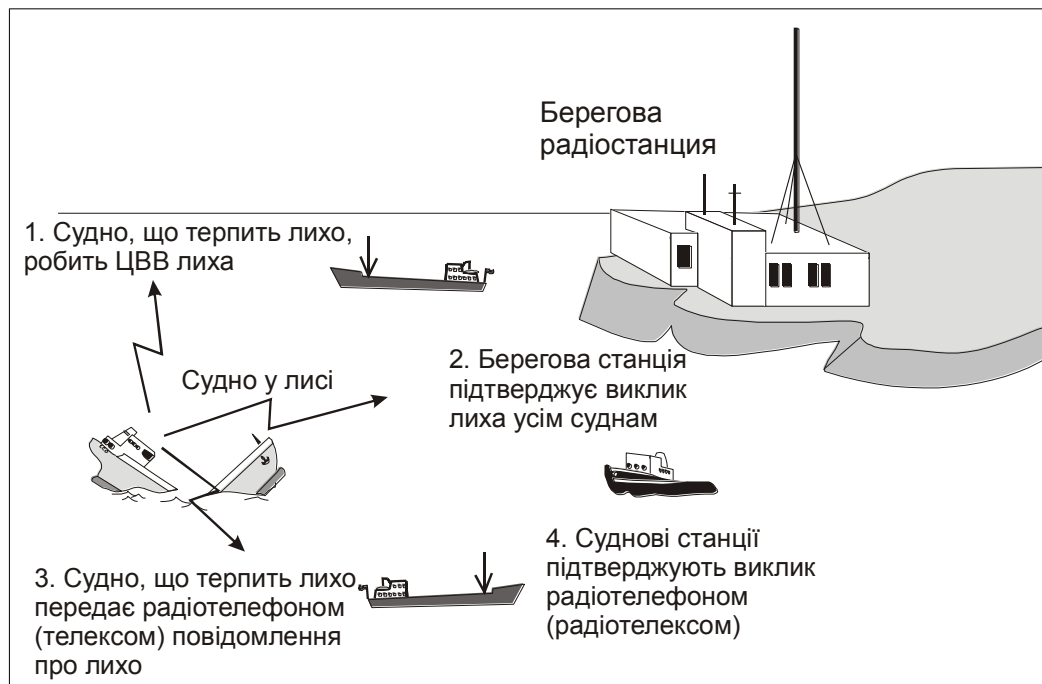


Рисунок 1.3 – Виклик лиха за допомогою ЦВВ у ГМЗЛБ

лиха, передає саме повідомлення лиха на відповідній робочій телефонної чи телексного частоті лиха.

Процедура радіозв'язку з використанням ЦВВа ілюструється рисунком 1.3 для радіозв'язку у разі лиха та рисунком 1.4 для радіозв'язку зі звичайним пріоритетом.

Технічний формат (тобто склад) викличної послідовності в системі ЦВВ включає в себе наступні складові частини: послідовність точок, фазуюча послідовність, визначник формату, адрес, категорія, власний ідентифікатор (ІМРС), повідомлення, кінець послідовності.

УКХ радіозв'язок відіграє значну роль в забезпеченні безпечного маневрування суден і запобігання зіткнень [10]. На рисунку 1.5 представлені результати відповідей щодо УКХ радіозв'язку та ЦВВ в графічній формі. За результатами опитування судноводіїв 96,1 % респондентів відповіли, що вони часто використовують УКХ станцію, 90,7 % сказали, що вона є

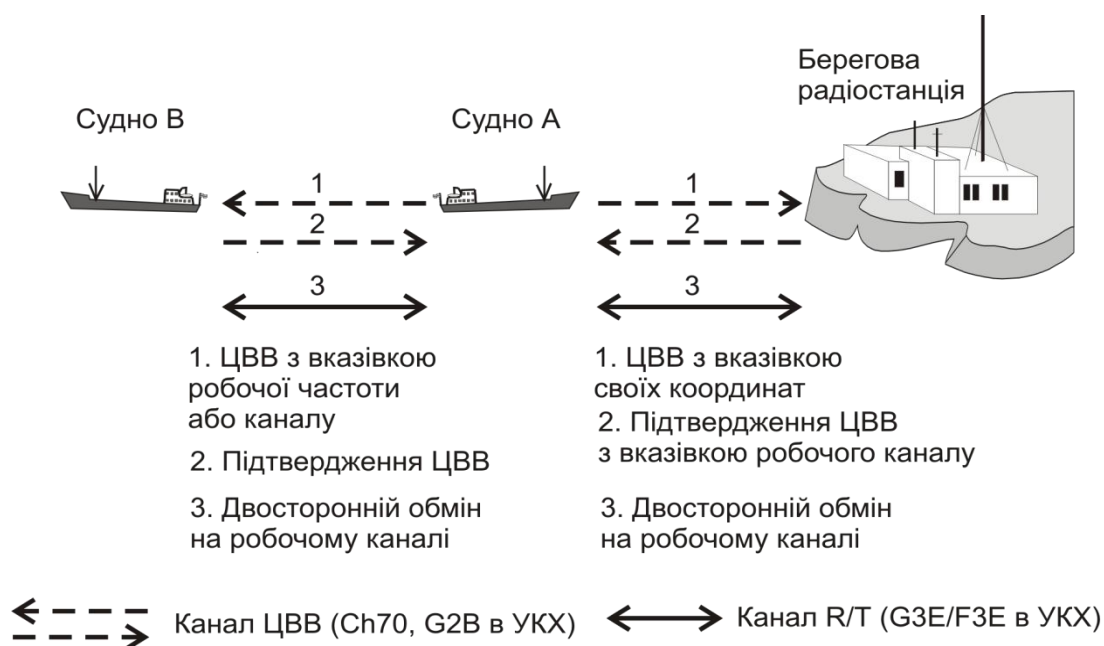


Рисунок 1.4 – Встановлення зв'язку в напрямках судно-судно і судно-берег

абсолютно необхідною для судноплавства [73] (див. рисунок 1.5 а) б) відповідно).

Наведений аналіз підкреслює практичну важливість УКХ радіозв'язку, але в той же час свідчить про нехтування ЦВВ, всупереч вимогам міжнародно-правових актів. Тільки 15,5 % судноводіїв використовують ЦВВ дуже часто, решта – іноді (38,5 %), майже ніколи (39,5 %) і ніколи (5,4 %) (див. рисунок 1.5 в)). В той же час за усіма правилами радіотелефонного зв'язку обміну мовними повідомленнями має передувати цифровий вибіркового виклик на 70 каналі. Нехтування ЦВВ на каналі не призводить до

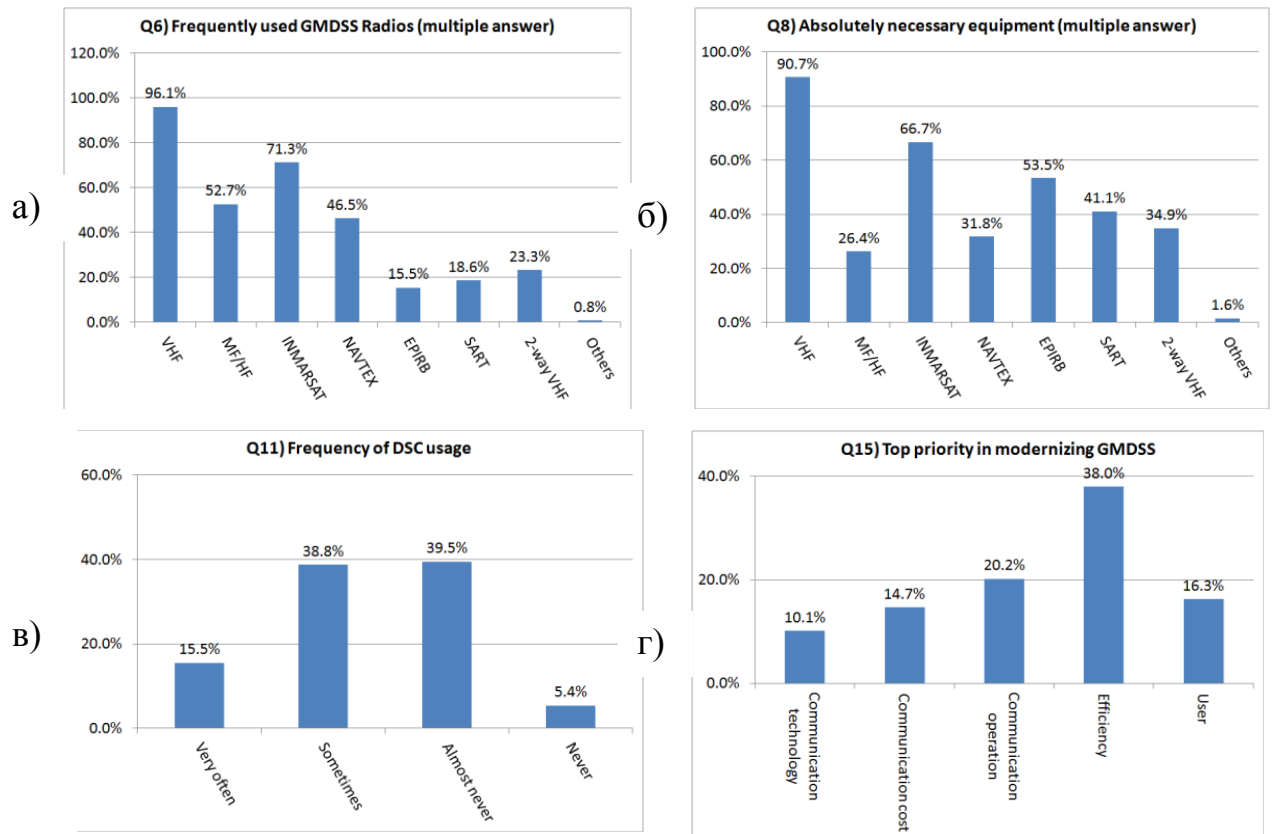


Рисунок 1.5 – Результати опитування судноводіїв з наступних питань:

а) часто використовуємо радіоустаткування ГМЗЛБ (множинні відповіді); б) абсолютно необхідне обладнання (множинні відповіді); в) частота використання ЦВВ; г) пріоритетність модернізації ГМЗЛБ [73]

прискорення встановлення зв'язку і обумовлено незручностями практичного використання самої апаратури ЦВВ.

УКХ радіотелефонний зв'язок спільно з ЦВВ в її сучасному втіленні має ряд серйозних недоліків. УКХ радіозв'язок використовується для зв'язку в напрямках судно-судно і судно-берег, берег-судно на близьких відстанях (20 – 30 мор. миль) і є важливим фактором забезпечення безпечного судноплавства. Нова система УКХ зв'язку – цифровий вибіркового виклик – вперше з'явилася в ГМЗЛБ, була покликана усунути очевидні недоліки:

- голосовий виклик судна (берегової станції) на 16-му каналі лиха і безпеки, що займає канал 16 і створює перешкоди у разі обміну з лиха;

- досить довга і ненадійна процедура голосової ідентифікації судна що викликається/викликає;
- перевантаження каналу 16 передачами, що не відносяться до повідомлень вищого пріоритету з лиха, терміновості, безпеки.

Досвід експлуатації апаратури морського радіозв'язку з ЦВВ показав, що на практиці судноводії нехтують використанням ЦВВ як у випадках лиха, так і для всіх інших пріоритетів зв'язку. Зокрема, канал 16 неправомірно займається невиправданими для цього викликами зі звичайним пріоритетом замість використання для цього каналу 70 з цільовим призначенням цифрового виклику.

Причини такої зневаги ЦВВ детально проаналізовані в документі [22]. Головною причиною ігнорування ЦВВ є незручність для користувачів процедур цифрового виклику, яке виражається в:

- складності ручної процедури формування виклику на приладі;
- відмінностями приладових інтерфейсів різних виробників апаратури ЦВВ;
- перевантаженістю інтерфейсних меню другорядними, малозначними функціями;
- обмежений простір для візуалізації змісту виклику.

В даний час вимоги за кількістю символів на дисплею контролерів ЦВВ збільшені до 300 символів. Тому останній фактор (обмежений простір) може не братися до уваги.

ЦВВ зручний для швидкої подачі виклику з пріоритетом лиха. Всі інші пріоритети вимагають значних зусиль з боку оператора [10]. Також відзначається нехтування ЦВВ через складність правил радіозв'язку МСЕ з використанням ЦВВ для судноводіїв і породжується в зв'язку з цим невпевненістю в своїх діях. В цілому процедура організації радіотелефонного зв'язку в море різке відрізняється більшою складністю від формування виклику в звичній кожному користувачеві системі мобільного зв'язку, непрозора для судноводія і тому часто ігнорується взагалі.

В процесі процедури формування виклику оператор – вахтовий офіцер – повинен зробити близько 20 елементарних дій (натискань на клавіші, вибір меню) для введення ідентифікатора викликається судна, номера робочого каналу і інших даних формату виклику [105]. Таким чином, він повинен виконувати рутинні операції, відволікаючись від безпосередніх завдань оцінки поточної навігаційної ситуації та прийняття рішень з управління судном. Можливі помилки введення даних самим негативним чином позначаються на оперативності встановлення адресного радіозв'язку.

Неприйняття судноводієм ЦВВ призводить до того, що він починає виклик і голосове повідомлення безпосередньо на 16-му каналі. Однак таке усунення процедури виклик – відповідь в системі ЦВВ не сприяє швидкому і адресному радіотелефонному контакту. Судно, що викликає, повинно голосом пояснити яке саме судно викликається, використовуючи його ідентифікатори (ІМРС, назва, позивний сигнал) або координати. У свою чергу судно, що викликається, повинно швидко зрозуміти, що саме його викликають і хто саме викликає. Така процедура взаємної ідентифікації сторін по радіотелефону з урахуванням мовних труднощів може займати тривалий час і супроводжуватися помилковим уявленням «хто є хто?».

Отже, ігнорування процедурами ЦВВ не приводить в загальному випадку до оперативної, адресної радіозв'язку, особливо в районах інтенсивного судноплавства і в складних метеоумовах.

У будь-якому випадку, використовуючи ЦВВ або, нехтуючи їм, судноводій не має в своєму розпорядженні технічну можливість реалізації надійної та адресної радіозв'язку за час, порівнянне з часом підняття телефонної трубки.

Рисунок 1.6 наочно демонструє досить складний пристрій панелі управління УКХ радіостанції для формування ЦВВ. При цьому слід врахувати той факт, що приборні інтерфейси радіостанцій ніяк не стандартизовані. Тому інтерфейси УКХ/ЦВВ радіостанцій різних виробників

і поколінь істотно відрізняються один від одного, що викликає неприйняття процедур цифрового виклику у судноводіїв, особливо в складній навігаційній обстановці, що вимагає негайної радіозв'язку з конкретним судном.



Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд панелі управління УКХ радіостанції

Запровадження в морському радіозв'язку ЦВВ дозволило зняти слухову вахту на частоті ПХ діапазону 2182 кГц. В УКХ діапазоні слухова вахта на каналі 16 строго кажучи не є обов'язковою, а є правилом хорошого морської практики. Щодо слуховий вахти на каналі 16 УКХ слід сказати, що відповідно до Конвенції СОЛАС [188], гл. IV, правило 12, а також Регламентом Радіозв'язку [202] (ITU, RR 38-16) стверджується, що «... на кожному судні, що знаходиться в морі, має вестися, коли це практично можливо (where practicable), безперервне слухове спостереження на каналі 16 УКХ».

Термін "where practicable" в оригінальних документах SOLAS і Регламенту Радіозв'язку вказує на необов'язковість слуховий вахти на каналі 16. Наприклад, в зоні управління берегової СУРС і порту судноводій повинен чергувати на каналі, встановленим береговою станцією.

Дане положення підкреслює важливість системи ЦВВ в організації УКХ радіозв'язку судно-судно, оскільки пропадає можливість голосового виклику на каналі 16, що часто використовується на практиці.

Слід зазначити, що з введенням ГМЗЛБ в 1999 році планувалося взагалі зняти слухову вахту на каналі 16, як це було зроблено стосовно частоти 2182 кГц в ПХ діапазоні. Однак слухова вахта на частоті 16-го каналу УКХ (156,8 кГц) збережена в тому вигляді як це зазначено в документах СОЛАС і РР в основному з міркувань забезпечення УКХ радіозв'язку з малими суднами, які не підпадають під вимоги ГМЗЛБ і тому не мають на борту апаратури ЦВВ. В іншому випадку неконвенційні судна випали б з мережі УКХ радіотелефонного зв'язку. Слухова вахта на каналі 16 є прикладом гарної морської практики, хоча обов'язковість такої ваhti в міжнародних документах обмежується словосполученням «where practicable».

Чергування на каналі 70 ЦВВ у всіх випадках є однозначно обов'язковим.

Таким чином, процедура радіозв'язку в ГМЗЛБ включає дві фази: спочатку цифровий виклик/підтвердження на 70-му каналі, а потім – радіотелефонний обмін на домовленому робочому каналі.

Технічно такий протокол встановлення зв'язку присутній і у всьому інших системах радіозв'язку, включаючи супутникові, мобільні (стільникові) системи зв'язку. Однак в цих системах виклик і призначення робочих каналів здійснюються автоматично і тому абсолютно не помітний для користувача. У морському ж радіозв'язку ці дві фази залишені для виконань оператором, причому в ручному режимі.

Судноводій, не будучи професійним радистом, повинен добре уявляти собі відмінність між викличними і робочими каналами. Складність і трудомісткість управління контролером ЦВВ в ручному режимі створює додаткові труднощі при встановленні радіозв'язку. Даний недолік відзначений в численних публікаціях і офіційних документах ІМО, наприклад, [10, 72 – 78]. Тим більше, що морській радіозв'язок в його нинішньому поданні разюче відрізняється від звичних процедур

повсякденному мобільного зв'язку на березі і більш простішому супутниковому зв'язку.

ЦВВ, по суті, замінив першу фазу радіозв'язку – голосовий виклик – на цифровий виклик, який здійснюється за допомогою спеціальної апаратури для формування і обробки прийнятих сигналів виклику від інших суден. Це дозволило прибрати слухову вахту на частоті лиха в ПХ діапазоні і забезпечити автоматичний прийом і реєстрацію всіх викликів, чого не було в старій системі радіотелефонії.

Значення УКХ радіозв'язку підкреслюється в складних навігаційних ситуаціях маневрування суден. При цьому не слід розглядати УКХ радіозв'язок як засіб для взаємною домовленістю суден про вчинення маневру розбіжності в обхід вимог МПЗЗС-72 [186]. Дійсно, МПЗЗС-72 забороняють домовленості про виконання маневрування, що суперечить вимогам Правил, використовую при цьому УКХ зв'язок. Однак Правило 5 щодо спостереження встановлює, що «Кожне судно повинно постійно вести належне візуальне і слухове спостереження, так само як і спостереження за допомогою всіх наявних засобів, стосовно переважаючих обставин і умов, з тим, щоб повністю оцінити ситуацію і небезпеку зіткнення». В узагальненні «за допомогою всіх наявних засобів», безсумнівно, входить і УКХ радіозв'язок.

Також в МПЗЗС-72, Правило 8 а) сказано, що «Будь-яка дія, що застосовується для попередження зіткнення, якщо дозволяють обставини, повинна бути впевненою, своєчасною і відповідати хорошій морській практиці».

У складній ситуації необхідні скоординовані дії для виконання безпечного маневру. При цьому зовсім не передбачається змову про взаємне порушення Правил, а залучення уваги, уточнення намірів, кількісних характеристик руху та інші фактори. Найбільш дієвим способом тут є УКХ радіозв'язок. Від її оперативності, надійності взаємного розуміння сторін-

учасниць на тлі навігаційної обстановки безпосередньо залежить безпека маневру.

1.3. Автоматична ідентифікаційна система

Відповідно до вимог нової глави V «Навігаційна безпека» Конвенції з охорони людського життя на морі 1974 року (Конвенція СОЛАС-74) установка автоматичної ідентифікаційної системи (AIS) на судах проходила поетапно, починаючи з 1 липня 2002 року.

AIS насамперед призначена для використання на судах при вирішенні завдань попередження зіткнень, а також для автоматичного обміну з іншими суднами і компетентними береговими службами навігаційної, рейсової та іншою інформацією, пов'язаною з безпекою [3, 4, 14, 47, 104, 152, 183, 187].

Відповідно до правила 19 СОЛАС-74 AIS повинна:

- автоматично надавати відповідним чином обладнаним береговим станціям, іншим морським і повітряним судам інформацію, включаючи ідентифікацію судна, тип, координати, курс, швидкість, експлуатаційний стан судна та іншу пов'язану з безпекою інформацію;
- автоматично приймати таку інформацію від так само обладнаних суден;
- вести супровід спостережуваних суден і
- обмінюватися даними з береговими засобами.

AIS покликана сприяти підвищенню безпеки (safety) мореплавання, ефективності судноводіння і експлуатації систем управління рухом суден (СУРС), а також захисту навколишнього середовища. Зазначені спільні завдання вирішуються шляхом використання AIS як:

- засоби попередження зіткнень в режимі судно-судно;
- кошти отримання компетентними береговими службами інформації про судно і вантаж;
- інструменту СУРС в режимі судно-берег для управління рухом суден;

- засоби моніторингу та спостереження за судами, а також в операціях з пошуку і рятування (SAR).

Слід зазначити, що АІС як засіб радіозв'язку є також об'єктом в загальній системі забезпечення безпеки (security) відповідно до Міжнародного кодексу з охорони суден і портових засобів. Інформація, що передається по каналах АІС, може використовуватися піратськими судами і терористами, так як вона передається в широкомовному режимі без будь-яких засобів захисту інформації від несанкціонованого доступу.

Спільне використання АІС на суднах і в береговій інфраструктурі дозволяє реалізувати значні переваги в порівнянні з існуючими засобами навігації. Однак АІС має свої обмеження в порівнянні з радіолокатором. Порівняльні характеристики АІС і РЛС [14, 144, 153, 154] зведені в таблиці 1.1.

Слід також відзначити вразливість АІС до кібератаки. Відомі різноманітні сценарії зловмисного спотворення і генерації фейкових даних в каналах АІС від неіснуючих реально цілей [4]. У цьому сенсі радіолокаційне зображення набагато стійкіше до можливих кібератак. Принаймні, нам не відомі дані про навмисне спотворення радіолокаційного зображення.

Таблиця 1.1 – Порівняльні характеристики АІС і РЛС/ЗАРП

Характеристика	АІС	РЛС/ЗАРП
Видимість цілі	Виявлення мети не обмежена береговим рельєфом. Відсутній ефект «фьорда»	Обмежена прямою видимістю цілі. Різкі вигини берегового рельєфу, острови створюють «тіньові» сектори РЛС
Ідентифікація цілі	Здійснюється в повному обсязі з поданням статичних, динамічних та рейсових параметрів цілі	Відсутня
Дальність виявлення цілей	Визначається дальністю УКХ радіозв'язку, приблизно 20 - 30 морських миль і не залежить від розміру цілі	10 - 18 миль для середніх і великих суден і 3 - 7 миль для малих суден, тобто істотно залежить від розмірів мети (ефективної поверхні, що відбиває)

Характеристика	AIS	РЛС/ЗАРП
Точність розташування, роздільна здатність	Помилки позиції менше 10 метрів (в диференціальному режимі) незалежно від дальності цілі; дозвіл цілей не обмежена	Подібно AIS на близькій відстані, але точність погіршується лінійно зі збільшенням дальності, в основному через помилку пеленга
Обмеження мінімальної дальності (наявність «мертвої зони»)	Немає обмежень за мінімальною дальністю	Є «мертва зона» приблизно до 50 метрів, обумовлена блокуванням входу приймача РЛС на час випромінювань зондуючого імпульсу *
Параметри руху	Курс і швидкість мети передаються в явному вигляді безпосередньо від приладів цілі	параметри руху цілі розраховуються шляхом обробки траєкторії цілі, що обумовлює затримку отримання параметрів руху 2 - 3 хв.
Оперативність виявлення маневру цілі	Швидко, по часу - протягом не більше 20 с.	Із затримкою в середньому близько 1,5 хв.
Вплив перешкод і метеоумов (тіньові сектори, хвилювання моря, опади, помилкові луна-сигнали)	Відсутній	Впливає в повній мірі
Надійність супроводу цілей	Відсутність можливості перекидання маркерів цілей ("swapping") на близькій відстані від берега, каналах	Наявність "swapping" через обмеження роздільної здатності РЛС
Система відліку	Координати цілі передаються від свого приймача GPS з показником точності	Положення мети прив'язується до положення судна-оператора
Взаємодія з РЛВ	Взаємодія тільки з поєднаним AIS/РЛВ відповідачем	Взаємодія з традиційним РЛВ X-діапазону (3 см.)
Чутливість до кібератак	Існує реальна небезпека втручань в роботу AIS по радіоканалах і шляхом підміни даних	Втручання неможливо (відомості про втручання відсутні)

Примітка: * Відсутня в широкосмугових РЛС безперервної дії

Принцип дії AIS пояснюється рисунком 1.7 [183]. Судна, обладнані апаратурою AIS, перебуваючи у відкритому морі або в прибережних районах, автоматично і регулярно передають в діапазоні УКХ морської

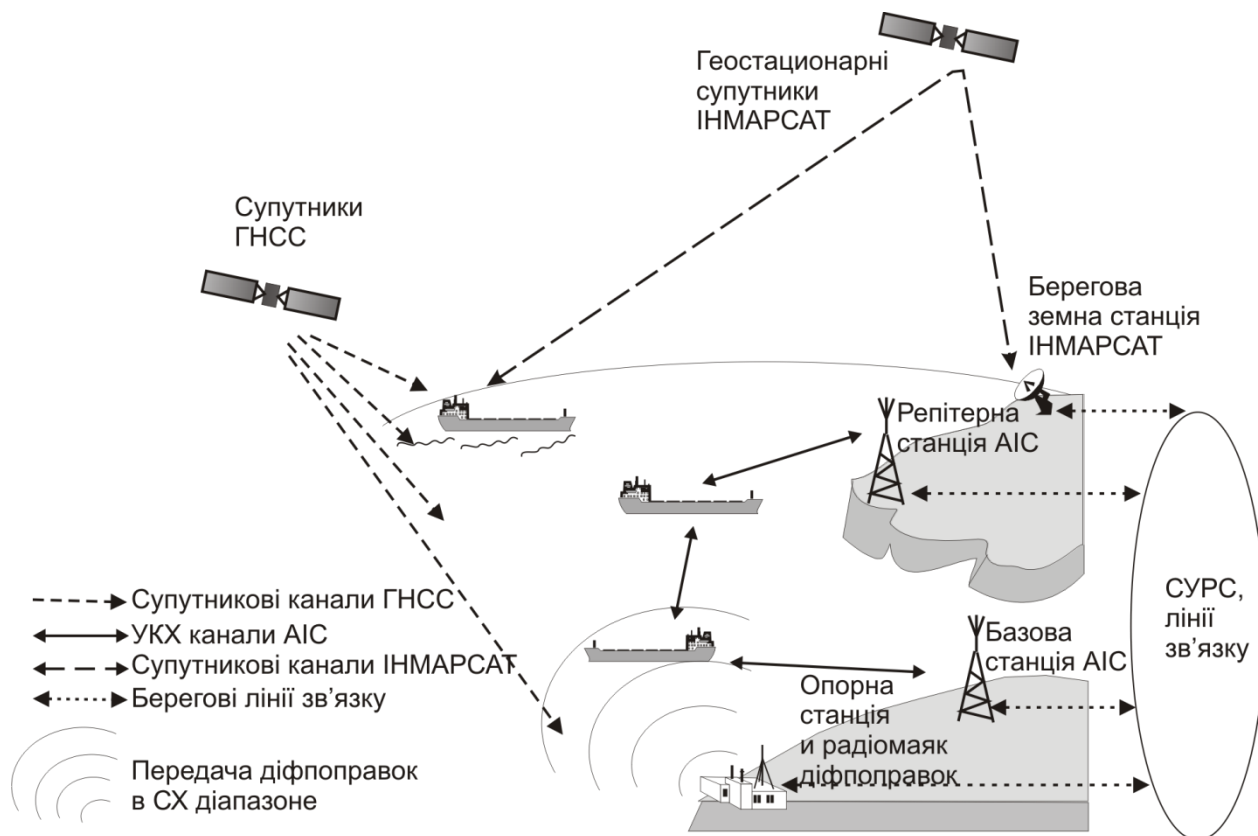


Рисунок 1.7 – Принцип дії AIS

рухомої радіослужби стандартні повідомлення, що містять інформацію про судно, його координатах, курсі, небезпечним вантажу на борту, порту призначення, часу прибуття та інші дані.

Одночасно кожним судном, обладнаним AIS, приймається аналогічна інформація від інших суден, що знаходяться в радіусі дії, обмеженим відстанню поширенням радіохвиль УКХ діапазону (20 – 30 морських миль).

Прийнята інформація автоматично обробляється і відображається на судовому навігаційному дисплеї. Синхронізація роботи всіх станцій AIS, як судових, так і берегових забезпечується глобальною навігаційною

супутниковою системою. За сигналами ГНСС в суднових навігаційних приймачах розраховуються поточні координати судна і вектор швидкості.

У прибережних районах, де встановлені базові станції АІС, інформація, передана судами, приймається базовими станціями і надходить в розпорядження берегових служб (СУРС, системи суднових повідомлень, служби пошуку і рятування, служби екологічного контролю та ліквідації наслідків забруднення, прикордонні та митні влади, різні портові служби). Зазвичай, для отримання цілісної картини судноплавства в контрольованому районі, базові станції АІС об'єднуються в мережі, що дозволяють інтегрувати інформацію від окремих базових станцій. Для розширення зони дії базової станції АІС можуть встановлюватися так звані репітерні станції АІС для розширення зони дії берегової станції, наприклад, при затінюють береговому рельєфі.

У прибережних районах точність визначення координат суден може бути підвищена за допомогою передачі диференціальних поправок в СХ діапазоні береговими опорними станціями і радіомаяками. Диференціальні поправки можуть також передаватися береговою станцією АІС по УКХ каналах АІС в спеціальному повідомленні.

Апаратура АІС може також встановлюватися на літальних апаратах, які беруть участь у пошуково-рятувальних операціях на морі, і на засобах навігаційного обладнання морських шляхів (плавучих і стаціонарних). Лоцманські служби можуть використовувати портативну апаратуру АІС, що доставляються на борт судна і працюючу автономно або з підключенням до суднового обладнання АІС.

Для передач АІС використовує принцип часового розподілу каналів, який полягає в тому, що кожна станція АІС передає в строго визначеному їй часовому інтервалі – слоті. Для точного завдання початку слота використовуються сигнали часу ГНСС, яка забезпечує точність синхронізації за часом не гірше 10 мкс.

Для запобігання конфліктів, коли в межах УКХ радіозв'язку два судна можуть займати для своїх передач один і той же слот, використовується спеціальний алгоритм самоорганізації вибору займаних слотів - SOTDMA - Self Organizing TDMA. Алгоритм SOTDMA використовується суднами у відкритому морі, коли всі станції АІС є рівноправними.

У зоні дії базової (берегової) станції призначення слотів для передач кожного судна здійснює сама базова станція за допомогою алгоритму FATDMA - fixed access TDMA, множинний фіксований доступ з часовим поділом каналів.

Пропускна здатність каналу обміну даними на двох частотах АІС достатня для обміну в найбільш інтенсивних районах судноплавства - Дуврської і Сінгапурської протоках. Причому працездатність всієї системи АІС не порушується навіть при дефіциті вільних слотів в межах УКХ зв'язку. В цьому випадку при необхідності прискорення передачі суднова станція АІС використовує для передач вільними слоти, які резервують найбільш віддалені станції.

Істотною є роль АІС для ідентифікації суден при організації УКХ радіозв'язку. Так, 73% судноводіїв використовують АІС при проведенні УКХ радіозв'язку [41].

1.4. Електронна картографічна навігаційна інформаційна система

Відповідно до вимог Міжнародної Конвенції СОЛАС 1974 року з поправками (правила V/19, V/27) всі судна повинні бути оснащені ЕКНІС і відповідним резервуванням у вигляді другого комплексу ЕКНІС або традиційних паперових карт. Устаткування всіх морських суден ЕКНІС здійснювалося поетапно в період з липня 2012 року по липень 2018 року.

ЕКНІС [135, 137, 152, 153] являє собою комплекс навігаційної апаратури, який разом з відповідними резервними засобами може розглядатися як засіб, що заміняє ведення прокладки, на відкоригованої,

традиційної карті. Зазначена мета досягається шляхом об'єднання інформації, що надходить від системної електронної карти, з даними про місце судна, отриманими від суднових датчиків навігаційної інформації. Це дозволяє мореплавцю виконувати підготовчу та виконавчу прокладки. У разі необхідності на дисплеї може відображатися і додаткова інформація, що відноситься до питань судноводіння.

У якості опорної геодезичної системи є всесвітня геодезична система координат WGS-84.

Сучасна ЕКНІС (рисунок 1.8) являє собою комп'ютерну систему з базою сертифікованих електронних карт і підключенням обов'язкових навігаційних датчиків: позиціонування (приймач ГНСС), гірокомпас і лага. ЕКНІС в такій конфігурації зарекомендувала себе в якості одного з основних навігаційних засобів на судні.

На сьогоднішній день ЕКНІС є без перебільшення центральною ланкою в морській навігації, так як забезпечує інтеграцію багатьох електронних засобів навігації. Хоча по конвенційним вимогам до ЕКНІС

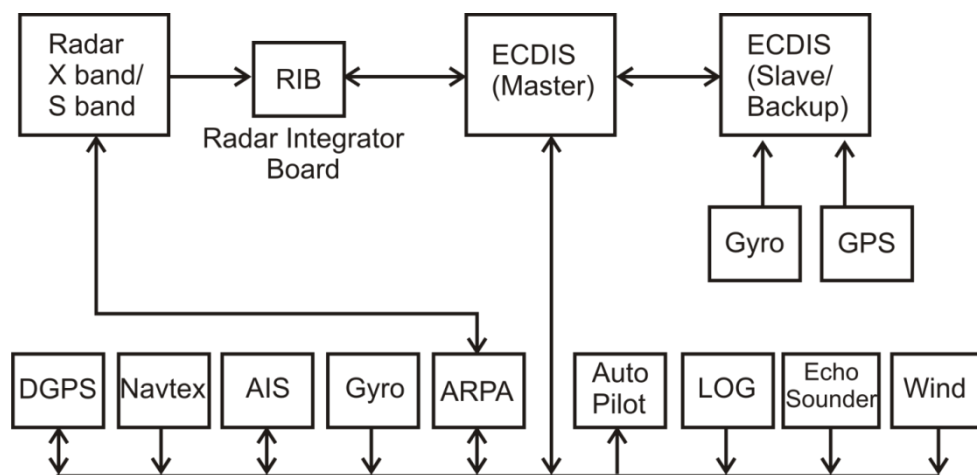


Рисунок 1.8 – Структурна схема ЕКНІС з резервуванням, де позначені: Radar X-band/S-band – РЛС X-діап./S-діап.; DGPS – приймач діфпоправок; Navtex – приймач НАВТЕКС; Gyro – гірокомпас; ARPA – ЗАРП; Autopilot – Авторульовий; LOG – лаг; Echo Sounder – ехолот; Wind – датчик вітру

обов'язковими є підключення тільки приймача ГНСС, гірокомпас і лага, підключення інших пристроїв підвищує ефективність її роботи на ходовому містку. Важливим кроком на шляху вдосконалення ЕКНІС стало підключення до неї АІС.

Еволюція методів навігаційного спостереження – від просто візуального спостереження до сучасного з використанням всього арсеналу навігаційних приладів – в наочній формі представлена на рисунку 1.9 з

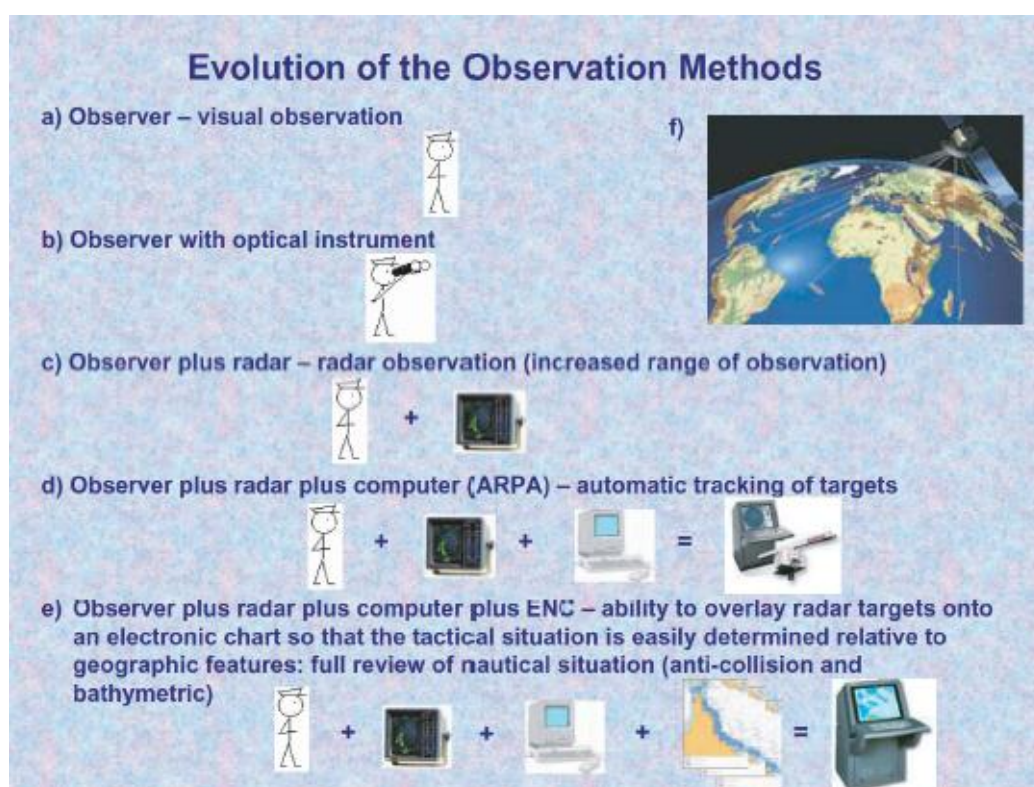


Рисунок 1.9 – Еволюція методів спостереження [137]

наступними поясненнями:

а) Спостерігач - візуальне спостереження; б) Спостерігач з оптичним приладом; в) Спостерігач плюс радар - радарне спостереження (збільшена дальність спостереження); г) Спостерігач плюс радар плюс комп'ютер (ЗАРП) - автоматичне стеження за цілями; е) Спостерігач плюс радар плюс комп'ютер плюс ЕНК - можливість накладення радарних цілей на електронну

карту так що тактична ситуація легко визначається відносно географічних характеристик: повний огляд навігаційної ситуації (небезпека зіткнень і батиметрична інформація)

В явному вигляді можна простежити тенденцію до інтеграції багатьох датчиків різнорідної інформації: координат, курсу, швидкості власного судна, навколишнє оточення з деталізацією параметрів цілей-суден по каналах АІС. Відбувається еволюція від сукупності окремих приладів до всеосяжного поданням навігаційної обстановки, включаючи 3D уявлення [2].

Інтеграція приладів і одержуваних від них даних дозволяє судноводій перейти від аналізу абстрактних цифрових даних до подання інформації про навколишнє оточення в наочному і зрозумілому вигляді, що ілюструється рисунком 1.10.

Подібна інтеграція природним чином знижує професійну навантаження на судноводія і зменшує ризики прояви людського фактора.

Вимоги до ЕКНІС визначені стандартом [181], який є автентичним перекладом міжнародного стандарту ІЕС 61174 2001 року.

На зображення карти на екрані ЕКНІС може бути накладено радіолокаційне зображення навколишнього простору і виведені дані ЗАРП. Однак ці дані не повинні спотворювати інформацію електронних карт і повинні чітко відрізнятися від неї.

З іншого боку відповідно до міжнародного стандарту [104] сучасні РЛС можуть відображати АІС-цілі і електронні карти. Радарний зображення, електронні карти і АІС-цілі поєднуються на одному екрані і в єдиному масштабі. Таким чином, функціонали інтегрованих систем ЕКНІС-АІС-РЛС і РЛС-АІС-ЕКНІС зближуються один з одним.

Сучасна ЕКНІС набула статусу центрального навігаційного засобу і при спільному відображенні інформації від різних джерел є основним інструментом в системі підтримки прийняття рішень судноводієм [153].

В даний час в рамках розробки проекту «Керівництва для гармонізованого відображення навігаційної інформації, отриманої через засоби радіозв'язку» [76] запропоновані варіанти зображення цілей АІС при

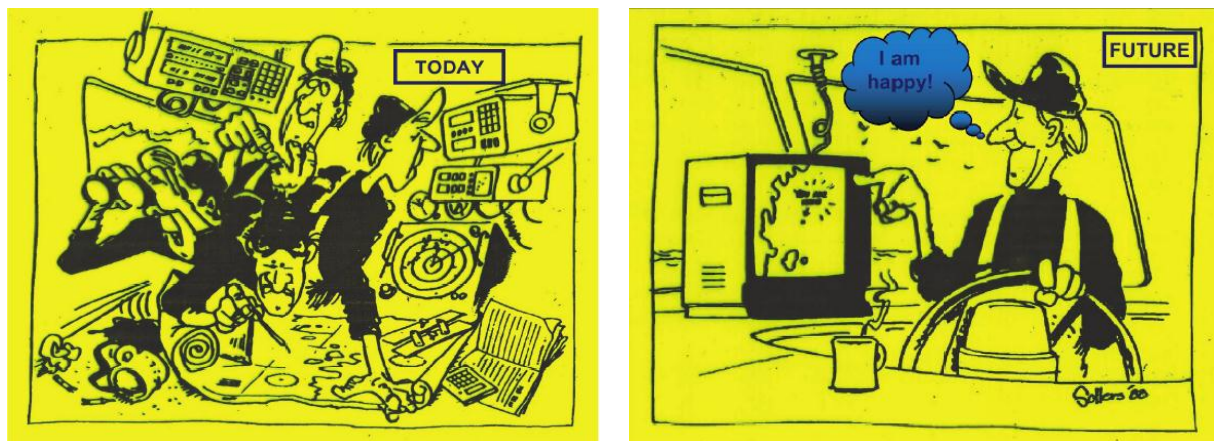


Рисунок 1.10 – Ілюстрація завантаження судноводія на ходовому містку судна – сьогодні (ліворуч), в майбутньому (праворуч) [137]

взаємодії з системою ЦВВ. Для відображення АІС-цілі, яка робить виклик, АІС-відмітка укладена в квадрат, заданий кутами, причому лівий верхній і правий нижній кути показані у вигляді телефонних слухавок (рисунок 1.11).

Ціль, що викликає, обмежена квадратом і позначена символом телефонної слухавки. Судно, яке подає виклик лиха, укладено в подвійний ромб з поперемінно миготливими кутами до тих пір, поки виклик лиха не буде підтверджений. Документ [76], датований груднем 2016 року, по суті базується на ідеї інтегрування систем навігації та радіозв'язку, що підкреслює актуальність розв'язуваної задачі.

1.5. Об'єднання навігаційних даних

Впровадження нових технічних засобів судноводіння, в тому числі РЛС/ЗАРП, АІС, ЕКНІС дозволило крім підвищення ефективності навігації за рахунок незалежного використання кожного з впроваджених інструментів

	Topic	Symbol	Description
a)	Vessel calling me Note Source is DSC		A square indicated by its corners centred around the target symbol. Upper left corner and lower right corner is formed from telephone symbol. The symbol is flashing until user answer the call.
б)	Vessel I am calling Note Source is DSC		A square indicated by its corners centred around the target symbol. A symbol of telephone in the centre of the symbol.
в)	Vessel in distress Note Source is DSC		A red (on colour display) double diamond indicated by its corners centred around the target symbol. The inner and outer diamond part of the symbol alternate in flashing until acknowledged

Рисунок 1.11 – Відображення АІС-цілей при взаємодії з АІС: а) судно що викликає; б) судно, яке має бути викликано; в) судно терпить лихо [76]

отримати додаткові переваги шляхом спільної обробки інформації, доступної від окремих датчиків. Об'єднання даних різного походження для наступних спільного аналізу і обробки отримало в англomовній науковій літературі назву Data Fusion (злиття, інтеграція, об'єднання даних) [48].

Об'єднання даних – це багаторівневий, багатогранний процес, заснований на автоматичному виявленні, асоціації, кореляції, оцінки якості та комбінації даних і інформації з одного і декількох джерел для досягнення уточнених оцінок розташування та ідентифікації, а також повного і своєчасного аналізу ситуації і загроз і їх значень [60,76]. Одним з найбільш коротких, але ємких визначень напрямки Data Fusion є наступне: «Клас методів і засобів, що використовують дані кількох сенсорів різної природи для підвищення якості інформації, що міститься в цих даних» [99].

Теорія об'єднання даних отримала початковий поштовх розвитку в військових технологіях і в подальшому знайшла застосування в інших технологіях [70]. У морській навігації спільна обробка навігаційних даних

суден, отриманих від різних джерел (РЛС/ЗАРП, АІС) з використанням алгоритмів нечіткої логіки і калмановської фільтрації дозволяє отримати більш точні оцінки траєкторій суден, уникнути ряду недоліків, властивих роздільного використання РЛС і АІС [12, 13, 26, 79]. Така обробка є прикладом об'єднання даних на рівні ознак – більш високому рівні в порівнянні з накладенням окремих шарів зображень від різних джерел (ЕНК, РЛС/ЗАРП, АІС) і відображенням на єдиному дисплеї ЕКНІС або радара. Аналіз навігаційної ситуації та прийняття рішень для безпечного управління судном залишаються за судноводієм.

Слід підкреслити важливу відмінну рису застосування теорії об'єднання даних у військовій техніці і морської навігації цивільного призначення. Метою цивільного судноплавства є рішення транспортних завдань при досягненні максимальної безпеки і ефективності навігації. Тому системи навігації та радіозв'язку цивільних суден не переслідують цілей прихованої роботи, а навпаки реалізують вільний доступ до інформації, що передається з метою безпечного мореплавання. Наприклад, пристрій АІС забезпечує вільний взаємний обмін навігаційними даними між судами в межах УКХ радіозв'язку, в морського радіозв'язку використовуються відкриті канали.

Відповідно до загальної моделі системи об'єднання даних [48] алгоритми об'єднання даних в мультисенсорних системах можуть бути умовно розбиті на три групи, в залежності від інформаційного рівня, на якому відбувається основна спільна обробка:

- рівень злиття зображень,
- рівень ознак об'єктів,
- рівень рішень.

Злиття зображень має на увазі обробку найнижчого рівня і поелементне підсумовування вимірюваних фізичних параметрів. Таким чином, в кожен елемент нового зображення закладається інформація з обох сенсорів – в

нашому випадку радарного зображення і координат цілей АІС. При цьому необхідно дуже точне сполучення зображень шляхом прив'язки до єдиної точки відліку, оскільки помилки суміщення приведуть до спотворення розподілу інформації, і сенс спільної обробки буде втрачено. Для кращої орієнтації в просторі зображення від РЛС і АІС накладаються на статичне зображення ЕНК. Природно, що всі три зображення повинні бути узгоджені за масштабом, напрямку і прив'язані до єдиних координатах судна-оператора і орієнтації.

Інтеграція даних РЛС/ЗАРП, АІС, ЕНК і подання їх на єдиному дисплеї ЕКНІС або РЛС дозволили реалізувати нові призначені для користувача функції і можливості вдосконалення навігації, що наочно продемонструвало синергетичний ефект. Спостерігається тенденція до зближення виконуваних функцій і можливостей для користувача інтерфейсів РЛС і ЕКНІС. Так сучасний радар сьогодні крім своєї цільової функції має можливості накладення електронних карт і символів АІС цілей. Точно також ЕКНІС, спочатку має призначення заміни паперових карт їх електронною версією, перетворилася на багатофункціональний пристрій завдяки інтеграції інших інструментів і реалізації оверлейної функції суміщення зображень від різних сенсорів.

На думку А. Weintrit [128,129] інтеграція буде продовжена. У майбутньому можна вважати само собою зрозумілим, що радар більше не буде існувати як автономний блок, незважаючи на його основного значення для навігації. У найближчому майбутньому радар буде як і раніше виконувати свою основну функцію «виявлення і вимірювання» з РЛС в якості основного компонента і додатковим відображенням даних АІС, ЕНК і інший навігаційної інформації. У більш віддаленому майбутньому можна очікувати, що радар буде тільки частиною (датчиком) всеосяжної навігаційної системи.

Для такої системи необхідно враховувати вимоги до функцій, інтеграції та подання інформації. Нарешті, повинна бути досягнута, що інтеграція радара, АІС, ЕКНІС, ГНСС і інших компонентів утворює систему, яка може бути використана [137] в якості:

- основної навігаційної системи і
- основної системи запобігання зіткнень для підвищення безпеки та ефективності судноплавства.

1.6. Особливості систем навігації та радіозв'язку в річкових інформаційних службах (РІС)

Річкові інформаційні служби [162, 203, 204] – це узгоджені інформаційні служби забезпечення транспортування і управління транспортом річкової навігації, включаючи взаємодію з іншими транспортними засобами. РІС покликані забезпечити безпеку і ефективність транспортних процесів та використання водних шляхів в максимальному ступені.

У документі [204] виділені 14 служб і 13 систем, що забезпечують функціонування РІС. При цьому системи УКХ радіозв'язку і виявлення та відстеження суден, тобто АІС займають лідируючі позиції за рівнем використання в службах РІС – 10 і 11 відповідно із загальної кількості 14 служб. Так, УКХ радіозв'язок використовується в службах інформації про фарватері, тактичної і стратегічної інформації про рух суден, службах руху суден, допомоги в судноводінні, управління шлюзами і мостами, службі запобігання аварійних ситуацій, службах планування рейсів і інтермодального управління портами і терміналами, службі інформації для правоохоронних цілей.

Системи УКХ радіозв'язку та АІС є основними елементами найважливіших для безпеки навігації служб – тактичної, стратегічної і служб управління рухом.

Виходячи з цього, стає очевидним необхідність подання судноводій і оператору СУДС найповнішої і максимально інформації щодо УКХ радіозв'язку і навігаційної обстановці. Також як і на морському судні, вахтовий офіцер річкового судна повинен оперативно оцінити яке саме судно передає радіотелефоном.

Узгодження РІС є однією з ключових завдань транспортної політики Європейського Союзу. Для впровадження систем РІС на території ЄС необхідно розробити і розгорнути системи зв'язку, які б забезпечили обмін всією необхідною інформацією для безпечної річкової навігації.

Невід'ємною ланкою в загальному ланцюжку передачі інформації між суднами і береговими центрами в РІС є УКХ радіозв'язок в морському діапазоні 156 – 176 МГц. Особливістю УКХ радіозв'язку на водних шляхах континентальної Європи є відсутність системи ЦВВ. Відповідно до Регіональним Угодою по службі радіозв'язку для внутрішніх вод (RAINWAT) в системі УКХ радіозв'язку на внутрішніх водах континентальної Європи використовується автоматична система ідентифікації передавача АТІС [28].

В Україні в 2012 році створена Річкова інформаційна система «Дніпро» для внутрішніх водних шляхів на річках Дніпро і Дунай [203]. РІС «Дніпро» була розроблена з метою гарантії безпечної та ефективної річкової навігації європейського рівня. РІС призначена для забезпечення зацікавлених користувачів оперативною та довідковою інформацією про умови плавання на водному шляху, про рух та дислокацію флоту, стан гідротехнічних споруд та водних шляхів, вантажопотоки і суднопотоку. Центр управління РІС розташований в Одесі. Крім центру управління, до складу системи входять

субцентри на річках Дніпро і Дунай, а також автоматичні пости на Дніпрі, які об'єднані в єдину мережу.

Особливістю даного проекту є наявність в його складі спеціально розробленого інформаційного Web-порталу (<http://ukrris.com.ua>), за допомогою якого відбувається інтеграція інформації від різних підсистем РІС і її надання користувачам в режимі реального часу. У РІС «Дніпро» реалізований ряд елементів е-навігації, в тому числі:

- можливість автоматизованого обміну інформацією по каналу AIS,
- автоматична відсилання повідомлень на адресу судна,
- моніторинг засобів навігаційного забезпечення з використанням технології AIS AtoN (Aids to Navigation),
- передача даних диференціальних поправок ГНСС і ін.

1.7. Система автоматичної ідентифікації передавача у РІС

Ідентифікація передавальної станції є невід'ємною частиною будь-якої радіопередачі. У ГМЗЛБ в морській рухомій службі для радіотелефонних передач у всіх частотних піддіапазонах використовується голосова ідентифікація. Для цього оператор передавальної станції повинен назвати позивний сигнал або цифровий ідентифікатор судна. Однак такий спосіб визначення передавача не є надійним так як в силу різних причин голосова ідентифікація може бути відсутнім взагалі, передана з затримкою або сприйнята на прийомі неправильно. Очевидно, що відсутність або помилковою трактуванні на прийомі ідентифікації з голосу не дозволяє оперативно встановити адресний радіообмін повідомленнями і найсерйознішим чином позначаються на безпеці мореплавання в цілому.

ЦВВ повинен був усунути цей недолік. Однак, нехтування процедурами ЦВВ переносить всю тяжкість проблеми на голосову форму ідентифікації.

На річковому транспорті континентальної Європи згідно з Базельською угодою 2000 р RAINWAT – «Regional Arrangement concerning the Radiotelephone Service on Inland Waterways» для вирішення проблеми голосової ідентифікації застосовується система автоматичної ідентифікації передавача (Automatic Transmitter Identification System, ATIS).

Технічна сутність системи полягає в тому, що в кінці надіслати голосове повідомлення після відпускання тангенти автоматично передається коротка інформаційна посилка в форматі ЦВВ, що містить ідентифікатор судна [28]. Цифрова послідовності ATIS складається з наступних полів:

Dot pattern - послідовність точок, по черзі передаються 0, 1, тривалість 20 біт;

Phasing - фазуюча послідовність;

A) Format specifier - визначник формату, двічі передається символ 121;

B) Identification - ідентифікатор;

C) End of sequence - символи кінця послідовності;

D) Error check - перевірна послідовність.

Для перетворення ідентифікатора використовується наступний формат:

$$9MID X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6 ,$$

де MID – код країни аналогічно як в системі ЦВВ;

$X_1 X_2 X_3 X_4 X_5 X_6$ – позивний сигнал або IMPC судна.

ATIS послідовність передається зі швидкістю 1200 біт/с і займає часовий проміжок 285 мс після надіслати голосове повідомлення відразу ж при відпуску тангенти. Використовується клас випромінювання G2B, піднесуча частота дорівнює 1700 кГц, частотний зсув дорівнює 400 Гц.

Цифрова ATIS послідовність повинна передаватися на кожному використовуваному телефонному каналі. Використання ATIS одночасно з системою ЦВВ заборонено. ATIS застосовується на внутрішніх водах континентальної Європи, в той час як на річках Великобританії використовується система ЦВВ.

Такий спосіб ідентифікації суден використовується для автоматичної реєстрації УКВ передач суден на берегових станціях. ATIS використовується також для ідентифікації суден при проходженні ними шлюзів.

Використання ATIS регламентовано Регіональною угодою по радіозв'язку на внутрішніх водах (RAINWAT). Ця угода підписана також і Україна. Установка ATIS є обов'язковою на всіх комерційних суднах на внутрішніх водах континентальної Європи.

1.8. Служби управління рухом суден

Служби управління рухом суден (СУРС) (або служба регулювання рухом суден, CPPC; Vessel Traffic Service, VTS) використовуються повсюдно в прибережних водах для запобігання інцидентів, підвищення ефективності роботи портів і запобігання забруднення навколишнього середовища на основі Правил 12, глави V Конвенції СОЛАС і резолюції ІМО А.857 (20) [183]. Роль СУРС підвищується в даний час у зв'язку з укрупненням суден і інтенсифікацією руху. Відповідно зросла навантаження і відповідальність людини-оператора СУРС.

В статті [47] висловлюється загальна пропозиція про необхідність інтегрування інформації окремих джерел. Одним з основних джерел отримання інформації про суда є АІС. Використання АІС багато в чому дозволяє автоматизувати процес ідентифікації суден і отримання від них необхідної інформації. Використання АІС в СУРС для обробки і розподілу прийнятої від суден інформації по каналу АІС, дозволяє багато в чому розвантажити радіотелефонні канали. Телефонні канали використовуються в СУРС для передачі інформації з судна на адресу інших портових служб (лоцманська служба, портова влада, агентські, буксирні, стивідорські, бункерувальні і інші компанії, зайняті обслуговуванням суден в порту). Тому УКХ зв'язок радіозв'язок займає найважливіше місце у функціонуванні СУРС і відповідно оператора станції.

У радіотелефонному зв'язку СУРС відома проблема залипання кнопки передавання (тангенти) на УКХ слухавці, так званий «кнопковий» ефект (“keying phenomenon”) [19]. Його прояв особливо шкідливий тому що режим передавання в УКХ діапазоні блокує усі інші передачі суднових і берегової станції на цьому каналі. Добре відомі нарікання операторів морських рятувально-коордінаційних центрів на цю проблему. Локалізація судна порушника вимагає використання спеціальних радіопеленгаторів.

Для підвищення ефективності роботи оператора СУРС необхідна мінімізація зусиль і часу для організації адресної УКХ радіозв'язку з потрібним судном. Також необхідна в найкоротший час повна ясність про те, яке судно виходить на зв'язок і де воно знаходиться.

1.9. Інтегровані навігаційні і радіо комунікаційні системи

Метою інтегрованих навігаційних систем (ІНС) [109] є зміцнення безпеки мореплавства шляхом надання інтегрованих і розширених функцій з метою запобігання географічних, транспортних небезпек і заподіяння шкоди навколишньому природному середовищу. Завданням ІНС є також регулювання робочого навантаження оператора (вахтового офіцера), беручи до уваги людський фактор. ІНС повинна бути наочно придатна для користувача і для поставленого завдання, існуючої в конкретному контексті використання. ІНС замінює роздільне обладнання на інтегроване, яке дозволяє отримати додаткову якість задля безпеки мореплавства.

Характерною рисою оснащення сучасного ходового містка морського судна є використання багатофункціональних дисплеїв для моніторингу і управління чисельними судновими системами (див. рисунок 1.12, отриманий з Інтернет за посиланням:

https://slidetodoc.com/presentation_image_h/a0940b7537fb6c53f22b2a6d84cff96d/image-2.jpg).

Вимоги до обладнання ІНС встановлює Резолюція MSC 252(83) Revised Performance Standards for INS [109].

У Правилі 15 Міжнародної Конвенції СОЛАС викладені принципи конструкції містка, його оснащення, конструкції навігаційних систем і устаткування. Відповідно до цих принципів всі рішення, пов'язані з впровадженням і розміщенням нових систем навігації на ходовому містку судна, повинні, зокрема:

- полегшувати рішення задач, що стосуються повної оцінки ситуації та безпечного судноводіння при будь-яких умовах експлуатації;
- сприяти ефективному і безпечному керуванню наявними на містку обладнанням, засобами і персоналом вахти;



Рисунок 1.12 – Приклад обладнання ходового містка сучасного судна

- забезпечувати можливості зручного і безперервного доступу до важливої інформації, що подається ясно і недвозначно, з використанням стандартних символів і умовних позначень для органів управління і відображення інформації;
- сприяти швидкій, безперервній та ефективній обробки інформації та прийняття рішень вахтою на містку і лоцманом;

- запобігати або зводити до мінімуму надмірну або не потрібні роботу і будь-які умови, які можуть бути причиною втоми або зниження пильності вахти;
- зводити до мінімуму ризик помилки людини.

Таким чином, в міжнародних документах підкреслюється важливість впровадження інтегрованих систем. Інтеграція систем і даних є магістральний шлях розвитку технічних засобів навігації та радіозв'язку в судноплавстві.

Однак на сучасному етапі інтеграція відповідно до визначення Резолюції MSC.64 (67) розуміється як комбінація (combination) різних незалежних судових систем навігації, пропульсивної установки, управління вантажними операціями для централізованого подання цифрових даних від різних датчиків в одному місці на ходовому містку. Найбільш же важливим завданням є спільна обробка даних, що надходять від незалежних датчиків і отримання нових можливостей подання та отримання інформації з зовнішнього середовища.

Висновки по розділу 1.

1. Морським міжнародним співтовариством висунутий і активно розвивається генеральний план розвитку морської навігації та судноплавства, сформульований у вигляді концепції е-навігації. Тому для отримання результативних досліджень необхідне узгодження напрямку досліджень з основними положеннями стратегічного плану розвитку концепції е-навігації. Видається недоцільним проведення досліджень і розробка нової техніки всупереч напрямкам, які не підтримуються концепцією е-навігації. І, навпаки, напрямок досліджень, якій відповідає загальній концепції, представляється перспективним і має підстави на реальне практичне впровадження.

2. Сучасні інфокомунікаційні технології, що стрімко на разі розвиваються, не можуть бути просто перенесені на морське судноплавство, перш за все через необхідність забезпечення повної всеохоплюючої сумісності з чинним судовим обладнанням навігації і зв'язку. Нові розробки повинні забезпечити сумісність на всіх рівнях взаємодії: технічному, програмному, інформаційному, організаційному. Причому впровадження нової техніки повинно бути природним і не призводити до погіршення безпеки, зростання навантаження на судноводія і значних фінансових витрат.

3. Управління сучасним судном пов'язане зі сприйняттям і переробкою великої кількості інформації, що надходить від навігаційних датчиків і засобів радіозв'язку. Причому судноводій часто має справу з переробкою абстрактних даних датчиків. Надлишок первинної інформації не сприяє врахуванню всіх факторів навігаційної обстановки, призводить до недовикористання технічних можливостей судових засобів навігації та радіозв'язку, прояву «людського» чинника в різних формах і, в кінцевому рахунку, підвищує ризик аварійності.

4. Завданням першорядної важливості є створення зручного для користувача інтерфейсу взаємодії людини – судноводія з технічними засобами навігації та радіозв'язку морського судна. Такий інтерфейс повинен забезпечити переробку надходить від зовнішніх датчиків інформації та подання її судноводій в зручній формі, готової для прийняття рішень з управління судном. Вирішення цього завдання дозволить підвищити безпеку навігації і професійну навантаження на вахтового офіцера.

5. Підвищення ефективності використання нових систем навігації та радіозв'язку має ґрунтуватися на спільному використанні всіх даних, що надходять від різних датчиків, відповідній обробці цих даних і представленні отриманої інформації у вигляді зручному і зрозумілому судноводій для вироблення найбільш вірних рішень з управління судном.

6. Інтеграція систем і даних вимагає використання інтерфейсів взаємодії різних систем. Завдяки повсюдному переходу на цифрові технології і розвитку концепції е-навігації з'явилася реальна можливість комплексного підходу до розвитку суднових систем навігації та зв'язку на основі інтегрування апаратури і даних. Інтеграція повинна здійснюватися в рамках стандартних інтерфейсів і протоколів обміну даними при безумовному виконанні вимог сумісності з діючою апаратурою та міжнародними правилами навігації і радіозв'язку.

Матеріали першого розділу опубліковані в роботах [65, 68 - 71] списку публікацій за темою дисертації.

РОЗДІЛ 2.

ІНТЕГРОВАНА СИСТЕМА НАВІГАЦІЇ ЕКНІС/АІС І РАДІОЗВ'ЯЗКУ УКХ/ЦВВ

2.1. Обґрунтування теми дослідження

Вибір теми дослідження обґрунтований стрижневим принципом можливості отримання корисного результату за рахунок нетривіального використання властивостей незалежних систем і технологій. Саме інтегрування незалежних систем, виходячи з загальнонаукових положень, дозволяє отримати нові додаткові якості, які не притаманні жодній з задіяних систем і можуть бути досягнуті шляхом будь-якого вдосконалення складових систем. В нашому випадку інтегрування використовується для здійснення спільної інформаційної обробки даних, отриманих від різних незалежно діючих систем морської навігації і радіозв'язку.

Напрямок дослідження ґрунтується також на системному аналізі наукових публікацій, промислових стандартів, документів ІМО щодо пріоритетних напрямків розвитку морських технологій обраної галузі.

На основі системного підходу до аналізу літературних джерел виявлені наступні проблеми практичної експлуатації систем навігації і радіозв'язку:

- складність управління системами радіозв'язку з ЦВВ;
- неналежне представлення інформації про навігаційну ситуацію з урахуванням радіозв'язку;
- ідентифікація радіопередач в морському наземному радіозв'язку.

Тема дисертації обрана виходячи з загальнонаукових положень і методології наукових досліджень як найбільш перспективна у формулюванні: «Інтегрування систем морського радіозв'язку і навігації в рамках розвитку стратегічної концепції е-навігації».

Враховуючи:

- практичні потреби судноводіїв,

- міжнародні вимоги до складу і техніко-експлуатаційних характеристик суднового обладнання навігації і зв'язку та його сумісності, які в нашому дослідженні виступають як обмежувальний фактор і
 - стратегічний світовий напрямок розвитку судноплавства е-навігації, план реалізації якого є своєрідним драйвером досліджень,
- сформульована комплексна задача дослідження як «Створення інтегрованої системи радіозв'язку і навігації в рамках конвенційного судного обладнання, яка у повної мірі реалізує потенційні можливості суднових систем зв'язку і навігації та відповідає вимогам користувачів» і три головні завдання:
- створення інтерфейсу оперативного радіозв'язку з використанням ЦВВ на основі інтегрованої системи;
 - підвищення рівня ситуаційної усвідомленості на ходовому містку судна через належне представлення інформації;
 - розробка методів та засобів автоматичної ідентифікації радіотелефонних передач.

Подальшим кроком визначені допоміжні завдання і наукові результати. План проведення наукового-технічних робіт відображений у технологічній карті досліджень у Додатку А.

Слід зазначити, що в ході проведення досліджень окремі технічні рішення піддавались коректуванням. Так, спочатку при розробці інтерфейсу радіозв'язку був обраний дисплей ЕКНІС. Але у подальшому стало вочевидь що використання дисплею ЕКНІС для здійснення управління апаратурою радіозв'язку з точки зору впровадження в морські стандарти стикається з певними обмеженнями тому що ця система перевантажена суто навігаційними завданнями і функціями. Вимоги до ЕКНІС на рівні міжнародних стандартів були окреслені і зафіксовані. Тому додавання ще одної функції з управління зв'язком до ЕКНІС стало неможливим з адміністративних мотивів. В якості окремого дисплею для реалізації управління зв'язком у подальших дослідженнях був обраний інформаційний

дисплей інтегрованої навігаційної системи. Цей дисплей здатний відображати АІС-цілі, електронні карти (при необхідності) і реалізувати сучасне управління модулями зв'язку програмним чином за допомогою графічного інтерфейсу.

2.2. Методологія інтегрування суднових систем навігації та радіозв'язку

У загальному випадку під інтеграцією – (лат. *Integratio* – відновлення, заповнення, від *integer* – цілий) розуміється сторона процесу розвитку, пов'язана з об'єднанням в ціле раніше різнорідних частин і елементів.

Інтеграція даних в інформаційних системах розуміється як забезпечення єдиного уніфікованого інтерфейсу для доступу до деякої сукупності, взагалі кажучи, неоднорідних незалежних джерел даних [169]. Система, що забезпечує користувачеві доступ до всієї сукупності інтегрованих джерел, називається системою інтеграції даних.

У цій роботі ми розглядаємо поняття інтегрування і інтеграція як синоніми і виходимо з трактування терміна інтеграція (інтегрування) як зроблено вище для поняття інтеграції даних в інформаційних системах. В англomовній літературі до понять інтегрування і інтеграція відповідає також загальний переклад "integration".

Правильно спроектована інтегрована система звільняє користувачів від необхідності знання, дані з яких джерел, крім інтегрованого, вони використовують, які властивості цих джерел і як здійснити доступ до них.

Вирішуване питання інтегрування тісно пов'язаний з поняттями «дані» і «інформація». Необхідно підкреслити відмінності цих двох термінів як вони розуміються в морському співтоваристві в контексті обговорюваної проблеми. Дані та інформація мають наступний сенс [1]:

Дані – інформація в цифровій формі, яка може бути передана або оброблена цифровим способом. Наприклад, дані представляють собою необроблений набір символів, які можуть існувати в будь-якій формі без будь-якого очевидного значення або подальшого застосування.

Інформація – повідомлення, відомості або отримання знання. Наприклад, дані стають інформацією, коли вони представлені у вигляді, зрозумілим для людини і придатними для безпосереднього застосування.

Ієрархія пізнання в [46] приведена в наступному вигляді:

ДАНІ – ІНФОРМАЦІЯ – ЗНАННЯ – РОЗУМІННЯ.

Первинні, абстрактні дані у вигляді послідовності чисел від різних джерел ще не несуть для оператора ніякої інформації. Дані переходять в інформацію що корисно сприймається при сумісному їх співставленні і асоціації з іншими обставинами. Далі інформація трансформується в знання, обізнаність про поточну навігаційної обстановці і, нарешті, – в розуміння (знання що відбувається і розуміння що треба робити). Технічні засоби СНР охоплюють операції тільки на перших двох рівнях ієрархії: дані – інформація. Більш високі рівні пов'язані з інтелектуальною діяльністю людини.

Сучасна ЕКНІС є основним джерелом навігаційної інформації. Згідно [133, 151] навігаційна інформація включає в себе картографічну і оперативну інформацію. Картографічна інформація міститься в електронних навігаційних картах (ЕНК). Джерелами оперативної інформації є різні навігаційні прилади (сенсори). Слід зазначити тенденцію зміни співвідношення між даними діаграми і оперативною інформацією (рисунок 2.1).

Обсяг картографічної (Chart-related) інформації обмежений змістом ЕНК і залишається стабільним. Навпаки, відносна частина оперативної (Operational-related) інформації постійно збільшується. В даний час (At present) обсяги картографічної та оперативної інформації приблизно

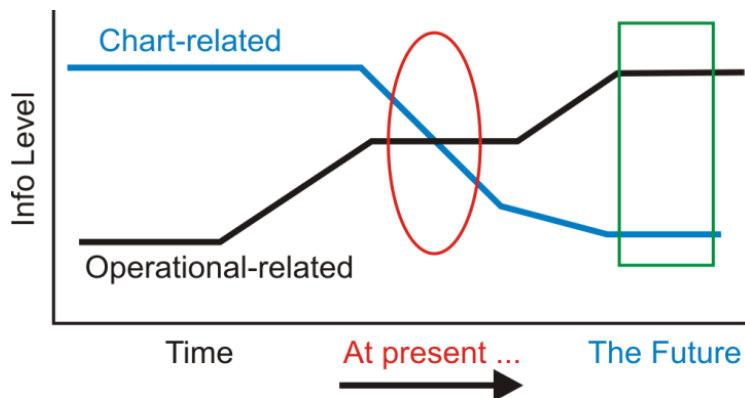


Рисунок 2.1 – Тенденція зміни співвідношення між кількістю картографічної та оперативної інформації [2] у координатах Info Level – кількість інформації, Time – час

однакові. Однак в майбутньому (The Future) прогнозується зростання оперативної інформації. Вводиться відображення батиметричної інформації, характеристик морських течій, припливів, тривимірне зображення морського дна і надводних об'єктів і ін. Випереджальне зростання оперативної інформації слід пояснити зростаючою здатністю подання інформації судноводій в зручній візуальній формі.

У проблеми інтеграції засобів навігації та радіозв'язку джерелами даних є різні навігаційні прилади (РЛС, АІС, приймач ГНСС та інші) і апаратура радіозв'язку (УКХ радіостанція з ЦВВ, приймач НАВТЕКС, СЗС ІНМАРСАТ і т.д.). Як впливає з визначення, інтеграція повинна забезпечити подання даних від різних джерел в новій формі, що дає цілісне і наочне уявлення про навколишнє навігаційної обстановці. Таким чином, мова йде про створення зручного для користувача інтерфейсу людина (судноводій) – машина (ІЛМ).

Методологія концепції е-навігації ставить на чільне місце запити реальних користувачів. Саме запити і сприйняття нової техніки користувачами – вахтовими офіцерами, а не доступні технологічні нововведення – є визначальними факторами в процесі розробки апаратури.

Виходячи з цього, при створенні користувацького інтерфейсу ІНС слід брати до уваги запити і реальні можливості користувачів.

Інтеграція систем навігації та зв'язку повинна здійснюватися в рамках діючих стандартів на підключення суднового устаткування. В даний час основним інтерфейсом для з'єднання суднових морських приладів навігації і радіозв'язку є інтерфейс NMEA-0183 (ІЕС 61162-1/2 за міжнародною класифікацією) [43, 81]. Новим перспективним стандартом для побудови локальних мереж морського застосування є стандарт ІЕС 61162-450 [44].

Однією з головних задач, що вирішується за допомогою інтегрування, є вдосконалення УКХ радіозв'язку з використанням ЦВВ. В результаті інтегрування досягається об'єднання даних АІС, яка відноситься до навігаційних засобів, і даних системи ЦВВ, що належить до системи радіозв'язку.

Як сказано вище, інтеграція даних забезпечує єдиний уніфікований інтерфейс користувача. Такий інтерфейс повинен відображати поточну навігаційну обстановку на основі інтеграції даних АІС і ЦВВ. Візуалізація навігаційної обстановки можлива на дисплеї ЕКНІС (що належить до ІНС) або дисплеї інтегрованої системи радіозв'язку (ІСР).

2.3. Об'єднання даних в системах навігації і радіозв'язку

Безпека судноплавства заснована на часі і наявності точної інформації, доступної судноводій для прийняття адекватних рішень з управління судном. Різні засоби навігації та радіозв'язку ходового містка судна подають інформацію про навколишнє оточення, яка повинна бути використана судноводієм найкращим чином для прийняття рішень з управління судном.

Процес сприйняття, обробки інформації та вироблення рішення проходить етапи Дані – Інформація – Розуміння [12, 48, 55]. Оскільки в кінцевому підсумку приймається єдине рішення про маневр, а джерел

інформації в будь-якому випадку більше одного, то весь процес від отримання вихідної інформації до вироблення рішення повинен містити об'єднанчі вузли.

Схема перетворення інформації в інтегрованій СНР в рамках парадигми об'єднання даних і управління судном представлена на рисунку 2.2.

Зв'язок судна як об'єкта управління з зовнішнім середовищем здійснюється за допомогою сенсорів і виконавчих пристроїв. Сенсори (або датчики) (sensor) в класичному розумінні перетворюють будь-яку фізичну величину в електричний сигнал. Виконавчі пристрої (actuator) навпаки перетворюють електричний сигнал, що управляє в фізичну величину. Загального класу датчиків і виконавчих пристроїв відповідає термін перетворювачі (transducer).

До судових сенсорам відносяться РЛС, приймач ГНСС, лаг,



Рисунок 2.2 – Перетворення інформації в системах навігації і радіозв'язку в рамках парадигми об'єднання даних і управління судном

гірокомпас, інші навігаційні датчики, а також системи радіозв'язку. Мікрофон і телефон слухавки УКВ радіостанції є перетворювачами фізичних величин, які здійснюють зв'язок із зовнішнім світом.

Візуальне і слухове спостереження безпосередньо вахтовим офіцером в даному випадку не розглядається, хоча воно гармонійно вписується в загальну схему теорії об'єднання даних.

Пристрій АІС є джерелом і постачальником навігаційної інформації. За радіоканалах АІС дані зовнішніх сенсорів на інших суднах передаються в широкомовному режимі в ефір і приймаються іншими судновими і береговими станціями в межах прямої видимості. Таким чином, судно-оператор має доступ до сенсорів суден-цілей практично в режимі реального часу (рисунк 2.2). Ці дані передаються в цифровій формі по каналах АІС.

Кожна АІС-ціль передає дані від своїх сенсорів. Радіоканал АІС, що використовує часове ущільнення даних, можна розглядати як вузол об'єднання даних. За рахунок надійної передачі даних судно-оператор фактично має доступ до зовнішніх сенсорів на інших суднах.

АІС є класичним прикладом вузла об'єднання показників датчиків багатьох суден-цілей. Об'єднання здійснюється тут на рівні сенсорів. Особливістю є те, що кожна ціль передає свій ідентифікатор (ІМРС) і набір даних (координати, курс, швидкість, інші параметри) судна-цілі. Природне обмеження дальності УКХ радіозв'язку прямою видимістю і алгоритм розподілу вільних слотів в режимі SOTDMA забезпечують прийом даних всіх транспондерів АІС в радіусі 20 – 30 миль, причому алгоритм SOTDMA побудований так, що в разі перевантаження каналів АІС перевагу для заняття слотів віддається більш близьким до судно-оператора цілям.

Одночасно судно-оператор автоматично передає по радіоканалах АІС свої навігаційні дані всім іншим суднам. Безпосередньо така передача не приводить до зміни будь-яких фізичних параметрів свого судна, однак

передані AIS дані точно так сприймаються AIS-приймачами суден-цілей і дають їм можливість для управління з метою забезпечення загальної безпеки.

Судновий пристрій AIS, що працює на передачу, слід віднести до ресурсів, що використовуються для забезпечення безпеки. Судна-цілі в найближчому оточенні використовують дані AIS для безпечної навігації на солідарній основі. В екстраординарних випадках, коли дані AIS можуть використовуватися вороже, наприклад, при загрозі піратського нападу, транспондер AIS може бути вимкнений або переведений в режим роботи тільки на прийом і грати роль тільки джерела даних від сенсорів інших суден.

В інтегрованій системі здійснюється об'єднання даних сенсорів ЦВВ і AIS на основі їх асоціації по збігається ідентифікатором. Оскільки пакет даних AIS кожного судна містить ІМРС, то за загальним значенням ідентифікатора дані AIS і ЦВВ можуть бути об'єднані. В результаті такого об'єднання стандартний набір параметрів AIS-цілі доповнюється параметрами виклику. При відображенні інформації на графічному дисплеї ЕКНІС (або іншому інформаційному дисплеї) AIS-ціль в разі надсилання нею виклику на 70-му каналі ЦВВ супроводжується миготливою відміткою. На рисунку 2.3 об'єднання даних ЦВВ (DSC) показано у верхньому шарі.

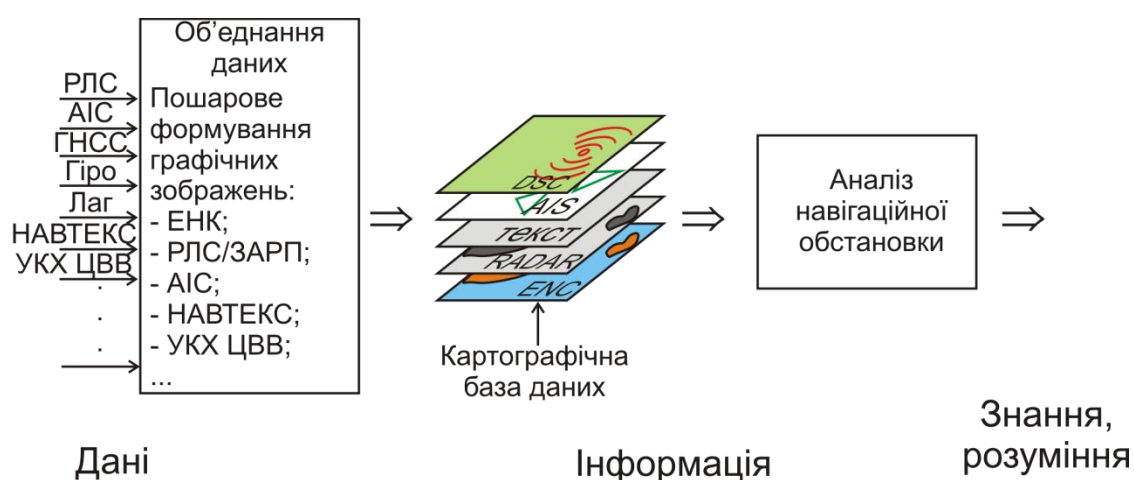


Рисунок 2.3 – Пошарове об'єднання даних в ЕКНІС

Вахтовому офіцеру вже немає необхідності оперувати з абстрактними цифровими даними двох систем – АІС і ЦВВ. Він уже має цільну інформацію, готову для сприйняття навігаційної ситуації і вироблення рішення по управлінню судном. Об'єднання даних здійснюється на основі загального ІМРС викликає судна, який в обов'язковому порядку передається як в АІС, так і в ЦВВ. За збігається ідентифікаторів в системах АІС і ЦВВ дані з обох систем об'єднуються. В результаті набір станів судна (координати, швидкість, курс та ін.), Отриманий по каналах АІС, доповнюється ознакою виклику і його атрибутами (пріоритет, індивідуальний/всім суднам, робочий канал) з системи ЦВВ. Те ж саме відноситься і до виклику підтвердження, наприклад, при викликах судно-судно. При отриманні миготливої позначки підтвердження виклику оператор може здійснювати радіотелефонний обмін.

Вахтовий приймач ЦВВ 70-го каналу УКХ є сенсором запиту радіотелефонній передачі від будь-якого судна в межах дії УКХ радіозв'язку. До складу сигналу входить ідентифікатор судна і номер робочого каналу (або координати при виклику берегової станції). Одночасна передача номера робочого каналу і координат не передбачена форматом ЦВВ. Причому відповідно до правил радіозв'язку при виклику судно-судно має вказувати саме номер робочого каналу. Для уявлення навігаційної ситуації судноводій повинен знати положення судна що викликає. З метою отримання цієї інформації судноводії, як правило, використовують показання іншого сенсора – АІС [41]. Однак всі операції при встановленні радіозв'язку виконуються судноводієм в ручному режимі. На всі ці дії витрачається певний час і, найголовніше, відбувається відволікання судноводія від спостереження навколишнього оточення, що вже саме по собі неприпустимо МПЗЗС.

На наступному рівні відбувається об'єднання інформації від інших джерел (РЛС/ЗАРП, візуальне спостереження і ін.), що відбувається вже в

свідомості вахтового офіцера і веде до прийняття належного рішення. Таким чином, процес об'єднання даних може бути представлений деревом, що сходиться, з початковими вузлами у вигляді сенсорів і вершиною - прийняття рішення як пояснюється у наступному підрозділі.

2.4. Дуалізм процесів об'єднання даних і управління судном

Навігація як переміщення судна заснована на: 1) оцінці навколишнього оточення і 2) управлінні судном для досягнення безпечного переходу. Оцінка навколишнього оточення включає в себе отримання даних різними сенсорами, їх обробку, зіставлення і представлення у вигляді зручному для сприйняття людиною. Остаточне судження про поточну обстановку складається в голові вахтового офіцера або виробляється колективно на основі індивідуальних думок. Так чи інакше оцінка навколишнього оточення знаходиться в парадигмі теорії об'єднання даних.

Отримання даних від різних навігаційних сенсорів, їх обробка та подання до найбільш зручному для судноводія вигляді важливі не самі по собі, а для реалізації процесу безпечного і ефективного управління судном. Процеси об'єднання даних та управління ресурсами подвійні за своєю природою [48]. Стосовно до СНР дуалізм (подвійність) понять і процесів концепцій об'єднання даних і управління судном визначено на деяких прикладах функціонування судових систем навігації та зв'язку.

Реакція судноводія на появу тих чи інших обставин виражається в прийнятті адекватних з точки зору ефективного і безпечного плавання дій з управління судном через відповідні виконавчі пристрої (актуатори). Управління судном може бути представлено в термінах теорії управління ресурсами.

Між цими двома процесами – об'єднання даних і управління ресурсами судна – існує дуалізм понять. Дуалізм процесів об'єднання даних і

управління ресурсами в морській навігації і радіозв'язку відображений у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Дуалізм процесів в морській навігації і радіозв'язку

Об'єднання даних	Управління ресурсами судна
Сенсори / Джерела інформації: РЛС, АІС (прийом), гірокомпас, лаг, УКХ (прийом), приймач НАВТЕКС, візуальне і слухове спостереження	Ресурси: виконавчі пристрої (пропульсивна установка, рульовий пристрій), АІС (передача), УКХ (передача), звукова сигналізація, навігаційні вогні
Об'єднання інформації, отриманої з різних незалежних джерел, наприклад, зіставлення зображень РЛС/ ЗАРП, АІС, даних візуального спостереження, УКХ радіозв'язку на прийом	Розбиття загальної задачі по управлінню судном на ряд дій, необхідних для досягнення поставленої мети, виходячи з наявних ресурсів, наприклад, зміна курсу, швидкості судна-оператора, передачі інформації по УКХ радіозв'язку
Процеси описуються деревом, що сходиться, від сенсорів/джерел до оператора для оцінки ситуації та прийняття рішення	Процеси описуються розходящимся деревом від оператора до виконавчих пристроїв і передавачів даних (сигналів)

Процеси об'єднання даних і управління судном в загальному вигляді представляються деревами, що сходяться і розходяться відповідно (рисунок 2.4). Для об'єднання даних входами є дані від незалежних сенсорів. Вихідні дані від сенсорів є абстрактним для користувача потоком символів.

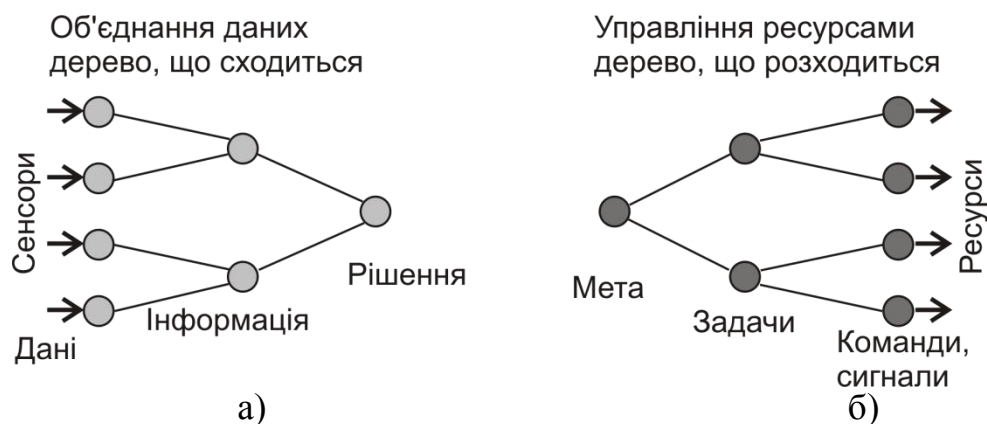


Рисунок 2.4 – Дуалізм процесів об'єднання даних (а) і управління ресурсами (б)

Після об'єднання даних у вузлі «сирі» дані в асоційоване поданні, наприклад, на графічному дисплеї вже більш придатні для сприйняття користувачем.

На рисунку 2.4 для спрощення вузли об'єднання даних пов'язують два джерела. Насправді є більше число джерел, а структура дерева не є регулярною. Наприклад, одним типовим вузлом об'єднання даних є дисплей ЕКНІС, іншим – дисплей РЛС/ЗАРП, третім – візуальне спостереження і вимірювання секстаном безпосередньо вахтовим офіцером. Вершиною дерева є рішення судноводія на підставі аналізу (об'єднання) інформації, отриманої від попередніх вузлів.

Методологія об'єднання даних від різних навігаційних датчиків проілюстрована на рисунку 2.5. Після кожного вузла формується нова інформація про цілі (навігаційну ситуацію), причому ця інформація набуває якісно нових ознак. Інтегрування системи радіозв'язку ЦВВ в загальну схему дозволяє доповнити уявлення про поточну навігаційної обстановці і отримати нові якості як в плані аналізу навколишнього оточення, так і в плані управління ресурсами судна і прийняття рішень.

Процес управління судном представляється деревом що розходиться з початковим вузлом, відповідає меті дії, маневру та кінцевими вузлами, які

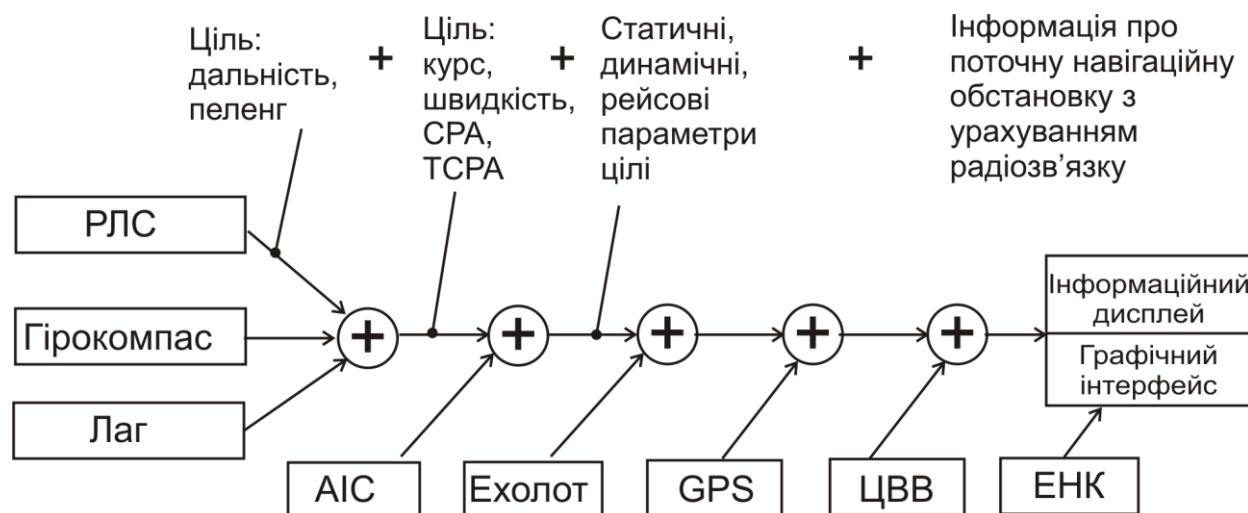


Рисунок 2.5 – Об'єднання даних навігаційних сенсорів і систем радіозв'язку

представляють доступні ресурси (управління курсом, швидкістю судна, АІС на передачу, радіозв'язок). При реалізації конкретного завдання судноводій повинен вжити ряд дій, дати відповідні команди управління пропульсивною установкою, рульової машиною, сигналами і в тому числі радіозв'язком. Дані про навігаційний стан судна (координати, курс, швидкість і ін.) автоматично передаються по каналах радіозв'язку АІС. Втручання оператора тут не потрібно, крім рішення капітана про вимикання АІС в разі потреби. Дані АІС від судна-оператора необхідні судам-цілям в найближчому оточенні для прийняття адекватних дій з метою безпечного розходження, а також для забезпечення ідентифікації судна-оператора в разі необхідності встановлення з ним УКХ радіозв'язку.

Для встановлення радіозв'язку з потрібним судном-ціллю, наприклад, з метою узгодження або підтвердження намірів щодо виконання маневру, перш за все, необхідно зробити виклик в системі ЦВВ (70-й канал УКХ). В інтегрованій системі немає необхідності визначати ІМРС необхідного судна і вводити його вручну з панелі управління контролером ЦВВ. Досить, маючи загальне уявлення про навігаційної обстановці на екрані ЕКНІС (або інтегрованої системи радіозв'язку), вибрати АІС позначку потрібного судна і дати команду на автоматичне формування виклику.

В контексті методології управління ресурсами вузол встановлення радіозв'язку на дереві що розходиться має і три виходи:

- АІС (автоматична передача даних, в тому числі ІМРС, які будуть використані на судні-цілі при аналізі ситуації і підтвердження виклику);
- ЦВВ (формування і передача виклику судну-цілі або всім суднам, вибір оператором робочого каналу і передача його номера в складі ЦВВ);
- радіотелефонія, голосовий зв'язок (передача голосового повідомлення щодо планованого маневру).

Слід звернути увагу, що відхід судноводієм від використання ЦВВ при встановленні радіозв'язку і заміна його голосовим викликом на 16-му каналі

звужує область доступних оператору ресурсів. Замість трьох потенційно можливих ресурсів, як зазначено вище, він використовує тільки один ресурс - голосовий зв'язок, що в цілому призводить до неточностей взаємної ідентифікації і затримки власне інформаційного обміну по радіотелефону.

2.5. Інтегрована система УКХ/ЦВВ – АІС як система реального часу

Система реального часу (СРЧ) - це система, яка повинна реагувати на події в зовнішньому по відношенню до цієї системи середовищі або впливати на середовище в рамках заданих часових обмежень [62]. Працездатність СРЧ визначається не тільки правильністю її функціонування, але і часом, за яке необхідно виконати необхідні операції.

Така властивість узгодженого за часом реагування на зовнішні події характерно, як правило, для операційних систем комп'ютерів, систем управління технологічними процесами, робототехніки, бортових мікроконтролерів самого різного призначення.

Комплекс навігаційних засобів і устаткування радіозв'язку ходового містка судна, включаючи його головний процесорний блок, в якості якого виступає вахтовий офіцер, може розглядатися в контексті загальних понять СРЧ.

Ходовий місток судна є типовою системою реального часу, так як прийняття рішень вахтовим помічником у відповідь на мінливу навігаційну обстановку повинні бути не тільки логічно вірними, а й укладатися в масштаб часу подій. У такій системі важливо час отримання результату, наприклад, своєчасність виконання маневру судном. Обробка інформації, що надходить від різних навігаційних датчиків і засобів радіозв'язку повинна проводитися за цілком певний кінцевий від-різкий часу, щоб забезпечити постійне і своєчасне взаємодія із середовищем – безпечне і оптимальне управління судном.

Цілком очевидно, що швидкодія СРЧ має бути тим більше, чим більше швидкість протікання процесів у зовнішньому середовищі. Для оцінки прийняттого часу реакції системи навігації та радіозв'язку ходового містка судна, включаючи людину, слід виходити з умов управління судном в екстремальних умовах.

У розглянутій проблемі для оцінки часу, потрібного для встановлення радіозв'язку, слід скористатися Рекомендацією Міжнародного Союзу Електрозв'язку [106] щодо допустимої затримки підтвердження викликів лиха береговою станцією. У цій рекомендації встановлено, що берегова станція повинна підтверджувати виклик лиха в системі ЦВВ в УКХ/ПХ діапазонах протягом 1 хвилини при максимальній затримці $2 \frac{3}{4}$ хвилини. Практично ж підтвердження викликів лиха робиться береговими станціями в УКХ діапазоні протягом декількох секунд.

Виходячи з цих даних, можна вважати, що час реакції СРЧ становить 1 – 2 хвилини. При цьому треба враховувати, що велика частина цього часу витрачається на прийняття рішення вахтовим офіцером по безпечному маневруванню. Якщо необхідно використання радіозв'язку в екстреній ситуації, то витрати часу на гарантований адресний радіообмін повинні бути значно менше.

У складній навігаційній обстановці коли вахтовий офіцер при аналізі навігаційної обстановки йде на залучення УКХ радіозв'язку для вирішення навігаційного завдання неприпустимі затримки з встановленням адресному радіозв'язку з необхідним судном. Тут ще раз слід підкреслити, УКХ зв'язок використовується не для узгодження маневру, що суперечить МПЗЗС, а як один з факторів навігаційної безпеки відповідно до Правила 5: «Кожне судно повинно постійно вести належне візуальне і слухове спостереження, так само як і спостереження за допомогою всіх наявних засобів, стосовно переважаючих обставин і умов, з тим щоб повністю оцінити ситуацію і небезпеку зіткнення». Терміни «візуальне» і «слухове» тут слід відносити

також і до спостереження за показаннями і сигналізацією приладів радіозв'язку на містку. Вказівка на обов'язковість «спостереження за допомогою всіх наявних засобів» явно вказує на необхідність використання мовних переговорів по УКХ радіозв'язку «стосовно переважаючих обставин і умов».

Таким чином, комплекс бортових засобів навігації та радіозв'язку під керуванням вахтового офіцера судна за всіма ознаками відноситься до класу СРЧ. Швидкодія такої системи повинно бути адекватно швидкості протікання процесів у зовнішньому середовищі зміни навігаційної обстановки при найрізноманітніших сценаріях. Аналогічні судження можуть бути зроблені по відношенню до берегових центрів СУРС і МРКЦ, а також об'єктів внутрішнього судноплавства, які беруть участь в РІС.

СРЧ характеризується часом відгуку (або часом затримки) - латентністю (англ. Latency) - на зовнішні події. Загальна латентність в кількісному вираженні в хвилинах включає в себе час оцінки поточної навігаційної обстановки на підставі показань всіляких датчиків і час на прийняття навігаційного рішення вахтовим офіцером.

УКХ радіозв'язок є важливим елементом в загальній системі управління судном. Апаратуру радіозв'язку можна розглядати як датчики інформації, що надходить із зовнішнього середовища. Зовнішня інформація при цьому надходить як по каналу 70 ЦВВ, так і по робочому радіотелефоні каналу, наприклад каналу 16, у вигляді мовних повідомлень інших станцій.

Для отримання достовірної інформації від такого датчика голосового повідомлення необхідно оперативне і адресне встановлення радіотелефонного каналу з потрібним судном. Звідси стає зрозумілою важливість технічної реалізації ефективної та оперативної УКХ радіозв'язку як датчика потрібної інформації. Затримка в отриманні такої інформації, так само як її відсутність, тягне за собою порушення правильності

функціонування СРЧ – в нашому випадку – знижує навігаційну безпеку, аж до виникнення аварій.

Система ЦВВ (в розумінні системи в суто технічному сенсі) в її первісному втіленні розроблялася як система радіозв'язку, керована людиною – вахтовим офіцером судна або оператором берегової станції. Для оцінки функціональності і ефективності системи ЦВВ необхідно брати до уваги не тільки і не стільки її чисто технічні характеристики такі як швидкість передачі даних, частоти, потужність і т.п., але характеристики, які проявляються у взаємодії її з людиною-оператором в конкретному використанні на ходовому містку судна або берегової станції. Функціонування ергатичній системи ЦВВ – оператор багато в чому визначається впливом саме людського фактора. Без урахування впливу людського фактора взагалі не має сенсу оцінка техніко-експлуатаційних характеристик системи в цілому.

ЦВВ в реальних умовах експлуатації з участю людини є типовим прикладом системи реального часу [52, 65]. До СРЧ по визначенню відносять системи, які повинні реагувати на події в зовнішньому по відношенню до системи середовищі або взаємодіяти із зовнішнім середовищем в рамках необхідних тимчасових обмежень. Існує визначення СРЧ (Оксфордський словник англійської мови) як системи, для якої важливий час отримання результату. Важливо не тільки те, що обробка інформації СРЧ повинна проводитися за деякий кінцевий період часу, щоб підтримувати постійне і своєчасне взаємодія з зовнішнім середовищем. Масштаб часу СРЧ і зовнішнього середовища при цьому повинен збігатися.

Для правильного функціонування системи ЦВВ – оператор, що забезпечує навігаційну безпеку, час відгуку або реакції системи на зовнішній вплив обмежена можливостями безпечного маневрування судна і може вимірюватися кількома хвилинами.

Інший важливий фактор, який слід брати до уваги для дотримання безпеки, це відволікання вахтового офіцера від спостереження за навколишнім оточенням на організацію і проведення УКХ радіозв'язку [177, 80]. Виконання ручних операцій з апаратурою ЦВВ в будь-якому випадку переводить його увагу і погляд на панель управління контролером ЦВВ і міні-дисплей транспондера AIS для визначення ІМРС судна що викликається (або викликає).

Цифровий вибірковий виклик є однією з основних підсистем радіозв'язку в ГМЗЛБ. Відповідно до вимог Рекомендації МСЕ ITU-R M.493 "Digital Selective Calling System for Use in the Maritime Mobile Service" всім радіотелефонних передачам з будь-яким пріоритетом важливості (лихо, терміновість, безпека, звичайний) повинен передувати цифровий виклик. Проте, процедури радіозв'язку з використанням ЦВВ постійно порушуються як у випадку лиха, так при зв'язку з іншими пріоритетами. Зокрема, в УКХ діапазоні для викликів зі звичайним пріоритетом використовується канал 16, як це було передбачено в старій системі без використання ЦВВ.

Інтерфейс існуючої апаратури УКХ радіозв'язку орієнтований на введення цифрової та символної інформації через кнопочову панель приладу. Такий спосіб вимагає невиправдано великих витрат часу і зусиль оператора, пов'язаний з помилками і тому викликає неприйняття у користувачів. Подібний тип інтерфейсу відволікає судноводія від вирішення завдань, пов'язаних з безпечним управлінням судна.

По суті, судноводій, працюючи зі штатною апаратурою УКВ ЦВВ, оперує інформацією в формі набору абстрактних від реальної ситуації даних (наприклад, вводячи ІМРС викликається судна). Дані являють собою набір символів. І тільки після відповідної інтерпретації та асоціації з даними інших систем вони набувають форму інформації про конкретну навігаційної обстановці. У діючій в даний час системі ЦВВ ця інтерпретація здійснюється

людиною на основі зіставлення даних від різних навігаційних джерел інформації і засобів зв'язку, що ілюструється рисунком 2.5 а).

В існуючій системі радіозв'язку вахтовий офіцер для встановлення радіозв'язку з будь-яким судном повинен спочатку сформувати цифровий виклик вручну на контролері ЦВВ. Для цього він повинен набрати на апаратурі ЦВВ як мінімум 9-ти значний ІМРС викликається судна і номер робочого каналу для подальшої голосового зв'язку. ІМРС викликається судна

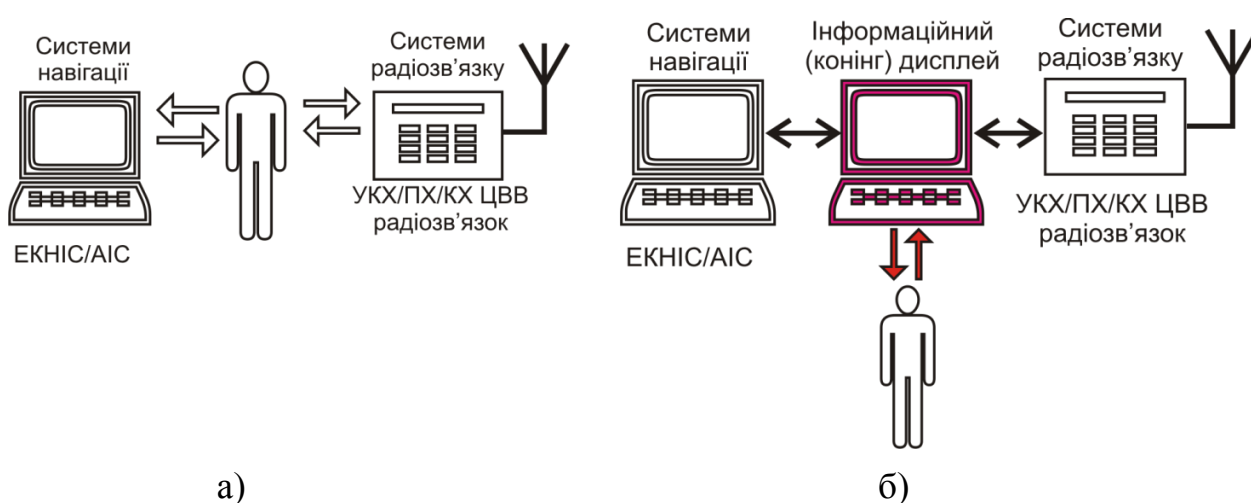


Рисунок 2.5 – Взаємодія людини з засобами навігації і радіозв'язку:
а) в діючій системі; б) в інтегрованій системі

вахтовий офіцер визначає, як правило, за інформацією АІС. В цілому вся процедура формування виклику в існуючій системі практично включає в себе три операції, кожна з яких вимагає певний час:

- 1) T_1 – час визначення ІМРС судна, що має бути викликаний;
- 2) T_2 – час перенесення ІМРС з електронної карти (або АІС) для набору на контролері ЦВВ;
- 3) T_3 – час ручного формування виклику, включаючи введення ІМРС, номера робочого каналу, інших даних на контролері ЦВВ.

Сумарний час, що витрачається на формування ЦВВ при використанні існуючої ЕКНІС, становить:

$$T_{\text{ЦВВ}} = T_1 + T_2 + T_3 .$$

Таким чином, весь процес формування виклику навіть при найбільш раціональних і безпомилкових діях займає близько декількох хвилин. Слід брати до уваги ризик «людського фактора», пов'язаного з помилками, особливо в критичних ситуаціях.

В інтегрованій системі взаємодія людини-оператора з апаратурою змінюється кардинальним чином. Людина не повинна оперувати з абстрактними даними і виконувати чисельні ручні операції, а спирається на цілісну інформацію, що відображає поточну навігаційну ситуацію в концентрованому поданні всіх супутніх чинників, що мають відношення до безпечної навігації (рисунок 2.5 б).

Для реалізації поставленої мети необхідна модернізація ЕКНІС. Роль ЕКНІС для безпечного судноплавства незаперечна, проте, її потенціал в цьому напрямі далеко не вичерпаний. Функціональні можливості сучасної ЕКНІС забезпечуються взаємодією окремих судових навігаційних систем: ГНСС (GPS, ГЛОНАСС), РЛС/ЗАРП, АІС, інших навігаційних датчиків. Інтегрування різних систем дозволяє оптимізувати управління судном, усунути можливі промахи і невірні рішення судноводія.

Розвиток концепції інтегрованого навігаційного містка дозволяє управляти судном з одного робочого місця оператора ЕКНІС.

Об'єднання на базі ЕКНІС різних навігаційних приладів послідовно проявило системні якості емерджентності і синергізм. Наступним кроком після інтеграції ЕКНІС-АІС є підключення системи УКХ радіозв'язку. Така інтеграція дозволяє реалізувати радіозв'язок на принципово новому рівні, використовуючи інтуїтивно зрозумілі для користувача процедури комп'ютерних технологій. В якості аналогії можна привести технології, використовувані в сучасних смартфонах. Сенсорний екран дозволяє в максимальному ступені зробити інтерфейс, управління смартфоном в максимальному ступені дружнім. До подібних технологій відносяться:

графічне представлення об'єктів, прокрутка, перегортання, переміщення об'єктів, збільшення/зменшення, вибір об'єктів, голосове введення і ін. Користувач практично позбавлений рутинних процедур цифрового введення номера абонента.

Повсюдне використання смартфонів на побутовому рівні вже підготувало судноводія до сприйняття аналогічних процедур у професійній діяльності. Тому оператору-судноводій важко зрозуміти, чому він повинен виробляти комплекс складних процедур з вибором частот, каналів, введенням цифр і т.п. як цього вимагає штатна апаратура замість того, щоб вказати ручним маніпулятором то судно, з яким потрібно встановити радіозв'язок.

В існуючій конфігурації окремої експлуатації ЕКНІС і УКХ апаратури сполучною ланкою між ними є людина. При цьому потрібно багато додаткових дій і часу для встановлення зв'язку з тим чи іншим судном на основі аналізу поточної навігаційної обстановки, що сповільнює прийняття правильних рішень з управління судном. Наприклад, в ситуаціях, коли судно намагається здійснити якийсь маневр і поруч знаходиться судно, яке створює перешкоду для маневру, судноводії зазвичай нехтують ЦВВ процедурами і безпосередньо знімають трубку для передачі на каналі 16. Таке нехтування ЦВВ не прискорює надійну і адресну УКХ зв'язок тому, що багато часу може знадобитися для голосового з'ясування судна, що власне викликається (або викликає) серед інших суден.

Судно, що викликає, повинно пояснити радіотелефоном до якого судну воно звертається і це саме викликане судно повинно швидко зрозуміти, що це звернення дійсно адресовано до нього. Як зазначено в документі COMSAR 8/4/1 «інколи необхідно викликати невідоме судно, звертаючись до нього, наприклад, як «The vessel next to ... buoy, this is ..., what are your intentions?» і «будь-якій ЦВВ, навіть простий, вимагає часу більшого, ніж підняття трубки і здійснення виклику по радіотелефону» [22].

Пропонована інтеграція цілком лежить в площині сучасної орієнтовної на людину технології (Human-Centred Design) [34] – стратегії проектування і розвитку систем, яка націлена на створення інтерактивних систем в найбільшій мірою відповідають потребам користувачів з урахуванням впливу людського фактора, ергономіки, зручності використання знань і технологій.

2.6. Роль і місце наземного радіозв'язку з ЦВВ

Запровадження в морському радіозв'язку ЦВВ дозволило зняти слухову вахту на частоті ПХ діапазону 2182 кГц. В УКХ діапазоні слухова вахта на каналі 16 строго кажучи не є обов'язковою, а є правилом хорошого морської практики. Щодо слуховий вахти на каналі 16 УКХ слід сказати, що відповідно до Конвенції СОЛАС [124], гл. IV, правило 12, а також Регламентом Радіозв'язку [202] (ITU, RR 38-16) стверджується, що «... на кожному судні, що знаходиться в морі, має вестися, коли це практично можливо (where practicable), безперервне слухове спостереження на каналі 16 УКХ».

Термін "where practicable" в оригінальних документах SOLAS і Регламенту Радіозв'язку вказує на необов'язковість слуховий вахти на каналі 16. Наприклад, в зоні управління берегової СУРС і порту судноводій повинен чергувати на каналі, встановленим береговою станцією.

Дане положення підкреслює важливість системи ЦВВ в організації УКХ радіозв'язку судно-судно, оскільки пропадає можливість голосового виклику на каналі 16, що часто використовується на практиці.

Слід зазначити, що з введенням ГМЗЛБ в 1999 році планувалося взагалі зняти слухову вахту на каналі 16, як це було зроблено стосовно частоти 2182 кГц в ПХ діапазоні. Однак слухова вахта на частоті 16-го каналу УКХ (156,8 кГц) збережена в тому вигляді як це зазначено в документах СОЛАС і РР в

основному з міркувань забезпечення УКХ радіозв'язку з малими суднами, які не підпадають під вимоги ГМЗЛБ і тому не мають на борту апаратури ЦВВ [202] (див. Резолюцію 331, п. f) МСЕ). В іншому випадку неконвенційні судна випали б з мережі УКХ радіотелефонного зв'язку. Слухова вахта на каналі 16 є прикладом гарної морської практики, хоча обов'язковість такої вахти в міжнародних документах обмежується словосполученням «where practicable».

У той же час вимоги Федеральної комісії з радіозв'язку США однозначно вимагають обов'язкового чергування на каналі 16 в американських водах.

Чергування на каналі 70 ЦВВ у всіх випадках є однозначно обов'язковим.

Таким чином, процедура радіозв'язку в ГМЗЛБ включає дві фази: спочатку цифровий виклик/підтвердження на 70-му каналі, а потім - радіотелефонний обмін на домовленому робочому каналі.

Технічно такий протокол встановлення зв'язку присутній і у всіх інших системах радіозв'язку, включаючи супутникові, мобільні (стільникові) системи зв'язку. Однак в цих системах виклик і призначення робочих каналів здійснюються автоматично і тому користувач вільний виконання окремих процедур виклику і встановлення власне зв'язку на робочому каналі. У морському ж радіозв'язку ці дві фази залишені для роздільного виконання оператором, причому в ручному режимі.

Судноводій, не будучи професійним радистом, повинен добре уявляти собі відмінність між викличними і робочими каналами. Складність і трудомісткість управління контролером ЦВВ в ручному режимі створює додаткові труднощі при встановленні радіозв'язку. Даний недолік відзначений в численних публікаціях і офіційних документах, наприклад, [10, 20, 22, 67, 72, 74, 76, 78]. Тим більше, що морський радіозв'язок в його нинішньому поданні разюче відрізняється від звичних процедур

повсякденному мобільного зв'язку на березі і більш простішому супутниковому зв'язку.

ЦВВ, по суті, замінив першу фазу радіозв'язку - голосовий виклик - на цифровий виклик, який здійснюється за допомогою спеціальної апаратури для формування і обробки прийнятих сигналів виклику від інших суден. Це дозволило прибрати слухову вахту на частоті лиха в ПХ діапазоні і забезпечити автоматичний прийом і реєстрацію всіх викликів, чого не було в старій системі радіотелефонії.

Значення УКХ радіозв'язку підкреслюється в складних навігаційних ситуаціях маневрування суден. При цьому не слід розглядати УКХ радіозв'язок як засіб для взаємною домовленістю суден про вчинення маневру розбіжності в обхід вимог МПЗЗС-72 [186]. Дійсно, МПЗЗС-72 забороняють домовленості про виконання маневрування, що суперечить вимогам Правил, використовую при цьому УКХ зв'язок. Однак Правило 5 щодо спостереження встановлює, що «Кожне судно повинно постійно вести належне візуальне і слухове спостереження, так само як і спостереження за допомогою всіх наявних засобів, стосовно переважаючих обставин і умов, з тим, щоб повністю оцінити ситуацію і небезпеку зіткнення». В узагальненні «за допомогою всіх наявних засобів», безсумнівно, входить і УКХ радіозв'язок.

Також в МПЗЗС-72, Правило 8 а) сказано, що «Будь-яка дія, що застосовується для попередження зіткнення, якщо дозволяють обставини, повинна бути впевненою, своєчасною і відповідати хорошій морській практиці».

У складній ситуації необхідні скоординовані дії для виконання безпечного маневру. При цьому зовсім не передбачається змову про взаємне порушення Правил, а залучення уваги, уточнення намірів, кількісних характеристик руху та інші фактори. Найбільш дієвим способом тут є УКХ радіозв'язок, якій зазвичай використовується на практиці для забезпечення

безпечного маневрування [186]. Від його оперативності, надійності взаємного адекватного розуміння сторін-учасниць про навігаційну обстановку безпосередньо залежить безпека виконання маневру.

Слід звернути увагу, що взаємодія людина-машина в навігаційній системі вже реалізована через інформаційний дисплей ЕКНІС. В той же час взаємодія з обладнанням зв'язку на разі здійснюється за допомогою ручних кнопкових маніпуляцій через власну передню панель трансиверу (рисунок 2.6). По аналогії з ЕКНІС інтерфейс людина-машина для радіозв'язку має бути побудований аналогічним чином – через графічний дисплей інформаційного дисплею, як це показано на рисунку 2.6 б) Communication.

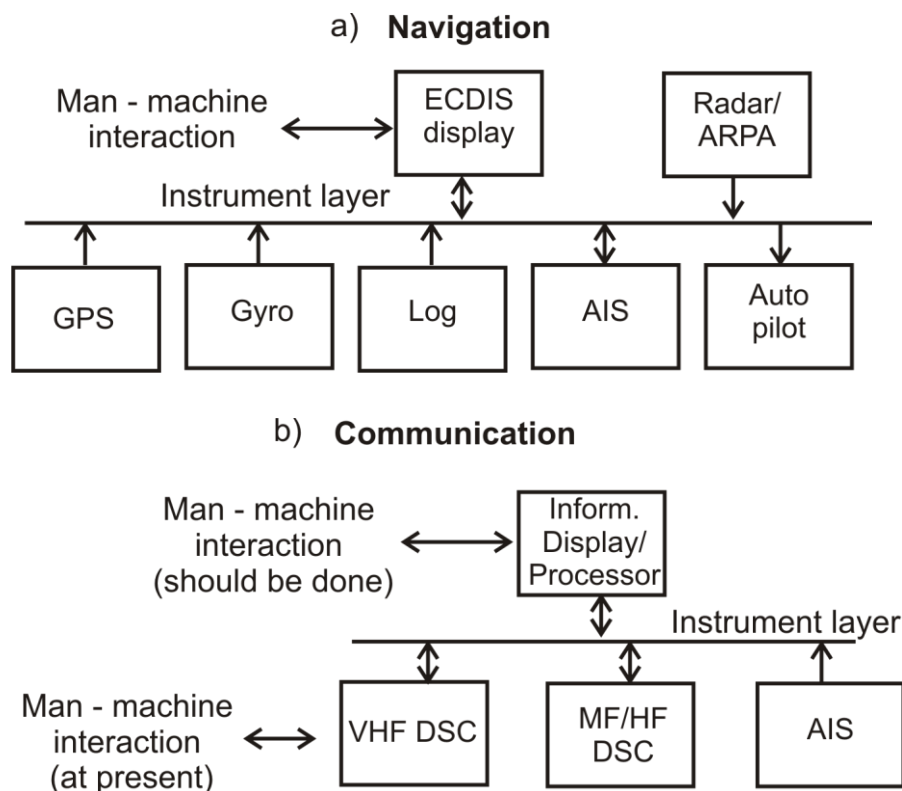


Рисунок 2.6 – Порівняльний аналіз взаємодії людина – машина (Man – machine interaction) у системі навігації а) Navigation і радіозв'язку б) Communication

2.7. Інтерфейс УКХ/ЦВВ на основі ЕКНІС

Перший варіант інтеграції для реалізації ефективного інтерфейсу УКХ/ЦВВ радіозв'язку розроблений з використанням дисплея ЕКНІС в якості графічного інтерфейсу.

ЕКНІС в даний час є центральним навігаційним засобом морського судна, що об'єднує електронну картографію і дані від численних датчиків на одному презентаційному екрані. Схема ЕКНІС з обов'язковими підключеннями джерел інформації і додатковими підключеннями представлена на рисунку 2.7. Обов'язковими датчиками навігаційної інформації є: приймач ГНСС (GPS), лаг і ехолот. Додатково можуть бути



Рисунок 2.7 – Обов'язкові та додаткові (опціональні) підключення приладів до ЕКНІС

підключені наступні пристрої: РЛС для відображення шару радарного зображення поверх електронної картографії, АІС, ехолот, реєстратор даних рейсу. Зазначені прилади не обмежують можливість для підключень і інших приладів. Необхідно тільки, щоб такі підключення не погіршували працездатність ні ЕКНІС, ні пристроїв, що підключаються [107]. При необхідності інформація від інших джерел повинна забиратися з дисплея ЕКНІС одним перемиканням.

Основним завданням вдосконалення УКХ радіозв'язку з використанням ЦВВ є радикальне вирішення проблеми за рахунок таких технічних вдосконалень, які б дозволили докорінно змінити роль людини-оператора в радіозв'язку, а саме:

- 1) звести процес встановлення радіозв'язку з використанням ЦВВ на судні, яке робить виклик до практично еквівалентної за часом і кількістю операцій процедури зняття радіотелефонного трубки і
- 2) реалізувати можливість миттєвого реагування вахтовим офіцером судна, яке прийняло виклик, шляхом виділення викликає судна на електронній карті з числа інших відображених відмітками АІС суден. Ця можливість важлива для оперативного реагування вахтовим офіцером судна в складній навігаційної обстановці і прийняття правильного рішення по управлінню судном.

Рішення першої з зазначених завдань може бути отримано в рамках чинного судового устаткування радіозв'язку УКХ ЦВВ і навігації в складі автоматичної ідентифікаційної системи та електронної картографічної навігаційної інформаційної системи шляхом інтеграції систем радіозв'язку і навігації за допомогою двонаправленого інтерфейсу (рисунок 2.8) [192]. При цьому зберігаються всі базові функції інтегрованих систем.

В даний час АІС є обов'язковим для всіх морських суден. ЕКНІС поетапно впроваджується і набуде статусу обов'язкової системи з середини 2018 року. Система АІС дозволяє обмінюватися даними, які включають, зокрема, ідентифікаційний номер (ММСІ) і координати судна. ЕКНІС, до якої підключена АІС, дає можливість відображати на навігаційному дисплеї суду у вигляді АІС-цілей в радіусі дії УКХ радіозв'язку, тобто приблизно 30 морських миль на фоні ЕНК.

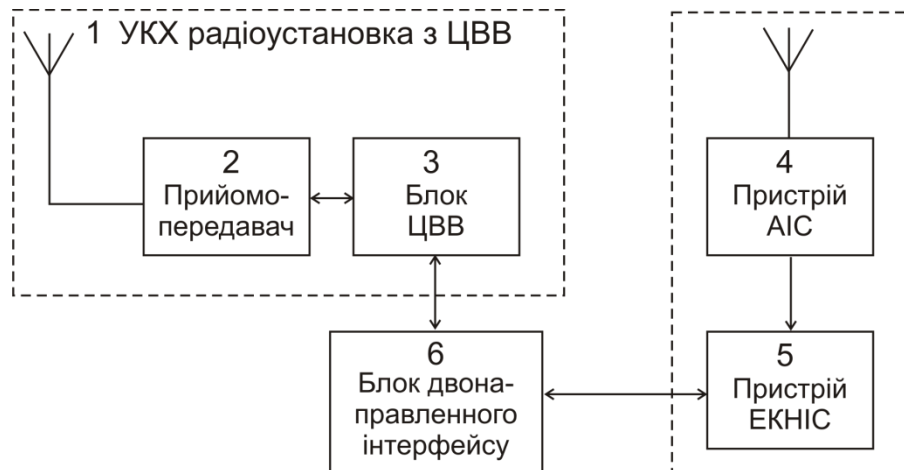


Рисунок 2.8 – Схема інтегрування УКХ радіоустановки і ЕКНІС з використанням блоку двонаправленого інтерфейсу

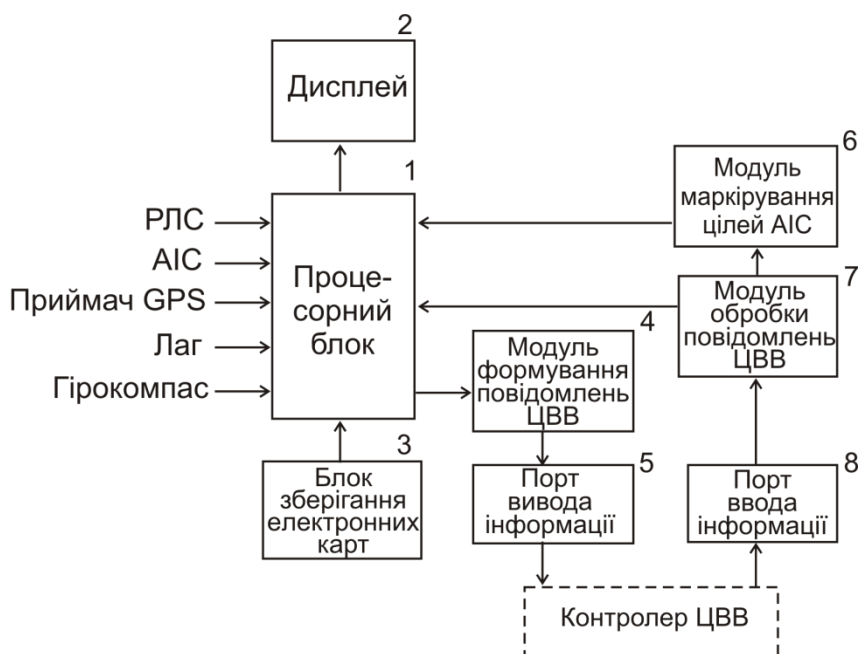
З'єднання апаратури УКХ ЦВВ з системою АІС-ЕКНІС дозволяє:

- 1) практично виключити ручну процедуру формування формату ЦВВ і звести процес передачі ЦВВ до «кліку» на дисплеї ручним маніпулятором (трекболом) по АІС-позначці судна, що викликається.
- 2) забезпечити автоматичну прив'язку судна, що викликається/викликає до навігаційної обстановки і спеціальне маркування викликає судна на електронній карті. Судно, яке викликає, може відображатися на дисплеї будь-якої міготною відміткою і дозволяє вахтовому офіцеру швидко оцінити навігаційну обстановку і прийняти ефективне рішення. Однозначність ідентифікації судна забезпечується наявністю судового ідентифікатора (MMSI) як в кожному ЦВВ, так і в системі АІС.

При ручній процедурі формування викликів оператор повинен, як це передбачено в існуючій системі, наприклад, при індивідуальному виклику судна (або берегової станції) ввести, як мінімум, 9-ти значний цифровий ідентифікатор, номер робочого каналу (або підтвердити/ввести координати судна). Для цього потрібно приблизно 20 натискань на клавіатурі контролера ЦВВ. При наборі складних викликів потрібно ще більше число натискань клавіш. У пропонованому способі формування та передачі виклику

здійснюється практично однією дією маніпулятора – трекболу. При цьому ряд параметрів, наприклад, номер робочого каналу, можуть бути встановлені за замовчуванням. В інтегрованій системі не потрібно введення MMSI, оскільки він автоматично може бути переданий з системи АІС-ЕКНІС в систему радіозв'язку УКХ ЦВВ.

Інтеграція вимагає деякої додаткової обробки даних, яка реалізується в додаткових модулях ЕКНІС шляхом оновлення програмного забезпечення і не зачіпає апаратних доповнень (рисуюнок 2.9) [195].



Рисуюнок 2.9 – Модернізація ЕКНІС для реалізації інтерфейсу УКХ/ЦВВ

З'єднання апаратури УКХ ЦВВ і АІС-ЕКНІС не вносить ніяких змін в існуючі експлуатаційні процедури радіозв'язку. В інтегрованій системі зберігаються всі штатні функції формування та перегляду ЦВВ.

Розроблена інтеграція по суті дозволяє усунути всі негативні фактори, пов'язані з ручною обробкою викликів без порушення базових функцій і процедур пристроїв, що входять в інтегровану систему.

2.8. Інтерфейс УКХ/ЦВВ на основі інтегрованої системи радіозв'язку

Реалізація інтерфейсу УКХ/ЦВВ на основі ЕКНІС пов'язана з певними складнощами в основному нормативно-правового характеру. ЕКНІС несе на собі значне навантаження комплексу розв'язуваних навігаційних завдань. Тому додаткова функціональне навантаження на ЕКНІС у вигляді інтерфейсу УКХ радіозв'язку зустрічає неприйняття організаційних структур ІМО.

Інтегрована система радіозв'язку (ІСР) – це система, де окремі засоби радіозв'язку використовуються в якості функціональних пристроїв і в якій не використовуються власні органи управління цими пристроями [46]. Відома ІСР у вигляді консолі ГМЗЛБ виробництва японської фірми JRC типу IZUMI-900-A (рисунок 2.10). Управління функціональними пристроями здійснюється з пульта дистанційного управління, з якого можна управляти всіма засобами радіозв'язку по локальній мережі. Але в цієї системі відсутнє використання даних АІС. Тому принцип управління радіозв'язком по суті не відрізняється від звичайного. Іншим недоліком є використання особливого нестандартного комунікаційного інтерфейсу (локальній мережі) обміну даними.

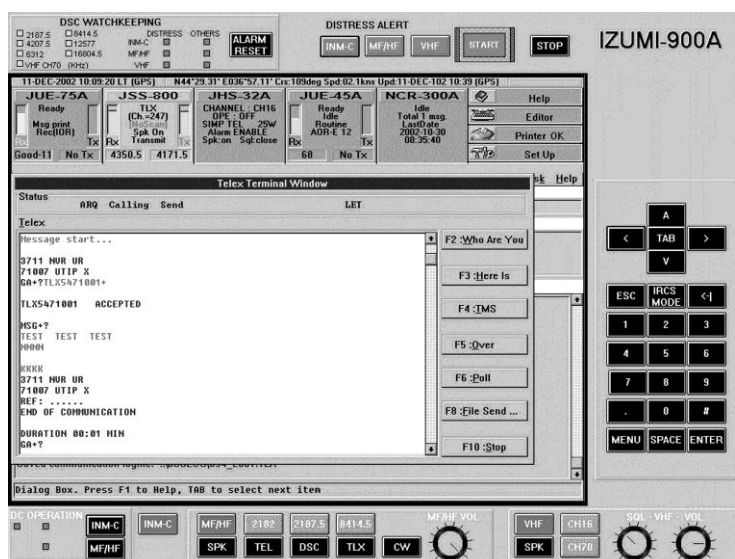


Рисунок 2.10 – Пульт дистанційного управління функціональними пристроями ГМЗЛБ IZUMI-900A

Схема реалізації інтерфейсу УКХ/ЦВВ радіозв'язку на основі інтегрування АІС і ІСР представлена на рисунку 2.11. УКХ радіотелефонний радіостанція може також включати функцію автоматичної ідентифікації (АІ)

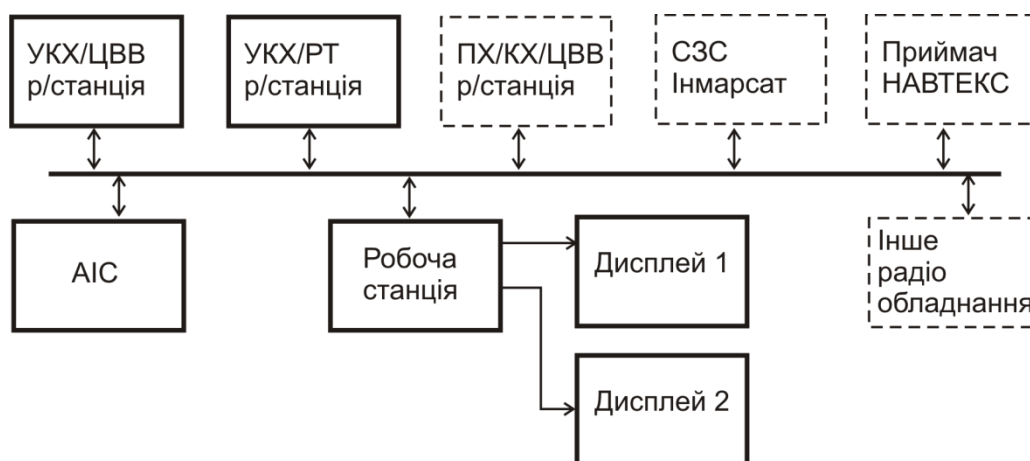


Рисунок 2.11 – Інтегрована система радіозв'язку з підключенням АІС і УКХ радіотелефонів з АІ

радіопередач. Система АІС-ІСР складається з окремих функціональних пристроїв радіозв'язку: УКХ/ЦВВ радіостанції, УКХ/РТ радіостанції, ПХ/КХ/ЦВВ радіостанції, СЗС ІНМАРСАТ, приймача НАВТЕКС, іншого радіообладнання, а також АІС. Всі функціональні блоки підключені до робочої станції. Підключення окремих блоків можуть виконуватися за допомогою традиційного послідовного інтерфейсу за стандартом ІЕС 61162-1/2 або ІЕС 61162-450 [43, 44].

Дисплей 1 використовується для відображення станів функціональних приборів радіозв'язку. На дисплеї 2 відображаються позначки АІС цілей, що знаходяться в межах дії суднової АІС. Тому також як і в інтегрованій системі УКХ/ЦВВ - АІС - ЕКНІС реалізуються функції:

- 1) відображення судна, що викликає в системі ЦВВ, миготливою відміткою АІС цілі;
- 2) автоматичного формування ЦВВ виклику за допомогою вибору відповідної АІС цілі на дисплеї 2.

Таким чином, реалізація інтерфейсу УКХ/ЦВВ радіозв'язку на основі ІСР дозволяє отримати ті ж самі можливості, що і при використанні ЕКНІС. Однак при цьому ЕКНІС НЕ буде перевантажена додатковими функціями, що відносяться до радіозв'язку, а ІСР не має такої великої завантаження.

Якщо УКХ радіотелефон (УКХ/РТ) забезпечена функцією автоматичної ідентифікації, то на дисплеї відображається відповідним маркуванням судно, яке веде радіотелефонну передачу.

Слід зазначити, що в останньому поколінні консолі ГМЗЛБ, виробленої японською фірмою JRC, передбачено підключення до неї АІС (http://www.indumarver.com/archivos/JRC/Communication_Equipment/GMDSS/JO_Series_GMDSS_console.pdf). Відзначено, що за рахунок підключення АІС реалізується інноваційна можливість швидкого виклику судна в системі ЦВВ без набору ІМРС судна яке викликається. Для цього оператору надається можливість вибрати необхідний для виклику судно зі списку АІС цілей. Характеристики АІС цілей супроводжуються інформацією їх видаленням від судна, пеленгом і ІМРС. Оператор повинен вибрати потрібне для радіозв'язку судно і дати команду на автоматичне формування виклику на адресу цього судна.

Однак представлена зазначена розробка не передбачає будь-яке маркування АІС цілей суден, що викликають в системі ЦВВ. По-друге, необхідне для виклику судно необхідно шукати у всьому списку АІС відміток, а не на графічному відображенні поточної навігаційної обстановки.

2.9. Оцінка навігаційної ситуації в інтегрованій системі ЕКНІС – АІС – ЦВВ на основі байєсовського підходу

Відповідно до Конвенції SOLAS 74/88 АІС є обов'язковим засобом для суден валовою місткістю понад 300 рег. тонн, що здійснюють міжнародні рейси, суден валовою місткістю 500 рег. тонн і більше, які не здійснюють

міжнародні рейси, і всіх пасажирських суден. Круїзні лайнери та яхти з меншим водотоннажністю можуть бути обладнані приладом АІС класу В.

Вимоги щодо обладнання ГМЗЛБ і відповідно системою ЦВВ поширюються на всі пасажирські судна і вантажні судна валовою місткістю понад 300 рег. тонн, що здійснюють міжнародні рейси та неконвенційні судна – за рішенням адміністрації країни реєстрації.

Таким чином, міжнародні вимоги щодо обладнання суден системами АІС і ЦВВ збігаються. Якщо на судні повинні бути встановлена АІС, то повинна бути і система ЦВВ і навпаки.

Формула Байєса дозволяє визначити імовірність якої-небудь події за умови, що сталося інше статистично залежне з ним подія. Інакше, за формулою Байєса можна більш точно перерахувати імовірність, маючи як раніше відому (апріорну) інформацію, так і дані нових спостережень (або свідоцтв).

У ЕКНІС з підключеною АІС цілі накладаються на зображення карти (ЕНК) і, оскільки інформація від АІС цілі включає в себе координати в явному вигляді, зображення цілей позиціонується в потрібній точці електронної карти. Ідентифікація судна в системах ЦВВ і АІС здійснюється по цифровому ІМРС. На підставі загального ІМРС дані, отримані по каналах ЦВВ і АІС, можуть бути об'єднані (рисунок 2.12) для подання на інформаційному дисплеї.



Рисунок 2.12 – Об'єднання даних в інтегрованій системі ЕКНІС-АІС-ЦВВ

Для окремо функціонуючих пристроїв ЦВВ, АІС та ЕКНІС алгоритм дій вахтового офіцера проаналізований раніше і включає певні дії, які не пов'язані з навігаційним спостереженням.

На всі ці дії витрачається досить багато часу, що в складній навігаційної обстановці, що вимагає оперативного прийняття рішення безпосередньо з управління судном, негативно позначається на безпеці. Слід брати до уваги також вплив людського фактора, пов'язаного з імовірністю помилок судноводія, а також невиправдане зростання його навантаження.

При цьому всі описані дії тільки передують власне сам радіотелефонний обмін. Для початку голосової передачі вахтовий офіцер судна-оператора повинен зробити підтвердження виклику на апаратурі УКХ ЦВВ і чекати початку голосової передачі від судна-цілі на узгодженому робочому каналі. На обробку ЦВВ підтвердження вахтовим офіцером судна-цілі також буде витрачено певний час до того як воно почне передавати радіотелефоном.

В інтегрованій системі АІС – ЦВВ – Інформаційний дисплей всі ці маніпуляції з абстрактними даними у вигляді набору чисел (ІМРС, координати) виключаються і вахтовий офіцер має справу відразу тільки з інформацією щодо поточної навігаційної обстановці, представленої в зручній і цільній формі на екрані ЕКНІС. В інтегрованій системі перетворення числових даних приладів в зрозумілу і швидко сприйняту інформацію щодо поточної навігаційної обстановці проводиться автоматично.

У термінах систем обробки інформації можна говорити, що невизначеність при отриманні виклику ЦВВ також знімається автоматично без участі судноводія.

Проаналізуємо кількісно ступінь автоматичного усунення невизначеності того, від якого судна отриманий виклик для інтегрованої системи ЕКНІС-АІС-ЦВВ в порівнянні зі штатними окремо функціонуючими системами на основі байєсовського підходу.

Апостеріорна імовірність якої-небудь події H при отриманні свідчення E виражається класичною формулою Байєса:

$$p(H / E) = \frac{p(E / H)p(H)}{p(E)}, \quad (2.1)$$

де $p(H)$ – апріорна вірогідність події H ;

$p(E / H)$ – умовна імовірність отримання свідчення E при настанні події H ;

$p(E)$ – апріорна імовірність отримання свідчення E .

У контексті аналізу системи УКХ радіозв'язку розглянемо наступну ситуацію. На екрані радара відображаються судна-цілі. При отриманні виклику необхідно «прив'язати виклик» до певної цілі. Відразу після спрацювання звукової та візуальної сигналізації на апаратурі ЦВВ в штатній системі ще невідомі ні ідентифікація, ні координати викликає судна. Судноводій повинен ідентифікувати (визначити ІМРС) викликає судна зі змісту виклику і його координати за допомогою АІС. У термінах байєсовської оцінки дані ЦВВ і АІС є свідченнями на користь підтвердження (або відхилення) гіпотези про виклик з боку того чи іншого судна.

В узагальненій формулюванні формули Байєса маємо множинні гіпотези $H_1, H_2, \dots, H_n$ і множинні свідчення $E_1, E_2, \dots, E_l$.

Імовірності кожної з гіпотез при спостереженні деякого конкретного свідчення визначаються узагальненою формулою Байєса:

$$p(H_i / E_1 E_2 \dots E_l) = \frac{p(E_1 E_2 \dots E_l / H_i) p(H_i)}{\sum_{k=1}^n p(E_1 E_2 \dots E_l / H_k) p(H_k)}, \quad i = \overline{1, n} \quad (2.2)$$

Гіпотеза H_i полягає в тому, що виклик зробило якесь i -е судно з суден, що перебувають в межах дії УКХ радіозв'язку (приблизно 30 морських миль від нашого судна). Для повного уявлення навігаційної обстановки судноводій потрібно ідентифікувати викликає судно серед всіх цілей на екрані радара. Для цього необхідно отримати додаткову інформацію з інших джерел

навігаційного спостереження, тому що координати викликає судна в форматі ЦВВ відсутні. Така додаткова інформація (тобто свідоцтва на користь підтримки тієї чи іншої гіпотези) може міститися в даних АІС, результати візуального спостереження і радіотелефонного обміну.

Для конвенційних суден, які мають апаратуру радіозв'язку ЦВВ і АІС, при коректному їх застосуванні ідентифікація судна, яке виробляє радіотелефонний обмін, здійснюється в інтегрованій системі автоматично. Свідченнями E_1, E_2 є отримання ідентифікатора (ІМРС) і координат викликає судна в системах ЦВВ і АІС відповідно. Кількість свідчень в нашому випадку $l = 2$.

Спільна умовна імовірність $p(E_1 E_2 / H_i)$ визначає імовірність отримання ЦВВ і АІС координат від i -го судна. Якби свідоцтва були незалежно, то $p(E_1 E_2 / H_i) = p(E_1 / H_i) p(E_2 / H_i)$. Однак для конвенційних по СОЛАС суден вимоги до обладнання апаратурою ЦВВ і АІС збігаються (300 і більше тонн і все пасажирські судна).

В межах УКХ радіозв'язку від судна-оператора (тобто приблизно 30 м. миль) є певна кількість інших суден-цілей, обладнаних апаратурою ЦВВ. При отриманні виклику ще до перегляду його змісту апіорна імовірність здійснити виклик кожного із суден співпадає. У загальному випадку маємо гіпотез про здійснення виклику тим чи іншим судном. Під свідченням E будемо розуміти отримання нових даних в результаті перегляду змісту викличної послідовності і подальшого аналізу навігаційної обстановки. виклику в системі УКХ ЦВВ і правильну функцію ідентифікації судна-цілі. Під гіпотезою H розуміємо передачу виклику.

У перший момент після сигналізації про отримання виклику ще нічого не відомо про його зміст. Вважаючи, що виклик індивідуальний, початкова імовірність виклику i -м судном дорівнює апіорної імовірності $P(H_i) = 1/n$. Після перегляду змісту виклику вахтовий офіцер має інформацію про ІМРС викликає судна, але не знає його координати, тому що формат

індивідуального виклику зі звичайним пріоритетом містить 9-ти значний ІМРС судна і номер робочого каналу для подальшого телефонного обміну, але не має координат викликає судна. Якщо помилок в процесі передачі виклику не було і дані ЦВВ сприйняті оператором правильно, то умовна імовірність свідoctва E_1 дорівнює $p(E_1 / H_i) = 1$.

Умовна імовірність отримання другого свідoctва, координат судна, тільки за даними отриманого виклику дорівнює нулю, тому що координати не містяться у виклику $p(E_2 / H_i) = 0$. Для отримання координат судна необхідно звертатися до інших джерел навігаційної інформації, наприклад, АІС.

Розглянемо типову ситуацію УКХ радіозв'язку з ЦВВ для ручної операції ідентифікації судна на електронній карті після отримання виклику контролером ЦВВ 70-го каналу УКХ.

Вважаємо, що аналізоване судно-мета обладнано апаратурою АІС і ЦВВ. Прийmemo, що завжди апріорна імовірність здійснити виклик цим судном дорівнює $p(H) = p$. Відповідно імовірність подачі виклику будь-яким іншим судном дорівнює $p(\bar{H}) = 1 - p$. В штатній системі обробка отриманих даних здійснюється, по-перше, з затримкою на час обробки даних оператором і, по-друге, з можливими помилками з вини оператора (наприклад, через неправильне зчитування цифрових даних). Цей факт відображається зменшенням умовної імовірності $p(E / H) < 1$.

В інтегрованій системі при автоматичній обробці даних затримка в інтерпретації події відсутня, також як і помилки обробки, тобто $p(E / H) = 1$.

В теорії байєсовської оцінки ймовірностей покладається, що відомі апріорні імовірності гіпотез $p(H)$, $p(\bar{H})$, і умовні імовірності свідoctв для кожної гіпотези, $p(E / H)$, $p(E / \bar{H})$. Є дві гіпотези: 1) виклик отриманий від судна-цілі - гіпотеза H і 2) виклик отриманий від якогось іншого судна –

гіпотеза $\bar{H}$. Покладемо $p(H) = p(\bar{H}) = 0,5$ і $p(E/H) = 0,9$, $p(E/\bar{H}) = 0,1$, тобто оператор ідентифікує виклик вірно з імовірністю 90%. Тоді для штатної системи і ручній обробці даних маємо:

$$p(H/E) = \frac{0,9 \times 0,5}{0,9 \times 0,5 + 0,1 \times 0,5} = 0,9; \quad p(\bar{H}/E) = \frac{0,1 \times 0,5}{0,9 \times 0,5 + 0,1 \times 0,5} = 0,1.$$

В інтегрованій системі при автоматичній обробці:

$$p(H/E) = 1; \quad p(\bar{H}/E) = 0.$$

Таким чином, в інтегрованій системі виключаються помилки оператора при зіставленні викликає судна з АІС відміткою судна на електронній карті, і зводиться до нуля будь-яка затримка з проведенням цієї операції в ручному режимі як це має місце в окремо функціонуючих системах.

Ситуація 2: У зоні дії УКХ радіозв'язку є n суден обладнаних апаратурою ЦВВ, проте не всі судна оснащені транспондером АІС. Дана ситуація проаналізована в наступному пункті.

2.10. Невизначеність виклику ЦВВ в інтегрованій системі при наявності цілей без АІС

За умови оснащення всіх суден в зоні дії УКХ радіозв'язку судовими АІС ідентифікація викликає станції здійснюється автоматично. Якщо не всі судна-цілі оснащені АІС (або він відключений), то автоматична однозначна ідентифікація таких цілей неможлива. В даному розділі проведено аналіз неоднозначності ідентифікації цілі, що викликає, не оснащеної АІС.

Для аналізу інтегрованої системи ЕКНІС-ЦВВ застосований байесовський підхід в оцінюванні навігаційної ситуації при спільної обробки даних АІС і УКХ ЦВВ. Розроблена модель задається наступним чином. Вважаємо, що будь-яка станція (або ціль) ініціювала виклик на адресу судна-оператора. Свідомство про виклик – є прийом викличного сигналу нашим

судном. Вважаємо, що весь зміст виклику декодовано вірно, помилок не виявлено. Також вважаємо, що не всі судна обладнані транспондером AIS.

Математично позначимо (рисунок 2.13):

T – множина усіх цілей;

D – множина цілей з апаратурою ЦВВ;

A – множина цілей з транспондером AIS.

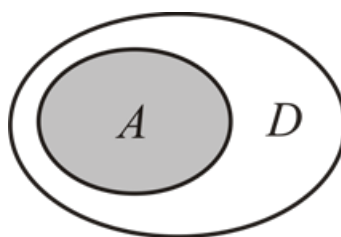


Рис. 2.13. Множини цілей з ЦВВ і AIS

При цьому виконуються умови: $D = T$, тобто всі цілі обладнані ЦВВ, $A \subset D$ – всі судна з AIS мають також ЦВВ, проте $|A| < |D|$ – потужність множини A менше потужності множини D або є цілі, які не мають транспондера AIS (або через перевантаження каналів AIS їм не надаються слоти для передачі).

Зроблені припущення обґрунтовуються тим фактом, що системи AIS і ЦВВ працюють в одному частотному діапазоні і на потужності передавачів одного порядку. (Частота 156,525 МГц для 70-го каналу ЦВВ і частоти 161,975 МГц і 162,025 МГц для каналів AIS-1 87В і AIS-2 88В відповідно). Потужність передавача транспондера AIS дорівнює 12,5 Вт (AIS класу А), а номінальна потужність УКХ передавача становить 25 Вт. Знижені потужності становлять відповідно 2 Вт і 1 Вт.

Маючи в своєму розпорядженні картину розташування цілей, отриманих по каналах AIS (або шляхом поєднання з картиною радіолокаційного спостереження), оператор при фіксації виклику ЦВВ робить висновок, що виклик зробила будь-яка станція з усіх цілей,

представлених на екрані. При цьому вважаємо, що спрацювала тільки сигналізація контролера ЦВВ про прийом виклику і зміст виклику ще не відомо оператору.

Проаналізуємо таку ситуацію. Припустимо, що на екрані радару в радіусі дії УКХ радіозв'язку судна є n цілей. Апріорні імовірності мати змогу здійснювати виклики кожної цілі задаються вектором ймовірностей $p = (p_1, p_2, p_3, \dots, p_n)$, $\sum_{i=1}^n p_i = 1$. Не маючи будь-яких особливих припущень, можна вважати всі імовірності однаковими: $p_i = 1/n$. Спочатку, не аналізуючи зміст виклику ЦВВ, оператор в рівній мірі передбачає про можливість виклику від будь-якої цілі. Невизначеність про ціль, яка зробила виклик, і її місцезнаходження зменшується при автоматичній обробці виклику в інтегрованій системі при використанні АІС інформації. Проаналізуємо зміна невизначеності виклику, використовуючи байесовський підхід. Імовірності подій зведені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Імовірності подій

Імовірності	Гіпотези							
	1	2	...	m_1	m_1+1	m_1+2	...	n
$p(H_i)$	$1/n$	$1/n$	...	$1/n$	$1/n$	$1/n$	...	$1/n$
$p(E_1 / H_i)$	1	0	...	0	0	0	...	0
$p(E_2 / H_i)$	0	1	...	0	0	0	...	0
...	...	...	...	...	0	0	...	0
$p(E_{m_1} / H_i)$	0	0	...	1	0	0	...	0
$p(E_0 / H_i)$	0	0	...	0	$1/m_2$	$1/m_2$	...	$1/m_2$
Цілі мають АІС і ЦВВ					Цілі мають тільки ЦВВ			

У таблиці 2.2 прийняті наступні позначення:

$p(H_i)$ – апріорна імовірність здійснення виклику i -ю ціллю;

$p(E_k / H_i)$ – умовна імовірність отримання і відображення виклику від k -ї цілі за умови виклику i -ю ціллю, $k = \overline{1, m_1}$;

$p(E_0 / H_i)$ – умовна імовірність отримання виклику від цілі, яка не оснащена (або з вимкненою) АІС;

m_1, m_2, n – число суден, що мають АІС і ЦВВ, тільки ЦВВ і загальна кількість суден відповідно в межах дії УКХ зв'язку, $n = m_1 + m_2$.

Оскільки об'єднання даних ЦВВ і АІС за загальним ІМРС дозволяє однозначно «прив'язати» ціль, що викликає, до її АІС-позначки та відповідно - до радарної цілі, то імовірність отримання свідчення виклику i -ю ціллю при гіпотезі про виклик з боку j -ї цілі дорівнює:

$$p(E_i / H_j) = \begin{cases} 1, i = j; \\ 0, i \neq j. \end{cases}$$

Слід зазначити, що при значному скупченні суден і, особливо при їх інтенсивній динаміці можливе перевантаження каналів АІС через дефіцит вільних слотів. В цьому випадку зона дії АІС судна-оператора автоматично скорочується за рахунок пріоритетного надання вільних слотів близьким цілям. Більш віддаленим судам не будуть виділені слоти в розкладі судна-оператора і вони не будуть видні по каналах АІС, хоча і обладнані чинним АІС-транспондером. В результаті віддалені цілі, перебуваючи в межах УКХ радіозв'язку, не будуть відображатися на АІС приладі судна-оператора. В цьому випадку $m_2 > 0$.

Для системи ЦВВ подібного штучного скорочення зони моніторингу не відбувається.

При відсутності перевантаження каналів АІС (вільних слотів завжди досить для передачі) всі цілі в межах дії УКХ радіозв'язку отримують доступ до каналів АІС і відповідно відображаються на екрані судна-оператора. В цьому випадку $m_2 = 0$.

Класична формула Байеса дозволяє розрахувати апостеріорні імовірності подій на основі апріорних ймовірностей і результатів наступних спостережень або свідочств. У нашому випадку свідочтвами є - події відображення виклику на позначці АІС цілі за допомогою миготливого маркування. Оскільки формат ЦВВ містить ІМРС цілі, а формат АІС повідомлення має ІМРС і координати АІС цілі, то з співвідношення інформації ЦВВ і АІС, що належить до однієї і тієї ж цілі, однозначно можна отримати координати цієї цілі і відобразити її відповідним маркуванням. Однак не всі цілі можуть мати діючу апаратуру АІС. У разі відсутності транспондера АІС або його відключення ціль взагалі не буде виявлена по каналах АІС.

Вважаємо, що зроблений виклик ЦВВ якоїсь однієї ціллю, тобто є n гіпотез про виклик від якоїсь цілі. Потрібно визначити апостеріорну імовірність кожної гіпотези після прийому виклику. Відповідно до формули Байеса апостеріорна імовірність $p(H_i / E_k)$ передавання виклику ЦВВ i -й ціллю за умови прийому виклику дорівнює:

$$p(H_i / E_k) = \frac{p(E_k / H_i)p(H_i)}{\sum_{k=1}^n p(E_k / H_k)p(H_k)}, \quad (2.3)$$

Підставивши в формулу (2.3) відповідні імовірності з таблиці 2.1, отримаємо наступні імовірності підтвердження гіпотез:

$$p(H_i / E_k) = \begin{cases} 1, & i = \overline{1, m_1}, k = i, \\ \frac{1}{m_2}, & i = \overline{m_1 + 1, n}, k = 0 \end{cases} \quad (2.4)$$

Таким чином, будь-яка ціль, оснащена транспондером АІС, буде автоматично однозначно ідентифікована при отриманні ЦВВ. Відносно цілей без транспондера АІС залишається невизначеність. Якщо виклик був посланий ціллю без транспондера АІС, то буде зафіксований сам факт отримання виклику, проте жодна з АІС цілей на екрані ЕКНІС не буде маркована. Імовірність виклику будь-якою ціллю без АІС буде залежати від

співвідношення числа цілей з АІС і без транспондера АІС. Невизначеність ідентифікації цілі виникає, якщо число цілей без АІС дві і більше. Чим менше залишиться цілей без АІС, тим вище імовірність автоматичної ідентифікації викликає цілі на екрані ЕКНІС.

Для кількісної оцінки невизначеності скористаємося формулою середньої інформаційної ентропії:

$$H = -\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log p(H_i). \quad (2.5)$$

Сімейство залежностей невизначеності цілі, яка зробила виклик в системі ЦВВ, від відносного числа цілей без транспондера АІС при різному загальній кількості цілей представлено на рисунку 2.14.

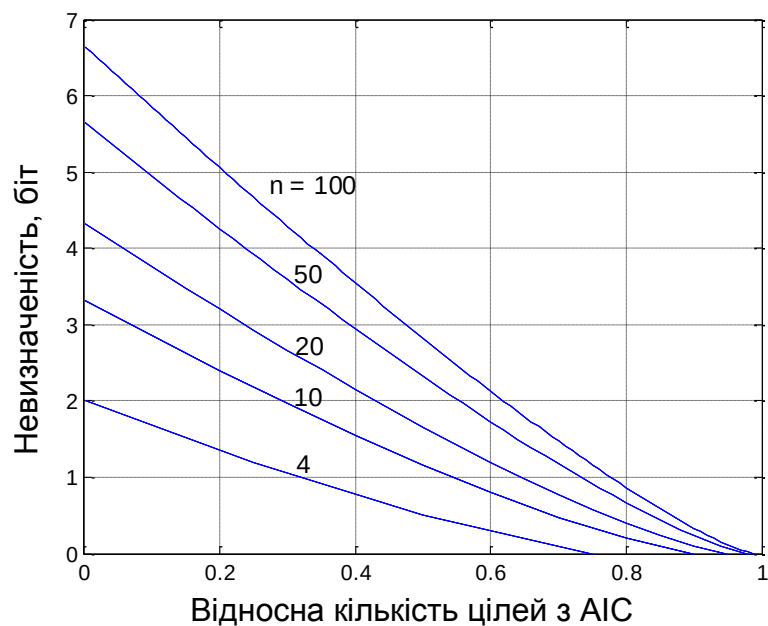


Рисунок – 2.14 Невизначеність у виборі цілі

Невизначеність монотонно зменшується при збільшенні процентного відношення цілей з АІС транспондерами. Можливе наявність цілей без АІС вимагає забезпечення ручного режиму перегляду змісту виклику, що реалізується шляхом:

- а) перегляду безпосередньо на екрані ЕКНІС;

б) перегляду засобами бортового контролера ЦВВ в штатному режимі.

Таким чином, можлива відсутність відмітки при перевантаженні каналів АІС вимагає збереження штатного режиму використання контролера ЦВВ для перегляду змісту виклику оператором і «ручного» перенесення інформації виклику на поточну навігаційну обстановку. Те ж саме відноситься і до функції формування виклику зі свого судна. Якщо необхідна ціль не має АІС-позначки, то необхідна підготовка виклику в звичайному ручному режимі з панелі управління контролера ЦВВ.

Однак, з огляду на той факт, що для навігаційної безпеки мають значення, перш за все менш віддалені цілі, які відображені АІС-відмітками, необхідність в ручній підготовці виклику ЦВВ практично відпадає.

2.11. Аналіз потоку викликів ЦВВ

В існуючих бортових контролерів ЦВВ звукова і візуальна індикація спрацьовує однаково незалежно від того скільки викликів надійшло до перегляду їх оператором. Якщо слідом за першим викликом надходить наступний виклик, то для перегляду оператором буде доступний тільки останній виклик. Попередній виклик запам'ятовується в електронному журналі і може бути взагалі не зафіксовано оператором. Інтегрована система вільна від цього недоліку. Цікавим є кількісна оцінка одержуваного переваги інтегрованої системи в порівнянні зі штатною щодо оперативності та повноти подачі всіх викликів на екрані ЕКНІС.

Для моделювання системи ЦВВ застосовані елементи теорії масового обслуговування [163]. Виклики в системі ЦВВ можна описати потоком подій, тобто послідовністю подій, які настають в випадкові моменти часу. Послідовність викликів можна моделювати пуассонівським потоком, який характеризується властивостями стаціонарності, ординарності і відсутності післядії. Покажемо, що характер ЦВВ відповідає цим властивостям і тому може бути застосована модель пуассонівського потоку.

Властивість стаціонарності полягає в залежності імовірності отримання k викликів на будь-якому проміжку часу тільки від числа k і від тривалості t проміжку і не залежить від початку його відліку.

Властивість ординарності характеризується тим, що імовірністю одночасно два виклика за елементарний проміжок часу можна знехтувати в порівнянні з імовірністю посилки тільки одного виклику за цей проміжок часу. Дійсно, в реальній системі ЦВВ тривалість виклику в УКХ діапазоні складає малий час (приблизно 0,4 секунди) і до передачі виклику приймач автоматично прослуховує ефір і дає дозвіл на передачу свого виклику тільки в разі вільного каналу. В іншому випадку передача виклику відкладається на деякий час. Тому одночасною передачею двох викликів можна знехтувати.

Властивість відсутності післядії полягає у відсутності залежності імовірності появи k подій на будь-якому проміжку часу від попередніх моментів часу.

Виклики ЦВВ мають всі підстави моделюватися найпростішим потоком викликів, оскільки вони володіють властивостями стаціонарності, ординарності і відсутності післядії.

У теорії масового обслуговування розрізняють: системи обслуговування з відмовами (або з втратами), системи з очікуванням і системи змішаного типу. У СМО з відмовами виклик, що надходить в момент, коли система зайнята обслуговуванням попереднього виклику, обслужений не буде. В системі з очікуванням виклик може перебувати в черзі до надходження на обслуговування. І, нарешті, в системі змішаного типу число викликів у черзі обмежена.

У нашому випадку для штатної системи УКХ ЦВВ при надходженні двох викликів за короткий проміжок часу попередній виклик може виявитися поза увагою оператора і тому не підтверджений, тобто маємо типову систему з втратами. Якщо прийнятий виклик відразу ж не був підтверджений, то він залишається зареєстрованим в електронному журналі контролера ЦВВ. Якщо

оператор заходить в електронний журнал і підтверджує виклик з електронного журналу, то маємо модель СМО з очікуванням.

Практично можна вважати, що ЦВВ є системою змішаного типу щодо обробки викликів. Виклики можуть вити втрачені (при відсутності підтвердження) або підтверджені з деякою затримкою за часом (у разі вилучення з електронного журналу).

Для найпростішого потоку число викликів у проміжку часу розподілено згідно із законом Пуассона [163]:

$$P(k, \tau) = \frac{(\nu\tau)^k}{k!} e^{-\nu\tau}, \quad k = 0, 1, 2, \dots, \quad (2.6)$$

де ν – щільність (інтенсивність) потоку, тобто середнє число викликів в потоці за одиницю часу.

Середнє число викликів в потоці за інтервал часу тривалістю τ дорівнює $\lambda = \nu\tau$.

Для штатної системи ЦВВ може бути використана модель системи масового обслуговування, на вхід якої надходить найпростіший потік заявок з щільністю ν . Час обслуговування одного виклику описується показовим законом з параметром μ .

В системі з відмовою, тобто в разі надходження подальшого виклику, коли попередній виклик ще не обслужений, імовірність відмови в загальному випадку для n -канальній системи визначається виразом [163]:

$$P_{\text{отк}} = \frac{\frac{1}{n!} \left(\frac{\nu}{\mu} \right)^n}{\sum_{k=0}^n \frac{1}{k!} \left(\frac{\nu}{\mu} \right)^k} \quad (2.7)$$

Якщо вважати, що виклики можуть оброблятися паралельно на двох УКХ ЦВВ радіостанціях – основний і дублюючої – то у формулі (2.7) слід покласти $n = 2$. Для $n = 1, 2$ формули приймають відповідно вигляд:

$$P_{\text{отк1}} = \frac{\frac{\nu}{\mu}}{1 + \frac{\nu}{\mu}} \quad (\text{а}) \quad P_{\text{отк2}} = \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{\nu}{\mu} \right)^2}{1 + \frac{\nu}{\mu} + \frac{1}{2} \left(\frac{\nu}{\mu} \right)^2} \quad (\text{б}) \quad (2.8)$$

Графіки залежності $P_{\text{відм}}(\alpha)$, $\alpha = \nu/\mu$, $n=1, 2$ представлені на рисунку 2.15.

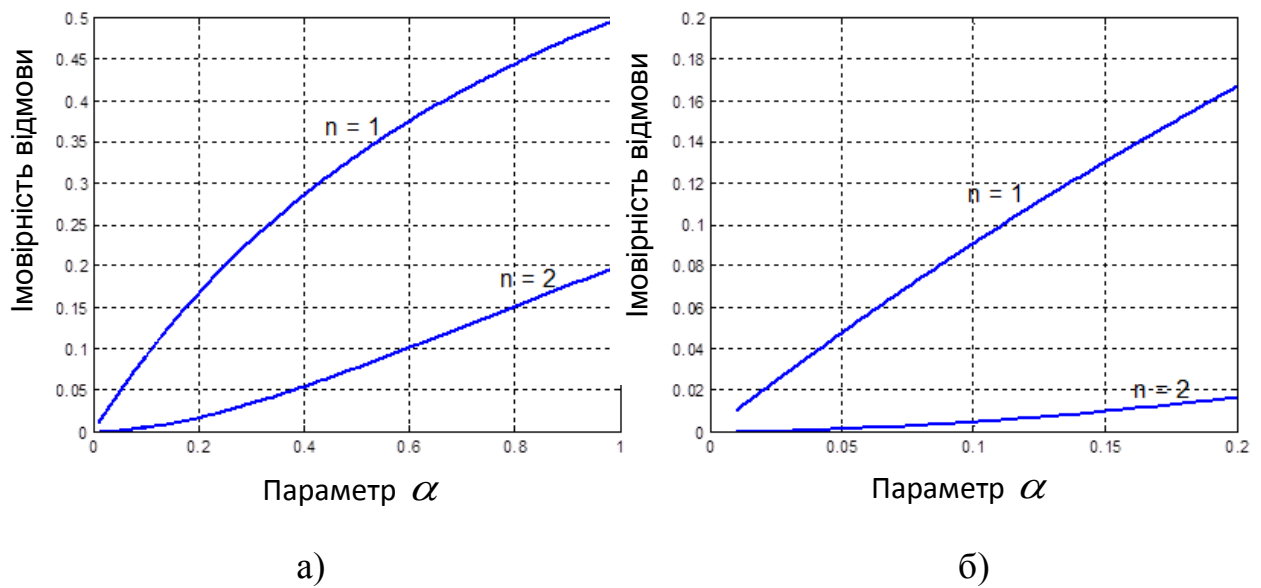


Рисунок 2.15 – Імовірність відмови (не обслуговування) в штатній системі ЦВВ для моделі СМО з відмовою у а) невеликому і б) великому масштабах

В системі масового обслуговування з необмеженим часом очікування справедливі наступні співвідношення [163].

Імовірність P_{n+s} того, що n пристроїв зайняті, а s викликів стоять в черзі дорівнює:

$$P_{n+s} = \frac{\frac{\alpha^{n+s}}{n!n^s}}{\sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^{n+1}}{n!(n-\alpha)}}, \quad s \geq 1 \quad (2.9)$$

Імовірність P_0 того, що усі пристрої вільні становить:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^{n+1}}{n!(n-\alpha)}}. \quad (2.10)$$

Для практично важного випадку $n=1$, $s=1$ (одноканальна система, один виклик знаходиться в черзі) формули значно спрощуються і приймають вигляд:

$$P_{1+1} = \frac{\alpha^2}{1 + \alpha + \frac{\alpha^2}{1-\alpha}}, \quad (2.11)$$

Для системи масового обслуговування змішаного типу з обмеженнями на число місць в черзі імовірність P_{n+s} того, що n пристроїв зайняті, а s викликів стоять в черзі складає [156]:

$$P_{n+s} = \frac{\frac{\alpha^{n+s}}{n!n^s}}{\sum_{k=0}^n \frac{\alpha^k}{k!} + \frac{\alpha^{n+1}}{n!n} \cdot \frac{1 - \left(\frac{\alpha}{n}\right)^m}{1 - \frac{\alpha}{n}}}, \quad s = 1, 2, \dots, m, \quad (2.12)$$

де n – число каналів обслуговування;

$\alpha = \nu/\mu$ - відношення щільності потоків заявок і обслуговування в одному каналі.

Для практично важливого випадку $n=1$, $m=1$, $s=1$ формула спрощується:

$$P_{n+s} = \frac{\alpha^2}{1 + \alpha + \alpha^2}. \quad (2.13)$$

Графіки залежностей ймовірностей знаходження одного виклику в черзі від параметра $\alpha = \nu/\mu$ для СМО з очікуванням і СМО змішаного типу для значень $n=1$, $m=1$, $s=1$ представлені на рисунку 2.16.

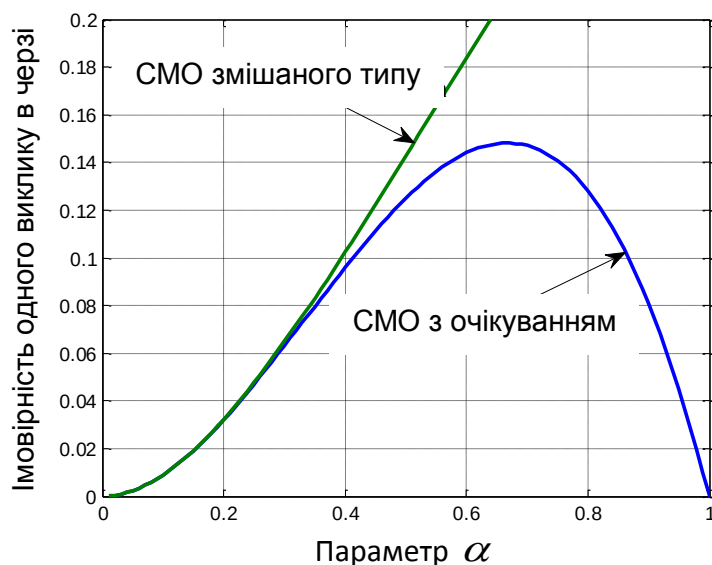


Рисунок 2.16 – Імовірності одного виклику в черзі для СМО змішаного типу і з очікуванням

Аналіз трьох моделей систем ЦВВ як систем масового обслуговування с відмовою, с очікуванням і змішаного типу дозволяє зробити наступний висновок. Для всіх трьох моделей СМО існує ймовірність надходження чергового виклику до того як прийнятий виклик ще не був переглянутий оброблений вахтовим офіцером. Ймовірність відмови в обслуговуванні виклику найбільша для моделі СМО з відмовою. Саме модель СМО з відмовою найбільш типова для штатної системи ЦВВ в реальних умовах експлуатації на борту судна. Якщо попередній виклик не був оброблений до прийому наступного виклику, то він просто губиться, оскільки прийшов виклик просто перериває процедуру перегляду. Оператор при цьому автоматично перемикається на процес перегляду та реагування на наступний виклик. Зміст попереднього виклику може бути переглянуто тільки з електронного журналу.

Розроблена інтегрована система принципово усуває цієї недолік штатної ізолюваної системи ЦВВ. В інтегрованій системі всі виклики

відображаються відповідним маркуванням АІС-цілей до тих пір, поки вони не оброблені.

2.12. Кібербезпека суднових систем радіозв'язку та навігації

Сучасне морське судно являє собою комплекс різних взаємодіючих між собою систем: генерації та розподілу енергії, пропульсивної установки, навігації, радіозв'язку, життєзабезпечення, контролю вантажу і ін. На сьогоднішній не існує єдиних стандартів побудови інформаційних локальних мереж для управління кожною системою. Прикладом побудови загальної багаторівневої схеми управління судном може бути схема, яка включає в себе такі рівні (від нижнього до верхнього) [111]:

- інструментальний рівень для підключення різних датчиків і виконавчих механізмів до систем більш високого рівня;
- процесний рівень взаємодії, пов'язаний з тим чи іншим процесом управління, наприклад, навігація, вантажні операції, енергетична установка;
- інтегрований рівень управління судном для взаємодії між різними сегментами процесного рівня;
- общесудновий рівень включає інші судові мережі: адміністрації, пасажирів (екіпажу);
- позасудновий (береговий) рівень. Вихід на цей рівень здійснюється, як правило, через супутникову систему зв'язку.

На інструментальному рівні для підключення зовнішніх датчиків інформації використовується інтерфейс NMEA-0183 (ІЕС 61162-1/2 за міжнародною класифікацією) [43]. У зв'язку з впровадженням нових навігаційних засобів у відповідності до вимог глави V СОЛАС (приймач глобальної навігаційної супутникової системи (ГНСС), автоматична ідентифікаційна система (АІС), електронна картографічна навігаційна і інформаційна система (ЕКНІС), реєстратор даних рейсу (РДР) і ін.)

підвищилися вимоги до інтерфейсу для забезпечення необхідного інформаційного обміну. Інтерфейс NMEA-0183 не дозволяє об'єднати всі прилади навігації та радіозв'язку на борту судна в єдину мережу.

Рішення багатьох задач, пов'язаних з передачею інформації, засноване на використанні єдиної багаторівневої моделі інформаційної взаємодії, а також уніфікації та стандартизації протоколів обміну для відповідних рівнів. Для інформаційної взаємодії на верхньому рівні, наприклад для поновлення електронних карт, розроблений і буде використовуватися протокол S-100. На інструментальному рівні і рівні процесів на судні спостерігається стійка тенденція до побудови локальних мереж на основі мережі Ethernet з використанням нових комунікаційних міжнародних стандартів. Для інтегрованої навігаційної системи (ІНС) ходового містка, зокрема, такими стандартами є стандарти серії «Морського навігаційного і зв'язкового обладнання та систем» ІЕС 61162 «Частина 450 - Множинні передавачі і множинні приймачі - Цифрові інтерфейси» і «Частина 460 - множинні передавачі і множинні приймачі - З'єднання Ethernet - Безпека і охорона».

ІНС дозволяє отримувати, контролювати і спільно обробляти сенсорну інформацію по ряду операцій, таких як, рух, зв'язок, управління машиною і навігаційна безпека. ІНС є своєрідною навігаційної мережевий системою управління, яка пов'язує для централізованого моніторингу різні навігаційні інструменти та інші підсистеми, щоб забезпечити візуалізацію і облік всіх деталей, які стосуються навігації судна, в одному місці.

Організація інформаційного обміну в мережі ІНС сучасного судна істотно відрізняється від передачі даних в традиційній офісній локальній мережі та інших промислових мережах. Це мережа на основі Ethernet з відносно низьким рівнем складності протоколу, що отримала назву "Light-Weight Ethernet" (LWE) [111]. LWE є результатом компромісу між складністю технології об'єднання обладнання в мережу і вимог щодо інформаційного обміну з боку конкретних видів суднового устаткування.

Відмінною особливістю мережі LWE є можливість її гнучкого впровадження на судах «еволюційним шляхом», коли в комплекс включається обладнання як зі старим IEC -61162-1/2 інтерфейсами, так і з новим - мережевим LWE інтерфейсом. Створюються і спільно функціонують дублюючі шляхи передачі інформації між обладнанням містка. Подальше нарощування обладнання комплексу і/або заміна старого обладнання не призводить до необхідності міняти кабельну інфраструктуру міжз'єднань.

У діючому стандарті IEC 61162-1/2 будь-яке нове з'єднання вимагає додаткової точки підключення. У новому стандарті IEC 61162-450 (LWE) прилад підключається за допомогою «кручений пари» до спеціального комутатора (Switch, S), який управляє комутацією інформаційних пакетів. Для старих пристроїв стандарту IEC 61162-1/2 передбачається додаткове підключення LWE шлюзу.

У мережі LWE всі пристрої підрозділяються на три види: тільки приймач, тільки передавач і універсальний пристрій, здатний як приймати, так і передавати інформаційні пакети. Наприклад, до пристроїв першого виду відноситься РДР, другого виду - GPS, лаг, ехолот, універсальні пристрої - ЕКНІС, АІС, РЛС.

Стандарт IEC 61162-460 є доповненням до стандарту IEC 61162-450 і включає вимоги по підключенню LWE мережі до інших мереж, коли потрібно забезпечити високі стандарти безпеки і охорони мережі обладнання ходового містка. Наприклад, при підключенні до береговим службам. Він не вводить нові вимоги до протоколу рівня додатків, які визначені в IEC 61162-450.

Висновки по розділу 2.

1. Система УКХ радіозв'язку відіграє значну роль в безпечній навігації. Особливо її роль посилюється в складних навігаційних умовах (стиснуте плавання, туман), а також в аварійних і надзвичайних ситуаціях (втрата

управління, кібератаки). Неадекватне трактування поточної навігаційної ситуації штурманом є основною причиною зіткнень суден. У ГМЗЛБ цифровий вибірковий виклик є обов'язковим до обміну голосовими повідомленнями. Однак процедура ЦВВ на практиці часто ігнорується судноводіями через складність інтерфейсу апаратури ЦВВ, що призводить до помилок ідентифікація судна, затримки передачі термінової навігаційної інформації, різних непорозумінь і помилковим тлумаченням.

2. Процеси отримання навігаційної інформації, її обробки і прийняття рішень з управління судном можуть бути представлені в термінах теорії об'єднання даних. Концепція об'єднання даних дозволяє отримати судноводій зрозумілу інформацію про навколишнє оточення на основі інтеграції «сирих» даних від незалежних джерел і відповідного її подання на навігаційному дисплеї. Новим кроком у розвитку СНР є об'єднання і обробка даних, що надходять по каналах АІС і УКХ ЦВВ радіозв'язку.

3. Інтегрування систем УКХ/ЦВВ і ЕКНІС/АІС і використання графічного інтерфейсу моніторингу/управління зв'язком з ЦВВ дозволяє кардинальним чином змінити інтерфейс взаємодії судноводія з апаратурою ЦВВ, замінивши ручні операції з абстрактними даними на автоматичне виконання дій в рамках існуючих експлуатаційних процедур радіозв'язку з використанням ЦВВ. Сприйняття судна що викликає і вибір виклик іншого судна на фоні поточної навігаційної обстановки стають ясними і зрозумілими в реальному часі оперативного управління судном.

4. Між процесами аналізу навігаційної обстановки (об'єднання даних) і управління судном (управління ресурсами) існує дуалізм понять і дій. В контексті методології управління СНР при встановленні УКХ радіозв'язку задіюються ресурси АІС, ЦВВ і радіотелефонії. Відхід судноводієм від використання ЦВВ при встановленні радіозв'язку і заміна його голосовим викликом на 16-му каналі звужує область доступних оператору ресурсів. Замість трьох потенційно можливих ресурсів використовується тільки один

ресурс – голосовий зв'язок, що в цілому призводить до неточностей взаємної ідентифікації і затримки власне інформаційного обміну по радіотелефону.

5. Розробка науково-технічного напрямку інтегрування систем радіозв'язку і навігації з отриманням нових якостей моніторингу/управління зв'язком і навігаційного спостереження з урахування радіозв'язку вимагають вирішення комплексу завдань з розробки інтерфейсу людина-машина, комунікаційного інтерфейсу обміну даними, надійної ідентифікації суден, забезпечення кібербезпеки в умовах інтегрування суднових систем і впровадження цифрових технологій.

Матеріали другого розділу опубліковані в роботах [52, 53, 58 – 60, 65, 176 – 177, 191, 192, 195, 198] списку публікацій за темою дисертації.

РОЗДІЛ 3.

АВТОМАТИЧНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ УКХ РАДІОТЕЛЕФОННИХ ПЕРЕДАЧ МОРСЬКОГО РУХОМОГО ЗВ'ЯЗКУ

3.1. Спосіб автоматичної ідентифікації голосових повідомлень в МРС

Проблема встановлення надійної ідентифікації у морської радіотелефонії вирішена шляхом автоматичної ідентифікації (AI) мовних повідомлень на основі застосування технології цифрових водяних знаків (ЦВЗ) [7, 23, 24, 66]. ЦВЗ стосовно УКХ радіотелефонії передбачає вбудовування цифрової інформації безпосередньо в звуковий сигнал і передачу цієї інформації в стандартному радіотелефонному каналі. Даний метод не вимагає заміни штатної апаратури, додаткового частотно-часового ресурсу та зміни процедур радіозв'язку. Для ідентифікації мовних повідомлень у звуковий сигнал певним чином вбудовується ідентифікатор морської рухомої служби (IMPC, MMSI) і передається багатократно на протязі всього повідомлення. При цьому основне мовне повідомлення сприймається на прийомному боці в тому числі і звичайною апаратурою без функції AI і не має будь-яких слухових артефактів.

Рисунок 3.1 ілюструє AI мовного повідомлення усім станціям. Судно ARCONA/URAC передає радіотелефонне повідомлення усім станціям (All stations). Мовна ідентифікація судна з назвою ARCONA і викличним сигналом URAC на приймальному боці може сприйнята з помилками, не повністю, або взагалі не сприйнята. Відсутність ясної, достовірної і своєчасної ідентифікації негативним чином впливає на безпеку судноплавства, особливо в ситуаціях великого скупчення суден і інтенсивного радіотрафіку. AI шляхом вбудовування якимось чином MMSI безпосередньо в голосове повідомлення зробила б ідентифікацію судна незалежно від оператора.

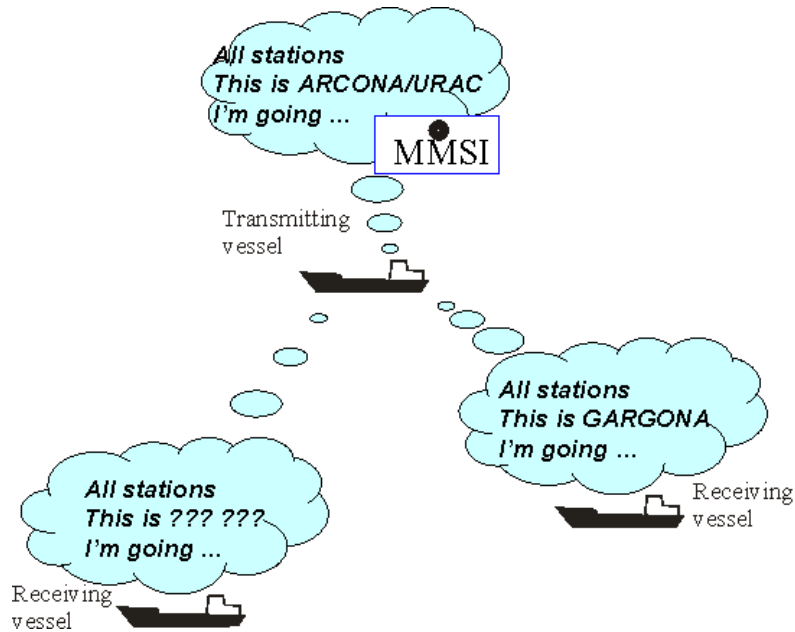


Рисунок 3.1 – Автоматична ідентифікація радіотелефонних передач

Крім вирішення основного завдання надійної ідентифікації передача цифрової інформації на тлі мовного сигналу дозволяє:

- 1) направляти дані ідентифікації в інші інформаційні системи, наприклад, ЕКНІС для маркування судна що передає;
- 2) здійснювати моніторинг радіопередач з метою виявлення порушників, виявляти випадкові або навмисні западання тангенти слухавки (так званий “keying phenomenon”) [19], що може привести к блокуванню УКХ каналів берегових СУРС;
- 3) використовувати можливість прихованої передачі інформації в спеціальних додатках, наприклад, при терористичних загрозах.

3.2. Застосування технології ЦВЗ для ідентифікації радіотелефонних передач в аналогових каналах морського радіозв'язку

Цифрові водяні знаки (ЦВЗ) [115, 214] звукових сигналів визначаються як вбудовування додаткової інформації безпосередньо в аналоговий низькочастотний сигнал. При цьому ЦВЗ не роблять скільки-небудь відчутного впливу на слухове сприйняття звукового сигналу і повинні володіти стійкістю до природних і навмисних перешкод (атак) даних в

процесі передавання сигналу через канал зв'язку. Застосування ЦВЗ актуально для ідентифікації радіотелефонних передач в аналогів УКХ радіоканалах мобільного зв'язку авіаційного [16, 37 – 40], морського [114, 120, 214] і військового призначення [95 – 98].

Система ЦВЗ з інформованим кодером показана на рисунку 3.2. Кодер ЦВЗ розташовується в розриві низькочастотної ланцюга безпосередньо за мікрофоном (точки 1 – 2). Кодер ЦВЗ виконує функцію вбудовування додаткової інформації в звуковий сигнал. Таке вбудовування виконується непомітно для сприйняття звукового сигналу в приймачі. Під каналом розуміється весь комплекс стандартного радіоустаткування, який здійснює типові перетворення сигналів: квантування, посилення, модуляцію, стиснення і інші операції, а також відповідні їм зворотні перетворення, включаючи власне ефірний радіоканал з властивими йому перешкодами. Вихідний сигнал для вилучення ЦВЗ знімається з виходу звукового сигналу (точка 3).

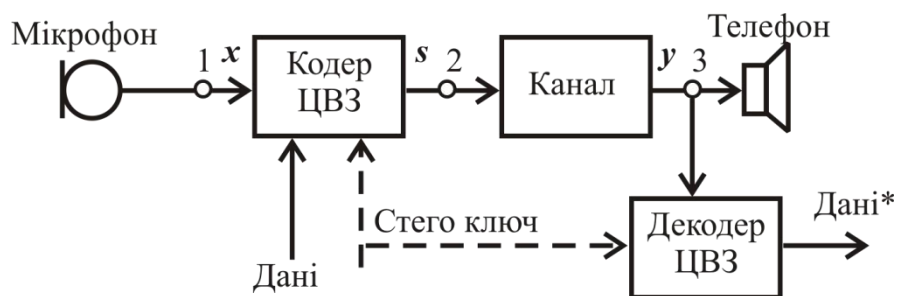


Рисунок 3.2 – Загальна схема передавання додаткової інформації за технологією ЦВЗ

Істотною перевагою є те, що застосування технології ЦВЗ не вимагає заміни штатного обладнання радіозв'язку і повністю сумісний з працюючим парком обладнання радіозв'язку, котрий не має функції АІ.

3.3. Стеганографічне (приховане) вбудовування інформації

Сучасна цифрова стеганографія – одне з нових напрямків цифрової обробки сигналів [24, 164, 170]. Прихована інформація носить назву цифрових водяних знаків (ЦВЗ), оскільки на методах цифрової стеганографії базується в тому числі концепція захисту прав інтелектуальної власності, яка передбачає вбудовування ЦВЗ в авторський твір.

Стеганографічна система передачі інформації характеризується основними взаємопов'язаними параметрами: кількість вбудованої інформації (або швидкість її передавання) (Capacity), якість стегосигналу, тобто його подібність вихідному сигналу-носію (Fidelity), стійкість ЦВЗ до перешкод в каналі передачі (Robustness). Основною вимогою, що пред'являються до системи з ЦВЗ, є їх висока стійкість до різного роду впливів (атак), що призводять до спотворень або стирання ЦВЗ з самого інформаційного продукту. Якщо для стеганографії характерно рисою є відносно великий обсяг вбудованої інформації і низькі вимоги до стійкості, то для ЦВЗ на перший план виступає стійкість до навмисним атакам порушника з метою стирання або модифікації водяного знака при малому обсязі вбудовується інформації, порядку 10 - 100 біт. ЦВЗ повинні бути непомітним чином як би вплетені в сам інформаційний продукт - сигнал-носіє і не можуть бути вилучені з нього інакше, ніж шляхом руйнування або очевидного спотворення самого сигналу-носія.

Під спотвореннями, що вносяться розуміють відмінності стегосигналу, тобто сигналу-носія з вбудованими ЦВЗ від вихідного сигналу-носія (або порожнього контейнера). Вбудовування ЦВЗ в сигнал-носіє неминуче призводить до виникнення спотворень останнього. Найбільш розповсюдженим мірою спотворень є середньквдратичне відхилення (СКВ) [24]. Іноді може використовуватися зворотна величина – точність стегосигналу (fidelity).

Швидкість передачі вбудованої інформації визначається кількістю вбудованої інформації на відлік сигналу-носія і вимірюється відповідно в біт/відлік.

Під стійкістю розуміють здатність ЦВЗ протистояти різного роду непереборним і навмисним перетворенням сигналу (атакам) в каналі передачі: аналого-цифровому перетворенню, шумів, операціями стиснення, змін масштабу та ін.

Модель системи зв'язку з адитивним вбудовуванням ЦВЗ представлена на рисунку 3.3 [120]. До сигналу-носія x додається сигнал ЦВЗ w , який формується на основі даних d , що вбудовуються. Кодер перетворює дані в приховуваний сигнал i в загальному випадку може використовувати

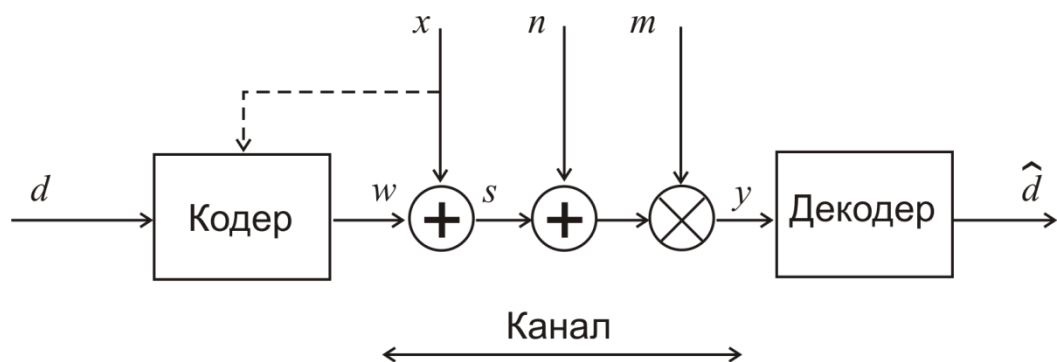


Рисунок 3.3 – Модель системи стеганографічного передавання інформації

інформацію про сигнал-носії, що відображено на рисунку 3.3 пунктирною лінією. У такому випадку кодер називається інформованим.

Як доведено у подальшому, методи стеганографії дозволяють передавати додаткову інформацію в стандартних радіоканалах морського радіозв'язку без будь-якої заміни діючої апаратури. Причому передача такої додаткової інформації не позначається на сприйнятті людиною повідомлень в основному каналі. Наприклад, для радіотелефонного зв'язку - не призводить до будь-якого слухового сприйняття додаткової інформації і не вимагає зміни

характеристик каналу, методів модуляції, експлуатаційних процедур радіозв'язку і т.д.

Зазначені параметри кількість – якість – стійкість взаємопов'язані. Не можна одночасно покращувати все три параметра. Виходячи з конкретних вимог до стегосистеми, завдання полягає в знаходженні компромісу між усіма цими параметрами.

Відомо [Costa], що використання додаткової інформації в стегосистемі теоретично дозволяє виключити вплив сигналу-носія що заважає при виділенні прихованої інформації. В оригінальній схемі роботи [23] в каналі передачі діють дві адитивні перешкоди: сигнал-носії x і перешкода атакуючого впливу n . Вплив мультиплікативної перешкоди m в [23] не розглядається. Як джерело додаткової інформації виступає сам сигнал-носії x , який повністю відомий в кодері, але не відомий в декодері. Сигнал s з вбудованою прихованою інформацією (або стегосигнал) передається по відкритому каналу зв'язку. Варіант коли сигнал-носії відомий у передавачі (але невідомий на приймальному боці) і використовується в алгоритмі вбудовування даних відповідає типовій стегосистемі з інформованим кодером. Варіант інформованого декодера, коли вихідний сигнал-носії відомий на прийомі) є менш цікавим і нами не розглядається.

У каналі також діє адитивна перешкода n , яка не відома ні в приймачі, ні в передавачі.

Доведено [218, 221], що в каналі радіозв'язку на вбудовані дані найбільш впливає перешкода зміни амплітудного масштабу, тобто амплітудні спотворення. Тому для застосування ЦВЗ в радіозв'язку повинні бути в першу чергу вжиті заходи для забезпечення стійкості ЦВЗ до амплітудних спотворень.

Для аналізу амплітудних спотворень введемо додатково постійну протягом передачі сигналу з N відліків мультиплікативну перешкоду m , яка відображає послаблення сигналу в каналі і повільні мультиплікативні завади.

Мультиплікативна перешкода (або атака масштабування) робить сильний руйнівний вплив на вбудовані ЦВЗ з використанням класичної модуляції індексу квантування (МІК) [15]. Як буде показано нижче, вплив такої перешкоди може бути нейтралізовано, причому без погіршення інших характеристик стегосистеми.

3.4. Пропускна здатність стегосистеми

Під пропускну здатністю (біт/відлік) розуміємо гранична кількість вбудованої (прихованої) інформації, що припадає на один відлік сигналу-носія при заданих внесених викривлення і перешкоди в каналі.

Потужність σ_w^2 сигналу w визначається допустимим рівнем внесених спотворень сигналу-носія. У каналі передачі сигналу w діють дві перешкоди. Першою перешкодою є власне сам сигнал-носіє x потужністю σ_x^2 , а другий – шум n потужністю σ_n^2 . Якщо прийняти, що обидві перешкоди представляють собою адитивний білий гаусів шум (АБГШ), то для системи з неінформованим кодером, тобто кодером, який не використовує інформацію про сигнал-носіє, прихована пропускна здатність C (біт/відлік) каналу зв'язку визначається формулою [19]:

$$C = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{\sigma_w^2}{\sigma_x^2 + \sigma_n^2} \right). \quad (3.1)$$

У той же час, володіючи інформацією про сигнал-носіє, можна істотно підвищити пропускну здатність прихованого каналу. В роботі [184] апріорі відома інформація про дефектних елементах пам'яті використовується для підвищення швидкості завадостійкого кодування. При відомої на передавальній стороні заваді для ЦВЗ x передані дані теоретично можуть бути так перетворені в приховуваний сигнал w , що сигнал-носіє не чинитиме на передачу даних ніякого впливу і прихована пропускна здатність C визначається тільки другий невідомої в кодері перешкодою n .

Прихована пропускна здатність (в бітах на відлік) каналу передачі з незалежними сигналом-носієм x і завадою n , які представляються АБГШ $x \sim N(0, \sigma_x^2)$ і $n \sim N(0, \sigma_n^2)$ відповідно, визначається формулою [23]:

$$C = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{\sigma_w^2}{\sigma_n^2} \right), \quad (3.2)$$

де $\sigma_w^2 = \frac{1}{N} \|s - x\|^2$ – потужність внесених спотворень (або сигналу ЦВЗ),

N – кількість відліків сигналу-носія.

Відомі методи зменшення заважає впливу сигналу-носія з використанням модуляції індексу квантування (МІК) [15]. На жаль, система з МІК надзвичайно чутлива до спотворень масштабу по амплітуді і погано підходить для передачі ЦВЗ. Розглянутий в роботі [15] метод підвищення стійкості стеганографічної передачі в зображеннях не є достатньо робастним, тобто стійким для ЦВЗ.

Для прихованого передавання інформації типово співвідношення $\sigma_x^2 \gg \sigma_w^2$. Ця умова впливає з вимоги несприйнятливості додаткової інформації. Тому, з зіставлення формул (3.1) і (3.2) впливає, що прихована пропускна здатність системи з інформованим кодером потенційно значно більше, ніж для стегосистеми, в якій не використовується інформація про сигнал-носії. Це дає потенційну можливість отримати більш високі показники у порівнянні системи з неінформованим кодером і тому заслуговують пріоритетного вивчення.

3.5. Стегосистема з неінформованим кодером

У методах формування ЦВЗ з неінформованим кодером інформація про сигнал-носії недоступна. Стегосигнал $\mathbf{s} = (s_1, s_2, \dots, s_N)$ з вбудованим водяним знаком у векторній формі має вигляд:

$$\mathbf{s} = \mathbf{x} + \mathbf{w}, \quad (3.3)$$

де $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_N)$, $\mathbf{w} = (w_1, w_2, \dots, w_N)$ – аудіосигнал и сигнал ЦВЗ відповідно.

Сигнал ЦВЗ формується по методу прямого розширення спектра, при якому вектор $\mathbf{u}$ псевдовипадкової послідовності (ПВП) модулюється переданими даними d :

$$\mathbf{w} = \sigma_w d \mathbf{u}, \quad (3.4)$$

де σ_w – СКВ сигналу ЦВЗ;

$d = \{-1, 1\}$ – передані дані ЦВЗ;

$\mathbf{u} = (u_1, u_2, \dots, u_N)$ – вектор ПВП довжиною N , $u_i = \{-1, 1\}$.

У цьому випадку один біт інформації переноситься N відліками аудіосигналу. Коефіцієнт σ_w вибирається таким чином, щоб забезпечити слухову нечутливість сигналу ЦВЗ.

Прийом ЦВЗ здійснюється за допомогою узгодженого фільтра або кореляційного приймача. При цьому в якості вагових коефіцієнтів в відводах узгодженого фільтра і опорного сигналу кореляційного приймача використовується вектор. Відлік на виході кореляційного приймача в кінці періоду накопичення визначається скалярним добутком $\mathbf{u}$:

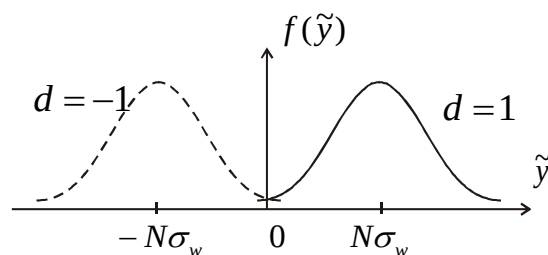
$$\tilde{y} = (\mathbf{y}, \mathbf{u}) = (\mathbf{x} + \mathbf{w} + \mathbf{n}, \mathbf{u}) = (\mathbf{x}, \mathbf{u}) + (\mathbf{n}, \mathbf{u}) + (\mathbf{w}, \mathbf{u}) = \tilde{x} + \tilde{n} + \sigma_w dN, \quad (3.5)$$

де скалярний добуток $(\mathbf{y}, \mathbf{u})$ обчислюється таким чином:

$$(\mathbf{y}, \mathbf{u}) = \sum_{i=1}^N y_i u_i.$$

У формулі (3.5) враховано, що $(\mathbf{u}, \mathbf{u}) = N$, а випадкові величини $\tilde{x} = (\mathbf{x}, \mathbf{u})$ і $\tilde{n} = (\mathbf{n}, \mathbf{u})$ незалежні, мають нормальний закон розподілу з нульовим середнім і СКВ $\sigma_{\tilde{x}} = \sigma_x \sqrt{N}$ і $\sigma_{\tilde{n}} = \sigma_n \sqrt{N}$ відповідно. Випадкова величина $\tilde{y}$ для заданого вбудованого біта даних d являє собою суму двох незалежних нормально розподілених випадкових величин $\tilde{x}$ і $\tilde{n}$ і детермінованою величини $\sigma_w dN$.

Щільність розподілу ймовірності величини $\tilde{y}$ показана на рисунку 3.4.



Рисунку 3.4 – Щільність розподілу ймовірності величини $\tilde{y}$

Детектування вбудованого біта даних здійснюється відповідно до знаковою функцією:

$$\hat{d} = \text{sign}(\tilde{y}). \quad (3.6)$$

Як впливає з рисунку 3.4 ймовірність помилки при рівноймовірних бітах даних визначається інтегралом ймовірності:

$$p_{\text{ош}} = P(\hat{d} = 1 | d = -1) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} \exp\left\{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right\} dx = Q\left(\sigma_w \sqrt{\frac{N}{\sigma_x^2 + \sigma_n^2}}\right), \quad (3.7)$$

де $Q(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_z^{\infty} \exp\left\{-\frac{x^2}{2}\right\} dx$ – інтеграл ймовірності;

$$m = -N\sigma_w, \quad \sigma^2 = N(\sigma_x^2 + \sigma_n^2).$$

Таким чином, при заданих потужностях сигналу-носія, ЦВЗ і адитивного шуму в каналі передачі необхідне значення ймовірності помилки $p_{\text{ош}}$ може бути досягнуто шляхом належного вибору довжини ПВП N . Чим більше N , тим менша ймовірність помилки може бути отримана при заданих СКВ сигналу-носія і шуму. Однак, важливим є той факт, що навіть у відсутності шуму ймовірність помилки не може досягати нуля ні при яких значеннях довжини ПВП N .

На практиці реальні аудіосигнали не є стаціонарними. Миттєва потужність сигналу може змінювати в значних межах. Щільність розподілу ймовірності миттєвого СКВ можна апроксимувати розподілом Релея.

Ймовірність помилки відповідно до формули (3.7) залежить від випадкового параметра - потужності сигналу-носія σ_x^2 (або значення СКВ σ_x). Середня ймовірність помилок може бути визначена шляхом усереднення по σ_x ймовірності помилок для детермінованого значення σ_x :

$$p_{\text{ср}} = \int_{\sigma} f_R(\sigma) p_{\text{ош}}(\sigma) d\sigma, \quad (3.8)$$

де $f_R(x) = \frac{x}{\sigma_{\sigma}^2} \exp\left\{-\frac{x^2}{2\sigma_{\sigma}^2}\right\}$ – функція щільності розподілу Релея.

Усереднена ймовірність помилки $p_{\text{ср}}$ обчислюється за формулою (3.8) чисельними методами. Для розподілу Релея середнє значення випадкової величини (в даному випадку миттєве СКВ) визначається співвідношенням $m_{\sigma} = \sigma_{\sigma} \sqrt{\pi/2}$. Це значення збігається з середнім значенням СКВ $\sigma_{x\text{ср}}$, яке може бути отримано експериментально на великому інтервалі часу. Тоді при обчисленні $p_{\text{ср}}$ за формулою (3.8) дисперсію в розподілі Релея слід прийняти рівною $\sigma_{\sigma}^2 = 2\sigma_{\text{ср}}^2 / \pi$.

3.6. Модуляція індексу квантування

Розроблена велика кількість стеганографічних методів і їх класифікацій [24]. Одна з конструктивних класифікацій [23] передбачає поділ усіх методів на два класи: 1) методи, в яких сигнал-носії завдає заважаючий вплив на передачу вбудованої інформації та 2) методи з виключенням впливу сигналу-носія. До першого класу слід віднести алгоритми, засновані на додаванні до сигналу-носія з певної ПВП, модульованої приховуваними даними. З технології мобільного зв'язку за такими методами закріпилася назва «розширення спектру», хоча в даному випадку приховуваний сигнал може займати ту ж смугу частот, що і сигнал-носії. Для детектування прихованого сигналу з розширеним спектром використовують узгоджену фільтрацію.

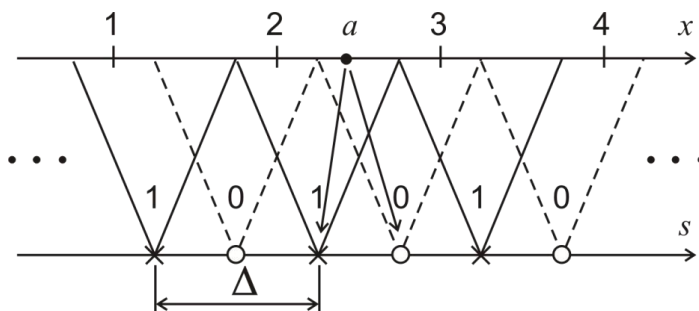


Рисунок 3.5 – Ілюстрація методу модуляції індексу квантування

Приховуваний сигнал тут виступає в ролі дуже слабкого корисного сигналу, а сигнал-носії – в ролі перешкоди. Для алгоритмів класу 1) кількість інформації в розрахунку на один відлік сигналу-носія, як показано нижче, залишається незначним.

В роботі [15] для вбудовування ЦВЗ запропонований загальний метод, названий авторами модуляцією індексу квантування (МІК). Ідея МІК полягає у виборі парного або непарного за номером рівня квантування в залежності від вбудованого біта даних. У порівнянні з методами розширення спектра МІК дозволяє отримати значно більший обсяг вбудованої інформації за рахунок виключення заважає дії сигналу-носія. Проте, найбільш вузьким місцем класичної МІК [15] є її чутливість до атак масштабування, тобто до мультиплікативний перешкод.

Одним з відомих способів використання додаткової інформації та реалізації методу з використанням інформованого кодеру вбудовування ЦВЗ є модуляція індексу квантування [15]. При МІК відліки стегосигналу $s = x + w$ замінюють квантовими значеннями сигналу-носія: $s = q(x, \Delta, d)$. Результат квантування залежить від вбудованих даних і визначається формулою:

$$q(x, \Delta, d) = \Delta \left\lfloor \left(\frac{x - \Delta d / 4}{\Delta} \right) \right\rfloor + \Delta d / 4, \quad (3.9)$$

де $d \in \{-1, 1\}$ - вбудовані дані;

Δ – крок квантування;

$\lfloor \rfloor$ – операція округлення до найближчого цілого числа.

Перетворення $s = q(x, \Delta, d)$ відповідно до формули (3.9) проілюстровано рисунком 3.5 для випадку $\Delta=1$ для скалярної форми представлення сигналів. Сигнал-носії x є аналоговим і може приймати будь-які значення з області визначення. Стегосигнал s приймає дискретні значення в залежності від вбудованого біта даних ЦВЗ. Наприклад, для точки $x = a$ сигнал s приймає значення, яке позначене хрестиком «х» при передаванні логічної «одиниці» $d = 1$ і значення, позначене кружечком «о» при передаванні логічного «нуля» $d = -1$.

Сигнал ЦВЗ представляється співвідношенням:

$$w = q(x, \Delta, d) - x \quad (3.10)$$

Декодування сигналу, що приймається $y = s + n$ здійснюється відповідно до функції:

$$\hat{d} = \arg \min_d |q(y, \Delta, d) - y|. \quad (3.11)$$

Операція $\arg \min_x f(x)$ позначає знаходження значення x , для якого досягається мінімальне значення функції для всіх можливих аргументів x .

В алгоритмі (3.9) в один відлік сигналу-носія вбудовується один біт інформації. У якості відліків сигналу-носія можуть використовуватися безпосередньо відліки звукового сигналу або їх ортогональні перетворення: коефіцієнти дискретного перетворення Фур'є (ДПФ).

У методі МІК з розширеним перетворенням (РП) МІК-РП [15] один біт вбудованого ЦВЗ розподіляється на L відліків носія. В цьому випадку стегосигнал записується у векторній формі:

$$\mathbf{s} = \mathbf{x} + \mathbf{w}, \quad (3.12)$$

де $\mathbf{s} = (s_1, s_2, \dots, s_L)$, $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_L)$, $\mathbf{w} = (w_1, w_2, \dots, w_L)$ - вектори-рядки довжиною L відповідно стегосигналу, носія і сигналу ЦВЗ відповідно.

Помножимо обидві частини (3.12) праворуч на транспонований вектор відліків двійкової випадкової послідовності $\mathbf{u} = (u_1, u_2, \dots, u_L)$, $u_i = \{-1, 1\}$: $\mathbf{su}' = \mathbf{xu}' + \mathbf{wu}'$. Далі отримаємо:

$$\mathbf{w}\mathbf{u}' = \tilde{s} - \tilde{x},$$

де $\tilde{s} = \mathbf{s}\mathbf{u}'$, $\tilde{x} = \mathbf{x}\mathbf{u}'$ - скалярні величини.

Змінюючи $\tilde{s}$ на квантування значення відповідно до функцією квантувача $q(\tilde{x}, \Delta, d)$ и враховуючи, що $\mathbf{u}\mathbf{u}' = L$, отримаємо вираз для вектора ЦВЗ у вигляді:

$$\mathbf{w} = (q(\tilde{x}, \Delta, d) - \tilde{x})\mathbf{u} / L. \quad (3.13)$$

Декодування сигналу в алгоритмі МІК-РП здійснюється відповідно до функції:

$$\hat{d} = \arg \min_d |q(\tilde{y}, \Delta, d) - \tilde{y}|, \quad (3.14)$$

де $\tilde{y} = \mathbf{y}\mathbf{u}'$, $\mathbf{y} = (y_1, y_2, \dots, y_L)$ – вектор відліків прийнятого сигналу.

Випадковий вектор $\mathbf{u}$ забезпечує таємність ЦВЗ і ускладнює його виявлення і декодування без знання ключа.

3.7. Крок квантування

Для ефективної стегосистеми необхідно компромісне рішення задачі кількість – якість – стійкість. Покажемо, як вибір кроку квантування дозволяє ефективно вирішити вказаний компроміс.

Враховуючи розподіл сигналу у формулі (3.12) рівномірним на інтервалі $(-\Delta/2, \Delta/2)$, отримаємо значення для його дисперсії:

$$\sigma_w^2 = \frac{1}{\Delta} \int_{-\Delta/2}^{\Delta/2} w^2 dw = \frac{\Delta^2}{12L^2}. \quad (3.15)$$

З (3.15) після очевидних перетворень отримаємо:

$$\Delta = 2\sigma_x \sqrt{\frac{3L}{R \times (SWR)}}, \quad (3.16)$$

де R – швидкість передачі ЦВЗ;

$SWR = \sigma_x^2 / \sigma_w^2$ – відношення потужності сигналу-носія до сигналу ЦВЗ.

Вираз (3.16) пов'язує параметри стегосистеми: кількість – якість – стійкість. Кількісною оцінкою внесених спотворень тут є σ_w , швидкість безпосередньо задається значенням R , а стійкість визначається кроком квантування Δ . Отриманий в (3.16) крок квантування використовується далі в формулі (3.13) обчислення вектора сигналу ЦВЗ $\mathbf{w}$.

3.8. Аналіз стегосистеми МІК-РП в каналі з АБГШ

Проведемо аналіз каналу передачі ЦВЗ з АБГШ. Сигнал на вході декодера визначається виразом:

$$y = s + n, \quad n \sim N(0, \sigma_n^2).$$

Корекція сигналу для вбудовування одного біту розподіляється на декілько відліків (розширене перетворення). У загальному випадку для алгоритму з РП на вході детектора маємо

$$\tilde{y} = m(q_x(\tilde{x}) + \tilde{n}), \quad \text{де } \tilde{x} = \mathbf{x}\mathbf{u}', \quad \tilde{n} = \mathbf{n}\mathbf{u}'.$$

Умовна щільність розподілу ймовірності при передачі «одиниці» показана на рисунку 3.6 суцільною лінією, а при передачі «нуля» - пунктирною. При неправильному ключі - векторі $\mathbf{u}$ - розподіл буде близький до рівномірного, що відображено горизонтальної прямої пунктирною лінією.

Нехтуючи крайовими ефектами, неважко отримати загальне вираз для ймовірності помилки у вигляді:

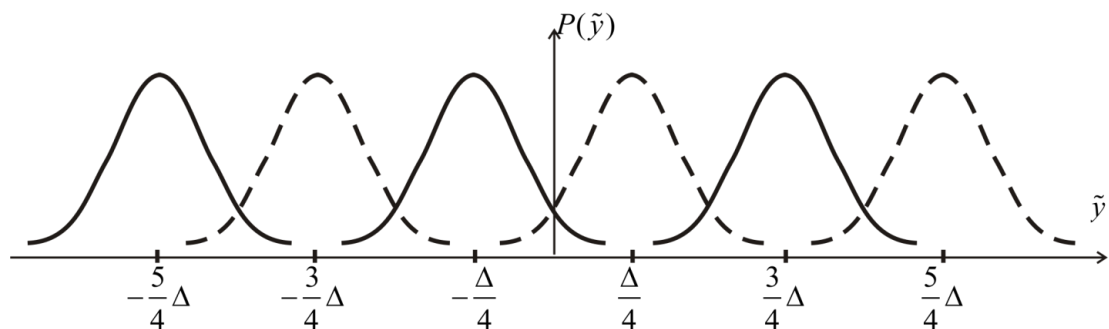


Рисунок 3.6 – Щільність розподілу ймовірності величини $\tilde{y}$ при декількох рівнях квантування

$$p_e = \operatorname{erfc}\left(\frac{\Delta/4}{\sigma_n\sqrt{2}}\right) - \operatorname{erfc}\left(\frac{5\Delta/4}{\sigma_n\sqrt{2}}\right) + \operatorname{erfc}\left(\frac{9\Delta/4}{\sigma_n\sqrt{2}}\right) - \dots, \quad (3.17)$$

де $\operatorname{erfc}(z) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_z^{\infty} e^{-x^2} dx$ - додаткова функція помилок.

Обмежуючись трьома членами в (3.17) і беручи до уваги співвідношення (3.16), отримаємо:

$$p_e \approx \operatorname{erfc}\left(\frac{1}{2}\sqrt{\frac{3WNR}{2R}}\right) - \operatorname{erfc}\left(\frac{3}{2}\sqrt{\frac{3WNR}{2R}}\right) + \operatorname{erfc}\left(\frac{5}{2}\sqrt{\frac{3WNR}{2R}}\right), \quad (3.18)$$

де $WNR = \sigma_w^2 / \sigma_n^2$ - відношення ЦВЗ-шум (Watermark-to-Noise Ratio).

З (3.18) випливає, що при ймовірність помилки при заданому відношенні ЦВЗ-шум може бути знижена шляхом зменшення швидкості передачі R . Швидкість передачі визначається відношенням числа біт інформації K до кількості N відліків сигналу-носія: $R = K/N$. Швидкість R при збереженні потужності ЦВЗ σ_w^2 може бути знижена двома шляхами: 1) застосуванням алгоритму МІК-РП, тобто розподілом одного біта ЦВЗ на L відліків сигналу-носія, або 2) використанні для вбудовування ЦВЗ не всіх N доступних відліків сигналу-носія, а тільки його частини $N_w < N$ при $L = 1$. У загальному випадку $N_w = KL$. В обох випадках неважливо яке відношення ЦВЗ/шум. Зменшуючи швидкість передачі R , можна отримати необхідну ймовірність помилки.

В рамках компромісної задачі спотворення-швидкість-стійкість ці варіанти рівноцінні для каналу з АБГШ. При накопиченні потужності шумів для випадку 1) збільшується в L раз (σ_n зростає відповідно в $\sqrt{L}$ раз). У той же час крок квантування, як випливає з (3.16), також зростає в $\sqrt{L}$ раз. Імовірність помилки (3.18) при цьому не змінюється. Однак при малій швидкості передачі локалізація енергії ЦВЗ в окремих відліках при $L = 1$ недоцільна і для підвищення скритності передачі слід рекомендувати розширене перетворення ($L > 1$).

3.9. Інваріантна до мультиплікативної завади МІК

Класична МІК чутлива до амплітудних спотворень в каналі. У реальних каналах радіозв'язку рівень сигналу через мультиплікативної перешкоди може непередбачуване змінюватися. Для збереження сигналу ЦВЗ необхідна адаптація кроку квантування до рівня сигналу. Для «повільної» мультиплікативної перешкоди її деструктивний вплив на ЦВЗ може бути повністю нейтралізовано.

Головним недоліком МІК з фіксованим кроком є її висока чутливість до спотворень масштабу. Атака в каналі передачі у вигляді навіть незначної мультиплікативної перешкоди призводить до руйнування ЦВЗ. Покажемо, що нормування кроку квантування відповідно до СКВ сигналу-носія в кодері і стегосигналу в декодері дозволяє практично виключити вплив мультиплікативної завади в каналі передачі.

Позначимо крок квантування в кодері Δ_x і Δ_y декодері через та відповідно. Причому, для обчислення кроку квантування в декодері Δ_y у формулі (3.16) замість використовується значення СКВ сигналу. Вважаємо, що як в кодері, так і в декодері для обчислення СКВ доступні відліків.

Причому, для обчислення кроку квантування в декодері Δ_y в формулі (3.16) замість σ_x використовується значення СКВ сигналу σ_y . Вважаємо, що як в кодері, так і в декодері для обчислення СКВ доступні N відліків.

У відсутності шуму подвійна нормування кроку квантування в кодері і в декодері повністю усуває вплив невідомої, але постійної мультиплікативної перешкоди. Дійсно, вважаючи $y = ms$, $m = \text{const}$, $m > 0$, з урахуванням того, що $\sigma_y = m\sigma_x$, $\Delta_y = m\Delta_x$ і $\sigma_s = \sigma_x$ отримаємо:

$$q(y, \Delta_y) = mq(s, \Delta_x) = mq(q(x, \Delta_x), \Delta_x) = mq(x, \Delta_x). \quad (3.19)$$

$$y = ms = mq(x, \Delta_x). \quad (3.20)$$

Таким чином, у відсутності шуму $q_y(y) - y = 0$ і тому вплив постійної мультиплікативної перешкоди повністю нейтралізується.

При наявності шуму в каналі $y = m(s + n)$. У приймачі можемо отримати потужність прийнятого сигналу y у вигляді: $\sigma_y^2 = \frac{1}{N} \|y\|^2$. Для повної компенсації впливу постійної мультиплікативної перешкоди необхідно знати потужність "чистого" сигналу ms без шуму. Однак навіть якщо σ_n є відомою величиною, при невідомому значенні m повністю компенсувати вплив адитивної перешкоди не можна. Проте, в будь-якому випадку – відомому або невідомому σ_n , маючи на увазі $\sigma_x^2 \gg \sigma_n^2$, що завжди здійснимо в реальному стегосистеми, можна вважати $\sigma_y \approx m\sigma_x$ і $\Delta_y \approx m\Delta_x$.

В цьому випадку маємо:

$$\begin{aligned} q(y, \Delta_y) &= q(m(s + n), \Delta_y) \approx q(m(q(x, \Delta_x) + n), \Delta_y) = \\ &= mq(q(x, \Delta_x) + n, \Delta_x) = mq(x, \Delta_x) + mq(n, \Delta_x). \end{aligned} \quad (3.21)$$

У декодері обчислюється різниця $q_y(y) - y$, для якої може бути записано приблизна рівність:

$$\begin{aligned} q_y(y) - y &= mq(x, \Delta_x) + mq(n, \Delta_x) - m(q(x, \Delta_x) + n) \approx \\ &\approx m(q(n, \Delta_x) - n). \end{aligned} \quad (3.22)$$

У формулі (3.22) множник m не впливає на прийняття рішення, т. к. очевидно, що $\arg \min(mf(x)) = \arg \min(f(x))$.

Впливе m проявляється тільки в зв'язку з спільним впливом адитивного шуму.

Аналогічний висновок отримаємо для алгоритму МІК-РП підставивши $y = \tilde{y}$.

3.10. Статистично інформований кодер

Як і раніше вважаємо, що аудіосигнал-носії являє собою нестационарний випадковий процес і на передавальній стороні є значення СКВ σ_{xi} сигналу x , обчислене на i -ом короткочасному інтервалі. У цьому випадку вважається, що кодер є статистично інформованим [215]. Вважаємо, що на кожному i -ом інтервалі, $i = \overline{1, n}$, сигнал-носії являє собою АБГШ з нульовим середнім і СКВ σ_{xi} . Вважаємо також, що друга перешкода також є АБГШ з нульовим середнім і постійним СКВ σ_n . При цих умовах ймовірність помилки на кожному інтервалі можна обчислити за формулою (3.17).

Потужність впроваджуваного сигналу ЦВЗ обмежується допустимим рівнем внесених спотворень в аудіосигнал. Енергія сигналу ЦВЗ на інтервалі T , протягом якого здійснюється вбудовування ЦВЗ в аудіосигнал, обмежується заданими ставленням усереднених потужностей сигналу ЦВЗ і сигналу-носія $WSR = \sigma_{wcp}^2 / \sigma_{xcp}^2$ і відношенням сигнал ЦВЗ/шум (Watermark-to-Noise Ratio) – $WNR = \sigma_{wcp}^2 / \sigma_n^2$. При цьому виникає задача оптимального з точки зору мінімізації середньої помилки декодування розподілу наявного ресурсу енергії ЦВЗ для сигналу-носія зі змінною потужністю. Дану задачу можна звести до задачі мінімізації функції багатьох змінних $\sigma_{wi}, \sigma_{xi}, \sigma_{ni}, i = \overline{1, n}$ при наявності обмежень. Імовірність помилки на інтервалі T запишемо в наступному вигляді:

$$p_{\text{ош}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_{\text{оши}}(\sigma_{wi}, \sigma_{xi}, \sigma_{ni}) \quad (3.23)$$

Введемо позначення $z_i = \sigma_{wi} / \sqrt{\sigma_{xi}^2 + \sigma_{ni}^2}$. Величина z_i^2 має фізичний сенс відносини миттєвої потужності ЦВЗ до сумарної потужності двох перешкод на i -му інтервалі. Обмеження задамо у вигляді:

$$\|z\| - c = 0, \quad (3.24)$$

де норма визначається як $\|z\| = \left(\sum_{i=1}^n z_i^2 \right)^{\frac{1}{2}}$, а константа c визначається заданими відносинами WSR и WNR .

Рішення завдання мінімізації функції (3.23) знайдемо за допомогою методу множників Лагранжа λ мінімізації скалярної функції векторного аргументу розмірності n . Для цього запишемо функцію Лагранжа у вигляді

$$L(z, \lambda) = p_{\text{ош}} + \lambda (\|z\| - c). \quad (3.24)$$

Імовірність помилки на i -му інтервалі з урахуванням формули (3.7) виражається наступним чином:

$$p_{\text{ош}i} = Q(z_i \sqrt{N}).$$

Відповідно до методу Лагранжа для розв'язання задачі мінімізації функції (3.23) визначимо і прирівняємо нулю приватні похідні L по z_i и λ :

$$\frac{\partial L}{\partial z_i} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{z_i^2}{2}\right\} + 2\lambda z_i = 0, \quad i = 1, \dots, n, \quad (3.25.1)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = \|z\| - c = 0. \quad (3.25.2)$$

З однотипності рівнянь (3.25.1) випливає, що $z_1 = z_2 = \dots = z_n$, т. е. мінімізація функції (3.23) для заданого N досягається при дотриманні постійним значення z_i на усіх інтервалах $i, i = \overline{1, n}$. Значення z_i при цьому дорівнює $z_i = \|z\| / \sqrt{n}$.

Значення норми $\|z\|$ за умови $z_1 = z_2 = \dots = z_n$ визначається наступним чином:

$$\begin{aligned} \|z\| &= \left(\sum_{i=1}^n \frac{\sigma_{wi}^2}{\sigma_{xi}^2 + \sigma_n^2} \right)^{\frac{1}{2}} = \left(n \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_{wi}^2}{\sum_{i=1}^n (\sigma_{xi}^2 + \sigma_n^2)} \right)^{\frac{1}{2}} = \\ &= \left(\frac{n \sigma_{wcp}^2}{\sigma_{xcp}^2 + \sigma_n^2} \right)^{\frac{1}{2}} = \sqrt{n} (WSR^{-1} + WNR^{-1})^{-\frac{1}{2}}. \end{aligned} \quad (3.26).$$

Тоді отримаємо вираз для оптимального значення СКВ сигналу ЦВЗ на кожному часовому інтервалі при заданих коефіцієнтах WSR и WNR і відомих значеннях σ_{xi}^2 і σ_n^2 :

$$\sigma_{wi} = \sqrt{\sigma_{xi}^2 + \sigma_n^2} / \sqrt{WSR^{-1} + WNR^{-1}}. \quad (3.27)$$

Таким чином, при врахуванні поточної миттєвої потужності σ_{xi}^2 сигналу-носія потужність сигналу ЦВЗ в (3.4) повинна вибиратися відповідно до формули (3.27). При цьому ймовірність помилки буде постійна на кожному часовому інтервалі і дорівнює $p_{\text{ош}} = Q(z_{\text{опт}} \sqrt{N})$. Характеристики системи зі статистично інформованим кодером і нестационарним сигналом-носієм будуть такими ж як і для неінформованого кодеру, але для сигналу-носія типу АБГШ з відомим СКВ.

3.11. Повністю інформований кодер

Припустимо, що в передавачі відомий безпосередньо сигнал-носії $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_N)$. В цьому випадку назвемо кодер повністю інформованим. У складі кодеру необхідно мати узгоджений фільтр з коефіцієнтами, що задаються вектором $\mathbf{u} = (u_1, u_2, \dots, u_N)$. Відлік на виході узгодженого фільтра кодеру визначається скалярним твором: $\tilde{x} = (\mathbf{x}, \mathbf{u})$. Врахуємо значення при формуванні вектора сигналу ЦВЗ. Алгоритм формування вектора ЦВЗ запишемо в наступному вигляді:

$$\mathbf{w} = \begin{cases} 0, & \text{якщо } d \tilde{x} \geq \rho, \\ (d\rho - \tilde{x})\mathbf{u}, & \text{якщо } d \tilde{x} < \rho. \end{cases} \quad (3.28)$$

де $\rho > 0$ – певний поріг, $d = \{-1, 1\}$ – вбудований біт даних ЦВЗ.

У приймачі обробка сигналу як і раніше проводиться узгодженим фільтром з коефіцієнтами $\mathbf{u}$ або кореляційним приймачем і вирішальною схемою відповідно до знакової функції.

Логіка алгоритму (3.28) пояснюється наступним чином. Якщо передається одиниця $d=1$ і $\tilde{x} \geq \rho$, то вбудовувати ЦВЗ взагалі немає необхідності, тобто слід покласти $\mathbf{w}=0$. Якщо $\tilde{x} < \rho$, то до сигналу-носія слід додати певний вектор $\mathbf{w}=(\rho-\tilde{x})\mathbf{u}$ такий, що відлік на виході узгодженого фільтра в приймачі при відсутності шуму прийме значення $(\mathbf{x} + \mathbf{w}, \mathbf{u}) = \rho$. Аналогічні міркування можна провести і для випадку $d = -1$.

У приймачі сигнал на виході узгодженого фільтра в відлікові моменти часу визначається наступним чином:

$$\tilde{y} = (\mathbf{y}, \mathbf{u}) = (\mathbf{x} + \mathbf{w} + \mathbf{n}, \mathbf{u}) = (\mathbf{x}, \mathbf{u}) + (\mathbf{w}, \mathbf{u}) + (\mathbf{n}, \mathbf{u}) = \tilde{x} + \tilde{w} + \tilde{n}. \quad (3.29)$$

В останньому виразі значення $\tilde{w}$ залежить від $\tilde{x}$ у відповідності з (3.29). За умови $d \tilde{x} \geq \rho$ сигнал ЦВЗ відсутній, $\tilde{w}=0$ і випадкова величина $\tilde{y}$ представляється сумою незалежних випадкових величин $\tilde{x}$ і $\tilde{n}$: $\tilde{y} = \tilde{x} + \tilde{n}$. При $d \tilde{x} < \rho$ $\tilde{s} = d\rho + \tilde{n}$. Щільність розподілу ймовірності величини $\tilde{s}$ для випадку $\mathbf{n}=0$ показана на рисунку 3.7 при збереженні того ж значення σ_x , як і для неінформованого кодеру.

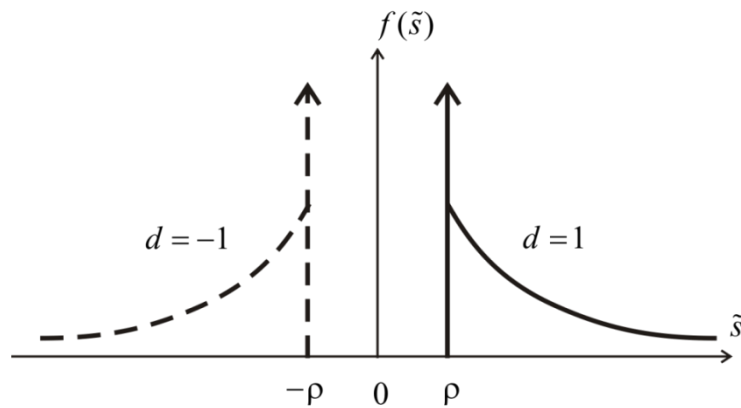


Рисунок 3.7 – Розподіл величини $\tilde{s}$ для алгоритму (3.8)

Вираз для щільності ймовірності $\tilde{y}$ при $d=1$ записується у вигляді:

$$f_{\tilde{y}}(\tilde{y}) = \Phi(\rho/N\sigma_x)\delta(\tilde{y}-\rho) + f_{\tilde{x}}(\tilde{x} > \rho), \quad (3.30)$$

де $\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left\{-\frac{u^2}{2}\right\} du$ – функція розподілу ймовірності нормальної випадкової величини;

$\delta(x)$ – дельта-функція;

$f_{\tilde{x}}(x)$ – щільність розподілу ймовірності величини $\tilde{x}$.

З рисунку 3.7 видно, що у відсутності шуму в каналі передачі ймовірність помилки дорівнює нулю, а захисний інтервал $(-\rho, \rho)$ визначає ймовірність помилки при наявності шуму в каналі.

Для проведення порівняльного аналізу характеристик виявлення ЦВЗ визначимо залежність потужності ЦВЗ від ρ . Дисперсія випадкової величини $\tilde{w}$ з урахуванням (3.28) визначається наступним чином:

$$\sigma_{\tilde{w}}^2 = \int_{-\infty}^{\rho} (x - \rho)^2 f_{\tilde{x}}(u) du, \quad (3.31)$$

де $f_{\tilde{x}}(u)$ – щільність розподілу ймовірності випадкової величини $\tilde{x}$ – сигналу на виході кореляційного приймача в відлікові моменти часу.

Навіть якщо відліки сигналу-носія x мають не гаусів розподіл, то будь-яка їх лінійна комбінація дає випадкову величину, розподіл якої асимптотичне наближається до нормального розподілу внаслідок центральної граничної теореми. Тому розподіл $\tilde{x}$ можна вважати нормальним:

$$f_{\tilde{x}}(u) = \Phi(u) = \frac{1}{\sigma_{\tilde{x}} \sqrt{2\pi}} \exp\left\{-\frac{u^2}{2\sigma_{\tilde{x}}^2}\right\}.$$

Після інтегрування частинами виразу (3.31) і враховуючи, що $\sigma_{\tilde{w}} = N\sigma_w$, отримаємо формулу для потужності сигналу ЦВЗ в залежності від призначеного ρ :

$$\sigma_w^2 = \left(\frac{\sigma_x^2}{N} + \frac{\rho^2}{N^2}\right) \Phi\left(\frac{\rho}{\sigma_x \sqrt{N}}\right) + \frac{\sigma_x \rho}{N} \phi\left(\frac{\rho}{\sigma_x \sqrt{N}}\right). \quad (3.32)$$

Ймовірність помилки при наявності шуму в каналі передачі, виходячи з формули (3.30) і рисунку 3.7, визначається з виразу:

$$p_{\text{ош}} = \Phi\left(\frac{\rho}{\sigma_x \sqrt{N}}\right) Q\left(\frac{\rho}{\sigma_x \sqrt{N}}\right) + \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi N}} \int_{\rho}^{\infty} Q\left(\frac{x}{\sigma_x \sqrt{N}}\right) \exp\left\{-\frac{x^2}{2N\sigma_x^2}\right\} dx. \quad (3.33)$$

Інтеграл у виразі (3.33) може бути обчислений чисельними методами.

Таким чином, за формулами (3.23) і (3.33) може бути розрахована ймовірність помилки для системи ЦВЗ з повністю інформованим кодером. Для отримання порівняльних результатів необхідно розраховувати ймовірність помилки для інформованого і неінформованого кодеру при однакових коефіцієнтах WSR и WNR . На жаль, з формули (3.32) для заданої потужності ЦВЗ σ_w^2 вираз для порога ρ не може бути отримано в замкненій формі. Тому при розрахунку ймовірності помилки по формулі (3.33) спочатку має бути отримано значення ρ з графічної залежності $\sigma_w^2(\rho)$ відповідно до формули (3.32), а потім вже обчислено значення $p_{\text{ош}}$.

Висновки по розділу 3

1. Існуючий в даний час метод голосової ідентифікації переданих телефонних повідомлень в морській рухомої службі не є надійним. Такий метод в значній мірі залежить від суб'єктивних факторів передавання мовного повідомлення і правильного сприйняття належним чином. Голосова ідентифікація не забезпечує передачу даних ідентифікації в інші навігаційні системи без безпосередньої участі людини – вахтового офіцера на містку судна. При цьому чітке і своєчасне сприйняття голосової інформації, передавався радіотелефоном, безпосередньо впливає на безпеку судноплавства, особливо при радіозв'язку у великої скупченості суден.

2. Розроблений метод АІ на технології впровадження ЦВЗ безпосередньо в сам звуковий сигнал дозволяє здійснювати надійне визначення передавальної станції незалежно і додатково до існуючої голосової ідентифікації. При цьому не потрібно будь-яка заміна штатного

приймально-передавального обладнання суднових і берегових станцій, зберігаються в повному обсязі всі експлуатаційні процедури радіозв'язку, передбачені Регламентом Радіозв'язку, і забезпечується повна сумісність обладнання з функцією AI і звичайного обладнання без цієї функції.

3. AI крім зниження рівня ненавмисних помилок судноводія через відсутність, неправильно переданої або сприйнятої з помилками ідентифікації сприяє виявленню анонімних передач і так званого ефекту залипання тангенти слухавки (“Keying phenomenon”), що вкрай шкідливо в зоні дії берегових СУРС. Додаткова приховано передана інформація в складі відкритого мовного повідомлення може використовуватися в спеціальних додатках радіозв'язку, наприклад, при загрозах терористичних атак.

4. Стеганографічне (не сприймане на слух) вбудовування додаткової інформації в вихідний звуковий сигнал-носіє вимагає рішення компромісного завдання вибору параметрів стегосистеми: кількість – якість – стійкість. Найбільш привабливим є використання інформованого кодеру в протилежність не інформованому для отримання найкращих характеристик системи ЦВЗ.

Матеріали третього розділу опубліковані в роботах [115, 116, 120, 214 – 216, 218 – 221, 225] списку публікацій за темою дисертації.

РОЗДІЛ 4.

ФОРМУВАННЯ, ВИЯВЛЕННЯ І ДЕКОДУВАННЯ ЦВЗ ДЛЯ АНАЛОГОВИХ РАДІОТЕЛЕФОННИХ КАНАЛІВ З УРАХУВАННЯМ РЕАЛЬНИХ ЗАВАД

4.1. Модель каналу передавання ЦВЗ

У морській рухомій службі для радіотелефонного зв'язку в УКХ, ПХ/КХ діапазонах використовується аналогова модуляція. Радіотелефонний зв'язок в значній мірі визначає навігаційну безпеку судноплавства. Для оперативного обміну мовними повідомленнями необхідна чітка і однозначно сприймана з обох сторін ідентифікація станцій. У той же час автоматична ідентифікація радіопередач в існуючих каналах радіозв'язку не передбачена і ідентифікація здійснюється голосовим чином.

Раніше було обґрунтовано застосування технології ЦВЗ для передачі по існуючим радіоканалах додаткової інформації, в першу чергу для впізнання передавача. Для розробки методів передавання додаткової інформації необхідний детальний аналіз характеристик радіоканалу, в першу чергу в УКХ діапазоні частот.

Стандартний УКХ радіоканал, який використовується в даний час в ГМЗЛБ, є аналоговим із застосуванням класів випромінювання F3E/G3E – частотна/фазова модуляція з використанням піднесучої частоти 1700 Гц.

Викликає інтерес аналіз перешкод, що діють в каналі, тому що перешкоди здійснюють руйнівний вплив на ЦВЗ через їхню малу потужність в порівнянні з фоновим мовним сигналом. Необхідність забезпечення стійкості до зовнішніх перешкод обумовлена вимогою дотримання принципу можливості виявлення і декодування даних ЦВЗ для всіх можливих перешкод, при яких ще зберігається розбірливість мовного повідомлення. В іншому випадку корисний ефект від застосування АІ зменшується. Іншими

словами АІ має функціонувати у всіх умовах доки можливе використання телефонного спілкування.

Модель каналу передавання даних ЦВЗ d на фоні звукового сигналу-носія X з урахуванням усіляких перешкод представлена на рисунку 4.1. УКХ радіотелефонний канал включає в себе апаратну частину стандартного

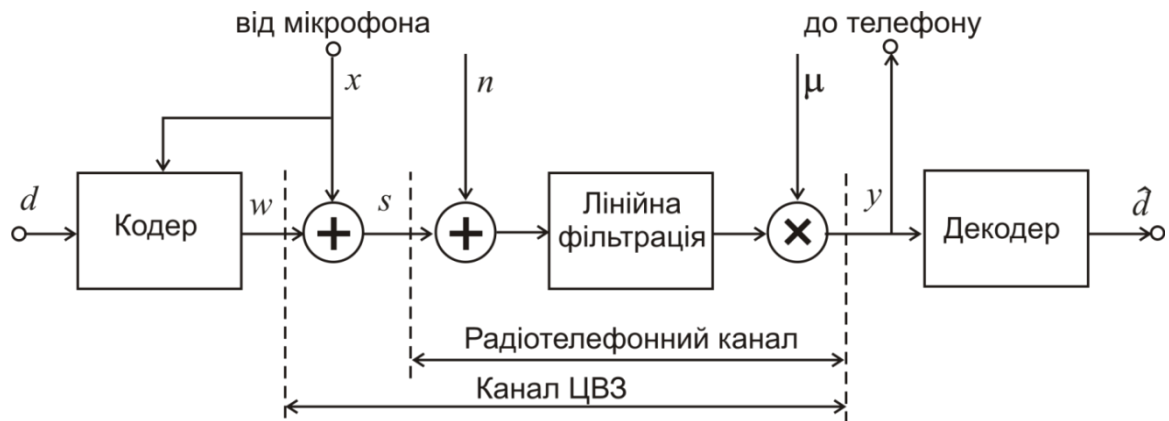


Рисунок 4.1 – Модель каналу передавання ЦВЗ в УКХ радіотелефонії

приймально-передавального тракту від мікрофонного входу в передавачі до лінійного виходу приймачі і власне ефірний радіоканал. дані ЦВЗ d перетворюються певним чином в кодері в сигнал w , який разом зі звуковим сигналом-носієм X піддається всім типових операцій аналогової обробки (підсиленню, модуляції, демодуляції, фільтрації) і впливу зовнішніх перешкод в радіоканалі. Сигнал-носіє X є для сигналу ЦВЗ w адитивною перешкодою великої потужності, яка в першу чергу обмежує швидкість передачі прихованої інформації. Для слуховій несприйнятливості ЦВЗ необхідне виконання нерівності $\sigma_x^2 \gg \sigma_w^2$.

Принциповим припущенням, що дозволяє отримати істотно більш високу швидкість прихованої передачі, є припущення про те, що сигнал X відомий в передавачі. Практично ця умова може бути реалізовано шляхом незначної затримки передавання в ефір стегосигналу $s = x + w$.

Крім сигналу-носія істотними для ЦВЗ в радіотелефони каналі є такі перешкоди [120]:

- 1) міжсимвольна інтерференція (спотворення) (МСІ);
- 2) нелінійні спотворення, зокрема, кліппірування сигналу внаслідок нелінійності амплітудної характеристики в схемах низькочастотного посилення (на малюнку не показані);
- 3) повільна мультиплікативна перешкода μ ;
- 4) адитивна перешкода n ;
- 5) помилки десинхронізації тактового генератора в приймачі.

МСІ обумовлені обмеженою частотною смугою приймача і багатопроменевим характером поширення радіохвиль. У морській радіотелефонії для передачі мовного сигналу стандартно відводиться смуга частот (300 ... 3000) Гц, в якій амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) каналу є істотно нерівномірною через наявність реактивних елементів в низькочастотних схемах. Багатопроменевий характер поширення радіохвиль обумовлює швидкі частотно-селективні спотворення сигналу. Таким чином, дві різні по своїй фізичній природі причини спотворень призводять до одного і того ж типу лінійних або МСІ спотворень, які за сукупністю відображені на схемі рисунку 4.1 блоком лінійної фільтрації.

Повільна мультиплікативна перешкода μ або неселективні завмирання мають місце тоді, запізнювання копій сигналу при багатопроменевому проходженні відрізняються незначно в порівнянні з тривалістю одного символу і АЧХ каналу в цьому випадку близька до рівномірної характеристики. Взаємний фазовий зсув копій сигналу в приймачі призводить до зниження потужності сигналу, так званого плоского федінгу.

Адитивна перешкода об'єднує всі адитивні шуми різної фізичної природи, включно з перешкодами квантування.

Під помилкою десинхронізації розуміється часовий зсув моментів взяття відліків сигналу в приймачі і помилки кадрової синхронізації.

Десинхронізація обумовлена тим, що внутрішні тактові генератори ЦАП і АЦП в передавачі і приймачі відповідно не мають загальної синхронізації. Оскільки в радіоканалі сигнал передається в аналоговій формі, то моменти взяття його відліків можуть бути зміщені на величину $\pm 1/(2F_s)$, де F_s – частота дискретизації.

Представлена модель завадової ситуації каналу використана далі при аналізі завадостійкості ЦВЗ.

4.2. ЦВЗ із збереженням норми сигналу

Алгоритм подвійний нормування сигналу для формування і виявлення та декодування ЦВЗ забезпечує нечутливість даних ЦВЗ до амплітудних спотворень в каналі передачі. Для досягнення нечутливості ЦВЗ до амплітудних спотворень в каналі передачі за рахунок застосування нормування сигналу необхідно забезпечити таке вбудовування ЦВЗ, при якому зберігається норма сигналу до і після вбудовування ЦВЗ.

Базовий одноканальний алгоритм ЦВЗ для перетворення одного звукового фрейму розроблений в статтях [215, 216]. Алгоритм базується на обчисленні коефіцієнта кореляції сигнального вектора $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_L)$ и деякого випадкового вектора $\mathbf{u} = (u_1, u_2, \dots, u_L)$. У загальному випадку вектори $\mathbf{x}$ и $\mathbf{u}$ лежать в векторному просторі з комплексними координатами: $\mathbf{x} \in \mathbb{C}^L$, $L \geq 2$. Випадковий вектор може використовуватися в якості секретного ключа при конфіденційної передачі прихованої інформації.

Далі обчислюється коефіцієнт кореляції (або нормоване скалярний добуток) за формулою:

$$\tilde{x} = \frac{(\mathbf{x}, \mathbf{u})}{\|\mathbf{x}\| \|\mathbf{u}\|}, \quad (4.1)$$

де $\|\cdot\|$ означає евклідову норму вектору, $\|\mathbf{x}\| = \sqrt{x_1 x_1^* + x_2 x_2^* + \dots + x_L x_L^*}$,

* – операція комплексного сполучення,

$(\mathbf{x}, \mathbf{u}) = x_1 u_1^* + x_2 u_2^* + \dots + x_L u_L^*$ – скалярний добуток в загальному випадку для комплексного простору.

З математики відомо, що скалярним добутком у векторному просторі L над полем комплексних $\mathbb{C}$ (або $\mathbb{R}$ дійсних чисел) є функція $(\mathbf{x}, \mathbf{y})$, яка визначена для кожної пари елементів $\mathbf{x}, \mathbf{y} \in L$, приймає значення в полі $\mathbb{C}$ (або $\mathbb{R}$) і задовольняє наступним умовам:

- 1) для будь-яких трьох елементів $\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \mathbf{y}$ простору L і будь-яких чисел α, β з поля $\mathbb{C}$ (або $\mathbb{R}$) справедлива рівність $(\alpha \mathbf{x}_1 + \beta \mathbf{x}_2, \mathbf{y}) = \alpha (\mathbf{x}_1, \mathbf{y}) + \beta (\mathbf{x}_2, \mathbf{y})$ (властивість лінійності скалярного добутку по першому аргументу);
- 2) для будь-яких $\mathbf{x}, \mathbf{y}$ справедлива рівність $(\mathbf{x}, \mathbf{y}) = (\mathbf{y}, \mathbf{x})^*$, де символ $*$ означає комплексне сполучення (ермітова симетричність);
- 3) для любого $\mathbf{x}$ виконується нерівність $(\mathbf{x}, \mathbf{x}) \geq 0$, причому $(\mathbf{x}, \mathbf{x}) = 0$ тільки при значенні $\mathbf{x} = 0$ (позитивна визначеність скалярного добутку).

За алгоритмом вбудовування ЦВЗ коефіцієнт кореляції $\tilde{X}$ піддається квантуванню. Можуть бути різні варіанти квантування в полі $\mathbb{C}$ комплексних чисел:

- 1) квантування мнімою і дійсної частин $\tilde{X}$;
- 2) квантування амплітуди вектора $\tilde{X}$ зі збереженням його фази;
- 3) квантування фази вектора $\tilde{X}$ зі збереженням його амплітуди.

При квантуванні може бути використана числова решітка, що задається, зокрема при квантуванні амплітуди, формулою:

$$\Lambda_d = \left\{ \Delta N + \frac{\Delta}{2} d + \delta \right\} \cap [0, 1), \quad (4.2)$$

де Δ – крок квантування;

N – послідовність натуральних чисел, включаючи нуль;

$d = \{0, 1\}$ – вбудований біт даних;

δ – зміщення решітки.

Наприклад, вважаючи $\Delta = 0,5$, $\delta = 0,1$, числові решітки для бітів 0 і 1 утворюються відповідно послідовностями: $\Lambda_0 = \{0,1; 0,6\}$ і $\Lambda_1 = \{0,35; 0,85\}$. Параметри, Δ , δ можуть бути включені в стеганографічний ключ (стегоключ) поряд з випадковим вектором $\mathbf{u}$.

У загальному випадку значення скалярного добутку $\tilde{x}$ є комплексним числом.

Зробимо рівномірне квантування $\tilde{x}$ шляхом скалярного квантування по деякому правилу Q з кроком Δ і з урахуванням вбудованого біта даних d :

$$\tilde{s} = Q(\tilde{x}, \Delta, d). \quad (4.3)$$

Необхідно знайти комплексний вектор стегосигналу $\mathbf{s}$, тобто сигналу з вбудованим бітом ЦВЗ, який задовольняє наступним умовам:

- 1) $\|\mathbf{s}\| = \|\mathbf{x}\|$ – потужність сигналу зберігається;
- 2) $\tilde{s} = (\mathbf{s}, \mathbf{u}) / \|\mathbf{s}\| \|\mathbf{u}\|$ – коефіцієнт кореляції векторів повинен дорівнювати значенню $\tilde{s}$, визначеного формулою (4.3), що дозволить однозначно визначити вбудований біт даних в приймачі;

- 3) $\|\mathbf{s} - \mathbf{x}\| = \min$ – спотворення що вносяться повинні бути мінімальними.

Таким чином, маємо класичну задачу мінімізації цільової функції за умовою 3) при наявності обмежень за умовами 1) і 2).

Ця задача вирішена з наступних міркувань [215]. Для геометричного уявлення розв'язуваної задачі розглянемо тримірний векторний простір дійсних нормованих векторів $\mathbb{R}^3$.

Переносячи відому формулу для скалярного добутку векторів на площині $(\mathbf{s}, \mathbf{u}) = |\mathbf{s}| \cdot |\mathbf{u}| \cos \vartheta$ (скалярний добуток векторів дорівнює добутку їх модулів помножений на косинус кута між векторами) в тривимірний простір, можна зробити висновок, що шуканий вектор $\mathbf{s}$ повинен утворювати конічну

поверхню з вершиною конуса на початку координат і висотою конуса, що збігається по напрямку з вектором $\mathbf{u}$. При цьому кут розкриття конуса становить 2ϑ .

Геометрична інтерпретація для тримірного векторного простору $\mathbb{R}^3$ представлена на рисунку 4.2. Вихідний вектор сигналу-носія $\mathbf{x}$ повинен бути трансформований в вектор стегосигналу при збереженні норми $\|\mathbf{s}\| = \|\mathbf{x}\|$, тобто довжини векторів $\mathbf{x}$, $\mathbf{s}$ зберігаються рівними. Корегуючий вектор $\mathbf{w}$ являє собою сигнал ЦВЗ який додається до вихідного сигналу: $\mathbf{s} = \mathbf{x} + \mathbf{w}$ і є джерелом внесених спотворень.

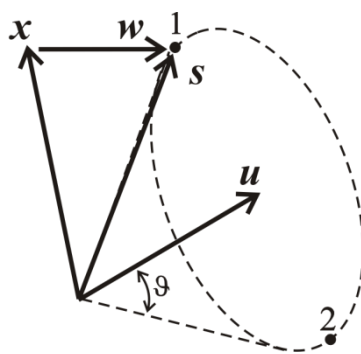


Рисунок 4.2 – Геометрична інтерпретація векторів в тримірному векторному просторі

У просторі скалярних векторів результат скалярного добутку набуває комплексне значення. У цьому випадку значення косинуса $\cos\vartheta = \tilde{s}$ також має бути комплексним числом, що, загалом, має місце виходячи з узагальненого визначення функції косинуса комплексного аргументу через гіперболічні функції:

$$\cos(x + jy) = \cos(x) \cosh(y) - j \sin(x) \sinh(y). \quad (4.4)$$

Умова 3) $\|\mathbf{w}\| = \min$ накладає на вектор $\mathbf{s}$ вимогу, що цей вектор знаходиться в площині, яка проходить через вектори $\mathbf{x}$ і $\mathbf{u}$, тобто може бути представлений у вигляді лінійної комбінації цих векторів:

$$\mathbf{s} = a\mathbf{x} + b\mathbf{u}. \quad (4.5)$$

Для вирішення завдання необхідно знайти коефіцієнти a і b . Для їх знаходження помножимо скалярно обидві частини рівняння (4.5) на вектор $u \neq 0$:

$$(s, u) = a(x, u) + b(u, u). \quad (4.6)$$

Звідси коефіцієнт b виразиться в такий спосіб:

$$b = \frac{(s, u) - a(x, u)}{\|u\|^2}. \quad (4.7)$$

Далі помножимо скалярно обидві частини рівняння (4.5) на вектор $s \neq 0$:

$$(s, s) = a(x, s) + b(u, s). \quad (4.8)$$

Після підстановки $s = ax + bu$ отримаємо наступне:

$$\|s\|^2 = a(x, (ax + bu)) + b(u, s). \quad (4.9)$$

З огляду на властивість ермітової симетричності $(x, y) = (y, x)^*$, в результаті тотожних перетворень, послідовно отримаємо:

$$\begin{aligned} \|s\|^2 &= a((ax + bu), x)^* + b(s, u)^* = \\ &= a(a(x, x) + b(u, x))^* + b(s, u)^* = \\ &= a(a\|x\|^2 + b(x, u)^*)^* + b(s, u)^* = \\ &= aa^*\|x\|^2 + ab^*(x, u) + b(s, u)^*. \end{aligned}$$

Підставляючи в останню тотожність вираз для коефіцієнта b з формули (4.7), отримаємо:

$$\|s\|^2 = aa^*\|x\|^2 + a \frac{(s, u)^* - a^*(x, u)^*}{\|u\|^2} (x, u) + \frac{(s, u) - a(x, u)}{\|u\|^2} (s, u)^*. \quad (4.10)$$

Враховуючи що $\|s\| = \|x\|$, далі отримаємо:

$$\begin{aligned} 1 &= aa^* + a \frac{(s, u)^* - a^*(x, u)^*}{\|u\|^2 \|s\|^2} (x, u) + \frac{(s, u) - a(x, u)}{\|u\|^2 \|s\|^2} (s, u)^*. \\ 1 &= aa^* + a(\tilde{s}^* - a^* \tilde{x}^*) \tilde{x} + (\tilde{s} - a\tilde{x}) \tilde{s}^*. \end{aligned}$$

$$1 = aa^* + a\tilde{s}^*\tilde{x} - aa^*\tilde{x}\tilde{x}^* + \tilde{s}\tilde{s}^* - a\tilde{x}\tilde{s}^*.$$

$$1 = aa^* - aa^*\tilde{x}\tilde{x}^* + \tilde{s}\tilde{s}^*.$$

З останнього виразу отримуємо рішення для коефіцієнта a у вигляді:

$$a_{1,2} = \pm \sqrt{\frac{1 - \tilde{s}\tilde{s}^*}{1 - \tilde{x}\tilde{x}^*}}. \quad (4.11)$$

У формулі (4.11) для коефіцієнта a радикал повинен бути взятий зі знаком плюс, що відповідає найближчому до вектору $\mathbf{x}$ рішенням (точка 1 на рисунку 4.2). Точка 2 дає рішення для найбільш віддаленого вектора в разі негативного значення коефіцієнта a .

Коефіцієнт b , слідуючи (4.7), обчислюється за формулою

$$b = (\tilde{s} - a\tilde{x}) \frac{\|\mathbf{x}\|}{\|\mathbf{u}\|}. \quad (4.12)$$

Таким чином, отримані коефіцієнти для обчислення вектора $\mathbf{s}$.

Остаточно вектор $\mathbf{s}$ обчислюється за формулою (4.5) по відомим векторах $\mathbf{x}$ і $\mathbf{u}$ з підстановкою в неї коефіцієнтів a і b .

Перетворення (4.5) забезпечує мінімізацію внесених спотворень $\|\mathbf{x} - \mathbf{s}\| = \min$ при збереженні норми вектора стегосигналу $\|\mathbf{s}\| = \|\mathbf{x}\|$. Фізично збереження норми сигналу означає збереження його потужності, що є важливим для:

- забезпечення нечутливості ЦВЗ до амплітудних коливань сигналу шляхом подвійного нормування сигналу і
- забезпечення слухової нечутливості внесених спотворень.

Формули (4.5), (4.11), (4.12) дозволяють сформувати сигнал з ЦВЗ, який мінімально за СКВ відрізняється від вихідного сигналу і має ту ж потужність, що і вихідний сигнал. При тому забезпечується необхідне значення скалярного добутку $\tilde{s} = (\mathbf{s}, \mathbf{u}) / \|\mathbf{s}\| \|\mathbf{u}\|$, дорівнює квантованому значенню $\tilde{x}$. Інваріантність норми сигналу до внесення ЦВЗ дозволяє в

кінцевому підсумку забезпечити їх нечутливість до амплітудних спотворень в каналі передачі.

4.3. Квантування коефіцієнту кореляції

Для передачі додаткової інформації на тлі звукового сигналу необхідна модуляція будь-якого параметра цього сигналу. Таким кращим параметром є коефіцієнт кореляції сигнального і опорного векторів.

Коефіцієнт кореляції нечутливий до амплітуди сигналів. Тому його використання дозволяє добитися стійкості ЦВЗ в каналах з амплітудними спотвореннями сигналів. До таких каналів відносяться всі реальні аналогові радіотелефонні канали морського радіозв'язку.

Для того щоб скористатися цією властивістю коефіцієнта кореляції розроблений алгоритм формування стегосигналу зі збереженням норми сигналу дозволяє забезпечити нечутливість ЦВЗ до повільних завмирань в каналі радіозв'язку.

Ключовий операцією в техніці формування ЦВЗ є операція квантування. Коефіцієнт кореляції в загальному випадку є комплексним числом. Тому можливі, як мінімум, наступні варіанти квантування: а) амплітуди, б) фази, в) реальної чи мнімою частин коефіцієнта кореляції, г) одночасне квантування реальної та мнімою складових. Найбільший інтерес представляють окремо амплітудне і фазове квантування, а також спільне квантування дійсної і мнімою частин коефіцієнта кореляції.

Відповідно вбудовування ЦВЗ коефіцієнта кореляції (КК) названо амплітудним квантуванням (АК), фазовим квантуванням (ФК) і амплітудно-фазовим квантуванням (АФК) за аналогією з відомими традиційними видами модуляції в системах радіозв'язку. Однак при звичайній модуляції зміни піддаються параметри несучого коливання – амплітуда, фаза або спільно обидва цих параметра. У нашому ж випадку зміни піддається коефіцієнт кореляції сигнального і опорного векторів.

В результаті такої модуляції один біт ЦВЗ розподіляється на всі відліки вектора сигналу. Або більш коректно – енергія сигналу ЦВЗ, що переносить один біт інформації рівномірно розподіляється по всій довжині вектора сигналу-носія в часовому вимірі. Якщо ж використовувати в якості сигналу-носія коефіцієнти перетворення Фур'є, то вся потужність сигналу одного біта ЦВЗ буде розподілена в частотно-часовій площині. Такий підхід формування ЦВЗ відповідає усталеній концепції синтезу складних сигналів в сучасних широкосмугових системах радіозв'язку і радіолокації [157].

Амплітудне квантування (АК)

При АК квантується тільки амплітуда коефіцієнта кореляції $\tilde{x} = (\mathbf{x}, \mathbf{u}) / \|\mathbf{x}\| \|\mathbf{u}\|$, а його фаза залишається без змін.

Квантування амплітуди здійснюється на решітці (4.2) и значення амплітуди $\tilde{s}$ може бути розраховане по формулі:

$$A_s = \Delta \left\lfloor \left(\frac{|\tilde{x}| - \Delta d / 4}{\Delta} \right) \right\rfloor + \Delta d / 4, \quad (4.13)$$

де Δ – крок скалярного квантування,

$d \in \{-1, 1\}$ – вбудовані дані;

$\lfloor \rfloor$ – операція округлення до найближчого цілого числа.

В результаті квантування амплітуд вектори $\tilde{s}$ займають положення на концентричних кіл. Можна назвати їх геометричним місцем точок векторів $\tilde{s}(d = -1)$ и $\tilde{s}(d = 1)$ в залежності від значення вбудованого біта ЦВЗ d . Позначимо множини цих точок S_0 и S_1 при $d = -1$ (логічний «0») и $d = 1$ (логічна «1») відповідно.

Рисунок 4.3 ілюструє трансформацію розподілу амплітуд $\tilde{x}$ в результаті модуляції. Спочатку розподіл $|\tilde{x}|$ є безперервним і з достатньою точністю апроксимується законом розподілу Релея. В результаті АК тобто дискретизації амплітуди $\tilde{x}$ у відповідності зі значенням біта ЦВЗ амплітуда

приймає одне з дозволених дискретних значень як показано на рис. 4.4. для прикладу передачі одиничного біта. Вектор $\tilde{s}$ переміщається на найближчу лінію кола, яка відповідає «1» за рахунок зміни амплітуди. Фаза вектора $\tilde{s}$ при цьому залишається такою ж, як і в векторі $\tilde{x}$.

Пунктирною лінією показана межа підпросторів, що відповідають різним рішенням при демодуляції. В результаті дії будь-яких перешкод в каналі передачі вектор стегосигналу спотворюється і на вхід приймача надходить вектор $y = s + n$, де вектор n відображає вплив перешкоди.

У приймачі обчислюється коефіцієнт кореляції прийнятого сигналу з відомим опорним сигналом u : $\tilde{y} = (y, u) / \|y\| \|u\|$. Через вплив перешкоди в загальному випадку $\tilde{y} \neq \tilde{s}$.

З врахуванням того, що $\|y\| \approx \|s\|$ вираз для $\tilde{y}$ може бути представлений в вигляді:

$$\tilde{y} = \frac{(y, u)}{\|y\| \|u\|} = \frac{(s, u)}{\|y\| \|u\|} + \frac{(n, u)}{\|y\| \|u\|} = \frac{\tilde{s} \|s\| \|u\|}{\|y\| \|u\|} + \frac{\tilde{n} \|n\| \|u\|}{\|y\| \|u\|} \approx \tilde{s} + \tilde{n} \frac{\|n\|}{\|y\|}, \quad (4.14)$$

де $\tilde{n} = \frac{(n, u)}{\|n\| \|u\|}$ – коефіцієнт кореляції вектора перешкоди з вектором опорного сигналу.

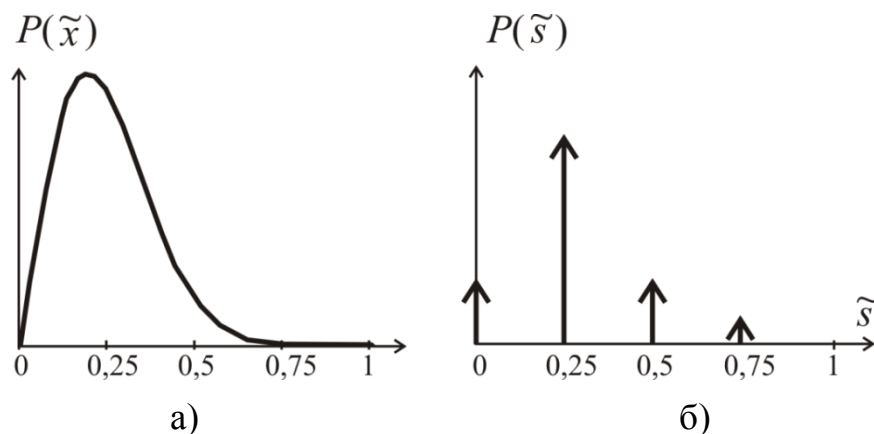


Рисунок 4.3 – Розподіл амплітуд коефіцієнтів кореляції: а) для вихідного сигналу; б) після квантування амплітуди АК-4, $\Delta = 0,5$

У виразу (4.14) відношення $\|\mathbf{u}\|/\|\mathbf{y}\|$ є миттєве відношення перешкода / (сигнал + перешкода). На рисунку 4.4 позначено $\tilde{n}' = \tilde{n} \frac{\|\mathbf{n}\|}{\|\mathbf{y}\|}$

Перешкодостійкість ЦВЗ визначається, як впливає з рисунку 4.4

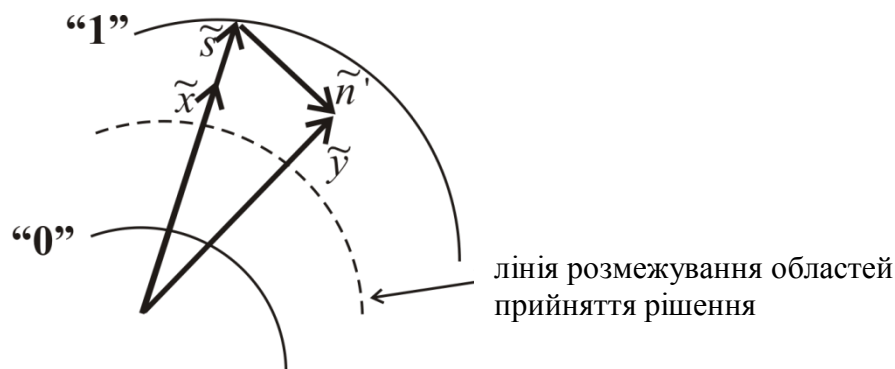


Рисунок 4.4 – Ілюстрація впливу перешкоди при АК

відстанню між конкуруючими лініями положень коефіцієнта кореляції $\tilde{s}$ для різних значень біта ЦВЗ. Якщо в результаті дії перешкоди вектор $\tilde{n}'$ призведе к переходу вектора $\tilde{y} = \tilde{s} + \tilde{n}'$ за граничну лінію, то рішення про прийняте бите буде помилково. Границя областей з протилежними рішеннями проходить на рівних віддаленнях від ліній «0» і «1» розташувань коефіцієнтів кореляції $\tilde{s}$ в передавачі і рішення про прийнятий біт ЦВЗ приймається в приймачі по мінімальній відстані.

Таким чином, оцінка прихованого біта ЦВЗ $\hat{d}$ здійснюється на решітці (4.2) виходячи з критерію максимальної правдоподібності за формулою:

$$\hat{d} = \arg \min_{\lambda \in \Lambda_d} \text{dist}(|\tilde{y}|, \lambda). \quad (4.15)$$

На рисунку 4.5 наведені сузір'я коефіцієнтів $\tilde{x}$, $\tilde{s}$ і $\tilde{y}$, отримані шляхом комп'ютерного моделювання при використанні тестового звукового сигналу. У якості перешкоди приймався АБГШ на рівні -20 дБ.

З аналізу геометричної конфігурації S_0 и S_1 на комплексній площині впливає, що АК мало чутливе до фазових спотворень. Дійсно, навіть при

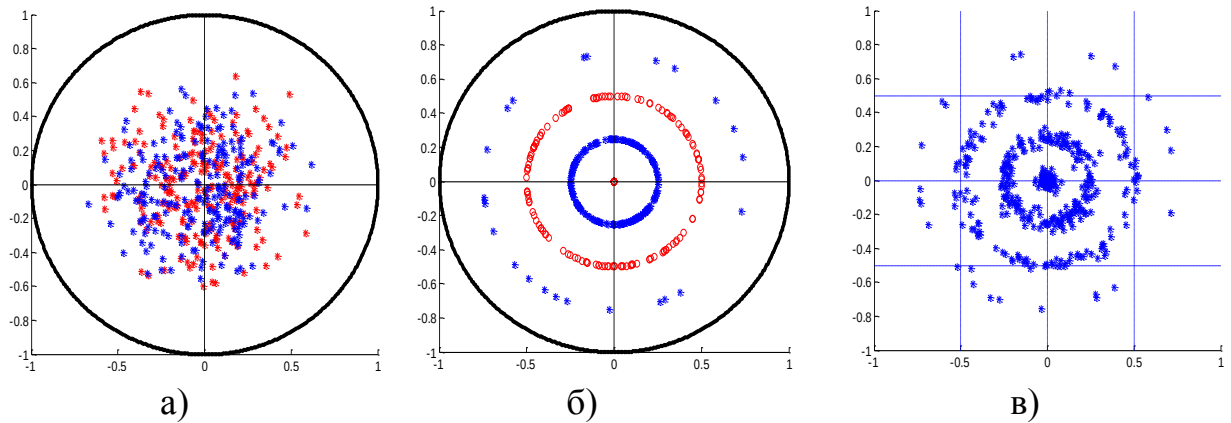


Рисунок 4.5 – Сузір'я коефіцієнтів кореляції при АК-4 на комплексній площині: а) в передавачі $\tilde{X}$ до квантування; б) в передавачі $\tilde{S}$ після квантування; в) $\tilde{Y}$ у приймачі у разі впливу АБГШ

великому за величиною векторі $\tilde{n}'$, але спрямованого під кутом близьким до прямого кута до радіального напрямку, помилки не виникне. Помилки найбільш вірогідні при розташуванні вектора $\tilde{n}'$ вздовж радіуса (див. рисунок 4.4).

Фазове квантування (ФК)

При ФК коефіцієнта кореляції квантуванню на решітці (4.2) піддається фаза $\tilde{X}$, а його модуль залишається без змін $A_{\tilde{S}} = A_{\tilde{X}}$ (рисунок 4.6). Квантоване значення фази може бути розраховане за формулою:

$$\varphi_{\tilde{S}} = \Delta \left\lfloor \left(\frac{\varphi_{\tilde{X}} - \Delta d / 4}{\Delta} \right) \right\rfloor + \Delta d / 4 \quad (4.16)$$

В результаті ФК вектор $\tilde{S}$ займає положення на промені «0» як показано на рисунку 4.6 у разі передачі нульового біта ЦВЗ. Так як фаза $\varphi_{\tilde{X}}$ спочатку розподілена рівномірно в інтервалі $[0, 2\pi]$, то після квантування фаза $\varphi_{\tilde{X}}$ коефіцієнта $\tilde{S}$ має рівномірний дискретний розподіл.

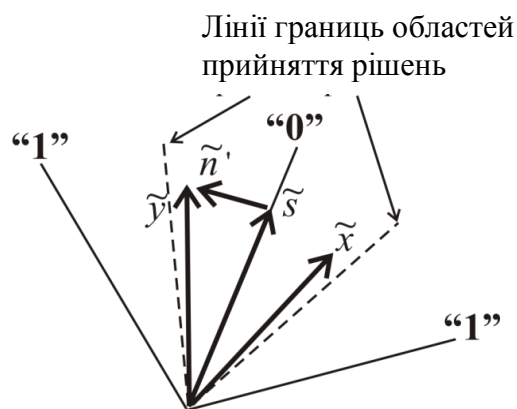


Рисунок 4.6 – Ілюстрація впливу завади при ФК

Логіка прийняття рішення про прийнятий біт на приймальній стороні така ж як і при АМ. На рисунку 4.6 пунктирною лінією показані границі областей приймання рішень при демодуляції. В результаті дії будь-яких перешкод в каналі передачі вектор стегосигналу спотворюється і на вхід приймача надходить вектор $y = s + n$, де вектор n відображає вплив перешкоди.

У приймачі обчислюється коефіцієнт кореляції прийнятого сигналу з відомим опорним сигналом u : $\tilde{y} = (y, u) / \|y\| \|u\|$. Через вплив перешкод він зміщується відносно $\tilde{y}$. Рішення про прийняте біте приймається на підставі того, в якому секторі знаходиться коефіцієнт $\tilde{y}$.

На рисунку 4.7 наведені сузір'я коефіцієнтів $\tilde{x}$, $\tilde{s}$ і $\tilde{y}$ для ФК. Рівень завади у вигляді АБГШ як і раніше становить -20 дБ.

Явним недоліком ФК є залежність завадостійкості ЦВЗ від амплітуди коефіцієнта кореляції. При зменшенні $|\tilde{x}|$ завадостійкість знижується аж до нуля.

Амплітудно-фазове квантування (АФК)

Для АФК КК при передаванні «нуля» і «одиниці» використовується відповідно решітки на комплексній площині наступних видів:

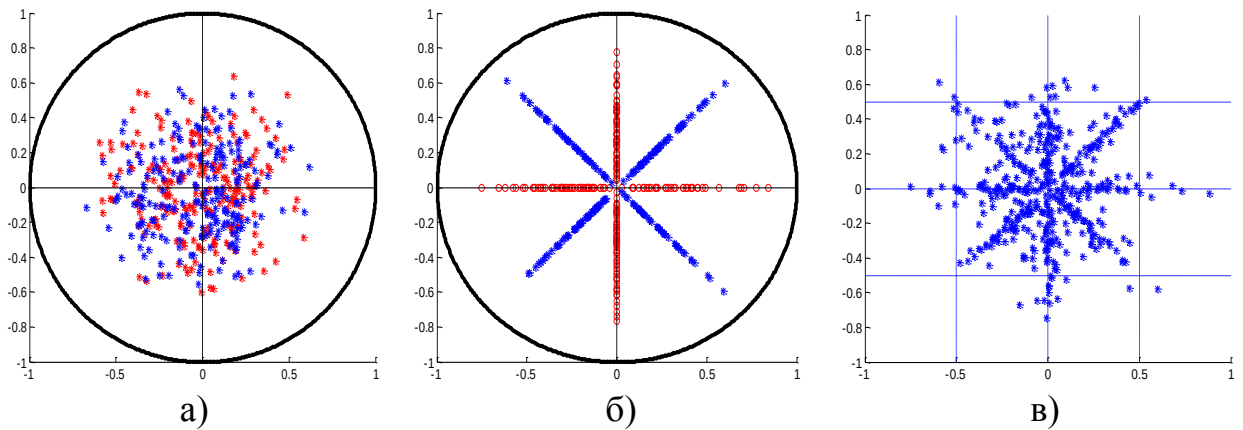


Рисунок 4.7 – Сузір'я коефіцієнтів кореляції при 8-ми позиційному фазовому квантуванні КК-8 на комплексній площині: а) в передавачі $\tilde{X}$ до квантування; б) в передавачі $\tilde{X}$ після квантування; в) $\tilde{Y}$ в приймачі

$$\Lambda_0 = \Delta \{ (\mathbb{Z} + 0,5) + j\mathbb{Z} \} \exp(j\delta), \quad (4.17)$$

$$\Lambda_1 = \Delta \{ \mathbb{Z} + j(\mathbb{Z} + 0,5) \} \exp(j\delta), \quad (4.18)$$

де $\mathbb{Z}$ – множина цілих чисел,

δ – кут повороту решітки.

При цьому повинно виконуватися обмеження

$$\operatorname{Re}^2(\Lambda_d) + \operatorname{Im}^2(\Lambda_d) < 1. \quad (4.19)$$

На рисунку 4.8 проілюстрована АФК КК при наступних параметрах: $\Delta = 0,5$, $\delta = \pi/4$. З огляду на те, що для таких параметрів існують 12 точок концентрації коефіцієнтів $\tilde{X}$, така модуляція може бути названа АФК-12. Сузір'я коефіцієнтів кореляції і вплив на них АБГШ для АФК-12 представлені також на рисунку 4.8.

Відмінність від добре відомої в системах зв'язку АФК в тому, що в нашому випадку квантуванню піддається не амплітуда і фаза несучого коливання як в класичній КАМ, а комплексний коефіцієнт кореляції сигнального x и опорного u векторів.

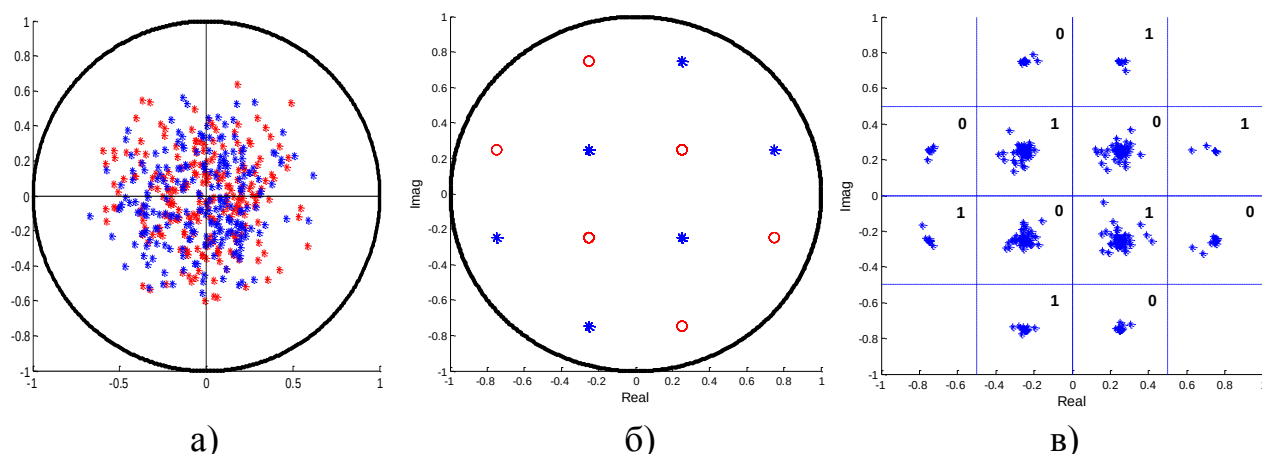


Рисунок 4.8 – Сузір'я коефіцієнтів кореляції при АФК-12 на комплексній площині: а) коефіцієнти кореляції в передавачі $\tilde{x}$ до модуляції; б) коефіцієнти кореляції в передавачі $\tilde{x}$ після модуляції; в) коефіцієнти кореляції $\tilde{y}$ в приймачі

Коефіцієнти кореляції при вбудовуванні одиничного біта ЦВЗ показані на рисунку 4.8 синім хрестиком, а для нульового біта – червоним кружком. Спочатку розташування точок $\tilde{x}$ носить хаотичний характер (рисунок 4.8 а)). Після вбудовування ЦВЗ коефіцієнт кореляції зміщується в найближчий вузол решітки, відповідний «нулю» або «одиниці» ЦВЗ (рисунок 4.8 б)).

Оцінка прихованого біта ЦВЗ $\hat{d}$ здійснюється на решітці (4.17), (4.18) виходячи з критерію максимальної правдоподібності за формулою:

$$\hat{d} = \arg \min_{\lambda \in \Lambda_d} \text{dist}(|\tilde{y}|, \lambda), \quad (4.20)$$

$$\text{де } \tilde{y} = \frac{(y, u)}{\|y\| \|u\|}.$$

4.4. Дисперсія сигналу ЦВЗ при модуляції коефіцієнтів кореляції

АК коефіцієнта кореляції

Вираз в позначеннях рисунку 4.9 для дисперсії нормованого вектора $\tilde{w}_n = \tilde{s} - \tilde{x}$ в полярних координатах має вигляд:

$$\begin{aligned}
\sigma_{\text{AK}}^2 &= \iint_{x, \varphi} x^2 P(x, \varphi) dx d\varphi = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} d\varphi \frac{2}{\Delta} \int_{-\Delta/4}^{\Delta/4} x^3 dx = \\
&= \frac{2}{3\Delta} x^3 \Big|_{-\Delta/4}^{\Delta/4} = \frac{2}{3\Delta} \left(\frac{\Delta^3}{32} \right) = \frac{\Delta^2}{48}.
\end{aligned} \tag{4.34}$$

ФК коефіцієнта кореляції

Вираз для дисперсії $\tilde{w}$ у випадку ФК (рисунок 4.10), отримане

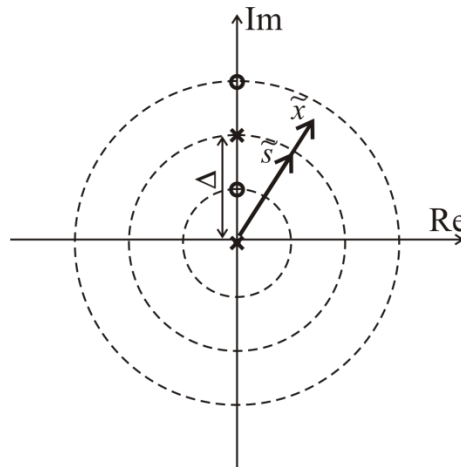


Рисунок 4.9 – Обчислення дисперсії $\tilde{w}_n$ для АК, $d=1$

інтегруванням в полярних координатах, має такий вигляд:

$$\begin{aligned}
\sigma_{\text{ФК}}^2 &= \iint_{x, \varphi} x^2 \varphi^2 P(x, \varphi) dx d\varphi = \frac{4}{\Delta_\varphi} \int_0^{\Delta_\varphi/2} \varphi^2 d\varphi \int_0^1 x^3 dx = \\
&= \frac{1}{\Delta_\varphi} \int_0^{\Delta_\varphi/2} \varphi^2 d\varphi = \frac{1}{2\Delta_\varphi} \varphi^3 \Big|_0^{\Delta_\varphi/2} = \frac{1}{2\Delta_\varphi} \left(\frac{\Delta_\varphi^3}{8} \right) = \frac{\Delta_\varphi^2}{16}.
\end{aligned} \tag{4.35}$$

Очевидно, що стійкість ЦВЗ при ФК крім кроку квантування фази Δ_φ в пропорційній мірі залежить від кореляції сигналу-носія і опорного вектора $\tilde{x} = (x, u)$.

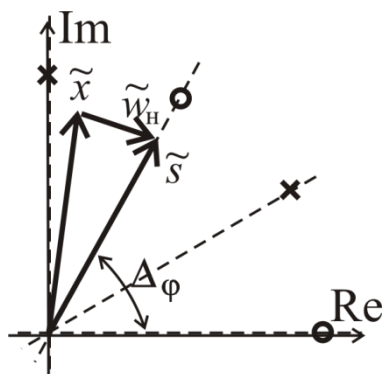


Рисунок 4.10 – Обчислення дисперсії $\tilde{w}_n$ для ФК, $d = 0$, $\Delta_\varphi = \pi/3$

АФК коефіцієнта кореляції

Внесені спотворення при модуляції кількісно визначаються середнім квадратичним значенням амплітуди вектора $\tilde{w}_n = \tilde{s} - \tilde{x}$ або другим початковим моментом випадкової величини $|\tilde{w}_n|$. Для фіксованого $\tilde{s}$ вектор $\tilde{w}_n$ завжди знаходиться в межах квадрата зі стороною Δ як показано на рисунку 4.11. Вважаємо, що точки вершин вектора $\tilde{x}$ розподілені рівномірно в межах цього квадрата, виділеного на рисунку сірим фоном. Необхідно

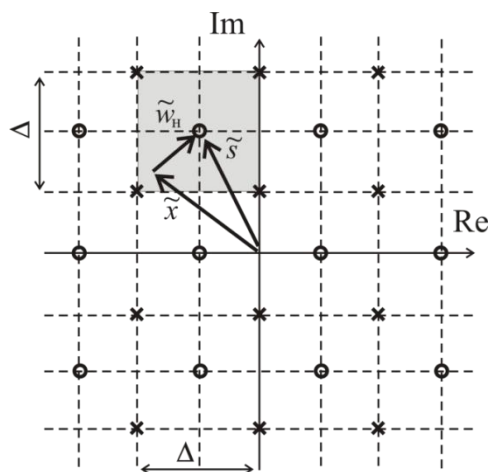


Рисунок 4.11 – Спотворення, що вносяться при АФК

знайти розподіл амплітуд вектора $\tilde{w}_n$ і далі обчислити другий початковий момент випадкової величини $|\tilde{w}_n|$.

Для визначення щільності розподілу ймовірності в аналітичному вираженні звернемося до рисунку 4.12 позначимо $r = 2|\tilde{w}_n|/\Delta$ і будемо далі оперувати з нормованим до $\Delta/2$ значенням амплітуди.

При значенні $r \leq 1$ ймовірність $P(r)$ дорівнює площі кільця шириною δ і радіусом r при наближенні δ до нуля. На відрізку $[1, \sqrt{2}]$ ця ймовірність буде визначатися тільки тією частиною кільця, яка перетинається з квадратом, виділеним на рисунку 4.12 пунктирною лінією. Беручи до уваги очевидні з рисунку 4.12 співвідношення

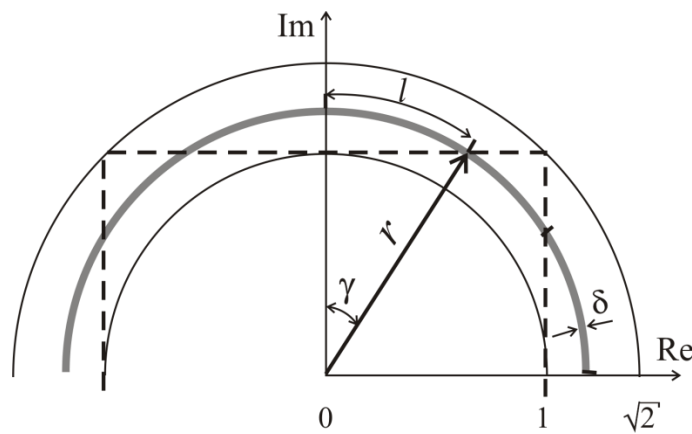


Рисунок 4.12 – Обчислення функції розподілу r

$$\cos \gamma = \frac{1}{r}, \quad (4.36)$$

$$l = r\gamma, \quad (4.37)$$

отримаємо вираз ймовірності на відрізку $[1, \sqrt{2}]$ з точністю до константи C_1 :

$$P(r) = C_1 \left(\frac{2\pi r}{8} - l \right) = 2C_1 r (\pi - 4\gamma) = 2C_1 r \left(\pi - 4 \arccos \left(\frac{1}{r} \right) \right) \quad (4.38)$$

На відрізку $[0, 1]$ ймовірність дорівнює

$$P(r) = C_2 r \quad (4.39)$$

Звідси в точці $r = 1$ будемо мати: $C_1 = \frac{C_2}{2\pi}$

Таким чином, отримаємо вираз для потрібної ймовірності з точністю до константи C_2

$$P(r) = \begin{cases} C_2 r, & r \leq 1, \\ C_2 r \left(\pi - 4 \arccos(r^{-1}) \right) / \pi, & 1 \leq r \leq \sqrt{2}. \end{cases} \quad (4.40)$$

Константа C_2 визначається з умови нормування $C_2 \int_0^{\sqrt{2}} P(x) dx = 1$:

$$C_2 \left(\int_0^1 r dr + \int_1^{\sqrt{2}} r dr - \frac{4}{\pi} \int_1^{\sqrt{2}} r \arccos\left(\frac{1}{r}\right) dr \right) = 1. \quad (4.41)$$

Значення невизначених інтегралів обернених тригонометричних функцій за таблицями:

$$\int x \operatorname{arcsec}(x) dx = \frac{1}{2} \left(x^2 \operatorname{arcsec}(x) - \sqrt{x^2 - 1} \right) + C. \quad (4.42a)$$

Також далі знадобиться інтеграл виду:

$$\begin{aligned} \int x^n \operatorname{arcsec}(x) dx &= \\ &= \frac{1}{n+1} (x^{n+1} \operatorname{arcsec}(x) - \frac{1}{n} [x^{n-1} \sqrt{x^2 - 1} + (1-n)(x^{n-1} \operatorname{arcsec}(x) + \\ &+ (1-n) \int x^{n-2} \operatorname{arcsec}(x) dx])]. \end{aligned} \quad (4.42b)$$

Остаточно отримаємо аналітичний вираз потрібної щільності ймовірності в такому вигляді:

$$P(r) = \begin{cases} \frac{\pi}{2} r, & r \leq 1, \\ \frac{r}{2} \left(\pi - 4 \arccos\left(\frac{1}{r}\right) \right), & 1 \leq r \leq \sqrt{2}. \end{cases} \quad (4.43)$$

Графік щільності ймовірності $P(r)$, побудований за формулами (4.43), представлений на рисунку 4.13.

Визначимо дисперсію випадкової величини $\tilde{w}_n$. Оскільки $M[\tilde{w}_n] = 0$ з урахуванням рівності $\arccos(1/r) = \operatorname{arcsec}(r)$ отримаємо:

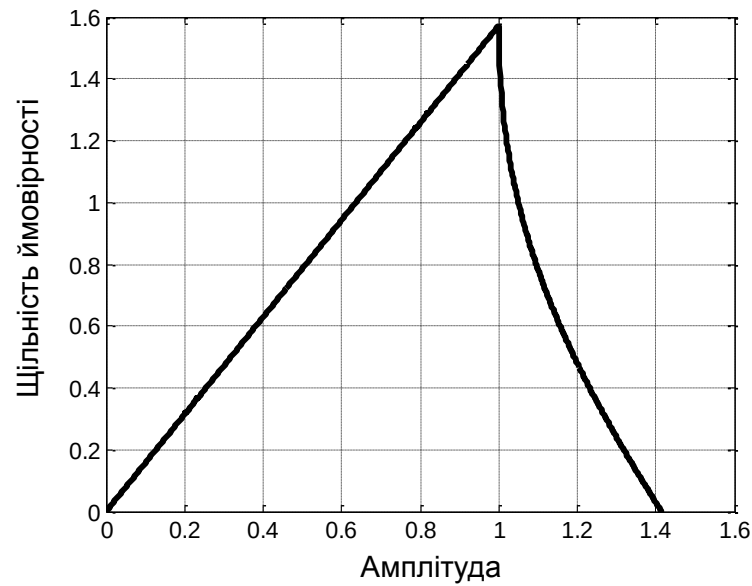


Рисунок 4.13 – Функція щільності ймовірності амплітуди $P(r)$

$$\begin{aligned}\sigma^2 &= \int_0^{\sqrt{2}} x^2 P(x) dx = \frac{\pi}{2} \int_0^1 x^3 dx + \frac{\pi}{2} \int_1^{\sqrt{2}} x^3 dx - 2 \int_1^{\sqrt{2}} x^3 \operatorname{arcsec}(x) dx = \\ &= \frac{\pi}{2} \int_0^{\sqrt{2}} x^3 dx - 2 \int_1^{\sqrt{2}} x^3 \operatorname{arcsec}(x) dx.\end{aligned}\quad (4.44)$$

Або з прив'язкою до інтервалу дискретизації (див. рисунок 4.11):

$$\sigma_{\text{КАМ}}^2 = \frac{\Delta^2}{6} \quad (4.45)$$

4.5. Вибір виду квантування КК за показниками спотворення – завадостійкість

Перш за все зазначимо, що ФК КК для ЦВЗ в пропорційній мірі залежить від миттєвої потужності сигналу-носія. В межах всього динамічного діапазону сигналу завадостійкість істотно варіюється і в паузах звукового сигналу неприпустимо низька. Тому використання ФК доцільно тільки в асинхронному режимі передачі ЦВЗ при вбудовуванні інформації в досить потужні фрейми сигналу.

Порівняємо АК і АФК за показниками спотворення-завадостійкість в каналі передачі з АБГШ $n \sim N(0, \sigma_n)$.

Припустимо спочатку рівними по СКВ спотворення, що вносяться:
 $\sigma_{\text{АК}} = \sigma_{\text{АФК}}$. Зі співвідношень (4.34) і (4.45) маємо:

$$\frac{\Delta_{\text{АК}}}{4\sqrt{3}} = \frac{\Delta_{\text{АФК}}}{\sqrt{6}}.$$

Звідси отримаємо

$$\Delta_{\text{АК}} = 2\sqrt{2} \times \Delta_{\text{АФК}}. \quad (4.46)$$

Як показано раніше, помилка декодування може виникнути при зміщенні вектора $\tilde{y}$ за лінію кордону областей прийняття рішення. Найгіршим варіантом є перпендикулярний напрямок вектора $\tilde{n}'$ до лінії кордону (див. рисунок 4.4). Тому приймаємо, що помилка можлива при дотриманні нерівності $|\tilde{n}'| \geq \frac{1}{2}d_{01}$, де d_{01} – мінімальна відстань між точками $\tilde{s}(0)$ і $\tilde{s}(1)$ протилежних значень біта ЦВЗ відповідно до формули (4.21).

З рисунку 4.9 і рисунку 4.11 випливає, що мінімальними відстанями для АК і АФК є значення:

$$d_{01\text{АК}} = \frac{\Delta_{\text{АК}}}{4}, \quad (4.47)$$

$$d_{01\text{АФК}} = \frac{\Delta_{\text{АФК}}\sqrt{2}}{4}. \quad (4.48)$$

Зі співвідношень (4.47), (4.48) з урахуванням формули (4.46) отримаємо:

$$d_{01\text{АК}} = 2d_{01\text{АФК}}. \quad (4.49)$$

Таким чином, мінімальна відстань між векторами з протилежними бітами ЦВЗ в 2 рази більше для АК, ніж для АФК при однаковому рівні внесених спотворень.

Слід також відзначити ще один факт на користь вибору АК. Якщо враховувати фазу вектора $\tilde{n}'$ по відношенню до фази вектора $\tilde{s}$, то для АФК

число найбільш «небезпечних» напрямків дії перешкоди дорівнює чотирьом: вниз, вгору, вліво, вправо. Для АК таких небезпечних для змішування бітів напрямків тільки 2 – в напрямку до центру і від центру кола. При дії перешкоди в будь-якому напрямку по дотичній до окружності ймовірність помилки декодування близька до нуля навіть при великій амплітуді перешкоди.

Тепер задамося однаковою завадостійкістю АК і АФК, т. е. Прийmemo $d_{01AM} = d_{01KAM}$ і порівняємо спотворення які вносяться. З формул (4.47) і (4.48) отримаємо:

$$\Delta_{AK} = \Delta_{AFK} \sqrt{2}. \quad (4.50)$$

Враховуючи формули (4.34) і (4.45), маємо співвідношення між СКВ $\sigma_{\tilde{w}}$ для АК и АФК:

$$\sigma_{AK} = \frac{1}{2} \sigma_{AFK}. \quad (4.51)$$

Тому спотворення сигнального вектора за оцінкою СКВ σ_w відповідно до формули (4.33) при інших рівних умовах будуть також в 2 рази менше при АК, ніж для АФК.

4.6. Формування ЦВЗ на основі ортогонального частотного мультиплексування

У сучасних технологіях радіозв'язку широко застосовується метод ортогонального частотного мультиплексування (Orthogonal frequency division multiplexing, OFDM). Основною сферою застосування OFDM є радіоканали з багатопроменевим поширенням сигналів. Суть багатопроменевого поширення полягає в тому, що сигнал з точки передачі потрапляє в точку прийому численними шляхами за рахунок різного роду відлунь.

В результаті відлуння результуючий сигнал в точці прийому складається з багатьох складових, які прийшли в точку прийому різними

шляхами і тому мають різний час поширення і відповідно різні фази несучого коливання. Тому енергія окремого елемента сигналу, передана в інтервалі часу dT , розмивається в точці прийому на більш тривалий інтервал, що призводить до спотворення сигналу за рахунок МСІ.

Якщо інтерпретувати МСІ в частотній області подання сигналів, то однакова за часом затримка викликає різні по фазі зрушення частотних компонент спектра сигналу. Спотворення набувають характеру частотно-селективних, тобто різні частотні складові сигналу зазнають різне ослаблення залежно від частоти.

У морському радіозв'язку МСІ особливо сильно позначаються в КХ діапазоні через хаотичних відображень в іоносферному шарі. В УКХ діапазоні відображення не характерні і основним шляхом поширення є шлях в напрямку прямої видимості передавальної і приймальної антен. Однак тут виникає інша проблема, також призводить до прояву МСІ.

Наскрізний тракт УКХ трансиверу по низькій частоті має нерівномірну амплітудно-частотну характеристику (АЧХ). Для передачі радіотелефонних повідомлень нерівномірність АЧХ не позначається скільки-небудь істотно на якості радіотелефонного зв'язку і передачі даних ЦВВ через низьку швидкості (100 біт/с в ПХ/КХ діапазонах і 1200 біт/с при ширині смуги частот каналу відповідно 300 Гц і 12,5 кГц).

До нерівномірності АЧХ приймально-передавального тракту зв'язкових трансиверів морського застосування не пред'являється ніяких вимог. Тому для кожної пари передавач-приймач вона може мати свої особливості. Нерівномірність АЧХ істотно позначається на завадостійкості ЦВЗ. Обмеження АЧХ в області низьких і високих частот приймально-передавального тракту також призводять до розмивання в часі елемента сигналу і в кінцевому підсумку – до спотворень сигналу ЦВЗ. МСІ виникають тут не в результаті багатопроменевого характеру поширення радіохвиль, а внаслідок нерівномірності АЧХ наскрізного УКХ радіотракту в

смузі спектра сигналу ЦВЗ. Застосування еквалайзерів, в тому числі адаптивних, для вирівнювання АЧХ не є ефективним.

У роботах [115, 117, 214, 217] запропоновано застосування принципів ортогонального частотного поділу каналів для передачі даних ЦВЗ. OFDM за своєю суттю передбачає розбиття частотної смуги спектру сигналу на ряд

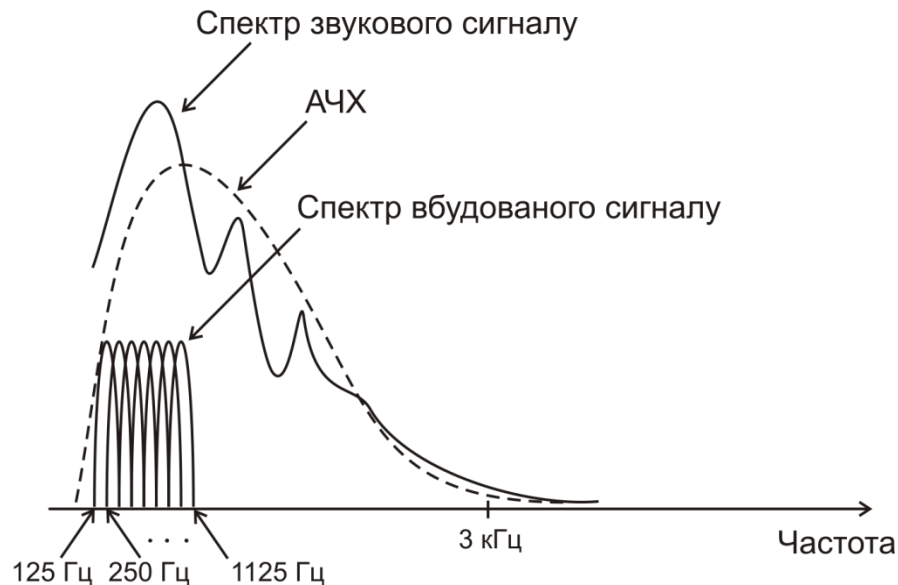


Рисунок 4.14 – Формування сигналу ЦВЗ за принципом OFDM

вузькосмугових субканалів з ортогональними піднесучими частотами і розщеплення одного «швидкого» потоку даних на ряд «повільних» потоків (рисунок 4.14). Дані в кожному вузькосмуговому субканалі зі смугою Δf передаються незалежно з використанням алгоритмів, розглянутих раніше.

Придушення МСІ можна пояснити наступним чином. У межах смуги Δf АЧХ постійна, а ФЧХ лінійна і тому впливом МСІ в кожному окремо взятому СК можна знехтувати. Загальна швидкість передачі даних при цьому зберігається. OFDM дозволяє нейтралізувати вплив МСІ на сигнал ЦВЗ без застосування складних адаптивних еквалайзерів. Важливою привабливою стороною OFDM є простота технічної реалізації алгоритму на основі пари перетворень Фур'є.

Багатоканальний алгоритм формування ЦВЗ

Для підвищення завадостійкості ЦВЗ до МСІ спотворень розроблений багатоканальний алгоритм, який реалізує ідею паралельної передачі даних ЦВЗ одночасно у багатій кількості каналів в стандартній смузі УКХ зв'язку. У багатоканальному алгоритмі кожен біт інформаційного пакету ЦВЗ передається у вузькій частотній смузі спектра звукового сигналу. Загальний потік даних ЦВЗ розділяється на ряд паралельних потоків, кожен з яких передається незалежно з низькою швидкістю. Тим самим реалізується принцип технології частотного ортогонального мультиплексування (OFDM).

Структурні схеми кодера і декодера ЦВЗ на основі OFDM представлені на рисунку 4.15, де позначені S/P, P/S – перетворювачі послідовного коду в паралельний код (Serial to Parallel) і навпаки (Parallel to Serial) відповідно, FFT – Fast Fourier Transform – швидке перетворення Фур'є (ШПФ); IFFT – Inverse FFT – зворотне ШПФ, Channel encoders – кодери субканалів, Channel decoders – декодери субканалів.

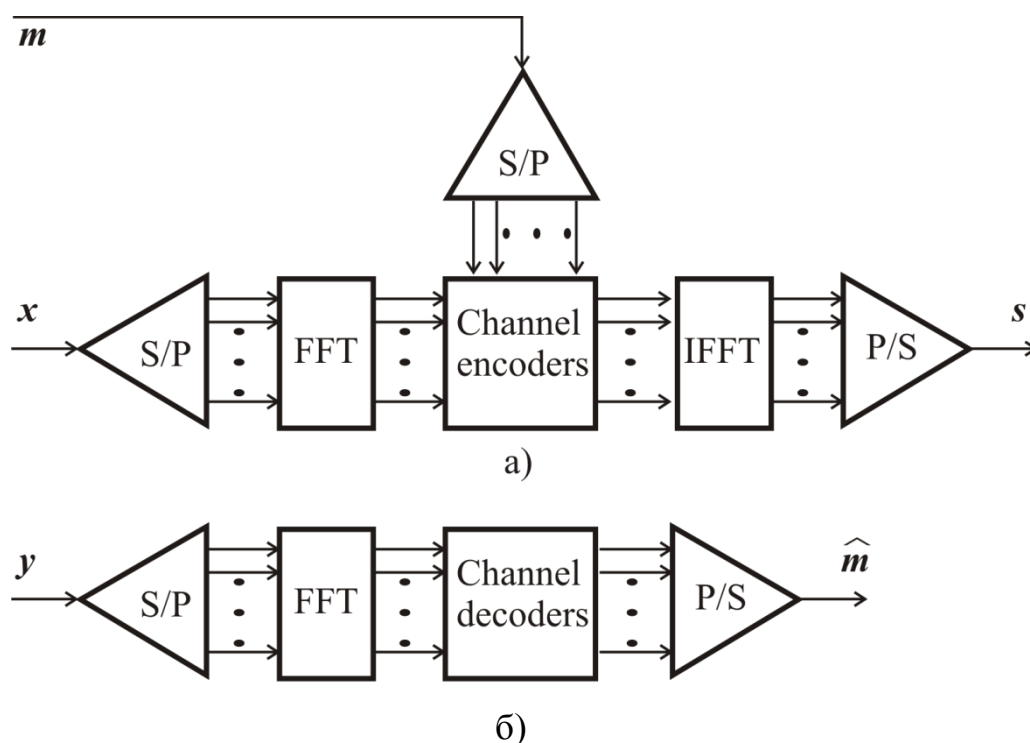


Рисунок 4.15 – Структурні схеми кодера а) і декодера б) ЦВЗ на основі OFDM

У кодері на рисунку 4.15 а) вхідні відліки $\mathbf{x}$ формуються в матрицю розмірності $(N \times L)$ і піддаються ШПФ по стовпцям. Далі матриця комплексних коефіцієнтів $\hat{\mathbf{X}}$ перетворюється в субканальних кодерах з урахуванням даних повідомлення $\mathbf{m}$ шляхом незалежної обробки кожного рядка матриці. Для вбудовування інформації використовується паралельний код ЦВЗ з B розрядів за кількістю субканалів. Матриця модифікованих коефіцієнтів $\hat{\mathbf{S}}$ знову ж за стовпцями перетворюється на часові відліки в блоці зворотного ШПФ і розтягується в послідовність S стегосигналу.

У декодері (рисунк 4.15 б)) сигнал $\mathbf{y}$ аналогічним чином форматується в матрицю розмірності $(N \times L)$ і піддається далі ШПФ по стовпцям. У блоці СК декодерів формуються по рядках незалежні оцінки бітів $\hat{\mathbf{m}}$ ЦВЗ. Послідовний код детектованого ЦВЗ $\hat{\mathbf{m}}$ видається одержувачу.

Пакет ЦВЗ в форматі «короткого» ШПФ

Дані ЦВЗ передаються у вигляді пакету, під яким розуміємо послідовність поспіль тимчасових відліків сигналу-носія. Для реалізації принципу OFDM необхідно мати коефіцієнти ШПФ, які в подальшому обробляються відповідно до одноканального алгоритму.

Логіка перетворень пакету в форматі «короткого» ШПФ пояснюється рисунку 4.15. На рисунку прийняті наступні позначення:

$N L$ – довжина пакета ЦВЗ (добуток розмірності ШПФ і довжини векторів);

N – розмірність ШПФ;

L – довжина векторів в алгоритмі за формулами (4.5), (4.11), (4.12);

B – ємність пакета (число біт в пакеті ЦВЗ).

Рисунок 4.16 представлений для наступних числових значень параметрів пакета: $NL = 40$, $N = 5$, $L = 8$, $B = 2$. Таким чином 2 біта додаткової інкапсулюються в 40 відліків сигналу-носія в часовій області. Відлік в часовій і частотній областях позначені квадратами і кружками

відповідно. Вихідні відліки дані без заповнення, а відліки, схильні до модифікації, виділені сірим.

Спочатку з послідовності вхідних відліків формується за стовпцями матриця розміром $N \times L$ і для цієї матриці по стовпцях виконується ШПФ (рисунок 4.16 б)). Далі формуються вектори x_1, x_2 , кожний довжиною L . Нульові коефіцієнти ШПФ розташовані на рисунку в верхньому ряду. Вважаємо, що вихідні відліки послідовності носять дійсний характер, що дає комплексне сполучення коефіцієнтів в нижніх рядках матриці (рисунок 4.16 в)).

Вектори x_1, x_2 піддаються обробці відповідно до формулами (4.5), (4.11), (4.12). В результаті обробки формуються вектори s_1, s_2 і відповідні їм комплексно-зв'язані вектори s_1^*, s_2^* (рисунок 4.16 г)).

Після зворотного ШПФ отримуємо матрицю часових відліків тієї ж розмірності $N \times L$ (рисунок 4.16 д)), яка далі витягується за стовпцями в послідовність s стегосигнала довжиною NL (рисунок 4.16 е)). При цьому всі відліки послідовності s виявляються злегка зміненими в порівнянні з

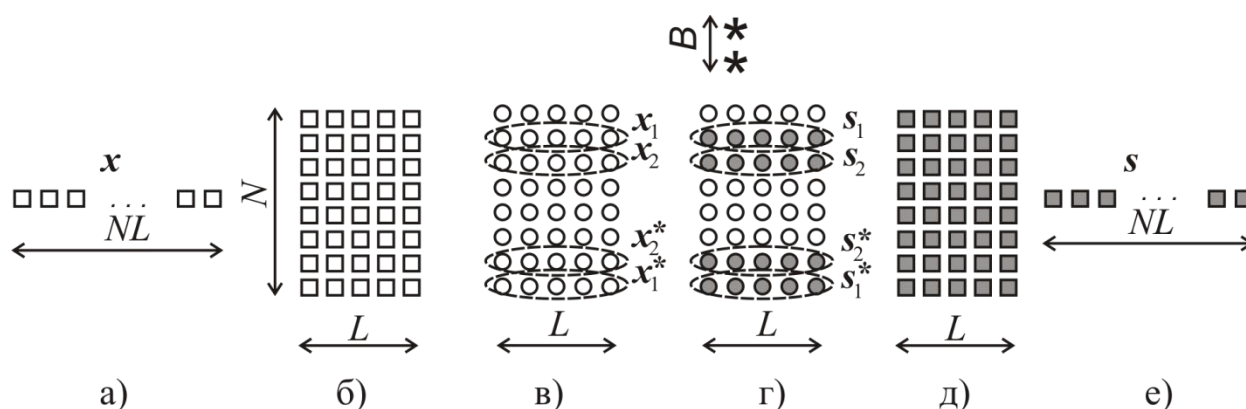


Рисунок 4.16. Обробка пакета ЦВЗ в форматі «короткого» ШПФ:

а) вихідна послідовність часових відліків; б) матриця $N \times L$ часових відліків сигналу-носія; в) матриця $N \times L$ частотних коефіцієнтів ШПФ; г) модифіковані коефіцієнти ШПФ; д) матриця $N \times L$ часових відліків стегосигналу; е) послідовність часових відліків стегосигналу

вихідними відліками послідовності $\mathbf{x}$. Звернемо увагу, що навіть єдиний вбудований біт ЦВЗ призводить до модифікації всіх відліків, що становлять пакет. При цьому в частотній області коефіцієнтів ШПФ модифікованими виявляються тільки відліки одного частоти при збереженні їх потужності.

Вибір значень параметрів N, L, B дозволяє варіювати кількістю додаткової інформації, яку переносять одним пакетом.

У матричній формі багатоканальний алгоритм формування стегосигналу для АК в кожному каналі записується у вигляді:

$$\mathbf{S} = \mathbf{X} + \mathbf{W}(\tilde{\mathbf{X}}, \mathbf{D}), \quad (4.52)$$

де $\mathbf{X} - (B \times L)$ матриця амплітуд ШПФ,

$\mathbf{W} - (B \times L)$ матриця амплітуд сигналу ЦВЗ,

$\tilde{\mathbf{X}}$ – вектор-стовпець коефіцієнтів кореляції довжиною B ,

$\mathbf{D}$ – вектор-стовпець даних довжиною B ,

Для амплітудного квантування елементи верхньої частини матриці комплексних коефіцієнтів $\dot{\mathbf{S}}$ обчислюються наступним чином:

$$\dot{S}_b = \begin{cases} \dot{X}_b, & b = 0, B+1, \dots, N/2, \\ S_b \exp(j\varphi_b), & b = 1, 2, \dots, B. \end{cases} \quad (4.53)$$

де φ_b – фази коефіцієнтів $\dot{X}_b$.

Для збереження речевого характеру відліків в часовій області необхідно представити нижню частину матриці у вигляді комплексного сполучення верхньої частини:

$$\dot{S}_{b+N/2} = \dot{S}_{N/2-b}^*, \quad b = 1, 2, \dots, N/2 - 1. \quad (4.54)$$

Для спрощення запису індексація відповідних стовпців $l = 1, 2, \dots, L$ у виразах (4.53), (4.54) опущена.

Пакет ЦВЗ в форматі «довгого» ШПФ

Є й інший варіант формування пакету ЦВЗ, представлений на рисунку 4.17. На цьому рисунку прийняті наступні числові значення параметрів

пакета: $NL=16$ – розмірність ШПФ і довжина пакету, $L=2$ – довжина векторів, $B=2$ – число біт вбудованої інформації.

Як видно з рисунку 4.17, розмірність ШПФ збігається з довжиною всього пакета і вектори x_1, x_2 утворені сусідніми коефіцієнтами одного загального перетворення всієї послідовності. На рисунку координати кожного вектора – коефіцієнти ШПФ – обведені пунктирними лініями.

Однак такий принцип обробки пакета має переваги при обліку десинхронізації частот дискретизації передавача і приймача, що завжди має місце для аналогових каналів. Помилка фіксації пакету ЦВЗ на приймальній

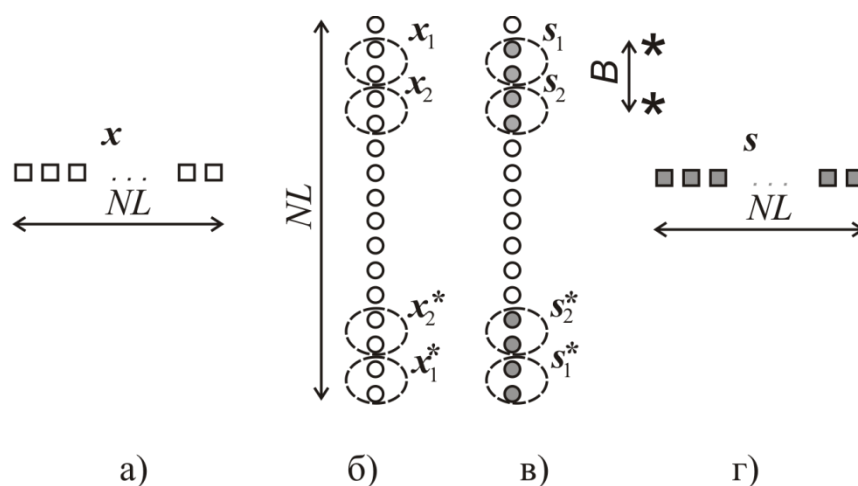


Рисунок 4.17 – Обробка пакета ЦВЗ в форматі «довгого» ШПФ:

а) вихідна послідовність часових відліків; б) матриця $N \times L$ часових відліків сигналу-носія; в) матриця $N \times L$ частотних коефіцієнтів ШПФ; г) модифіковані коефіцієнти ШПФ

стороні лежить в інтервалі $\pm 1/(2F_s)$, де F_s – частота дискретизації звукового сигналу в передавачі і приймачі. Вважаємо, що частоти дискретизації в передавачі і приймачі рівні, але відсутність фазової синхронізації частоти синхронізації в приймачі породжує обумовлену вище помилку десинхронізації.

Очевидно, що помилка синхронізації буде позначатися на результаті ШПФ тим менше, чим більше його довжина. Доведемо це твердження.

Дискретне перетворення Фур'є послідовності $\{x_n\}, n = \overline{0, N-1}$ обчислюється за формулою:

$$X_k = \sum_{n=0}^{N-1} x_n \exp\left(-\frac{2\pi j}{N} kn\right), k = \overline{0, N-1}.$$

Якщо покласти, що помилка синхронізації склала величину одного такту частоти дискретизації і послідовність часових відліків періодична з періодом N , то це призведе до фазового зсуву частотних коефіцієнтів на підставі відомого властивості ШПФ:

$$x(n-1) \leftrightarrow X(k) \exp\left(-\frac{2\pi j}{N} k\right).$$

Тому для періодичної послідовності помилка синхронізації в один такт привела б тільки фазового зсуву кожної k -ї гармоніки на величину $-2\pi jk/N$. Тобто фазовий зсув обернено пропорційний розмірності N ШПФ.

Таким чином, використання ДПФ більшої розмірності менш чутливо до помилок десинхронізації тактового генератора в приймальнику. Зауважимо, що при амплітудному квантуванні КК (див. п. 4.5.1) фазова помилка десинхронізації не впливає на стійкість ЦВЗ, тому що зміщення вектора $\tilde{y}$ буде направлено вздовж дотичної до кола.

Тому для зменшення впливу помилки десинхронізації переважно використовувати формат пакета ЦВЗ з «довгим» ШПФ і АК КК.

Належний вибір параметрів N, L, B дозволяє гнучко вирішувати компромісну задачу кількість – якість – стійкість. Слід, однак, брати до уваги затримку передачі в ефір мовного сигналу, обумовлену необхідністю накопичення всього пакету відліків сигналу для вбудовування в нього ЦВЗ.

4.7. Двоетапна модуляція ЦВЗ

Розподіл енергії одного біта ЦВЗ дозволяє збільшити скритність його передачі і отримати виграв при узгодженої обробці, властивий складним сигналам. Такий виграв має місце в каналі з АБГШ. У каналі з міжсимвольній інтерференцією, як найбільш деструктивною перешкоди для ЦВЗ, необхідне прийняття додаткових заходів, крім розподілу енергії одного біта в частотно-часовій площині.

Збільшення довжини сигнального вектора L при багатоканальної обробки на основі OFDM має свої обмеження, пов'язані перш за все з допустимою затримкою сигналу при передачі. У цьому підрозділі дано рішення задачі реалізації великого значення L при обмеженій затримки сигналу і забезпечення стійкості ЦВЗ до МСІ. Метод полягає в здійсненні двоетапного формування ЦВЗ (рисунок 4.18).

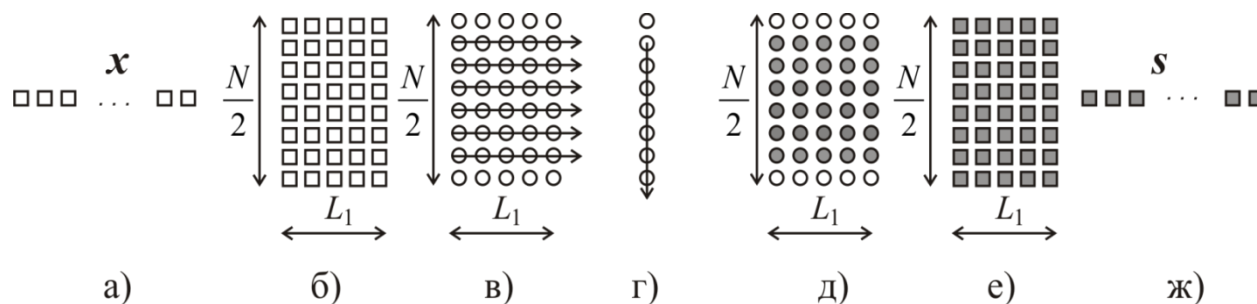


Рисунок 4.18 – Двоетапна модуляція для вбудовування одного біта ЦВЗ на пакет: а) вихідна послідовність часових відліків; б) матриця $N \cdot L_1 / 2$ часових відліків сигналу-носія; в) обчислення КК рядків ШПФ, 1-й етап; г) обчислення КК стовпців ШПФБ, 2-й етап; д) модифіковані коефіцієнти ШПФ; е) матриця $N \cdot L_1 / 2$ часових відліків стегосигналу; ж) послідовність часових відліків стегосигналу

На першому етапі обчислюють коефіцієнти кореляції в субканалах:

$$\tilde{x}_i = \frac{(\mathbf{X}_i, \mathbf{U}_i)}{\|\mathbf{X}_i\| \cdot \|\mathbf{U}_i\|}, \quad i = \overline{1, L_1} \quad (4.55)$$

де $\mathbf{X}_i = (X_{i1}, X_{i2}, \dots, X_{iL_1})$, $\mathbf{U}_i = (U_{i1}, U_{i2}, \dots, U_{iL_1})$ – субканальні вектори частотних коефіцієнтів і випадкових послідовностей відповідно;

L_1 – довжина субканальних векторів.

Кожен субканальний коефіцієнт відображає кореляцію в своєму i -м вузькосмуговим каналі. Вектори випадкових послідовностей $\mathbf{U}_i$ можуть бути обрані однаковими.

На другому етапі обчислюють загальну кореляцію субканальних кореляцій:

$$\tilde{X} = \frac{(\tilde{\mathbf{x}}, \mathbf{u})}{\|\tilde{\mathbf{x}}\| \cdot \|\mathbf{u}\|}, \quad (4.56)$$

де $\tilde{\mathbf{x}} = (\tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_{L_2})$ – вектор субканальних коефіцієнтів кореляцій;

L_2 – число вузькосмугових субканалів в пакеті ЦВЗ.

Далі відповідно до раніше викладеної методикою, викладеної в пункті 4.2, знаходять квантовану версію загальної кореляції $\tilde{S} = Q(\tilde{X})$, вектор модифікованих субканальних коефіцієнтів кореляцій $\tilde{\mathbf{s}} = (\tilde{s}_1, \tilde{s}_2, \dots, \tilde{s}_{L_2})$. По координатах вектора $\tilde{\mathbf{s}}$ в свою чергу знаходять власне частотні коефіцієнти стегосигналу $\mathbf{S}_i = (S_{i1}, S_{i2}, \dots, S_{iL_1})$ в кожному субканалі.

При такій обробці енергія одного біта ЦВЗ розподіляється на $2L_1L_2$ відліків сигналу-носія в частотній області (з урахуванням комплексної спряженості ШПФ). Виграш від узгодженої обробки складе величину $G = \sqrt{L_1L_2}$ в каналі з АБГШ.

В принципі такий же виграш досягається і при виконанні одного етапу при загальній довжині сигнального вектора $L = L_1L_2$. Однак при одноетапній обробці не забезпечується стійкість ЦВЗ до міжсимвольної завади. Перевагою двоетапної обробки є стійкість ЦВЗ до МСІ.

4.8. Асинхронне передавання ЦВЗ

Внесення ЦВЗ супроводжується певними спотвореннями сигналу-носія. Ці спотворення можуть проявлятися в більшій чи меншій мірі в залежності від близькості значення коефіцієнта кореляції до квантованого значення в кожному каналі. В ідеальному випадку ніяких спотворень взагалі не буде потрібно.

В асинхронному режимі здійснюється пошук відповідного фрейму для передачі поточної комбінації даних. Критерієм відбору фрейму є середній квадрат спотворень сигналу-носія в результаті вбудовування даних.

В роботі [215] ЦВЗ, що передаються в асинхронному режимі, названі статистичними. Статистичні ЦВЗ мають на увазі попередню оцінку придатності звукового фрейму для вбудовування інформації в кодері ЦВЗ. Для оцінки поточного фрейму обчислюють в кожному i -му каналі значення вектора корекції $\tilde{w}_{hi}$ (див. рисунок 4.11):

$$\tilde{w}_{hi} = \tilde{s}_i - \tilde{x}_i, \quad i = \overline{1, B}, \quad (4.57)$$

де $\tilde{s}_i$ и $\tilde{x}_i$ – нормовані скалярні добутки (коефіцієнти кореляції) субканальних сигналів, що визначені в підрозділі 4.2.

При цьому сам стегосигнал s на етапі оцінки фрейму розраховувати немає необхідності. Досить отримати коефіцієнт кореляції $\tilde{x}_i$ і його квантовану версію $\tilde{s}_i = Q(\tilde{x}_i, d_i)$ відповідно до обраного виду модуляції. Аналізований фрейм вважається придатним для передачі пакета, якщо виконується нерівність:

$$\|\tilde{\mathbf{W}}_h\| \leq \rho_h, \quad (4.58)$$

де $\tilde{\mathbf{W}}_h = (\tilde{w}_{h1}, \tilde{w}_{h2}, \dots, \tilde{w}_{hB})$ – вектор нормованих корекцій скалярних творів в кожному частотному каналі;

ρ_h – поріг, який визначає можливість передачі пакету ЦВЗ.

В результаті вбудовування того чи іншого біта в кожному каналі повинна відбутися корекція коефіцієнта кореляції $\tilde{w}_{ni}$. Сумарні спотворення сигналу визначаються нормою вектора каналних корекцій. При перевищенні цієї норми допустимого рівня вважаємо, що аналізований фрейм не підходить для перенесення поточної комбінації даних ЦВЗ і проводиться перехід до наступного кадру із зсувом на один період частоти дискретизації.

Очевидно, чим більше значення порога, тим вище буде щільність пакетів ЦВЗ протягом передачі звукового сигналу.

Другий варіант вибору підходящого фрейму – це аналіз вектора ненормованих значень скалярних добутків в кожному каналі з порогом і винесення рішення по нерівності:

$$\|\tilde{\mathbf{W}}\| \leq \rho, \quad (4.59)$$

де $\tilde{\mathbf{W}} = (\tilde{w}_1, \tilde{w}_2, \dots, \tilde{w}_B)$,

$\tilde{w}_i = (\tilde{s}_i - \tilde{x}_i) \|\mathbf{x}_i\| \|\mathbf{u}_i\|$ – вектор корекцій скалярних добутків в кожному частотному каналі.

Різниця правил (4.58) і (4.59) полягає в тому, що в першому варіанті рішення не залежить від миттєвої потужності сигналу і пакет ЦВЗ може бути переданий з однаковою ймовірністю як на тлі інтенсивних вокалізованих фонем, так і на тлі звуків меншої потужності.

Для другого варіанту велике значення рівня сигналу, тобто значення норми $\|\mathbf{x}_i\|$ різко збільшує $\|\tilde{\mathbf{W}}\|$ і знижує шанси фрейму для вбудовування в нього ЦВЗ.

Для стабілізації внесених спотворень до рівня гучності звукового сигналу запропоновано використовувати плаваючий поріг по формулі:

$$\rho_1 = h \Delta \frac{\sigma_{\text{long}}}{\sigma_{\text{frame}}}, \quad (4.60)$$

де $h = 0,5 \dots 8$ – коефіцієнт, що задає інтенсивність вбудовування ЦВЗ,

Δ – крок квантування на числовий решітці,

$\sigma_{\text{long}}, \sigma_{\text{frame}}$ – СКВ звукового сигналу, обчислені на тривалому (3 – 5) секунд і короткому протягом одного фрейму інтервалах відповідно.

В результаті попередньої оцінки можливості вбудовування ЦВЗ вдається істотно зменшити вносяться спотворення і, відповідно, слухову сприйнятливість ЦВЗ. Передача ЦВЗ при цьому відбувається в асинхронному режимі.

4.9. Виявлення пакета ЦВЗ для багатоканального алгоритму

У приймачі для відновлення даних ЦВЗ використовується той же низькочастотний звуковий сигнал, що видається в якості радіотелефонного сигналу користувачеві, за винятком того, що стандартна функція шумопридушення не впливає на сигнал. Процедура виявлення і декодування ЦВЗ побудована на обробці сигналу в ковзному вікні тривалістю одного пакета ЦВЗ. Процедура обробки заснована на вимірі мінімальних відстаней коефіцієнтів кореляції до вузлів решітки в кожному каналі, обчисленні норми вектора відстаней і порівняння її значення з порогом.

Для визначеності розглянемо процедуру обробки поточного звукового фрейма в форматі «довгого» ШПФ (рисунок 4.16).

Після дискретизації сигналу обчислюється ШПФ поточного фрейма. Далі проводиться формування субканальних векторів y_i в частотній області та обчислення коефіцієнтів кореляції $\tilde{y}_i = (y_i, u_i) / \|y_i\| \|u_i\|$, $i = \overline{1, B}$ у кожному СК. Якби перешкоди в каналі передачі були відсутні, то за умови точної синхронізації все КК в приймачі збігалися б з відповідними коефіцієнтами в передавачі: $\tilde{y}_i = \tilde{s}_i, i = \overline{1, B}$. Однак внаслідок дії перешкод навіть при точній синхронізації початку пакета ЦВЗ КК розрізняються. Значення параметра модуляції $\tilde{s}_i$ лежать строго на решітці Λ_0 або Λ_1 в залежності від біта ЦВЗ (тобто завжди знаходяться на об'єднаній решітці $\Lambda_{10} = \Lambda_0 \cup \Lambda_1$). Значення $\tilde{y}_i$ в

приймачі відрізняються від $\tilde{s}_i$. Відхилення (помилки) в кожному каналі дорівнюють:

$$e_i = \tilde{y}_i - \tilde{s}_i, \quad i = \overline{1, B}. \quad (4.61)$$

Рішення про виявлення ЦВЗ виноситься на підставі порівняння норми вектора відхилень $\mathbf{e} = (e_1, e_2, \dots, e_B)$ з порогом: якщо $\|\mathbf{e}\| \leq \rho$, то ЦВЗ в уже згадуваному фреймі присутній, в іншому випадку – ні.

В принципі, оскільки координати вектора $\mathbf{e}$ є випадковими величинами, то необхідно оцінити імовірності пропуску ЦВЗ і помилкового виявлення.

Знайдемо закони розподілу імовірності випадкової величини $\|\mathbf{e}\| = \sqrt{\sum_i |e_i|^2}$ при відсутності і наявності ЦВЗ. Користуючись законами нелінійного перетворення випадкових величин (рисунок 4.19), відкидаючи

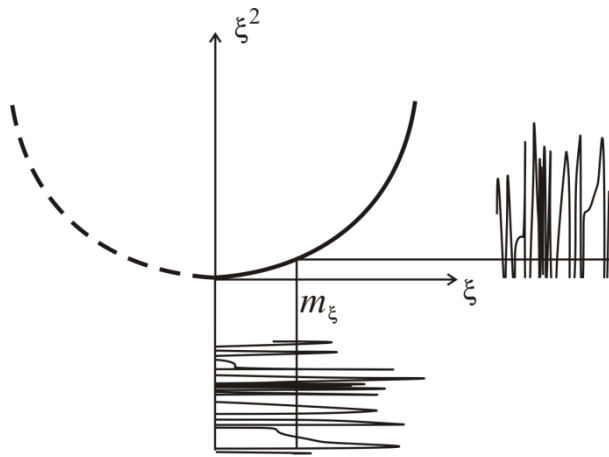


Рисунок 4.19 – Квадратичне перетворення випадкового процесу

проміжні математичні перетворення, отримаємо середнє значення і дисперсію норми вектора помилок:

$$\chi = a_0 + a_1(\gamma - C), \quad a_0 = \sqrt{C}, \quad a_1 = \frac{1}{2\sqrt{C}}.$$

$$m_\chi = \frac{1}{2\sqrt{C}} m_\gamma + \frac{\sqrt{C}}{2} = \sqrt{m_\gamma} = \sigma_\xi \sqrt{B}. \quad (4.62 \text{ a})$$

$$\sigma_{\chi}^2 = a_1^2 \sigma_{\gamma}^2 = \frac{1}{2} \sigma_{\xi}^2. \quad (4.62 \text{ б})$$

Таким чином, отримані вирази числових характеристик розподілів норми вектора помилок через характеристики вихідних розподілів помилок в частотних субканалів.

З формул (4.62 а), б)) слід важливий висновок про статистичні характеристики норми $\|\mathbf{e}\|$ вектора субканальних помилок $\mathbf{e}_i$: дисперсія норми не залежить від числа субканалів B , в той час як її середнє значення пропорційно $\sqrt{B}$.

Оскільки при відсутності ЦВЗ субканальні помилки $\mathbf{e}_i$ підкоряються рівномірному закону в інтервалі $(-\Delta/4, \Delta/4)$, а при наявності ЦВЗ - нормальному усіченому закону на тому ж інтервалі, то дисперсія для випадку без ЦВЗ завжди перевищує дисперсію для випадку присутності ЦВЗ:

$$\sigma_{0\xi}^2 > \sigma_{1\xi}^2.$$

Як впливає з (5.11) середні значення розподілів норм векторів помилок для альтернативних варіантів наявності/відсутності ЦВЗ рознесені один від одного на величину, визначену співвідношенням:

$$m_{0\|\mathbf{e}\|} - m_{1\|\mathbf{e}\|} = (\sigma_{0\xi} - \sigma_{1\xi})\sqrt{B}, \quad (4.63)$$

де $\sigma_{0\xi}, \sigma_{1\xi}$ - значення субканальних СКВ при відсутності і наявності ЦВЗ відповідно.

Внаслідок того, що дисперсії норми вектора помилок $\|\mathbf{e}\|$ не залежать від числа субканалів B , то для підвищення надійності виявлення необхідно збільшувати рознесення середніх значень розподілів за рахунок збільшення B . Ілюстрація розподілів $w(\|\mathbf{e}\|)$ при зміні кількості каналів B і СКВ $\sigma_{1\xi}$ перешкоди в каналі передачі представлена на рисунках 4.20 і 4.21 відповідно.

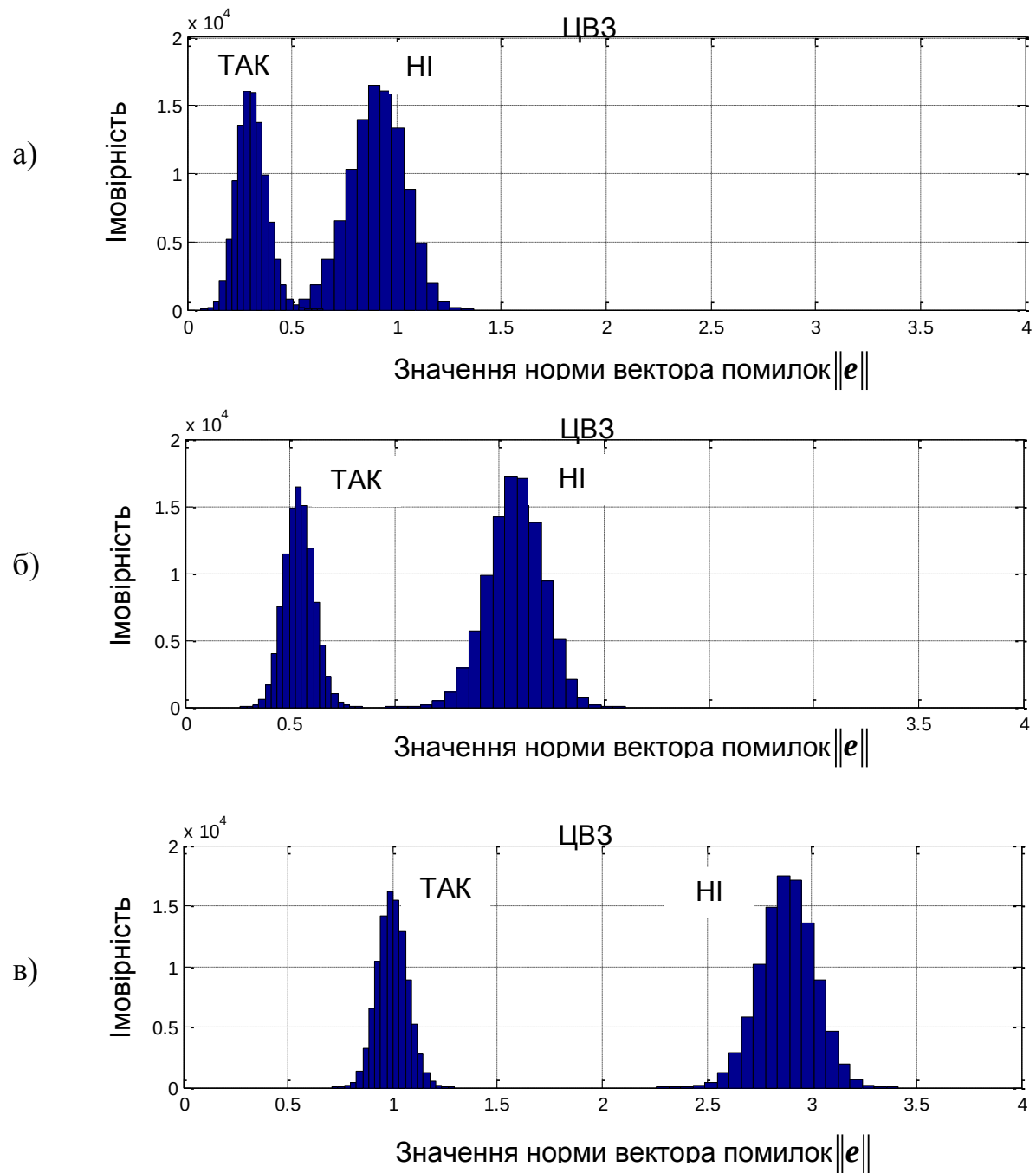


Рисунок 4.20 – Гістограми норми $\|e\|$ вектора відхилень при різних кількості субканалів B . СКВ $\sigma_{0\xi}$, $\sigma_{1\xi}$ прийняті рівними $\sigma_{0\xi} = 0,289$ ($\Delta = 2$), $\sigma_{1\xi} = 0,1$;
а) $B=10$; б) $B=30$; в) $B=100$

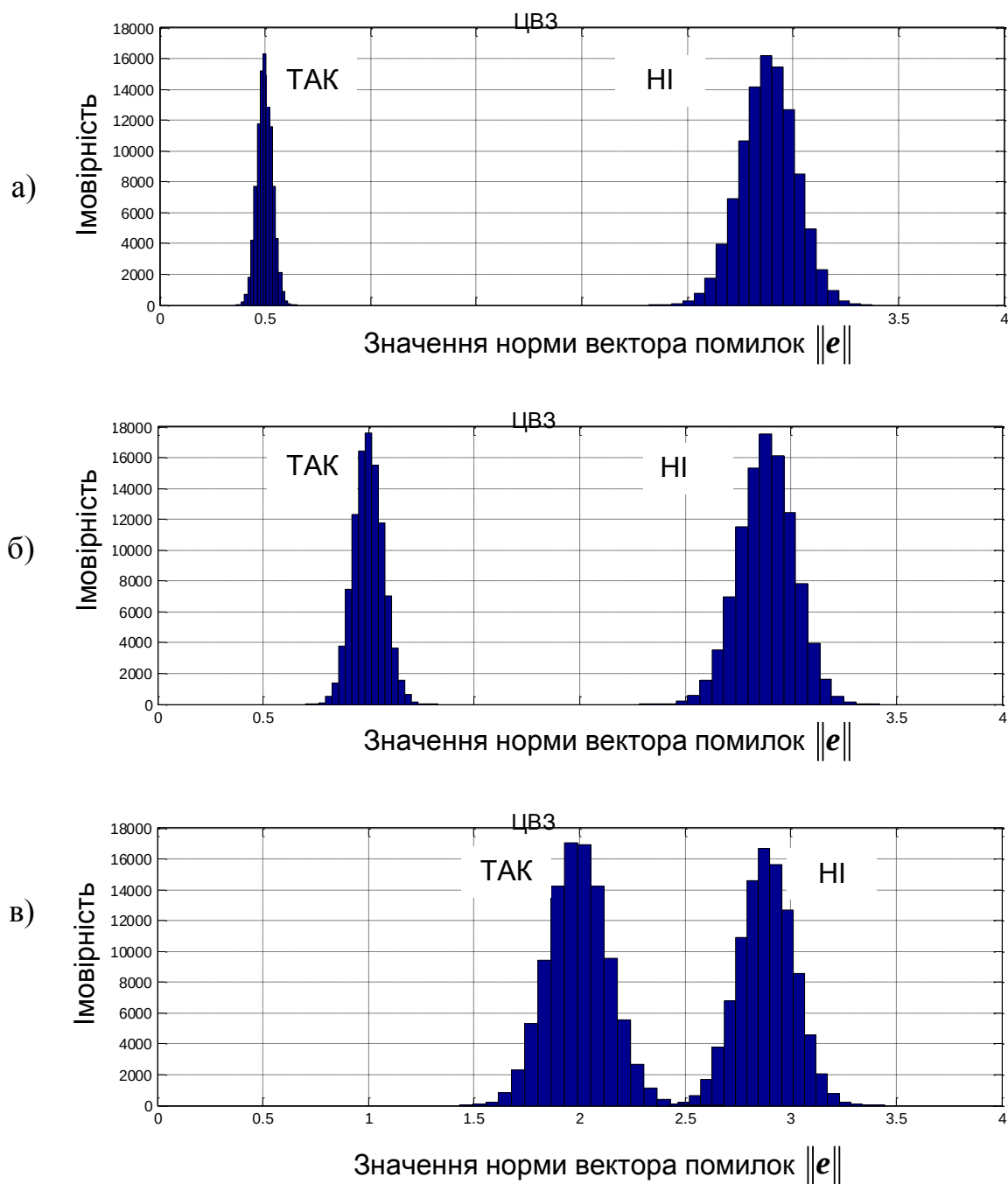


Рисунок 4.21 – Гістограми норми вектора помилок $\|e\|$ при різних значеннях СКВ $\sigma_{1\xi}$ (або кроку квантування) для кількості субканалів $B=100$, $\sigma_{0\xi} = 0,289$ ($\Delta = 2$): а) $\sigma_{1\xi} = 0,05$; б) $\sigma_{1\xi} = 0,1$; в) $\sigma_{1\xi} = 0,2$

Гістограми норми вектора помилок $\|e\|$ при наявності ЦВЗ позначені «ТАК», а у відсутності ЦВЗ (або пакет ЦВЗ в повному обсязі потрапляє в аналізований інтервал) – «НІ». Гістограми при збільшенні числа каналів B розходяться один від одного на більшу відстань (рисунок 4.20), тобто виявлення ЦВЗ при інших рівних умовах може бути виконано з більшою вірогідністю.

Графіки розподілів ймовірностей в разі відсутності/наявності ЦВЗ явно вказують на вплив розміру вибірки (тобто числа каналів B). Зі збільшенням B виявлення ЦВЗ стає більш надійним. Це пояснюється тим, що при інших рівних умовах розширюється тривалість T_w вікна аналізу сигналу. Якщо збільшувати інтервал спостереження, то енергія сигналу ЦВЗ також зростає, що і забезпечує більш надійне виявлення пакета ЦВЗ.

В принципі при синхронній один за одним передачі пакетів інтервал спостереження T_w може перевищувати тривалість одного пакета ЦВЗ і бути кратним цієї тривалості:

$$T_w = M \cdot T_{\text{ЦВЗ}}, \quad (4.64)$$

де M - число одночасно аналізованих пакетів ЦВЗ;

$T_{\text{ЦВЗ}}$ - тривалість одного OFDM пакету.

4.10. Обчислення порога виявлення ЦВЗ

При прийомі ЦВЗ виникають два завдання:

- 1) виявлення сигналу ЦВЗ на фоні значно більш сильного мовного сигналу і перешкод в каналі передачі та
- 2) оцінка коефіцієнта кореляції для відновлення прихованих цифрових даних.

Приклад взаємного розташування функцій розподілу ймовірностей для присутності/відсутності ЦВЗ і формування ймовірностей помилкових рішень представлений на рисунку 4.22. На відміну від традиційних ілюстрацій

такого типу для систем радіозв'язку та радіолокації крива функції розподілу, відповідна присутності ЦВЗ, розташована зліва, а крива функції без ЦВЗ - справа по осі абсцис.

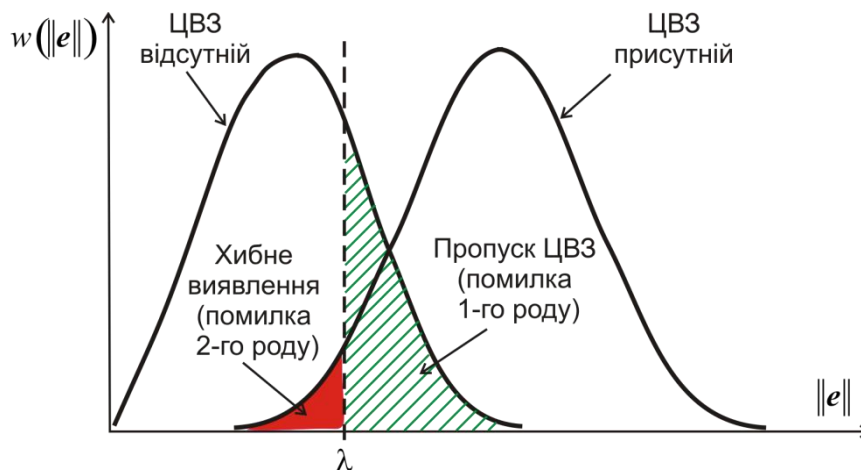


Рисунок 4.22 – Імовірності помилкового виявлення і пропуску ЦВЗ

При виборі критерію виявлення ЦВЗ слід керуватися тими ж принципами, що завдання аналізу радіолокаційних сигналів. У радіолокації найбільш застосовними є критерій Неймана-Пірсона. Згідно з цим критерієм вибирається такий алгоритм виявлення, який забезпечує мінімальну величину імовірності пропуску сигналу (або максимальну імовірність правильного виявлення) за умови, що імовірність помилкової тривоги не перевищує заданої величини.

Для завдання застосування ЦВЗ в цілях ідентифікації передавальної станції характерно багаторазове повторення одних і тих же даних ідентифікації, які представляють ІМРС суднової/берегової станції. Тому пропуск будь-якого пакета ЦВЗ є не настільки критичним. Найгіршим випадком є помилкове виявлення при реальній відсутності ЦВЗ. Слід зафіксувати імовірність помилкового виявлення і будувати алгоритм виявлення ЦВЗ з максимальною імовірністю правильного виявлення, тобто використовувати критерій Неймана-Пірсона.

Після первинної обробки (ШПФ і обчислення коефіцієнтів кореляції) маємо сигнальний вектор спостережень $\tilde{\mathbf{y}} = (\tilde{y}_1, \tilde{y}_2, \dots, \tilde{y}_B)$. Необхідно прийняти рішення про наявність чи відсутності ЦВЗ. Нехай гіпотеза H_0 відповідає відсутності, а гіпотеза H_1 - наявності ЦВЗ. Рішення повинно бути прийнято за результатом спостереження вектора $\tilde{\mathbf{y}}$.

Будемо використовувати вектор найменших відхилень від вузлів об'єднаної решітки $\Lambda_{10} = \Lambda_0 \cap \Lambda_1$ в кожному з субканалів:

$$e_i = \text{sign}(\tilde{y}_i - \tilde{s}) \cdot \min|\tilde{y}_i - \tilde{s}|, \quad i = \overline{1, B}, \quad \tilde{s} \in \Lambda_{10} \quad (4.65)$$

Вважаємо, що сітка квантування для всіх субканалів одна і та ж.

У разі відсутності ЦВЗ (гіпотеза H_0) розподіл відхилень e_i має підпорядковуватись рівномірному закону $e_i \sim U[-\Delta/4, \Delta/4]$ з нульовим середнім і дисперсією $\sigma_0^2 = \Delta^2/48$:

$$w(d_i / H_0) = 2/\Delta. \quad (4.66)$$

При наявності ЦВЗ (гіпотеза H_1) розподіл відхилень e_i можна апроксимувати усіченим нормальним законом [150, с.58] з нульовим середнім і невідомою дисперсією σ^2 :

$$w(e_i / H_1) = \frac{c}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp(-e_i^2/2\sigma^2), \quad e_i \in [-\Delta/4, \Delta/4], \quad (4.67)$$

$$\text{де } c = \frac{1}{\Phi(b/\sigma) - \Phi(a/\sigma)}, \quad a = -\Delta/4, \quad b = \Delta/4$$

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx \quad - \text{інтеграл імовірності.}$$

Усічення обумовлено періодичним характером розташування вузлів об'єднаної решітки з кроком $\Delta/2$ (рисунок 4.23). В результаті усічення функція розподілу ймовірностей нормального закону $N(0, \sigma^2)$ з нескінченним інтервалом визначення в функцію, певну на інтервалі $[-\Delta/4, \Delta/4]$ з поправкою ординати коефіцієнтом $c > 1$ в (4.67).

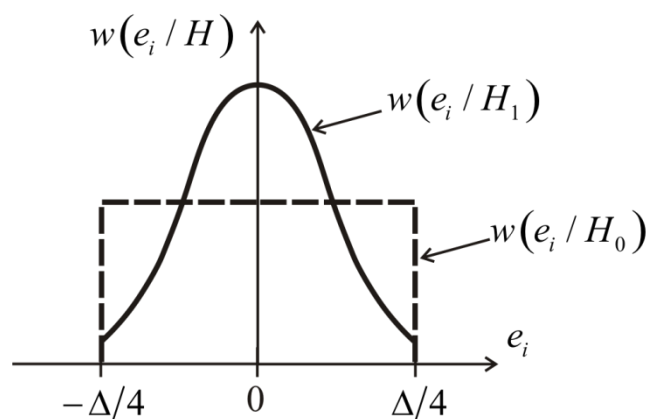


Рисунок 4.23 – Умовні щільності розподілу ймовірності при наявності $w(e_i / H_1)$ і відсутності ЦВЗ $w(e_i / H_0)$

Оскільки випадкові величини e_i статистично незалежні, багатовимірні умовні щільності імовірності, тобто функції правдоподібності $w(e_1, e_2, \dots, e_B / H_0) = w(\mathbf{e} / H_0)$ і $w(e_1, e_2, \dots, e_B / H_1) = w(\mathbf{e} / H_1)$, враховуючи (5.16) і (5.17), можна виразити через добуток відповідних одновимірних функцій:

$$w(e_1, e_2, \dots, e_B / H_0) = \prod_{i=1}^B 2/\Delta. \quad (4.68)$$

$$\begin{aligned} w(e_1, e_2, \dots, e_B / H_1) &= \prod_{i=1}^B \frac{c}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp(-e_i^2 / 2\sigma^2) = \\ &= \left(\frac{c}{\sigma \sqrt{2\pi}} \right)^B \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^B e_i^2 \right). \end{aligned} \quad (4.69)$$

Відношення правдоподібності отримаємо у вигляді:

$$\Lambda(\mathbf{e}) = \frac{w(\mathbf{e} / H_1)}{w(\mathbf{e} / H_0)} = \left(\frac{2c}{\sigma \Delta \sqrt{2\pi}} \right)^B \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^B e_i^2 \right). \quad (4.70)$$

Або після логарифмування:

$$\ln \Lambda(\mathbf{e}) = B \ln \left(\frac{2c}{\sigma \Delta} \cdot \sqrt{\frac{2}{\pi}} \right) - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^B e_i^2. \quad (4.71)$$

Поріг виявлення λ визначиться виходячи із заданої імовірності P_f помилки помилкового виявлення. При досить великому (близько 30) значенні

В сума квадратів незалежних випадкових величин в (4.21) апроксимується нормальним законом розподілу імовірностей. Тому для визначення порогу можна скористатися інтегралом імовірності:

$$P_f = \int_{-\infty}^{\lambda} w(\Lambda / H_0) d\Lambda = 1 - \Phi(\lambda). \quad (4.72)$$

Задавшись значенням P_f , можна знайти поріг за таблицями інтеграла ймовірностей, а також в системі Матлаб [153], використовуючи пряму і зворотну функцію помилок erf . Функція помилок erf пов'язана з інтегралом ймовірностей наступним співвідношенням:

$$\Phi(z) = \frac{1}{2} \left(1 + \text{erf} \left(\frac{z}{\sqrt{2}} \right) \right). \quad (4.73)$$

З формул (5.22) і (5.23) отримаємо:

$$\text{erf} \left(\frac{z}{\sqrt{2}} \right) = 1 - 2P_f. \quad (4.74)$$

Застосовуючи зворотну функцію помилок erfinv , визначимо значення порога по заданій імовірності помилкового виявлення:

$$z = \sqrt{2} \cdot \text{erfinv}(1 - 2P_f). \quad (4.75)$$

Формула (4.75) справедлива для нормального розподілу з нульовим середнім і одиничною дисперсією. Для закону розподілу імовірності з параметрами $N(B\sigma_\xi^2, 2B\sigma_\xi^4)$, $\sigma_\xi^2 = \Delta^2/48$ шуканий поріг визначається формулою:

$$\lambda = \frac{\Delta^2 \sqrt{B}}{48} \left[\sqrt{B} - 2 \cdot \text{erfinv}(1 - 2P_f) \right]. \quad (4.76)$$

Наприклад, для значень $B=100$, $\Delta=2$, $P_f=10^{-3}$ отримаємо $\lambda=4,6915$.

Правило прийняття рішення на користь гіпотези H_1 - ЦВЗ присутній або гіпотези H_0 - ЦВЗ відсутня, буде полягати в порівнянні суми квадратів відхилень з порогом λ :

$$\sum_{i=1}^B e_i^2 \begin{cases} \geq \lambda \rightarrow H_0 \\ < \lambda \rightarrow H_1 \end{cases}. \quad (4.77)$$

4.11. Характеристики виявлення

Критерій Неймана-Пірсона за заданою обмеженою імовірністю помилкового виявлення P_f дозволяє встановити поріг λ , який максимізує імовірність правильного виявлення ЦВЗ:

$$P_{\text{det}} = \int_{-\infty}^{\lambda} w(\Lambda / H_1) d\Lambda. \quad (4.78)$$

Функція розподілу імовірності $w(\Lambda / H_1)$ як сума квадратів незалежних випадкових величин добре апроксимується нормальним законом із середнім значенням $B\sigma_1^2$ і дисперсією $2B\sigma_1^4$.

Характеристики виявлення ЦВЗ є залежності імовірності правильного виявлення від дисперсії субканальних відхилень e_i при фіксації імовірності помилкового виявлення і числа каналів B .

На рисунку 4.24 представлені сімейства розрахованих характеристик виявлення для нормованого відношення «сигнал-шум» σ_0^2 / σ_1^2 . При $\sigma_0^2 / \sigma_1^2 = 1$ розподіл e_i переходить в рівномірний закон, гістограма $w(H_1)$, рухаючись вправо, зливається з гістограмою $w(H_0)$. Виявлення ЦВЗ стає неможливим. При збільшенні відношення σ_0^2 / σ_1^2 (за рахунок зменшення σ_1^2 , тому що σ_0^2 залишається величиною постійною) гістограма $w(H_1)$ зміщується вліво і імовірність правильного виявлення зростає.

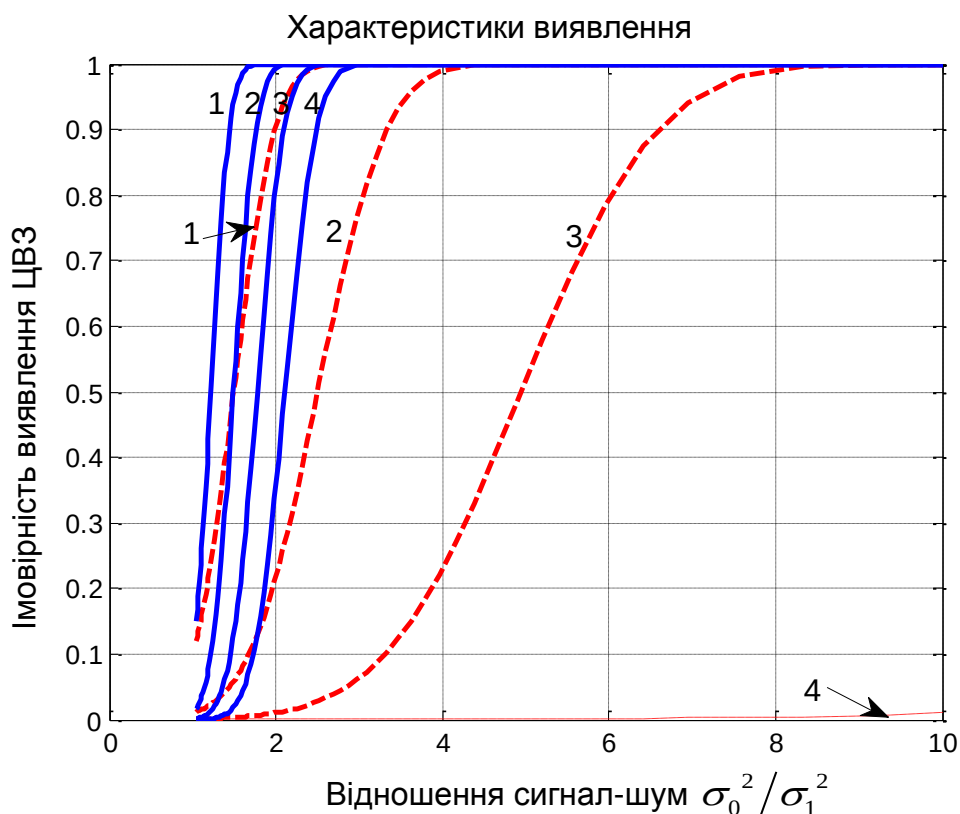


Рисунок 4.24 – Характеристики виявлення ЦВЗ: 1 – $P_f = 10^{-1}$; 2 – $P_f = 10^{-2}$; 3 – $P_f = 10^{-3}$; 4 – $P_f = 10^{-4}$. Суцільна лінія: $B = 100$, штрихова лінія: $B = 30$.

4.12. Виявлення ЦВЗ в системі з неінформованим кодером

В системі з неінформованим кодером накладення сигналу ЦВЗ на звуковий сигнал здійснюється незалежно від самого сигналу носія. Тому перевагою такої системи є відсутність затримки передачі даних в передавачі. Однак для сигналу ЦВЗ звуковий сигнал є в повній мірі перешкодою, за потужністю значно перевершуючи його.

У цьому параграфі розглянута модель системи ЦВЗ з неінформованими кодером і декодером і в рамках даної моделі запропонована і досліджена структура приймача ЦВЗ у вигляді обліювального фільтра (ОФ) і кореляційного приймача для трьох видів адаптивних алгоритмів. Облік кореляційних властивостей сигналу-носія дозволяє істотно поліпшити характеристики виявлення і підвищити кількість вбудованої інформації. Проведено моделювання алгоритмів бінарного виявлення ЦВЗ на фоні

реальних звукових сигналів в системі MatLab, що підтверджує ефективність застосування адаптивних алгоритмів для реалізації ОФ в приймачі ЦВЗ.

Метод вбудовування ЦВЗ з прямим розширенням спектру полягає в наступному. Для формування сигналу s з вкладеною інформацією (стегосигналу) до сигналу-носія x додається сигнал ЦВЗ w :

$$s = x + w, \quad (4.79)$$

де $s = (s_1, s_2, \dots, s_L)$, $x = (x_1, x_2, \dots, x_L)$, $w = (w_1, w_2, \dots, w_L)$ – вектори стегосигналу, звукового сигналу-носія і ЦВЗ відповідно.

Сигнал ЦВЗ формується за методом прямого розширення спектра, при якому вектор ПВП u модулюється даними D , що передаються:

$$w = \sigma_w Du, \quad (4.80)$$

де σ_w – середньоквадратичне відхилення (СКВ) сигналу ЦВЗ;

$D = \{-1, 1\}$ – дані, що передаються;

$u = (u_1, u_2, \dots, u_L)$, $u_i = \{-1, 1\}$ – вектор ПВП довжиною L .

Значення СКВ σ_w вибирають таким, щоб забезпечити заданий коефіцієнт, виражений в децибелах: $WSR = 10 \lg(\sigma_w^2 / \sigma_x^2)$ (Watermark-to-Signal Ratio) – відношення потужності внесених спотворень σ_w^2 до потужності сигналу-носія σ_x^2 . Для того, щоб внесені за рахунок ЦВЗ спотворення не були відчутні на слух необхідно $\sigma_w^2 / \sigma_x^2 \ll 1$.

В [209] показано, що при використанні в приймачі узгодженого фільтра або кореляційного приймача імовірність помилки бінарного виявлення

визначається інтегралом імовірності $\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_z^\infty \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx$:

$$p_{\text{ош}} = \Phi\left(\frac{\sigma_w \sqrt{L}}{\sigma_x}\right). \quad (4.81)$$

Сигнал-носії в даному випадку діє в якості перешкоди і для досягнення прийнятної імовірності помилки в практичних випадках

необхідна довжина ПВП L для передачі одного біта складає значення близько 1000 і більше. Проте, облік в приймачі кореляційних властивостей сигналу-носія дозволяє істотно послабити вимоги до довжини ПВП.

Структурна схема досліджуваного приймача ЦВЗ представлена на рисунку 4.25. На вхід приймача надходить звуковий сигнал з вбудованою

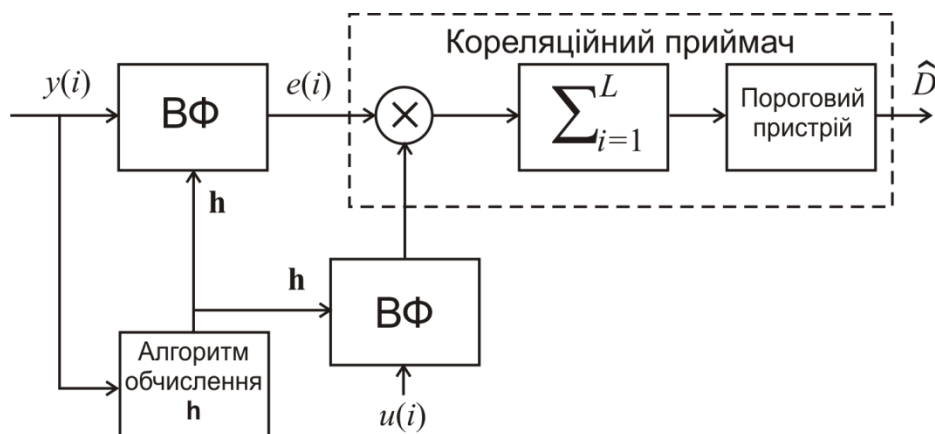


Рисунок 4.25 – Приймач ЦВЗ з обліювачим фільтром

інформацією, що пройшов через канал передачі сигналу-носія. Вважаємо, що перешкоди в цьому каналі відсутні, тому вхідні послідовність приймача дорівнює послідовності відліків стегосигналу: $y(i) = s(i)$.

ОФ усуває кореляцію сигналу на своєму виході. Тому вихідний сигнал ОФ $e(i)$ в ідеалі є білий шум. Вважаємо, що ОФ є лінійною схемою. опорний сигнал $u(i)$, використовуваний в кореляційному приймачі, повинен бути пропущений через такий же ОФ. Тоді в кореляційному приймачі в кінці інтервалу підсумовування буде сформовано статистично максимальне відношення ЦВЗ/сигнал-носії. Граничне пристрій формує оцінку прийнятого біта шляхом порівняння сигналу на вході з нульовим порогом. Вважаємо, що синхронізація встановлена.

Звукові сигнали, будь то мова або музика, є нестационарними і тому вимагають застосування адаптації передавальної функції (або вектора вагових коефіцієнтів $\mathbf{h}$) ОФ.

Для реалізації ОФ будемо використовувати метод лінійного передбачення. Основний принцип лінійного передбачення полягає в тому, що прогнозований відлік звукового сигналу виражається через лінійну комбінацію попередніх відліків. Вагові коефіцієнти, використовувані в лінійної комбінації, визначаються шляхом мінімізації середнього квадрата помилки передбачення, тобто різниці між відліками звукового сигналу і їх передбаченими значеннями.

Метод лінійного передбачення у вигляді так званого лінійного предикативного кодування (ЛПК) (Linear Predictive Coding, LPC) широко використовується в сучасних алгоритмах стиснення звукових сигналів. Суть методу передбачення на основі ЛПК зводиться до наступного. Звуковий сигнал розбивають на рівні сегменти, відповідні тривалості приблизно 20 мс. Для кожного сегмента обчислюють вагові коефіцієнти ОФ, які забезпечили б мінімальне СКВ від прогнозованого значення сигналу.

Прогнозоване значення $y_{\text{пр}}(i)$ на i -му кроці визначається через попередні значення з ваговими коефіцієнтами h_i :

$$y_{\text{пр}}(i) = h_1 y(i-1) + h_2 y(i-2) + \dots + h_p y(i-p). \quad (4.82)$$

Помилка передбачення буде дорівнює:

$$\begin{aligned} e(i) &= y(i) - y_{\text{пр}}(i) = \\ &= y(i) - [h_1 y(i-1) + h_2 y(i-2) + \dots + h_p y(i-p)] = \\ &= y(i) - \sum_{k=1}^p h_k y(i-k). \end{aligned} \quad (4.83)$$

Функція передачі такого ОФ має вигляд:

$$H(z) = \sum_{k=0}^p h_k z^{-k}, \quad h_0 = 1. \quad (4.84)$$

Кількість p використовуваних попередніх відліків, тобто порядок ОФ визначається розумними вимогами до обчислювальних витрат.

Для оптимального обчислення коефіцієнтів фільтра відліки помилки передбачення є дискретний білий шум. Показано, наприклад, [134, 199] що вектор коефіцієнтів фільтра $\mathbf{h} = (h_1, h_2, \dots, h_p)^T$ для мінімізації СКВ повинен визначатися з матричного рівняння

$$\mathbf{R}\mathbf{h} = \mathbf{r}, \quad (4.85)$$

де $\mathbf{R}$ – кореляційна матриця розміром $p \times p$:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} R(0) & R(1) & R(2) & \dots & R(p-1) \\ R(1) & R(0) & R(1) & \dots & R(p-2) \\ R(2) & R(1) & R(0) & \dots & R(p-3) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ R(p-1) & R(p-2) & R(p-3) & \dots & R(0) \end{bmatrix},$$

$\mathbf{r} = (R(1), R(2), \dots, R(p))^T$ – вектор-стовпець значень кореляційної функції.

Рішення матричного рівняння (4.35), званого також рівнянням Юла-Уолкера, в загальному випадку пов'язане з обертанням матриці $\mathbf{R}$ і вимагає значних обчислювальних витрат. Кореляційна матриця має теплицеву структуру і система рівнянь (4.35) може вирішуватися з використанням ефективної обчислювальної процедури відповідно до алгоритму Левінсона-Дарбина.

В системі MatLab для обчислення вектора коефіцієнтів $\mathbf{h}$ оптимального фільтра використовується оператор $\mathbf{h} = \text{lrc}(y, p)$, де y представляє собою послідовність відліків аналізованого сигналу, p – порядок нерекурсивного фільтра.

Алгоритм ЛПК є блоковим і використовує дані на фіксованому часовому інтервалі. В процесі фільтрації даних в межах одного сегмента коефіцієнти фільтра не змінюються. При переході до наступного сегменту коефіцієнти повинні перераховуватися заново.

Іншим варіантом реалізації процедури передбачення є безперервні адаптивні алгоритми, наприклад, алгоритм за методом найменших квадратів (МНК) (Least Mean Square, LMS) і рекурсивний алгоритм найменших квадратів (РНК) (Recursive Least Square, RLS). Зазначені алгоритми добре досліджені в інших різноманітних додатках цифрової обробки сигналів [199].

В алгоритмі МНК вектор коефіцієнтів фільтра розраховується для кожного відліку з урахуванням значення коефіцієнтів для попереднього відліку. Алгоритм МНК обчислення коефіцієнтів фільтра на наступному $i+1$ кроці через стан на i -му кроці записується у вигляді [199]:

$$\mathbf{h}(i+1) = \mathbf{h}(i) + \mu e(i) \mathbf{y}(i), \quad (4.86)$$

де $e(i)$ – поточна помилка передбачення;

μ – крок адаптації;

$\mathbf{y}(i)$ – вектор вмісту лінії затримки фільтра на i – му кроці.

Перевагою алгоритму МНК є його обчислювальна простота. На кожному кроці необхідно виконувати $p+1$ пар операцій множення-складання. Однак цей алгоритм в цілому характеризується повільною збіжністю і великою дисперсією помилки передбачення [10].

В алгоритмі РНК оновлення коефіцієнтів здійснюється відповідно до формули:

$$\mathbf{h}(i+1) = \mathbf{h}(i) + \mathbf{K}(i+1) e(i+1), \quad (4.87)$$

де $\mathbf{K}(i+1)$ – вектор коефіцієнтів посилення.

Вектор коефіцієнтів посилення в свою чергу виражається через зворотний кореляційний матрицю. Алгоритм РНК має значно більшу швидкість збіжності, що досягається, однак, при великих обчислювальних витратах: $2,5p^2 + 4p$ пар операцій множення-складання [199].

На рисунку 4.26 представлені сигналограми звукових сигналів, отримані в результаті моделювання алгоритмів ЛПК, МНК і РНК в системі MatLab для реального звукового сигналу. Верхній графік (Input) - вихідний

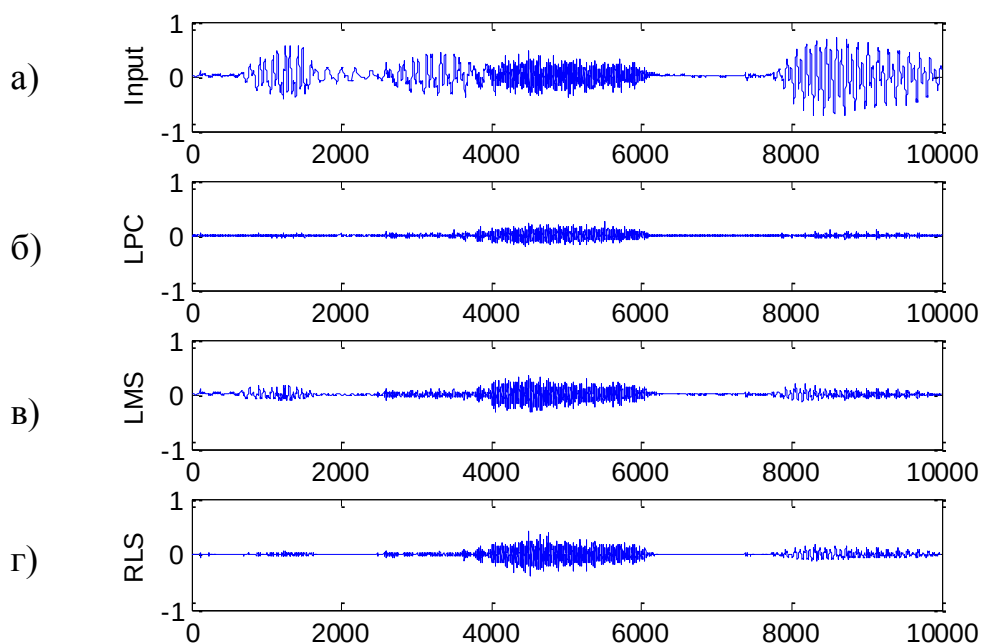


Рисунок 4.26 – Ефект обробки звукового сигналу за допомогою різних алгоритмів: а) вихідний сигнал, б) алгоритм ЛПК, в) алгоритм МНК, г) алгоритм РНК

мовний сигнал, представлений 10-ма тисячами відліків. Частота дискретизації становить 22050 Гц. Наступні графіки являють собою сигнали помилки передбачення: LPC - блоковий алгоритм лінійного предикативного кодування; LMS - алгоритм по методу найменших квадратів; RLS - рекурсивний алгоритм найменших квадратів. Усі сигналограми отримані для однакового порядку ОФ $p = 7$.

В якості тестового мовного сигналу використані відліки з 7001 по 17000 звукового файлу `speech_dft.wav`, що входить в програмне забезпечення системи MatLab. Даний файл перед запуском програми повинен бути поміщений в ту ж папку, що і сама програма. Для блочного алгоритму ЛПК довжина секції прийнята рівною $l = 500$ відлікам, що при частоті дискретизації $F_s = 22050$ Гц становить за часом 22,7 мс. Для обчислення коефіцієнтів ОФ використовується алгоритм Левінсона-Дарбина. У новій версії системи MatLab адаптивні алгоритми реалізовані у вигляді об'єктів типу `adaptfilt.lms (p)` і `adaptfilt.rls (p)` для алгоритмів МНК і РНК відповідно,

де p – порядок адаптивного фільтра. Для дослідження взято базові алгоритми адаптації з іншими параметрами, що задаються за замовчанням.

З сигналоскопом на рисунку 4.26 добре видно ефективність роботи алгоритмів - амплітуда помилки передбачення у всіх трьох випадках значно менше амплітуди вихідного сигналу. Причому помилка передбачення значно менше для вокалізованих звуків (відліки 1 - 4000 і 8000 - 10000). У той же час для невокалізованих звуків (відліки 4000 - 6000) помилка передбачення істотно більша для всіх алгоритмів, так як вихідний сигнал за своїми властивостями ближче до білого шуму.

Для порівняльної оцінки ефективності алгоритмів для різних вхідних сигналів використовуватимемо відносне значення помилки передбачення:

$$V = \frac{\sigma_e}{\sigma_y}. \quad (4.88)$$

Дослідимо залежність відносної помилки V від порядку p ОФ. На рисунку 4.27 представлені експериментальні залежності $V(p)$ ОФ для музичного та мовного файлів. Зірочками, кружками та квадратами показані графіки для алгоритмів ЛПК, МНК і РНК відповідно. З графіків випливає, що як для музики, так і для мови відносна помилка передбачення незначно залежить від порядку фільтра. Особливо це проявляється для музичного файлу. Вже при значенні $p=7$ досягається практично максимальний результат і немає необхідності в збільшенні порядку фільтра. Кращий результат з досліджених алгоритмів дає ЛПК. У той же час алгоритм МНК має найпростішу реалізацію. Якщо для алгоритмів ЛПК і РНК для обчислення коефіцієнтів ОФ на один відлік потрібно число операцій множення пропорційне p^2 , то для алгоритму МНК число операцій множення на відлік пропорційно p .

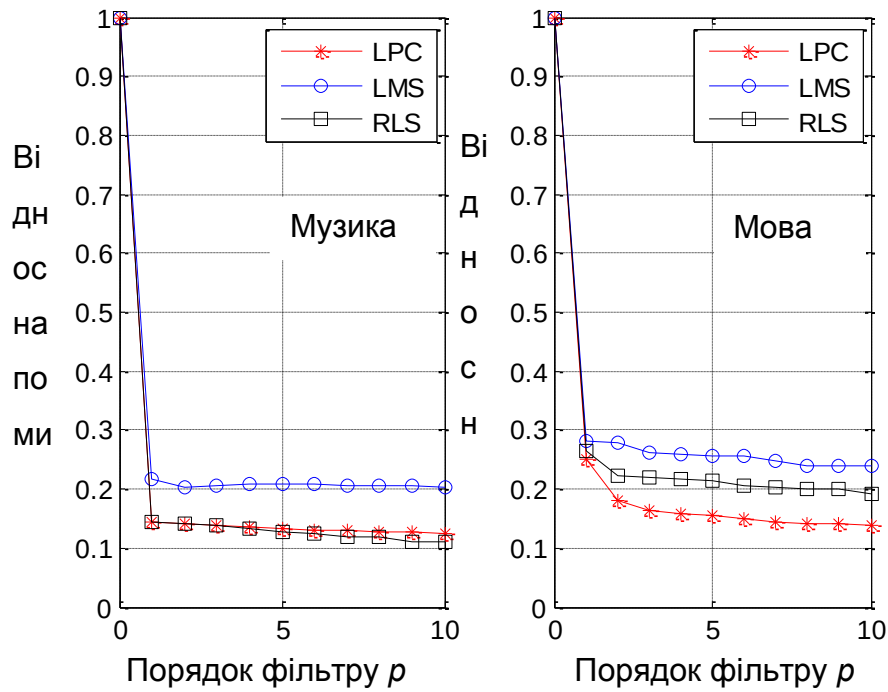


Рисунок 4.27 – Залежності помилки передбачення від порядку ОФ для різних алгоритмів адаптації

Визначимо вплив ОФ на приховуваний сигнал. Сигнал ЦВЗ проходить через той же ОФ. При цьому, оскільки відлік ЦВЗ є незалежними, дисперсія ЦВЗ на виході фільтра буде дорівнює:

$$\sigma_{w'}^2 = \sigma_w^2 \sum_{k=0}^p h_k^2. \quad (4.89)$$

При цьому $h_0 = 1$. Тоді відношення ЦВЗ / сигнал-носії на виході ОФ складе:

$$WSR_{\text{вых}} = 20 \lg \left(\frac{\sigma_w}{\sigma_x} \cdot \frac{\sqrt{\sum_k h_k^2}}{V} \right) = WSR_{\text{вх}} + 20 \lg \left(\frac{\sqrt{\sum_k h_k^2}}{V} \right). \quad (4.90)$$

Беручи до уваги вираз для коефіцієнта WSR , за аналогією з традиційними системами зв'язку можна зробити висновок, що використання додаткової обробки в приймачі дозволяє отримати енергетичний виграш, що становить:

$$G = WSR_{\text{вых}} - WSR_{\text{вх}} = 20 \lg \left(V^{-1} \cdot \sum_k h_k^2 \right). \quad (4.91)$$

На рисунку 4.28 представлені результати впливу обробки. Зірочками позначені точки для алгоритму з обробкою (обілюючий фільтр + узгоджений фільтр); кружечками для порівняння показані точки для алгоритму без обробки (тільки узгоджений фільтр). По осі X відкладені значення $\sqrt{L} \sigma_w / \sigma_x$ в дБ, а по осі Y – імовірність помилки.

Моделювання проводилося при наступних даних. Сигнал-носій - мовний файл speech_dft.wav довжиною 110033 відліків при частоті дискретизації $F_s = 22050$ Гц. Відношення ЦВЗ/сигнал-носій мало значення $WSR_{\text{вх}} = -20$ дБ. Усереднені по всьому файлу значення відносної помилки передбачення і суми квадратів імпульсної характеристики ОФ склали: $V = 0,21$; $\sum_k h_k^2 = 1,8$. Використовувався алгоритм ЛПК при довжині сегмента 500 відліків і порядку ОФ $p = 7$.

Енергетичний виграв при використанні додаткової обробки, таким

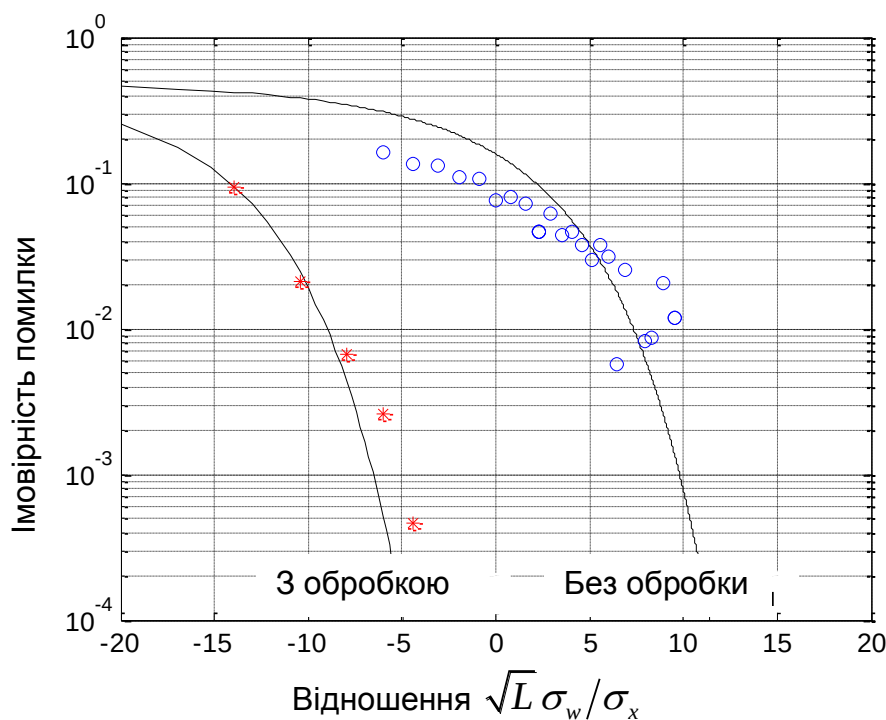


Рисунок 4.28 – Вплив додаткової обробки на ймовірність правильного декодування ЦВЗ

чином, становить 16,1 дБ, що добре узгоджується з теоретично розрахованими кривими ймовірностей помилки на рисунку 4.28. Для музичних файлів виграш ще більше через менші значення V і може скласти до 20 дБ.

Додаткова обробка в приймачі дозволяє істотно зменшити довжину L ПВП, використовуваної для передачі одного біта ЦВЗ. Як випливає з графіків рисунку 4.28, для отримання ймовірності помилки $p_{\text{ош}} = 10^{-3}$ необхідна довжина ПВП складе приблизно значення $L \approx 1000$ без обробки і $L \approx 32$ з обробкою. За інших рівних умов це дозволяє більш ніж в 30 разів збільшити обсяг вбудованої в звуковий сигнал інформації. Достовірність передачі інформації може бути підвищена застосуванням коригувальних кодів.

З алгоритмів адаптації може використовуватися блоковий алгоритм ЛПК або безперервні алгоритми МНК і РНК. Застосування ОФ з адаптуються коефіцієнтами ефективно вже для одиничного порядку ОФ. Простота апаратної реалізації приймача ЦВЗ набуває особливого значення при технічній реалізації вбудованих апаратних засобів ЦВЗ і захисту інформації.

Застосування в приймачі ЦВЗ ОФ з адаптуються коефіцієнтами дозволяє при збереженні коефіцієнта радикальним чином – більш ніж в 30 разів – підвищити кількість інформації, що вбудовується в звуковий сигнал.

4.13. GPS синхронізація пакетів ЦВЗ

Ключовим фактором надійної роботи системи АІ є синхронізація пакетів ЦВЗ. При наявності зовнішньої синхронізації не потребується використання багатоканального передавання даних ЦВЗ для виявлення пакетів. Система АІ може працювати у синхронному режимі передавання даних ЦВЗ. Джерелом сигналу синхронізації є секундні імпульси приймача GPS (PPS – Pulse per Second). Вони є відліками всесвітнього координованого часу. Зазвичай приймач GPS використовується для визначення координат

судна, але у нашому призначенні він використовується для отримання зовнішньої синхронізації пакетів ЦВЗ у приймачі і передавачі системи АІ. Таке сумісне різних систем (ГНСС і радіотелефонії) демонструє важливість і корисність інтегрування як систем, так і технологій.

Пристрій АІ (передавання додаткової інформації) з синхронізацією приймачем GPS показаний на рисунку 4.29. Синхронізація пакетів ЦВЗ в передачі і приймачі забезпечується від приймача GPS. Затримкою радіосигналу при розповсюдженні радіохвиль від передавача до приймача можна знехтувати. Наприклад, для радіозв'язку в УКХ діапазоні на відстані 50 км затримка потрапляння сигналу від передавача до приймача з урахуванням швидкості розповсюдження радіохвиль складатиме 0,167 мс.

У разі радіозв'язку на менших відстанях помилка синхронізації буде

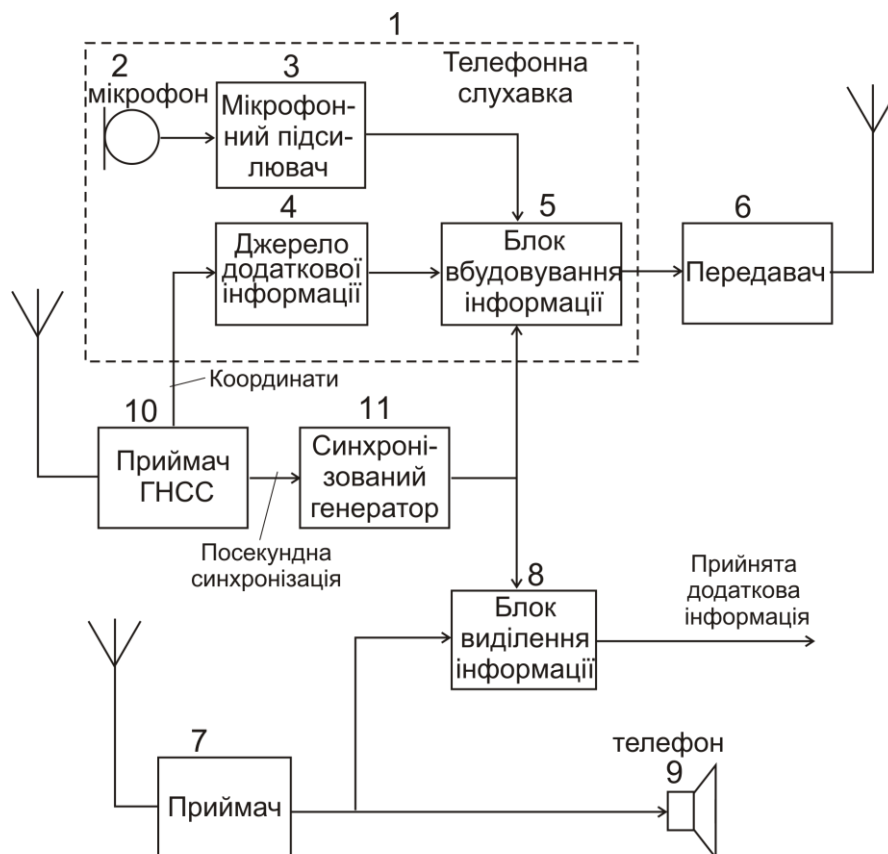


Рисунок 4.29 – Пристрій АІ (передавання додаткової інформації) з синхронізацією приймачем GPS

пропорціональне менше. Тривалість пакету ЦВЗ T (рисунок 4.30), як буде пояснено у наступному, складатиме (10 – 40) мс, тобто значно більше часових похибок самої системи GPS і непередбачуваної затримки розповсюдження радіосигналу. Тому впливом цих часових помилок на синхронізацію ЦВЗ можна нехтувати.

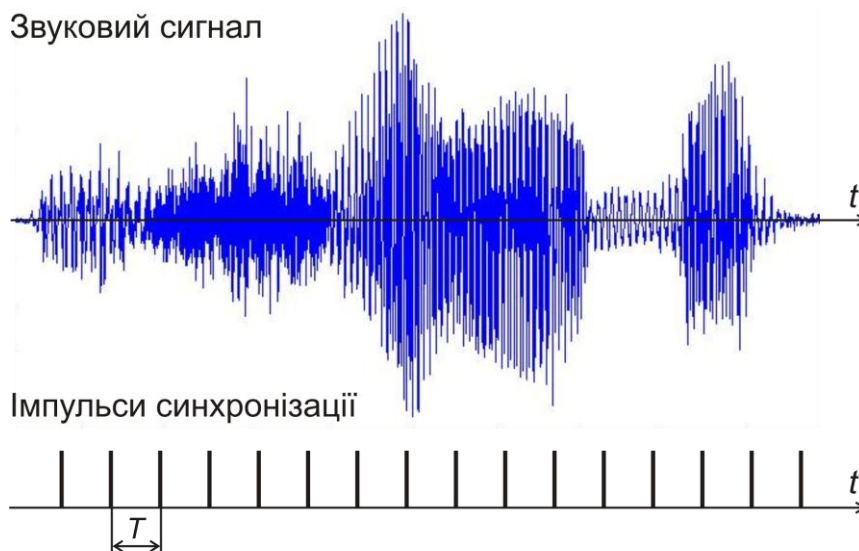


Рисунок 4.30 – Синхронізація пакетів ЦВЗ від приймача GPS

4.14. Завадостійке кодування в системі ЦВЗ

Завадостійке кодування має на меті захисту даних від перешкод в каналі передачі. Раніше розглянуті питання стеганографічного кодування (або модуляції), яке використовується для передачі додаткової інформації непомітно від сприйняття людиною сигналу в основному каналі зв'язку. Стеганографія використовує особливості суб'єктивного сприйняття людиною звукових сигналів і саме по собі не є інструментом для захисту додатково переданих даних від перешкод.

Підвищення завадостійкості стегоданих можливо шляхом збільшення інтервалу дискретизації, як показано раніше. Однак збільшення Δ тягне за

собою підвищення рівня внесених викривлень основного сигналу-носія, що негативно позначається на його слуховому сприйнятті. Збільшення Δ з метою забезпечення завадостійкості ЦВЗ те саме підвищення потужності сигналу в традиційних системах зв'язку. Однак таке «силове» рішення проблеми завадостійкості не є кращим ні в класичних системах зв'язку, ні в системах передачі ЦВЗ.

Теорія і інженерні рішення завадостійкого кодування сьогодні знаходяться на дуже високому рівні і активно експлуатуються в усіх телекомунікаційних системах [167, 189, 206]. У завданнях прихованої передачі даних в мовних сигналах завадостійке кодування дозволяє ефективно вирішувати завдання компромісного вибору параметрів стегосистеми кількість – якість – стійкість. Для виправлення помилок необхідно передавати деякий надлишок даних. Надлишкові дані збільшують кількість «сирий» інформації і вимагають таким чином додаткового часу для передачі. Однак при цьому з'являється можливість зменшити вносяться спотворення, тобто підвищити скритність ЦВЗ за рахунок зменшення кроку квантування Δ , а добитися необхідного рівня завадостійкості шляхом канального кодування.

Іншим фактором вибору коду є блокова структура формування ЦВЗ. З урахуванням застосування OFDM і супутнього ШПФ, що мають блоковий формат, явними кандидатами є також блокові коди.

Коди БЧХ є лінійними блоковими кодами, виправляють одну і більше помилок на блок. З реалізаційної точки зору їх застосування не викликає ніяких труднощів, оскільки апаратні і програмні засоби кодів БЧХ досконально опрацьовані [168].

У кодах БЧХ кодовий блок формується з n біт, з яких k біт ($k < n$) є власне інформаційними даними, а $n - k$ біт є надлишковими і служать для виявлення і виправлення можливих помилок. БЧХ коди мають позначення

(n,k,t) , де t – число виправляє помилок в межах одного блоку. Таблиця 4.1 параметрів n, k, t кодів БЧХ [168] приведена нижче.

Позначення коду, наприклад, $(31,16,3)$ говорить про те, що блок складається з 31 біта при 16 інформаційних бітах. 15 надлишкових біт дозволяють виявити і виправити до 3-х помилок на блок. Довжина кодового слова n задається співвідношенням $n = 2^m - 1$, $m = 3, 4, 5, \dots$

Таблиця 4.1 – Співвідношення параметрів кодів БЧХ для $n = (7, 15, 31, 63, 127)$

Довжина блоку коду БЧХ n	Можливі пари числа інформаційних бітів k і кількості помилок, що виправляються $t : (k, t)$
7	(4,1) (1,3)
15	(11,1) (7,2) (5,3) (1,7)
31	(26,1) (21,2) (16,3) (11,5) (6,7) (1,15)
63	(57,1) (51,2) (45,3) (39,4) (36,5) (30,6) (24,7) (18,10) (16,11) (10,13) (7,15) (1,31)
127	(120,1) (113,2) (106,3) (99,4) (92,5) (85,6) (78,7) (71,9) (64,10) (57,11) (50,13) (43,14) (36,15) (29,21) (22,23) (15,27) (8,31) (1,63)

Застосування завадостійкого кодування крім його основної функції виправлення помилок дозволяє рівномірно розподілити енергію сигналу ЦВЗ на частотно-часовій площині, займаній сигналом-носієм. При використанні OFDM кожен біт кодового слова передається в своєму частотному субканалі так, що передача всіх n біт займає всю смугу частот, що відводиться для ЦВЗ. Якщо прийняти, що енергія ЦВЗ для передачі одного біта дорівнює P_1 , а вся енергія ЦВЗ kP_1 рівномірно розподіляється на n субканалів OFDM, то в кожному з субканалів передається kP_1/n одиниць енергії. Оскільки k біт інформації перекоднуються в n біт і кожний з цих біт має рівноцінне значення, то вся енергія ЦВЗ буде рівномірно розподілена по частоті.

У граничному випадку, коли в кодовому слові передається лише один біт ЦВЗ, його енергія буде рівномірно розподілена на всі n субканалів OFDM. Цьому нагоди відповідають останні пари параметрів з таблиці 4.1. Наприклад, для коду (15,1,7) кодове слово представляє 15 повторень єдиного інформаційного біта, а число виправляє помилок дорівнює 7. Для такої високої коректує здатності можна знизити вимоги до завадостійкості інформації в кожному субканалі за рахунок зменшення кроку квантування і зниження в результаті цього рівня внесених спотворень сигналу-носія.

Висновки по розділу 4.

1. Наскрізний канал по низькій частоті УКХ радіотелефонії характеризується наявністю багатьох перешкод, з яких найбільший руйнівний вплив на ЦВЗ чинять амплітудні спотворення, між символна інтерференція, помилки синхронізації, адитивний шум.

2. Ключовим питанням розробки ЦВЗ, що відповідає критерію кількість – якість – стійкість в умовах застосування їх в реальному аналоговому каналі УКХ радіозв'язку, є вибір ознаки звукового сигналу, яка піддається квантуванню даними ЦВЗ. Такою ознакою обраний коефіцієнт кореляції звукового сигналу-носія і опорної випадкової послідовності на часовому інтервалі вбудовування ЦВЗ. Коефіцієнт кореляції інваріантний до амплітудних спотворень і МСІ при обробці в частотній області із застосуванням ортогонального частотного мультиплексування (OFDM).

3. Розроблений спосіб формування ЦВЗ із збереженням норми сигналу забезпечує, по-перше, нечутливість КК до амплітудних спотворень за умови виконання нормування сигналу і, по-друге, слухову нечутливість внесених за рахунок ЦВЗ спотворень, оскільки відбувається лише перерозподіл потужності окремих близько розташованих гармонік при збереженні з сумарної потужності.

4. З трьох можливих видів квантування коефіцієнта кореляції – АК, ФК, АФК – найкращий результат по співвідношенню якості – стійкості дає амплітудне квантування коефіцієнта кореляції.

5. Формування ЦВЗ в частотній області дозволяє використовувати технологію частотного ортогонального мультиплексування (OFDM) для ефективної протидії МСІ.

6. Ефективним способом підвищення завадостійкості ЦВЗ без збільшення внесених спотворень в сигнал-носій є застосування завадостійкого кодування. Використання БЧХ кодів з параметрами дозволяє вирішити компромісну задачу кількість – стійкість ЦВЗ при заданому рівні внесених спотворень шляхом вибору параметрів коду.

7. Ключовим вирішенням питання синхронізації пакетів ЦВЗ є застосування приймача GPS в якості постачальника сигналів точного часу для синхронізації процесів обробки сигналів в передавачі і приймачі. Спільне використання різних систем і технологій – радіотелефонія, GPS, ЦВЗ підтверджують доцільність інтегрування для отримання нового результату.

Матеріали четвертого розділу опубліковані в роботах [117, 119, 121 – 123, 215, 218, 222, 225 – 228] списку публікацій за темою дисертації.

РОЗДІЛ 5.

ПЕРЕДАЧА ДОДАТКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ У ЦИФРОВИХ РАДІОКАНАЛАХ

5.1. Методи стеганографічної передачі інформації у цифрових каналах

У розділі 4 розглянуті алгоритми передачі ЦВЗ в аналогових каналах наземного радіозв'язку. Впровадження автоматичної ідентифікації радіотелефонних повідомлень може розглядатися як перехідний етап в еволюції від аналогових каналів до цифрових у морської радіотелефонії з огляду на те, що ідентифікація станції що передає завжди існує у цифрових каналах. У всіх діючих на сьогоднішній день супутникових системах використовуються цифрові канали. Цифрові канали є також предметом перспективного використання в системах традиційної наземної морського радіозв'язку.

У цьому розділі досліджуються можливості передачі додаткової інформації в цифрових радіоканалах при тих же припущеннях - збереження штатного складу апаратури і незмінності експлуатаційних процедур.

Розроблено два підходи до реалізації стеганографічної передачі інформації в цифровому каналі. Перший підхід (структура ЦВЗ-АЦП-канал) базується на вбудовуванні додаткової інформації безпосередньо в аналоговий звуковий сигнал (рисунок 5.1 а)). Природно це не перешкоджає застосуванню цифрової обробки для вбудовування цифрових даних в сигнал-носій. Спочатку звуковий сигнал, що знімається з мікрофона, має аналоговий характер. У кодері ЦВЗ здійснюється вбудовування додаткової цифрової інформації. Тут під кодером слід мати на увазі деякий пристрій, який модифікує вихідний сигнал, дозволяючи тим самим передати додаткову інформацію у вигляді ЦВЗ.

На виході кодера ЦВЗ сигнал може трактуватися також як аналоговий і далі піддаватися стандартним процедурам обробки (компресія-розтягування, аналого-цифрове перетворення, завадостійке кодування, модуляція, тощо) Як це передбачено в стандартній апаратурі. Всі ці перетворення розцінюються для сигналу ЦВЗ як перешкоди, в тій чи іншій мірі впливаючи на

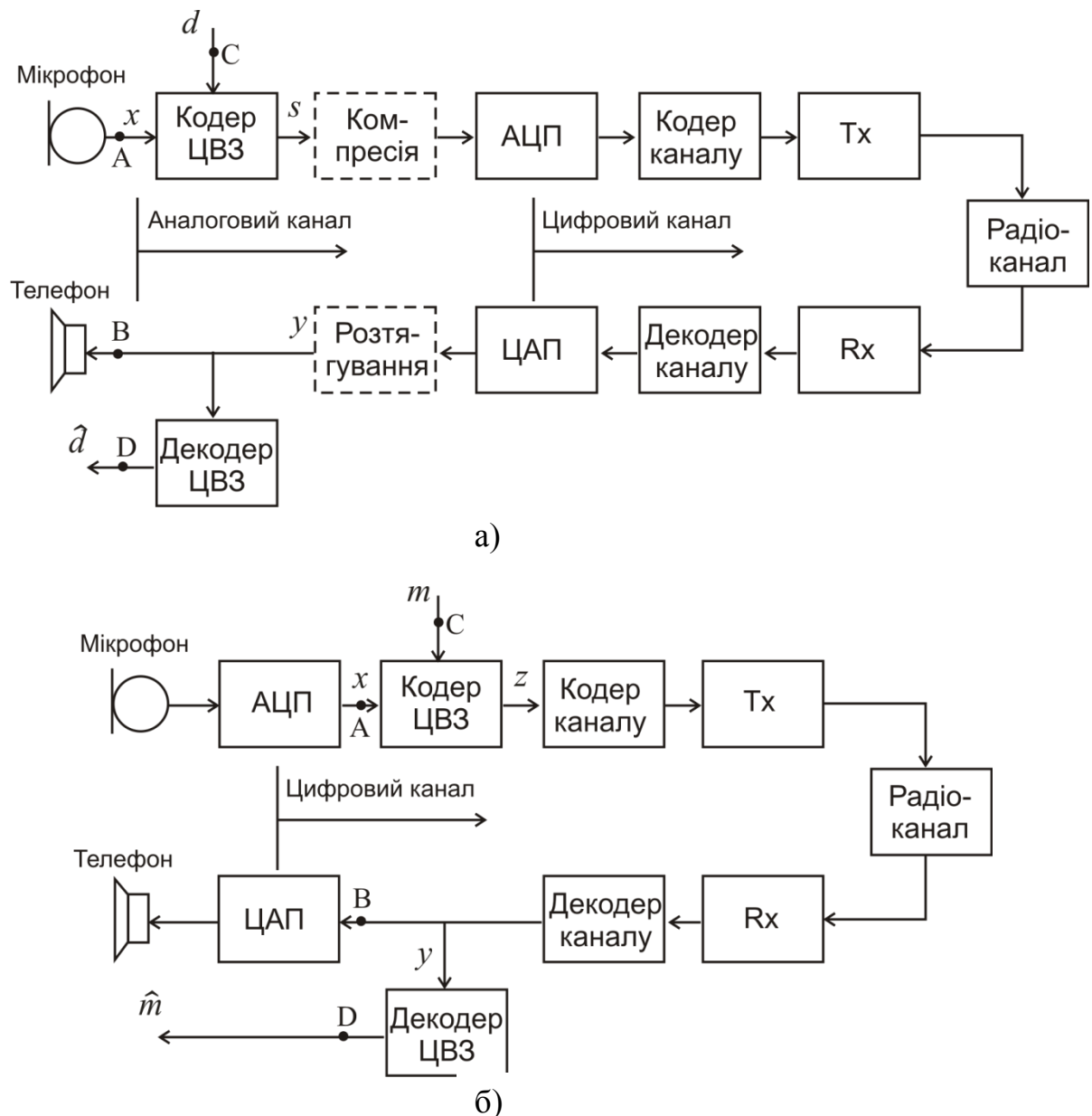


Рисунок 5.1 – Два підходи до реалізації передачі стеганографічної передачі інформації в цифрових каналах: а) структура ЦВЗ-АЦП-канал (аналоговий сигнал-носіє); б) структура АЦП-ЦВЗ-канал (цифровий сигнал-носіє)

достовірність передачі даних ЦВЗ. Таким чином, блок ЦВЗ поміщається в розрив лінії безпосередньо після мікрофону і не вимагає далі будь-якої зміни методів обробки сигналу, тобто заміни апаратури.

Другий підхід (структура АЦП-ЦВЗ-канал) реалізований на вбудовуванні інформації в цифровий потік (рисунк 5.1 б)). Блок ЦВЗ поміщений вже безпосередньо в цифровий канал. Цифровий потік формується, наприклад, на виході диференціального імпульсно-кодового модулятора (ДІКМ) або імпульсно-кодового модулятора (ІКМ). На рис. 5.1 б) цей блок позначений АЦП – аналого-цифровий перетворювач. При цьому треба розуміти, що модифікації піддаються молодші розряди АЦП. Для дельта-модуляції як бінарного варіанту ДІКМ для вбудовування ЦВЗ використовується один загальний потік бітів. Слід підкреслити, що вбудовування додаткової інформації трактується як інверсія (а не вставка додаткових бітів) деяких розрядів цифрового потоку на основі аналізу досить великого блоку переданих даних.

Тут сигналом-носієм є вже не аналоговий сигнал, як це було в першому випадку, а цифрова двійкова послідовність $x_i = (0,1)$. Заміна деяких бітів, природно, призведе до спотворення звукового сигналу, як і в першому варіанті. Завдання полягає в тому, щоб при контрольованих мінімальних спотвореннях цифрового потоку максимізувати кількість додаткової інформації.

Для структури ЦВЗ-АЦП-канал схеми на рисунку 5.1 а) всі діючі на сигнал ЦВЗ зовнішні перешкоди в першому наближенні можна звести до АБГШ. Крім зовнішньої перешкоди ξ у вигляді АБГШ на приховуваний сигнал w впливає власне сигнал-носієй x значно більшої потужності. В роботі [23] встановлено, що при перешкодах x і ξ в вигляді АБГШ $x \sim N(0, \sigma_x^2)$, $\xi \sim N(0, \sigma_\xi^2)$ пропускну здатність каналу з додатковою інформацією для передачі приховуваного повідомлення визначається

формулою $C = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{\sigma_w^2}{\sigma_\xi^2} \right)$, біт/ відлік, де σ_w^2 – потужність внесених спотворень. При цьому вважається, що перешкода x повністю відома в передавачі. У приймачі ні перешкода x , ані перешкода n не відомі.

Важливість цього результату полягає в тому, що хоча потужність сигналу-носія в реальному випадку істотно перевищує потужність приховуваного сигналу $\sigma_x^2 \gg \sigma_w^2$, шляхом відповідного перетворення теоретично можна виключити заважає вплив самого сигналу-носія. Прихована пропускна здатність визначається тільки відношенням потужності внесених спотворень до потужності шуму ξ . Використання додаткової інформації про сигнал-носії x дозволяє істотно підвищити швидкість передачі додаткової інформації як у аналогових, так і цифрових каналах.

5.2. Інформаційні характеристики цифрового стеганографічного каналу

Перенесемо наведені висновки на цифровий двійковий канал і встановимо граничні співвідношення між швидкістю R передачі інформації в прихованому каналі і спотвореннями, що вносяться D в цифрову послідовність-носії. Вважаємо, що сигнал-носії x представляється випадковою двійковою послідовністю з незалежними відліками (або послідовністю Бернуллі) з рівними ймовірностями нулів і одиниць. Приховувані дані ЦВЗ m перетворюються в кодері в послідовність w , яка формується з урахуванням інформації про послідовність-носії x , яка відома в кодері.

Стегослiдовнiсть z , мiстить ЦВЗ, формується побiтовим пiдсумовуванням за модулем 2: $z_i = x_i \oplus w_i$. Припустимо, що iнверсія бiта носiя x_i , яка обумовлена вбудовуванням ЦВЗ, вiдбувається з ймовiрнiстю p . Канал передачi можна розглядати при цьому як двiйковий симетричний

канал з ймовірністю помилки p . Пропускна здатність такого каналу дорівнює [159]:

$$C_{AB} = 1 + p \log p + (1 - p) \log(1 - p) = 1 - H(p). \quad (5.1)$$

Зменшення пропускної здатності основного каналу А – В на величину ентропії $H(p)$ обумовлено передачею інформації в прихованому каналі С – D. У загальній частині основного і прихованого каналів передається інформація безпосередньо носія і ЦВЗ. Зменшення швидкості передачі інформації в основному каналі на величину ентропії $H(p)$ дозволяє реалізувати прихований канал С – D з такою ж пропускну здатністю. Тому пропускна здатність прихованого каналу С – D дорівнює:

$$C_{CD} = H(p). \quad (5.2)$$

Внесені спотворення D обумовлені інверсією деяких бітів послідовності-носія x . Визначимо D усередненою відстанню по Хеммінгу між двома послідовностями x і z довжиною n символів кожна:

$$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d(x_i, z_i), \quad (5.3)$$

де $d(x_i, z_i) = 0$ при $x_i = z_i$ і $d(x_i, z_i) = 1$ в іншому випадку.

Очевидно, що $D = p$. Звідси шукане обмеження швидкості R передачі інформації в прихованому каналі С – D задається нерівністю:

$$R \leq H(D), \quad (5.4)$$

де $H(D) = -D \log D - (1 - D) \log(1 - D)$ – ентропія внесених спотворень.

Як і раніше для дискретного каналу з АБГШ приходимо до висновку, що пропускна здатність двійкового прихованого каналу при відомому в кодері сигналу-носію визначається тільки вносяться спотвореннями D і не залежить від самого носія.

Для реалізації другого підходу до передачі додаткової інформації в цифровому каналі необхідно, по-перше, встановити граничні обмеження на швидкість передачі інформації, що приховується в двійковому цифровому

каналі, по-друге, розробити алгоритми практичної реалізації цифрової стеганографічної системи.

Графік граничних значень швидкості по формулі (5.4) представлений на рисунку 5.2. На цьому ж графіку пунктирною лінією показана залежність швидкості для алгоритму з заміною молодшого розряду відліків носія. При кожній частині замінних біт від загальної кількості символів носія співвідношення швидкості і внесених спотворень в системі з заміною молодшого розряду дорівнює $R/D = 2$ (пунктирна лінія). В середньому на одну інверсію символу носія припадає 2 біта інформації, що приховується.

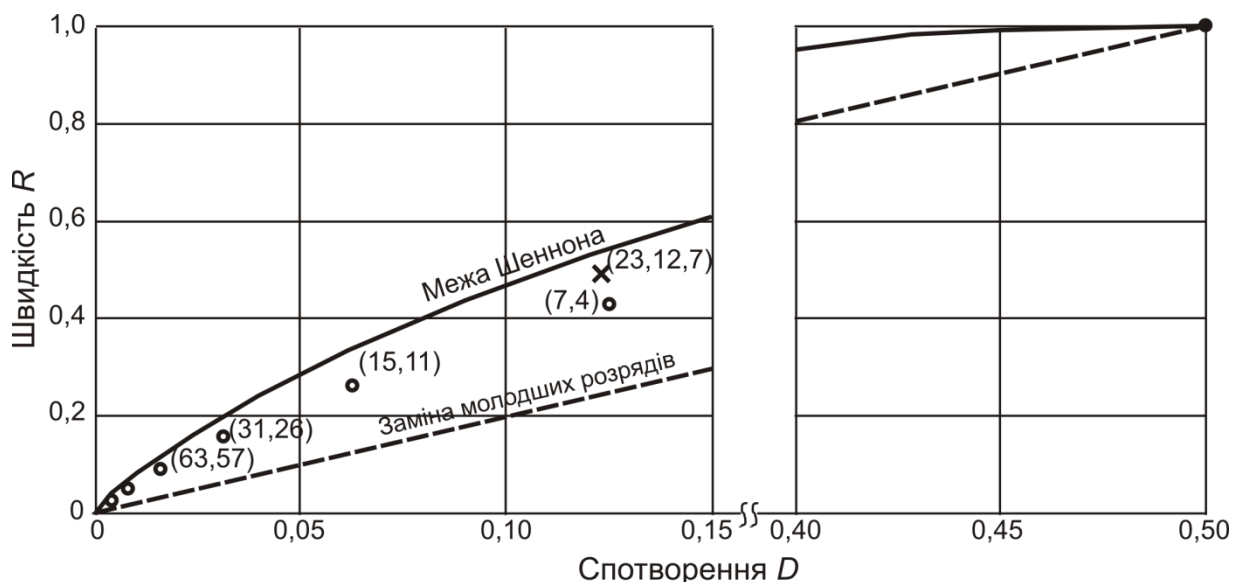


Рисунок 5.2 – Гранична крива залежності $R(D)$ і показники методу вбудовування ЦВЗ на основі кодів Хеммінга (кружки) і Голя (хрестики)

Заміна символів носія тут здійснюється без урахування інформації про самі носії. В крайньому випадку ($D=0,5$) вихідна послідовність-носій повністю підміняється прихованою послідовністю.

Кружками і хрестиками відзначені точки для розробленого синдромного алгоритму вбудовування ЦВЗ на основі кодів Хеммінга і Голя [168], для яких $R/D > 2$. Ці точки знаходяться значно ближче до межі Шеннона в порівнянні з лінією $R/D = 2$.

Будемо розглядати випадок, коли спотворення у відкритому каналі передачі відсутні. Для двійкового симетричного каналу без пам'яті аналогічно каналу з АБГШ швидкість передачі прихованої інформації теоретично обмежується тільки ентропією внесених спотворень.

Кодер ЦВЗ в моделі на рисунку 5.1 б) встановлюється до кодеру каналу, що забезпечує захист від цифрових помилок. Тому немає необхідності домагатися від ЦВЗ стійкості до перешкод в загальному каналі передачі, що є необхідним для першого підходу. ЦВЗ тут є крихкими, тобто приховувані дані руйнуються при спотворенні хоча б одного інформаційного біта. Проте, завдяки зовнішньому завадостійкому кодуванню, яке присутнє в будь-якій цифровій системі передачі даних, помилки будуть виправлені і зовнішні перешкоди ніяк не вплинуть на збереження даних ЦВЗ. При допущенні виправлення помилок канальним декодером $y = z$ (див. рисунок 5.1 б)).

Якщо використовувана система завадостійкого кодування не може впоратися з помилками, то порушується вся передача в основному каналі і в цих умовах немає необхідності намагатися зберегти дані ЦВЗ.

5.3. Синдромний метод вбудовування інформації

Використання інформації про носії дозволяє значно збільшити інформаційну ефективність – відношення R/D при передачі інформації в стеганографічній системі. Покажемо як це досягається в структурі АЦП-ЦВЗ-канал за допомогою застосування блокових кодів Хеммінга і Голя, які стандартно використовуються для виправлення помилок. Вважаємо, що задана перевірна матриця $\mathbf{H}$ розмірності $(n-k) \times n$, яка відома в кодері і декодері моделі рисунок 5.1 б). Тут n – довжина блока, k – число інформаційних символів в класичному визначенні блокових корегуючих кодів.

У кодері в якості вихідної послідовності-носія виступає вектор $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_n)$, $x_i \in \{0, 1\}$ довжиною n символів. Даний вектор являє двійкову випадкову послідовність. Для коду Хеммінга кодер може інвертувати всього лише один біт з усього блоку довжиною n символів і за рахунок цього передати $r = n - k$ додаткових біт інформації. Наприклад, для коду Хеммінга (1023, 1013) інверсія одного біта на блок забезпечує приховану передачу 10 біт інформації.

Алгоритм полягає в наступному. Кодер обчислює вектор $\mathbf{w}$, вага якого як, буде показано нижче, не перевищує числа t помилок, що виправляються кодом. Для коду Хеммінга $t = 1$ і $\mathbf{w}$ складається з $n - 1$ нулів і однієї одиниці, яка повинна знаходитися в розряді, який повинен бути інвертований. Вектор $\mathbf{z} = \mathbf{x} \oplus \mathbf{w}$ буде містити додатково вбудовану інформацію з $r = n - k$ біт, яка після передачі в загальному каналі буде виділена в декодері ЦВЗ. Беручи до уваги лінійність коду, матимемо:

$$\mathbf{H}\mathbf{z}^T = \mathbf{H}\mathbf{x}^T \oplus \mathbf{H}\mathbf{w}^T, \quad (5.5)$$

де T – символ транспонування;

$\oplus$ – операція підсумовування по модулю 2.

Вектор $\mathbf{z}$ повинен бути таким, щоб виконувалась рівність:

$$\mathbf{H}\mathbf{z}^T = \mathbf{m}, \quad (5.6)$$

де $\mathbf{m}$ – вектор вбудованих даних довжиною $n - k$.

Якщо розглядати стандартне застосування коригуючого коду для виправлення помилок, то операція (5.6) є операцією обчислення синдрому коду. Якщо синдром $\mathbf{s}_z = \mathbf{H}\mathbf{z}^T$ дорівнює 0, то вектор $\mathbf{z}$ є кодовим словом. В іншому випадку $\mathbf{s}_z \neq 0$ вид синдрому однозначно вказує на положення спотвореного біта. У нашому випадку переслідується мета не виправлення помилок, а прихованої передачі інформації, що містяться в синдромі $\mathbf{s}_z$. Тому вектор $\mathbf{z}$ повинен задовольняти співвідношенню (5.6).

Для досконалих кодів, тобто кодів, для яких число синдромів в точності дорівнює числу комбінацій виправляє помилок, кожного набору

даних $\mathbf{m}$ відповідає своя комбінація помилок. Границя Хеммінга

$$\sum_{i=0}^t \binom{n}{i} \leq 2^{n-k} \text{ для досконалих кодів виконується зі знаком рівності. Тут } \binom{n}{i}$$

– число комбінацій з n символів по i , t – число помилок, що виправляються коригуючим кодом.

До досконалих кодів відносяться коди Хеммінга $(2^r - 1, 2^r - r - 1)$, $r = n - k$ – натуральне число и код Голя $(23, 12, 7)$. Коди Хеммінга виправляють одну помилку на блок $t = 1$, а код Голя – до трьох помилок включно $t = 3$. Відповідно мінімальні кодові відстані для цих кодів дорівнюють 3 і 7.

На рисунку. 5.3 дана геометрична інтерпретація коду Хеммінга. Кружками умовно показані різні кодові комбінації – вектори $\mathbf{z}$. Вектори, для яких виконується рівність (5.6) для заданого вектора прихованої інформації $\mathbf{m}$, виділені жирною лінією. якщо $\mathbf{m} = 0$, то вектори $\mathbf{z}$ є кодовими словами перешкодостійкого коду. Для коду Хеммінга мінімальна відстань (по Хеммінгу) між кодовими словами дорівнює 3. На рисунку 5.3 показаний приклад визначення відстані між кодовими словами, позначеними 1 і 2. (Треба рухатися тільки по вертикалі або горизонталі). У разі одиночної помилки прийнята комбінація буде відстояти від переданого кодового слова на одну позицію. Відстані до інших можливих кодових слів будуть 2 і

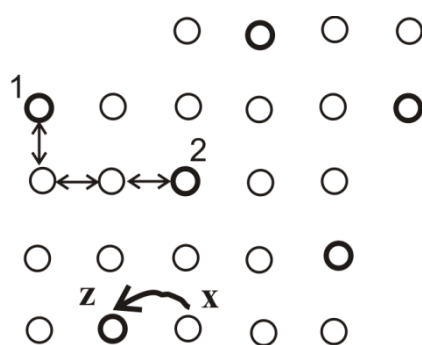


Рисунок 5.3 – Геометрична інтерпретація кодових векторів суміжного класу

більше. Декодер повинен винести рішення на користь найближчого кодового слова і тим самим виправити помилку.

У нашому випадку при вбудовуванні інформації $\mathbf{m} = 0$ довільну послідовність $\mathbf{x}$ необхідно перетворити в найближчий вектор $\mathbf{z}$, для якого виконується рівність (5.6). Тобто достатньо всього однієї інверсії на блок.

Аналогічні міркування можна провести для довільної комбінації приховуваних даних при $\mathbf{m} \neq 0$. Тоді всі виділені на рисунку 5.3 вектори належать суміжному класу, для якого також виконується (5.6). І точно також будь-який вихідний вектор $\mathbf{x}$ може бути трансформований в вектор $\mathbf{z}$ шляхом єдиною інверсії. Може і взагалі не знадобиться ніяких змін, якщо вектор $\mathbf{x}$ вже належить суміжному класу.

З огляду на (5.5) і (5.6), шуканий вектор $\mathbf{w}$ визначається з рівняння:

$$\mathbf{H}\mathbf{w}^T = \mathbf{H}\mathbf{x}^T \oplus \mathbf{m}. \quad (5.7)$$

Як зазначено в [173] стосовно кодом Хеммінга, векторами, що задовольняють (5.7), є вектори з суміжного класу, який відповідає синдрому $\mathbf{s}_w = \mathbf{H}\mathbf{x}^T \oplus \mathbf{m}$. Стратегія кодеру, що приховує, полягає у виборі з цього суміжного класу вектора $\mathbf{w}$ з найменшою вагою - лідера суміжного класу. Такий алгоритм характерний для завадостійкого декодера блокових кодів з використанням стандартної таблиці для декодування.

Декодер стеганографічної системи для вилучення прихованих даних повинен обчислювати синдром $\mathbf{H}\mathbf{z}^T$, який, як випливає з (5.6), дорівнює $\mathbf{m}$. У завадостійкому кодері подібним чином визначається кодове слово $\mathbf{v}$, яке задовольняє рівнянню $\mathbf{H}\mathbf{v}^T = 0$.

З вищесказаного випливає, що кодер виконує функції завадостійкого декодера для звичайної системи передачі інформації з корекцією помилок. І, навпаки, декодер виконує функцію завадостійкого кодеру в стандартному застосуванні коду.

Таким чином, в стеганографічній системі для синдромного методу вбудовування інформації функції кодера і декодера міняються місцями по відношенню до звичайної системи завадостійкого кодування.

Синдромний метод кодування [217] включає в себе наступні кроки.

1. За відомим блоку носія обчислюється синдром вихідної цифрової послідовності $\mathbf{s}_x = \mathbf{H}\mathbf{x}^T$ довжиною $n - k$ символів.
2. Обчислюється значення синдрому шуканого коригуючого вектора ЦВЗ: $\mathbf{s}_w = \mathbf{H}\mathbf{x}^T \oplus \mathbf{m}$.
3. Визначається вектор $\mathbf{w}$ з найменшою вагою, який задовольняє рівнянню $\mathbf{H}\mathbf{w}^T = \mathbf{s}_w$.
4. Обчислюється шуканий вектор $\mathbf{z}$, що містить приховувані дані $\mathbf{z} = \mathbf{x} \oplus \mathbf{w}$.

Проілюструємо алгоритм на прикладі коду Хеммінга (7,4) з перевіркою матрицею

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}.$$

Прийmemo, наприклад, $\mathbf{x} = (1110000)$, $\mathbf{m} = (001)$. Тоді $\mathbf{H}\mathbf{x}^T = 111$. $\mathbf{s}_w = \mathbf{H}\mathbf{x}^T \oplus \mathbf{m} = 110$. У таблиці 5.1 наведені вектори корекції $\mathbf{w}$ і відповідні їм синдроми $\mathbf{s}_w = \mathbf{H}\mathbf{w}^T$. Безпосередньо з таблиці знаходимо вектор $\mathbf{w} = (0001000)$. Вектор $\mathbf{x}$ трансформується у вектор $\mathbf{z} = \mathbf{x} \oplus \mathbf{w} = (1111000)$ шляхом однієї інверсії і при цьому передається три біта додаткової інформації.

У декодері ЦВЗ обчислюється синдром $\mathbf{s}_z = \mathbf{H}\mathbf{z}^T = (001)$, який збігається з даними ЦВЗ $\mathbf{m}$.

Найбільшу складність в алгоритмі являє п. 3, в якому для визначення $\mathbf{w}$ може використовуватися стандартна таблиця коду і тоді в якості $\mathbf{w}$ вибирається лідер суміжного класу. Однак при великих блоках табличний метод не представляється практично реалізованим. В подальшому параграфі

розроблена процедура обчислення вектора $\mathbf{z}$ на основі ітеративного імовірнісного алгоритму формування ЦВЗ на графі.

Таблиця 5.1 – Формування ЦВЗ на основі коду Хеммінга (7,4)

№	Вектор корекції $\mathbf{w}$	Синдром $\mathbf{s}_w = \mathbf{H}\mathbf{w}^T$
1.	0 0 0 0 0 0 0	0 0 0
2.	1 0 0 0 0 0 0	1 0 0
3.	0 1 0 0 0 0 0	0 1 0
4.	0 0 1 0 0 0 0	0 0 1
5.	0 0 0 1 0 0 0	1 1 0
6.	0 0 0 0 1 0 0	0 1 1
7.	0 0 0 0 0 1 0	1 1 1
8.	0 0 0 0 0 0 1	1 0 1

Для практичної реалізації синдромного методу в разі великих значень n застосуємо уявлення коду так званим графом Таннера [180]. Математично граф Таннера є дводольним графом з двома непересічними множинами вузлів. На рисунку 5.4 для прикладу представлений граф Таннера і перевірна матриця для коду Хеммінга (7,4) [217]. Граф Таннера будується на основі перевірочної матриці коду $\mathbf{H}$ і містить n вузлів змінних (позначені кружками) і $n - k$ перевірочних вузлів (позначені квадратами). На графі вузли змінних і перевірок з'єднані дугами відповідно до перевірочної матриці $\mathbf{H}$.

Для обчислення вектора $\mathbf{z}$ застосуємо ітеративний імовірнісний алгоритм декодування з жорстким рішенням, який застосовується для декодування завадостійких кодів з низькою щільністю перевірок на парність (LDPC-коди) [189].

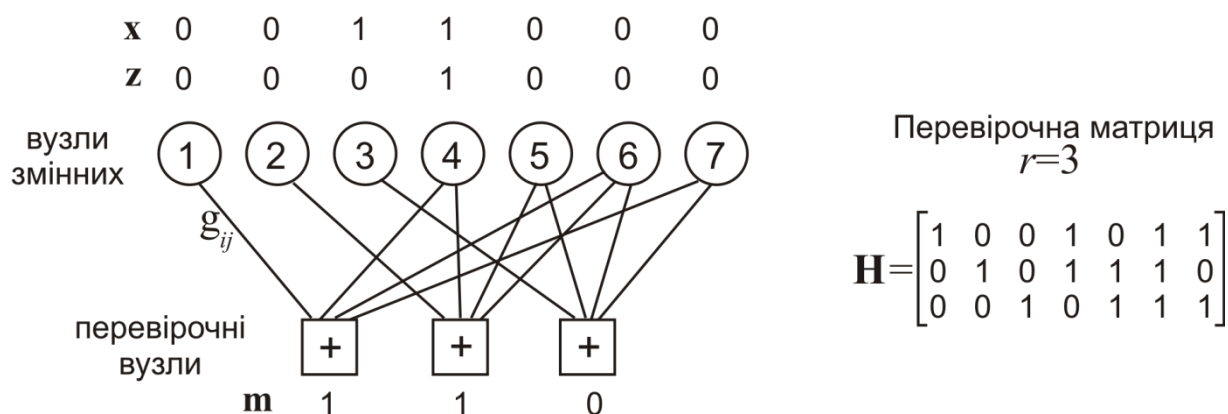


Рисунок 5.4 – Граф Таннера і перевірна матриця коду Хеммінга (7,4)

Алгоритм відшукування вектора $\mathbf{z}$ на графі пояснюється наступним чином. Спочатку запишемо вектор $\mathbf{m}$ приховуваних даних в перевірочні вузли, а вузли змінних встановимо в стану, відповідні вектору $\mathbf{x}$. Вектор $\mathbf{x}$ не вимагає модифікації тільки в одному випадку $\mathbf{m} = 0$. Для всіх інших комбінацій вбудованих даних потрібно його модифікація таким чином, щоб виконувалися всі перевірки на графі.

Вузли змінних отримують оцінки свого стану на основі станів інших вузлів змінних, що знаходяться на відстані 2, а також стану суміжного перевірного вузла. Якщо всі оцінки вузла змінних порядку 2 і вище збігаються, то будемо вважати цей вузол «правильним», тобто що не вимагає модифікації. Також правильними вузлами будемо вважати вузли змінних, які беруть участь у формуванні співпадаючих оцінок.

Решта вузли змінних піддаються пробної інверсії стану. Якщо така інверсія призведе до появи більшої кількості правильних вузлів, то дану інверсію слід прийняти успішною і віднести інвертований вузол до безлічі правильних вузлів. В іншому випадку слід відмовитися від інверсії і перейти до пробної інверсії стану іншого вузла.

Оцінки g_{ij} стану вузла змінних можна отримати наступним чином. У урівноваженому стані графа має виконуватися рівність

$$\mathbf{H}_i \mathbf{x}^T + m_i = 0, \quad (5.8)$$

де $\mathbf{H}_i$ – i -й рядок перевірконої матриці $\mathbf{H}$.

Також оцінка g_{ij} стану j -го вузла, отримана на основі станів інших вузлів змінних з урахуванням стану суміжного i -го перевірконого вузла, повинна збігатися з поточним станом вузла x_j : $g_{ij} = x_j$. Звідси, додавши до x_j ліву частину рівності (5.8), отримаємо шукане співвідношення для знаходження оцінок:

$$g_{ij} = \mathbf{H}_i \mathbf{x}^T + x_j + m_i. \quad (5.9)$$

Процедура передачі додаткової інформації в цифровому аудіо з використанням розглянутого синдромного методу вбудовування інформації полягає в наступному. Спочатку формується цифрова версія звукового сигналу. Далі цифрові дані вбудовуються в молодші розряди звукового коду шляхом заміни розраховуються розрядів. Застосування синдромного методу забезпечує найменші спотворення вихідного цифрового потоку звуку.

Визначимо інформаційну ефективність (відношення R/D) стеганографічної системи. Для синдромного методу в одному блоці довжиною n символів послідовності-носія таємно передається $n-k$ біт інформації. Тому відносна швидкість передачі інформації задається відношенням $R = (n-k)/n$.

Спотворення визначаються числом інверсій в блоці довжиною n символів послідовності-носія. Для коду Хеммінга інверсії не потрібно взагалі з ймовірністю $p_0 = 1/2^{n-k}$ і потрібно одна інверсія на блок з ймовірністю $p_1 = 1 - p_0 = (2^{n-k} - 1)/2^{n-k} = n/2^{n-k}$. Тому $D = 1/2^{n-k}$.

Для коду Хеммінга отримаємо значення інформаційної ефективності:

$$R/D = \frac{n-k}{n} 2^{n-k}. \quad (5.10)$$

Для коду Голя (23,12,7) число інверсій на блок може досягати максимум трьох. У загальному випадку в метриці Хеммінга спотворення визначаються через біноміальні коефіцієнти формулою:

$$D = \frac{1}{2^{n-k}} \sum_{i=0}^t i \binom{n}{i}, \quad (5.11)$$

де $\binom{n}{i}$ – число комбінацій з n по i ;

t – число помилок коду що виправляються.

Чисельні значення параметрів синдромного методу (СМ), розрахованих для кодів Хеммінга і Голея, наведені в таблиці 5.2 і вказані на рисунку 5.2. Кружечками відзначені швидкості коду Хеммінга для $r = 3; 4; 5; 6; 7; 8$. Хрестиком позначена точка $R(D)$ для кода Голея (23,12,7).

Для коду Хеммінга при великих довжинах блоку $R/D \approx n-k$. Наприклад, для коду (1023,1013) всього лише інверсія одного біта в блоці послідовності-носія дозволяє приховано передати 10 біт інформації. На перший погляд це здається нереальним, оскільки в загальному випадку ентропія носія становить 1 біт, отже, інформаційна ємність блоку дорівнює тисячі двадцять три біт. При цьому тільки одна заміна, тобто вилучення одного двійкового символу носія дозволяє вбудувати 10 біт інформації. Однак, насправді, при кодуванні незалежними є тільки $k=1013$ символів. Решта 10 символів виявляються залежними і визначаються як самим носієм, так і вбудовується інформацією. Загальна кількість інформації на блок при цьому не може перевищувати n біт.

На жаль, зі збільшенням довжини блоку знижується саме граничне значення швидкості, що задається межею Шеннона у вигляді нерівності (5.4). При довжині блоку $n=1023$ можна вбудувати 10 біт інформації на блок і відносна швидкість додаткової інформації становить $R=0,01$. Інформаційна ефективність при цьому висока – $R/D=10,01$ біт/інверсію, тобто шляхом інверсії всього лише одного символу блоку довжиною 1023 послідовності-носія здійснюється передача в середньому 10,01 біт інформації, що приховується.

Добре наближення до межі $R/C = 0,884$ дає код Голя (23,12,7). При довжині блоку носія $n = 23$ максимальне число інверсій дорівнює 3-м (по числу виправляє помилок $t = 3$ для коригуючого помилки коду Голя). Даний код дозволяє отримати високу швидкість передачі додаткової інформації $R = 0,478$, що становить практично 50% від швидкості передачі послідовності-носія. На 23 символи носія припадає 12 біт інформації, що приховується.

Таблиця 5.2 – Порівняльні характеристики СМ для кодів Хеммінга і Голя

Параметр	Код Хеммінга (n, k)								Код Голя (23,12,7)
$n - k$	3	4	5	6	7	8	9	10	11
R	0,429	0,267	0,161	0,095	0,055	0,031	0,018	0,010	0,478
R / D	3,429	4,267	5,161	6,095	7,055	8,031	9,018	10,01	3,860
R / C	0,788	0,791	0,804	0,820	0,836	0,851	0,864	0,875	0,884

5.4. Передача додаткової інформації в структурі ЦВЗ-АЦП-канал

У структурі ЦВЗ-АЦП-канал блок вбудовування ЦВЗ повинен включатися в аналогову ланцюг після мікрофона і передувати схемою оцифровки звукового сигналу. Сигнал ЦВЗ повинен мати достатню завадостійкість по відношенню до наступних стандартних процесів обробки в цифровій системі радіотелефонії – дискретизація, квантування, компандування, стискання. Проведемо аналіз цих процесів для супутникових систем телефонії та перспективних для морського радіозв'язку цифрових систем телефонії.

В даний час в ГМЗЛБ для супутникового телефонного радіозв'язку використовуються стандарти ІНМАРСАТ-М, міні-М, Fleet 77/55. Всі ці стандарти використовують цифрові методи передачі. Аналоговий стандарти

ІНМАРСАТ-А і його цифровий аналог ІНМАРСАТ-В зараз не підтримуються. У перспективі в рамках модернізації ГМЗЛБ планується використання супутникової системи Ірідіум, що надає, в тому числі послуги телефонного зв'язку. Система Ірідіум також використовує цифрові радіоканали.

Передбачається поступове використання УКХ зв'язку цифрових каналів [63].

Так чи інакше будь-яка (супутникова або наземна) система цифрової телефонії використовує одні й ті ж методи перетворення сигналів (див. рисунок 5.5). Посилений звуковий сигнал піддається стиску (компресії) по амплітуді по μ -закону або А-закону. Компресія дозволяє зменшити

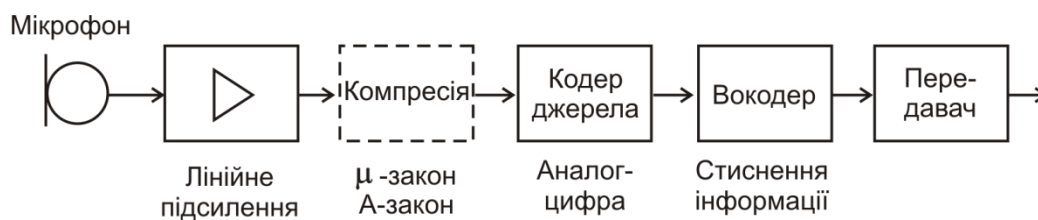


Рисунок 5.5 – Типові операції в тракті передачі цифрової телефонії

динамічний діапазон сигналу, тим самим скоротивши необхідну розрядність подальшого аналого-цифрового перетворення. Компресія рівносильна нелінійного посилення сигналу. У приймальному тракті для відновлення вихідної форми сигналу використовується зворотне нелінійне перетворення - експандер. Передача звуку з компандуванням (від компресор - експандер) стандартно застосовується в цифрових супутникових телефонних каналах зі швидкістю передачі 64/56 кбіт/с.

Кодування джерела аналогового сигналу має на меті отримання цифрового сигналу в двійковому коді. Стандартними значеннями параметрів аналого-цифрового перетворення є частота дискретизації за часом $f_s = 8$ кГц розрядність квантування по амплітуді – 8 розрядів на відлік. Звідси швидкість цифрового потоку (бітрейт, bit rate) складе 64 кбіт/с.

При використанні дельта-модуляції $f_s = 16$ кГц або 32 кГц. При цьому кодується тільки знак збільшення подальшого відліку сигналу. Результуючий бітрейт становить 16 або 32 кбіт/с.

Перетворення методом адаптивної диференціальної імпульсно-кової модуляції передбачає 4-хразрядне перетворення збільшення подальшого відліку при бітрейті 16 – 64 кбіт/с.

Голосовий кодер має на меті стиснення інформації - зниження швидкості цифрового потоку. Стиснення інформації може досягатися двома принципово різними способами: без втрати вихідної якості звукового сигналу і з втратами якості. При стисненні з втратами ефект досягається за рахунок усунення кореляційних залежностей між бітами і апіорними ймовірностями нульового і одиничного біта в загальному потоці. При хорошому стисненні ймовірності появи «0» і «1» рівні, а значення кожного наступного розряду не залежить від передісторії. В цьому випадку ентропія потоку максимальна і дорівнює 1 біт/розряд. Статистична незалежність досягається застосуванням процедур ентропійного кодування, наприклад, за методом Хаффмена. При такому типі стиснення інформаційний потік в точності відновлюється до свого початкового стану, тобто без будь-яких втрат якості як він був до процедури стиснення.

Зовсім інший процес відбувається при здійсненні стиснення з втратами якості. У цьому випадку спочатку закладається можливість деякого безповоротного зміни сигналу. Бітрейт мовного сигналу після такого стиснення може знижуватися з 64 кбіт/с до 2,4 – 4,8 кбіт/с. Повернення до початкового сигналу принципово неможливий.

У системах супутникового телефонії застосовують методи обробки мовних сигналів, що дозволяють передавати звуковий сигнал на швидкості 4,8 кбіт/с. Один з підходів до реалізації низькошвидкісної передачі заснований на використанні лінійного предикативного кодування і цифрової моделі формування мови [83]. Для ЛПК мовний сигнал розбивається на

сегменти тривалістю 20-30 мс. На кожному сегменті визначаються коефіцієнти лінійного інверсного фільтра аналізу і параметри функції збудження. До параметрів функції збудження відносять період основного тону (6 біт), коефіцієнт посилення (5 біт), ознака тон/шум (1 біт), коефіцієнти лінійного передбачення (по 8 – 10 біт). Для 10 коефіцієнтів фільтра один сегмент зажадає 97-117 біт. Швидкість передачі при тривалості сегмента 30 мс складе приблизно 3 кбіт/с. Коефіцієнти фільтра і параметри функції збудження далі кодуються і передаються в каналі зв'язку. Пристрої, що працюють за таким принципом, звані вокодер (від англ. Voice coder), фактично передають не сам сигнал, а параметри цифрової моделі голосового тракту.

Інший клас стандартів стиснення аудіосигналів охоплює серію стандартів для стиснення звуку і зображень, які охоплюють MPEG-1, MPEG-2, MPEG-4 [83]. Ці стандарти застосовуються в галузі мультимедійних систем. Для стиснення звуку стандарти стиснення відомі під назвою MP3, який в значній мірі враховує психоакустичні особливості слухового апарату людини. Зокрема, активно використовується маскує ефект сильним сигналом слабших суміжних з ним сигналів в частотній і часовій областях. Маскує ефект в часі полягає в тому, що людське вухо сприймає тільки сильну гармоніку і не чує слабкі частотні складові в безпосередній близькості до і після сильної складової. Тривалість дії часового маскування до сприйняття маскує сигналу дорівнює приблизно 5 мс. Тривалість маскує ефекту після сприйняття маскує звуку дорівнює 50 – 300 мс [83].

Виходячи з проведеного аналізу принципів стиснення звукових сигналів, можна зробити висновок, що всі методи стиснення в кінцевому підсумку призводять до появи адитивного шумового сигналу по відношенню до вихідного сигналу-носія. Ця шумова компонента може бути апроксимована АБГШ.

Важливою особливістю цифрових радіоканалів є відсутність впливу міжсимвольних спотворень на звуковий сигнал і, отже, на сигнал ЦВЗ. Відсутність МСІ дозволяє обійтися без використання технології OFDM і передавати сигнал ЦВЗ в загальній частотній смузі звукового сигналу. При цьому перешкодами для ЦВЗ є шуми АЦП і помилки, що виникають в результаті стиснення сигналу в вокодері (див. рисунок 5.5). Вплив перешкод в цифровому радіоканалі усувається за рахунок застосування завадостійкого кодування.

Отримаємо формулу, яка б пов'язала параметри кількість інформації – якість сигналу – стійкість стеганографічної системи передачі додаткової інформації. Під кількістю інформації тут розуміємо число біт вбудовуваних даних на відлік сигналу-носія, вираженої в біт/відлік. Перешкодостійкість визначається величиною кроку квантування Δ коефіцієнта кореляції (4.1). Спотворення вимірюються відношенням WSR (Watermark-to-Signal Ratio) в децибелах $WSR = 20 \lg \frac{\sigma_w}{\sigma_x}$.

З виразу для стегосигналу $\mathbf{s} = \mathbf{x} + \mathbf{w}$ після скалярного множення на вектор $\mathbf{u}$ отримаємо:

$$(\mathbf{s}, \mathbf{u}) = (\mathbf{x}, \mathbf{u}) + (\mathbf{w}, \mathbf{u}),$$

$$\tilde{s} = \tilde{x} + \tilde{w}.$$

Дисперсії випадкових величин w_i в векторі $\mathbf{w}$ і скалярного добутку $\tilde{w}$ пов'язані співвідношенням (4.29): $\sigma_{\tilde{w}}^2 = \sigma_w^2 \|\mathbf{u}\|^2 = \sigma_w^2 \sigma_u^2 L$, де L – довжина сигнальних векторів. З огляду на рівномірний розподіл величини $\tilde{w}$ і відповідне при цьому значення її дисперсії $\sigma_{\tilde{w}}^2 = (\Delta/4)^2 / 12$, отримаємо шукане співвідношення, що зв'язує всі три параметри:

$$\sigma_w / \sigma_x = \Delta \cdot L^{\frac{1}{2}} \cdot K. \quad (5.12)$$

Після логарифмування отримаємо:

$$WSR = 20(\lg \Delta - 0,5 \lg L + \lg K), \text{ дБ}, \quad (5.13)$$

де Δ - крок квантування;

$$K = 8\sqrt{3} \cdot \sigma_x \sigma_u \text{ константа.}$$

На рисунку 5.6 показана поверхня залежності $WSR(\Delta, L)$ для значень параметрів $\sigma_x = 10$, $\sigma_u = 1$. По осях відкладені: Information – кількість біт додаткової інформації на один відлік сигналу-носія в біт/відлік. Це значення дорівнює L^{-1} , тому що в досліджуваному алгоритмі сигнал ЦВЗ для перенесення одного біта інформації складається з L відліків. Robustness -

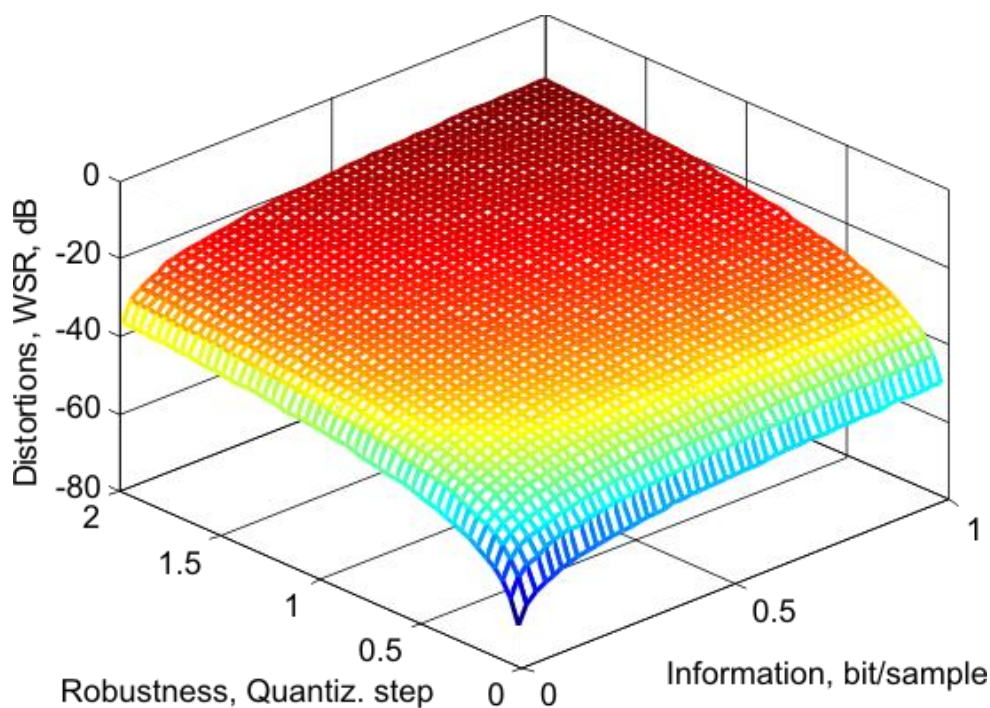


Рисунок 5.6 – Співвідношення параметрів стеганографічної системи передачі інформації кількість – якість – спотворення

стійкість ЦВЗ до перешкод, визначається кроком квантування. Distortions – спотворення, що вносяться, вимірювані коефіцієнтом WSR . Параметри WSR , L^{-1} , Δ , задають відповідно рівень внесених спотворень, питома кількість вбудованої інформації і стійкість ЦВЗ до зовнішніх перешкод, є взаємопов'язаними.

Збільшення кількості вбудованої інформації та завадостійкості (спільно чи порізно) тягне за собою зростання внесених спотворень, ЦВЗ стають відчутними на слух. І навпаки, зниження питомої значення інформації і/або зменшення завадостійкості за рахунок кроку квантування дозволяє знизити вносяться спотворення, тобто слухову сприйнятливність ЦВЗ.

Таким чином, вибір параметрів є компромісною завданням, розв'язуваної виходячи з конкретних умов застосування технології ЦВЗ.

5.5. Аналіз впливу АБГШ

Прийнятий сигнальний вектор для каналу передачі з АБГШ дорівнює:

$$\mathbf{y} = \mathbf{s} + \mathbf{n}, \quad (5.14)$$

де $\mathbf{s} = (s_1, s_2, \dots, s_L)$ і $\mathbf{u} = (u_1, u_2, \dots, u_L)$ - вектори довжини L стегосигналу і перешкоди у вигляді АБГШ, відповідно.

В результаті дії перешкоди $\mathbf{n}$ маємо $\|\mathbf{y}\| \neq \|\mathbf{s}\|$. Визначимо вплив шуму на коефіцієнт кореляції, в якому міститься інформація про вбудований біт. З урахуванням наближеної формули $(1+x)^2 \approx 1+2x$ при $x \ll 1$ і статистичного усереднення по i отримаємо наступне:

$$\begin{aligned} \|\mathbf{y}\| &= \|\mathbf{s} + \mathbf{n}\| = \sum_{i=1}^L (s_i + n_i)^2 \approx \sum_{i=1}^L s_i^2 \left(1 + 2 \frac{n_i}{s_i} \right) = \\ &= (1 + 2 \cdot SNR^{-1}) \cdot \sum_{i=1}^L s_i^2 = (1 + 2 \cdot SNR^{-1}) \cdot \|\mathbf{s}\|^2, \end{aligned} \quad (5.15)$$

де $SNR = \sigma_s / \sigma_n$ - відношення сигнал – шум.

Тоді коефіцієнт кореляції прийнятого сигналу і опорного вектора $\mathbf{u}$, з огляду на співвідношення $\frac{1}{\sqrt{1+x}} \approx 1 - \frac{1}{2}x$ при малих x , визначиться наступним чином:

$$\begin{aligned}
\tilde{y} &= \frac{(y, u)}{\|y\| \|u\|} = \frac{(s + n, u)}{\|y\| \|u\|} = \frac{(s, u)}{\|y\| \|u\|} + \frac{(n, u)}{\|y\| \|u\|} \approx \\
&\approx \frac{(s, u)}{\|s\| \|u\|} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + 2 \cdot \text{SNR}^{-1}}} + \frac{(n, u)}{\|s\| \|u\|} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 + 2 \cdot \text{SNR}^{-1}}} = \\
&= \frac{\tilde{s} + \tilde{n}_n}{\sqrt{1 + 2 \cdot \text{SNR}^{-1}}} \approx \tilde{s} (1 - \text{SNR}^{-1}) + \tilde{n}_n (1 - \text{SNR}^{-1}). \tag{5.16}
\end{aligned}$$

Таким чином, в результаті впливу АБГШ в каналі передачі коефіцієнт кореляції $\tilde{y}$ спотворюється відносно вихідного коефіцієнта $\tilde{s}$, піддаючись впливу мультиплікативної перешкоди $\mu = (1 - \text{SNR}^{-1})$ і адитивної шумової перешкоди $\tilde{n}_n (1 - \text{SNR}^{-1})$. СКВ $\tilde{y}$ від номінального значення $\tilde{s}$ при відсутності АБГШ в каналі з урахуванням формул (4.29) і $\|s\| = \sigma_s \sqrt{L}$ дорівнює:

$$\begin{aligned}
\sigma_{\tilde{nn}} &= \frac{\sigma_{\tilde{n}}}{\|s\| \cdot \|u\|} (1 - \text{SNR}^{-1}) = \frac{\sigma_n}{\|s\|} (1 - \text{SNR}^{-1}) = \\
&= \frac{\sigma_n}{\sigma_s \sqrt{L}} (1 - \text{SNR}^{-1}) = \frac{1 - \text{SNR}^{-1}}{\text{SNR} \cdot \sqrt{L}}. \tag{5.17}
\end{aligned}$$

Розраховані за формулою (5.17) залежності $\sigma_{\tilde{nn}}(\text{SNR})$ для значень $L = 4, 8, 16$ представлені на рисунку 5.7 жирною лінією. Для порівняння тонкими лініями показані криві СКВ, отримані в результаті статистичного моделювання процесу впливу АБГШ на коефіцієнт кореляції $\tilde{y}$. Моделювалася випадкова величина e , представляє відхилення коефіцієнта кореляції прийнятого сигнального вектора від номінального значення в результаті впливу АБГШ:

$$e = \frac{(s + n, u)}{\|s + n\| \|u\|} - \frac{(s, u)}{\|s\| \|u\|}. \tag{5.18}$$

Обсяг статистики, використовуваної для обчислення СКВ e приймався рівним $k = 1000$, шумовий вектор n формувався з відліків АБГШ з нульовим

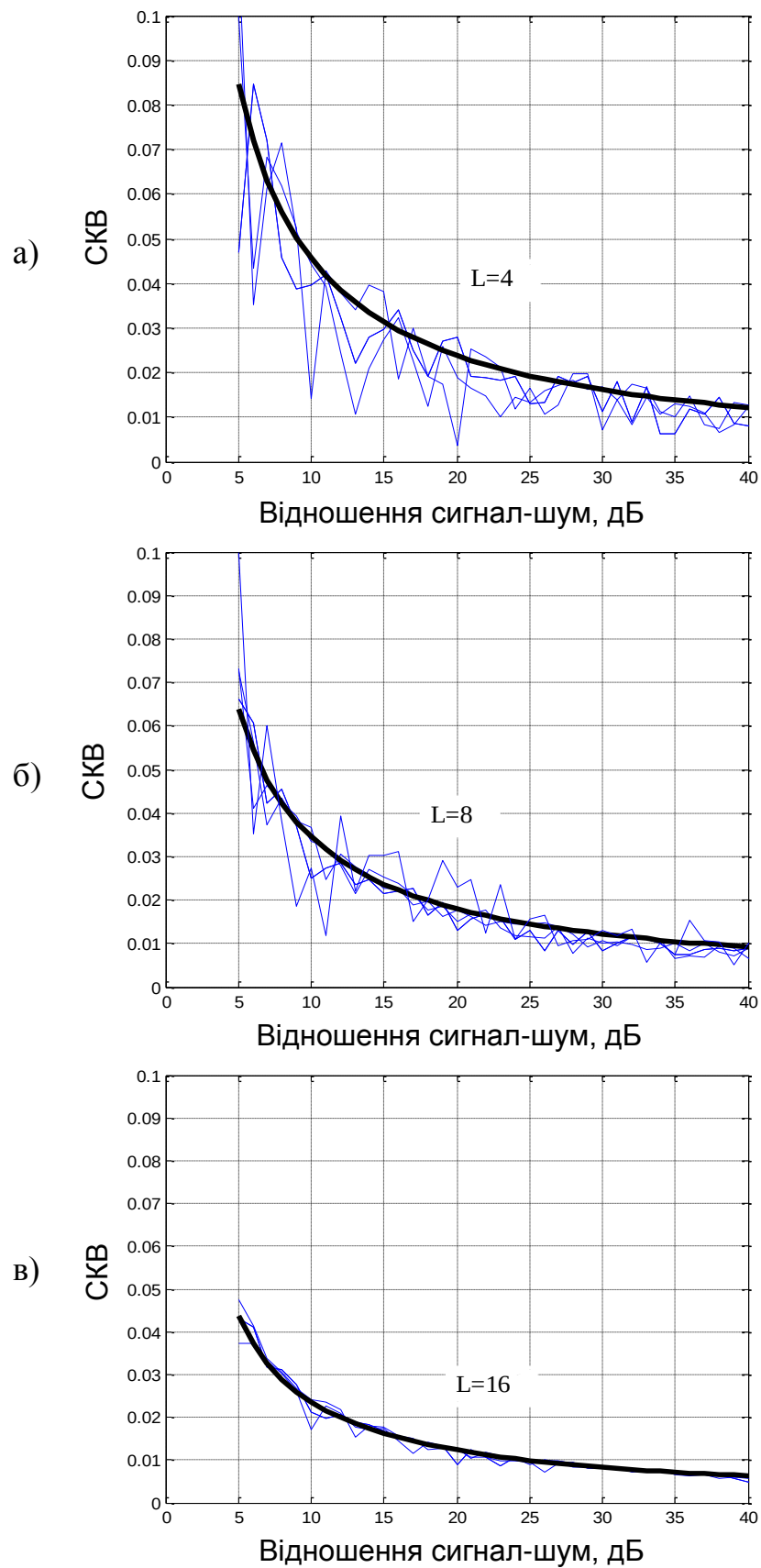


Рисунок 5.7 – Залежність СКВ коефіцієнта кореляції $\tilde{y}$ при впливі АБГШ в каналі передачі ЦВЗ для різних довжин сигнальних векторів: а) $L = 4$, б) $L = 8$, в) $L = 16$.

середнім і одиничною дисперсією. Кількість випробувань прийнято рівним 3. апроксимується крива у всьому діапазоні відносини $SNR = 5 \dots 40$ добре відображає статистичну залежність $\sigma_e(SNR)$.

5.6. Виграш сигнал - шум від додаткової обробки

З теорії шумоподібних сигналів, систем (ШПС) [143, 157] добре відомий ефект впливу узгодженої обробки (processing gain) прийнятого сигналу на збільшення відношення сигнал-шум. Для ШПС добуток ширини спектра на тривалість сигналу – база шумоподібного або складного сигналу значно перевищує одиницю:

$$WT \gg 1. \quad (5.19)$$

У ШПС збільшення бази досягається за рахунок розширення спектра сигналу. Тому ШПС часто називають широкосмуговими сигналами або сигналами з розширеним спектром. Саме за рахунок збільшення бази вдається отримати переваги складних сигналів перед простими, для яких характерне значення бази близьке до одиниці.

У стеганографічній системі збільшення бази за рахунок розширення W обмежені займаної смугою частот сигналу-носія. Сигнал ЦВЗ за визначенням не повинен виходити за межі спектра сигналу-носія. Залишається друга можливість для досягнення високого значення бази - збільшення тривалості сигналу. При цьому, як і для класичних ШПС, під тривалістю сигналу розуміється часовий інтервал, необхідний для передачі одного символу (для двійкової системи - це тривалість одного біта інформації). Природно, при цьому зменшується швидкість передачі інформації. Збільшення T тут не є стримуючим фактором, оскільки тривалість сигналу-носія значно перевищує значення тривалість сигналу ЦВЗ для передачі одного біта T .

Так само як в ШПС в системі ЦВЗ збільшення бази сигналу тягне за собою до розширення розмірності сигнального простору і узгодженим накопичення енергії всіх елементів складного сигналу.

З огляду на формулу (4.29), записану для скалярного добутку $(\mathbf{n}, \mathbf{u}) = \sigma_n \|\mathbf{u}\| = \sigma_n \sigma_u \sqrt{L}$, отримаємо вираз для скалярного добутку прийнятого сигналу $\mathbf{y}$ и опорного вектора $\mathbf{u}$ при впливі шуму $\mathbf{n}$:

$$\begin{aligned} (\mathbf{y}, \mathbf{u}) &= (\mathbf{s} + \mathbf{n}, \mathbf{u}) = (\mathbf{s}, \mathbf{u}) + (\mathbf{n}, \mathbf{u}) = a(\mathbf{x}, \mathbf{u}) + b\|\mathbf{u}\|^2 + \sigma_n \|\mathbf{u}\| = \\ &= a(\mathbf{x}, \mathbf{u}) + b\sigma_u^2 L + \sigma_n \sigma_u \sqrt{L}. \end{aligned} \quad (5.20)$$

В останньому рівнянні коефіцієнти a і b визначаються виразами (4.11) і (4.12) і входять в формулу для знаходження вектора стегосигнала (4.5).

Скалярний добуток $(\mathbf{y}, \mathbf{u})$ служить основою для оцінки вбудованого біта в детекторі ЦВЗ. У формулі (5.20) L - число відліків сигналу-носія, на яке розподіляється енергія сигналу для передачі одного біта ЦВЗ. Роль корисного сигналу, виходячи з класичної термінології, виконує тут вектор $\mathbf{u}$, що входить до складу стегосигнала $\mathbf{s}$. З (5.20) випливає, що оцінюваний параметр – скалярний добуток $(\mathbf{y}, \mathbf{u})$ – має сигнальну складову $b\sigma_u^2 L$, пропорційну L , і шумову складову $\sigma_n \sigma_u \sqrt{L}$, пропорційну $\sqrt{L}$. Така ситуація грає на користь стратегії збільшення L для підвищення відношення сигнал - шум на вході вирішального пристрою.

Обробку стегосигналу в приймальному пристрої можна представити у вигляді узгодженого фільтра (УФ) (рисунок 5.8). Узгоджений фільтр являє собою лінію затримки у вигляді зсувного регістра з L відводами. Коефіцієнти посилення в кожній гілці дорівнюють відповідним координатам вектора $\mathbf{u}$ таким чином, що імпульсна характеристика УФ є дзеркальною копією $\mathbf{u}$. «Зважені» за допомогою множників $u_i, i = \overline{1, L}$ виходи регістра зсуву підсумовуються арифметичним суматором. УФ обчислює поточну кореляцію (або скалярний добуток) вектора вхідних відліків $\mathbf{y}$ и вектора $\mathbf{u}$. При повній синхронізації сигналу ЦВЗ в момент i , вважаючи відсутність

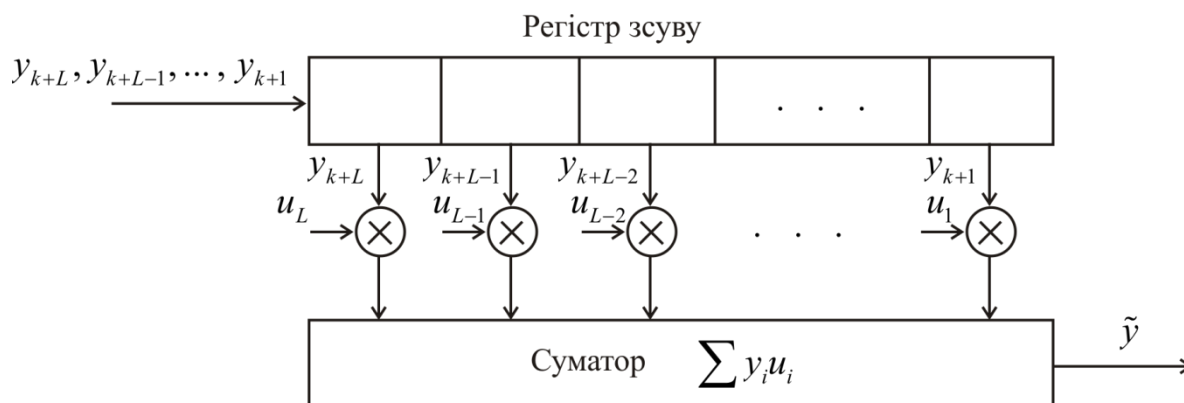


Рисунок 5.8 – Узгоджений фільтр в каналі обробки стегосигналу

впливу шуму, вихідний сигнал УФ прийме значення $\tilde{y}$, по якому може бути прийнято рішення про переданий біт інформації.

Вплив шуму вносить свої корективи в значення вихідного сигналу $\tilde{y}$. Оцінимо вплив АБГШ в залежності від довжини L сигнального вектора. Оскільки УФ має лінійну структуру, можна окремо аналізувати проходження сигналу $\mathbf{s}$ і шуму $\mathbf{n}$. У відсутності шуму сигнал на вході УФ згідно формули (4.5) дорівнює $\mathbf{s} = \mathbf{a}\mathbf{x} + \mathbf{b}\mathbf{u}$. Коефіцієнт $\mathbf{a}$ приймає дійсні значення, близькі до одиниці. Коефіцієнт $\mathbf{b}$ має в загальному випадку комплексне значення. В цілому корекція вектора сигналу-носія $\mathbf{x}$ зводиться до того, щоб отримати такий вектор стегосигналу $\mathbf{s}$, для якого скалярний добуток дорівнював би квантованій версії скалярного добутку вихідного сигналу для заданих кроці квантування і вбудованому біті інформації $(\mathbf{s}, \mathbf{u}) = Q[(\mathbf{x}, \mathbf{u}), \Delta, d]$ при збереженні норми $\|\mathbf{s}\| = \|\mathbf{x}\|$.

Сигнальна компонента дає відгук на виході УФ, яка дорівнює за амплітудою значення:

$$(\mathbf{u}, \mathbf{u}) = \|\mathbf{u}\|^2 = \sum_{i=1}^L u_i^2 = L\sigma_u^2. \quad (5.21)$$

Потужність сигналу на виході відповідно дорівнює $P_{u_out} = L^2\sigma_u^4$.

Шумовий вектор за визначенням статистично незалежний від вектора $\mathbf{u}$, рівно також як його окремі координати незалежні в силу властивостей

АБГШ. Тому складові $n_i u_i$ на входах суматора також незалежні і в сумі дають на виході УФ випадковий процес з дисперсією рівною сумі дисперсій окремих складових у вигляді:

$$\begin{aligned}\sigma_{n_out}^2 &= \text{var}\{(\mathbf{n}, \mathbf{u})\} = \text{var}\left\{\sum_{i=1}^L n_i u_i\right\} = \sum_{i=1}^L \text{var}\{n_i u_i\} = \\ &= \sum_{i=1}^L u_i^2 \cdot \text{var}\{n_i\} = \sum_{i=1}^L u_i^2 \sigma_n^2 = \sigma_n^2 \sum_{i=1}^L u_i^2 = \\ &= \sigma_n^2 \|\mathbf{u}\|^2 = \sigma_n^2 \sigma_u^2 L.\end{aligned}\quad (5.22)$$

Максимальне відношення сигнал ЦВЗ - шум на виході УФ (WNR_{out} – Watermark-to-Noise Ratio) складе таку величину:

$$WNR_{out} = \frac{P_{u_out}}{\sigma_{out}^2} = L \frac{\sigma_u^2}{\sigma_n^2} = L \cdot WNR_{in}.\quad (5.23)$$

Таким чином, також як і в класичних ШПС [143] відношення сигнал - шум (по потужності) збільшується в L разів.

Висновки по розділу 5.

1. Передача додаткової інформації в цифрових радіоканалах, включаючи супутникові канали, можлива двома способами: шляхом вбудовування даних в аналоговий звуковий сигнал безпосередньо після мікрофона (структура ЦВЗ-АЦП-канал) і шляхом вбудовування даних у в цифровому потоці звукового сигналу (структура АЦП-ЦВЗ-канал). В останньому випадку вбудовування додаткових даних не передбачає розширення послідовності, але тільки модифікацію окремих бітів, які найменш впливають на спотворення звукового сигналу

2. У структурі АЦП-ЦВЗ-канал при модифікації бітів цифрового потоку для підвищення інформаційної ефективності ЦВЗ (відношення швидкості додаткової інформації до внесеним спотворень, R/D) необхідне

застосування кодів досконалих кодів, прикладами яких є коди Хеммінга або Голея. Наприклад, для коду Хеммінга (1023,1013) інверсія одного біта в інформаційному блоку довжиною 1023 розряди забезпечує приховану передачу 10 біт додаткової інформації. Інформаційна ефективність при цьому обмежена межею Шеннона.

3. В розробленому синдромному методі вбудовування інформації інформаційна ефективність ЦВЗ значно перевищує цей показник для методу заміни наймолодших бітів. Для практичної реалізації синдромного методу запропоновано представлення коду довжиною n графом Таннера. Для обчислення шуканого вектора $\mathbf{z}$, якій в найменшому ступені відрізняється від вихідного вектору, застосований ітеративний імовірнісний алгоритм декодування з жорстким рішенням, який використовується для декодування завадостійких кодів з низькою щільністю перевірок на парність (так звані LDPC-коди).

4. У структурі ЦВЗ-АЦП-канал додаткові дані вбудовуються в сигнал-носій безпосередньо після мікрофонного підсилювача і повинні зберігати стійкість до звичайних операцій обробки сигналів, зокрема квантування і операцій стиснення інформації. В кінцевому підсумку операції квантування сигналу і стиснення цифрового потоку еквівалентні внесенню адитивного шуму в стегосигнал, стійкість до якого забезпечується належним вибором параметрів сигналу ЦВЗ.

5. Показано, що при кореляційної обробці стійкість ЦВЗ, що оцінюється СКВ коефіцієнта кореляції вхідного сигналу $\tilde{y}$ пропорційна $\sqrt{L}$, L - довжина сигнального вектора. Вибираючи розрахункове значення L , можна забезпечити необхідну стійкість ЦВЗ до впливу квантування і стиснення інформації в цифрових каналах для структури ЦВЗ-АЦП-канал.

Матеріали п'ятого розділу опубліковані в роботах [52, 53, 58 – 60, 65, 176 – 177, 191, 192, 195, 198] списку публікацій за темою дисертації.

РОЗДІЛ 6.

РЕЗУЛЬТАТИ АПАРАТУРНОЇ РЕАЛІЗАЦІЇ, ЕКСПЕРИМЕНТІВ І КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

6.1. Інтегрована система цифрового вибіркового виклику і морської електронної навігаційної картографії

Інтегрована система УКХ ЦВВ – ЕКНІС АІС представлена в роботах [52, 54, 55, 65, 176, 177, 191, 168] і патентах на винаходи [192, 195].

Інтегрована система УКХ ЦВВ – ЕКНІС АІС дозволяє здійснювати моніторинг і управління УКХ ЦВВ радіозв'язком безпосередньо з дисплея ЕКНІС, і дозволяє зробити швидким і природним процес входження в радіозв'язок при повному дотриманні всіх процедур ЦВВ. Виклик здійснюється вахтовим судноводієм виходячи з цілісної оцінки поточної навігаційної обстановки з урахуванням просторового розташування АІС відміток суден в найближчому оточенні (близько 20 – 30 морських миль).

При апаратному моделюванні інтегрованої системи необхідно перш за все брати до уваги, що контролери ЦВВ не підтримують зовнішніх команд управління інтерфейсу NMEA-0183. Тому потрібно здійснити прийом даних і дистанційне керування контролером ЦВВ у відсутності стандартного інтерфейсного підключення, замінивши візуальне зчитування даних ЦВВ і ручне управління контролером, автоматичним моніторингом і управлінням.

Суттєвою умовою при вирішенні задачі дистанційного керування апаратурою ЦВВ є те, що поставлена мета повинна бути досягнута таким чином, щоб не вносити змін до схемотехнічної і програмної частин апаратури ЦВВ. Дане обмеження виникає через те, що до теперішнього часу всі діючі морські судна і берегові станції, що входять в ГМЗЛБ, вже обладнані відповідною апаратурою ЦВВ, яка з самого початку не передбачає реалізацію дистанційного контролю і управління. Заміна всього парку судновий

апаратури ЦВВ на нове обладнання з функцією дистанційного керування в короткі терміни неможлива.

При установці дистанційного керування апаратурою ЦВВ різних фірм-виробників слід також мати на увазі і той факт, що електронні схеми і, тим більше, програмні коди апаратури ЦВВ є об'єкт інтелектуальної власності і, як правило, закриті і недоступні для модифікацій. Тим більше, що внесення змін до схеми і алгоритми функціонування пристрою може спричинити за собою некоректну роботу пристрою в цілому.

Для вирішення завдання управління контролером ЦВВ розроблено пристрій двонаправленого підключення модем ЦВВ – ЕКНІС, в основу якого покладена емуляція операцій натискання клавіш на штатній панелі управління електронним управлінням матрицею ключів, підключеної паралельно до панелі управління (рисунок 6.1).

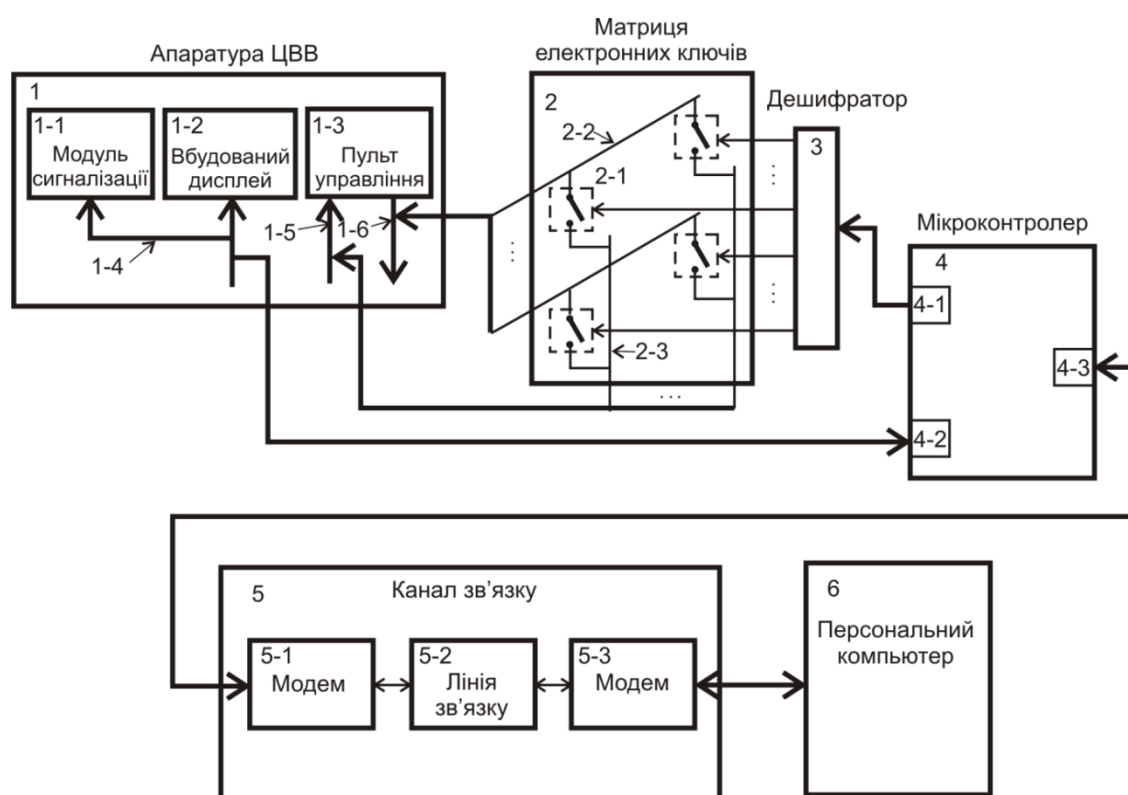


Рисунок 6.1. Реалізація двонаправленого підключення модем ЦВВ – ЕКНІС

Цей пристрій дозволяє вахтовому помічнику з місця оператора електронної картографічної навігаційної інформаційної системи (ЕКНІС) сформувати цифровий вибіркового виклик і послати його в ефір через приймач. Пристрій дозволяє позбавити вахтового помічника від рутинної операції ручного формування виклику, замінивши цю операцію «кліком» маніпулятора миша на моніторі ЕКНІС і тим самим скоротити час, що витрачається на організацію зв'язку. Цей пристрій поєднує в собі переваги вибіркового виклику, що забезпечується ЦВВ, з оперативністю встановлення радіотелефонного зв'язку, співмірною за часом з прямим виходом по УКХ радіо в ефір.

Розроблений інтерфейс забезпечує також передачу вмісту прийнятих викликів в зворотному напрямку - від контролера ЦВВ до ЕКНІС шляхом дешифрування сигналів рідкокристалічного індикатора контролера ЦВВ. Реалізація такого двонаправленого інтерфейсу забезпечує виконання всіх операційних функцій ЦВВ з місця оператора ЕКНІС. Одночасно всі штатні функції апаратури ЦВВ і ЕКНІС зберігаються в повному обсязі. В случае необхідності вахтовий помічник може в ручному режимі сформувати або переглянути склад ЦВВ безпосередньо на блоці ЦВВ. Тому розроблений пристрій не погіршує експлуатаційних вимог до апаратури ЦВВ і не обмежує штатні функції блоку ЦВВ і ЕКНІС в цілому і підключаються до неї датчиків інформації (гірокомпас, лаг, приймач GPS і ін.).

Таким чином, пропонується система дозволяє реалізувати такі функціональні можливості, що сприяють підвищенню безпеки судноплавства:

- 1) автоматизувати ручні операції формування і перегляду ЦВВ;
- 2) забезпечити дублювання всіх функцій блоку ЦВВ з місця оператора ЕКНІС;
- 3) «прив'язати» судно, яке зробило виклик, або яке потрібно викликати до поточної навігаційної обстановці, що особливо важливо для оперативного

прийняття рішень у складній навігаційній обстановці в умовах небезпечного маневрування;

4) уникнути деяких помилок і промахів оператора при формуванні ЦВВ за умови додаткового належного програмного забезпечення, що призведе до зменшення порушень правил радіозв'язку.

Пристрій двонаправленого інтерфейсу [198] дозволяє також реалізувати дистанційне керування апаратурою ЦВВ, встановленої на необслуговуваних об'єктах, з віддаленого рятувально-координаційного центру.

6.2. Модернізація ЕКНІС

Аналіз технічних можливостей реалізації інтегрованої системи УКХ/ЦВВ – ЕКНІС/АІС показав, що для подібної інтеграції необхідне внесення певних доповнень в існуючу версію ЕКНІС [52, 55, 177]. У відомих ЕКНІС [137] реалізовані можливості відображення на дисплеї поточної навігаційної обстановки за рахунок накладення на електронну карту відміток від цілей АІС і/або радіолокаційного зображення, а також різних інформаційних даних, необхідних для безпечної навігації судна.

Однак відсутність підключення до пристрою ЦВВ і внаслідок цього неможливість оперативної та адресної радіозв'язку з найближчими судами і отримання більш повної картини навігаційної обстановки з урахуванням суден, що беруть участь в радіозв'язку. У той же час гарантоване адресний встановлення радіозв'язку в режимі реального часу з іншими судами в найближчому оточенні, тобто в межах простору, найбільш значимого для поточної навігаційної безпеки, є критичним для безпеки навігації. Удосконалення ЕКНІС вимагає, зокрема, реалізації можливостей управління автоматичним формуванням викличної послідовності і маркування викликають за допомогою ЦВВ суден на дисплеї ЕКНІС.

Розроблена ЕКНІС включає відомі блоки. Нові блоки забезпечують можливість управління УКХ ЦВВ зв'язком з дисплея ЕКНІС завдяки реалізації двостороннього обміну даними з контролером ЦВВ (рисунок 6.2).

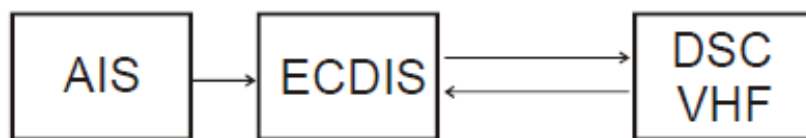


Рисунок 6.2 – Двосторонній обмін даними ЕКНІС контролером УКЗ ЦВВ

Таке рішення відображено в пропозиції від України 27 жовтня 2009 р. «Proposal for simplification of VHF DSC radiocommunication and increasing DSC efficiency», яка була представлена на 14-ої сесії Підкомітету ІМО з Радіозв'язку, пошуку та рятування (COMSAR 14/7. IMO Sub-Committee on Radiocommunications and Search and Rescue) [18].

Основною ідеєю пропонованого нового способу встановлення радіозв'язку є використання інтерфейсу ЕКНІС для морського радіозв'язку. Такий підхід, наскільки нам відомо, ніколи раніше не використовувався. Тому, з огляду на вирішальне значення ЕКНІС у встановленні радіозв'язку, такий спосіб спочатку названий COMEC (абревіатура від COMMunication on the base of ECDIS interface). У подальшому такий інтерфейс моніторингу/управління УКХ ЦВВ зв'язком названий SMART (акронім від Specific, Measurable, Assignable, Realistic, Timely). Новизна розробленого методу організації УКХ радіозв'язку за технологією COMEC захищена патентом [195]. Подальший розвиток такий підхід отримав в патентах України [200] і Німеччини [88].

Для підтвердження ефективності запропонованого способу встановлення радіозв'язку розроблений перший апаратно-програмний комплекс COMEC на базі штатного суднового УКХ ЦВВ контролера RM-2042 Sailor і АІС транспондери типу Transas AIS M-3. [177]. Управління УКХ

ЦВВ зв'язком здійснювалось через клавіатуру контролера RM-2042 Sailor (рисунок 6.1). Проведені лабораторні випробування комплексу COMEC.

Модельована навігаційна обстановка представлена на рисунку 6.3. За сценарієм судно "Minerva Maya" викликає судну "Seascout". На рисунку 6.3 а) показано зображення екрану ЕКНІС судна "Minerva Maya" на першому кроці в ситуації що моделюється, коли це судно робить індивідуальний виклик судну "Seascout". Процедура виклику для оператора судна "Minerva Maya" складається в виборі потрібної АІС-цілі судна "Seascout" на екрані ЕКНІС за допомогою маніпулятора, завдання робочого каналу в контекстному меню і підтвердження відправки виклику.

На рисунку 6.3 б) показано зображення екрану ЕКНІС на судні "Seascout", яке приймає виклик. АІС відмітка судна "Minerva Maya" блимає, показуючи, що саме від цього судна прийшов виклик. Вахтовий помічник судна "Seascout" може швидко оцінити навігаційну обстановку і зробити підтвердження ЦВВ з місця оператора ЕКНІС. Після цього судно "Minerva Maya" починає адресний радіотелефонний обмін на заявленому робочому каналі, не займаючи час на взаємну ідентифікацію суден, що беруть участь в радіообміні. При цьому всі процедури ЦВВ зберігаються в повному обсязі як того вимагають правила радіозв'язку з використанням ЦВВ. Але ручні операції на контролері ЦВВ замінюються на автоматичне виконання всіх процедур формування викличної послідовності ЦВВ.

Система COMEC була представлена у вигляді пропозиції від України на 14-й Сесії Підкомітету ІМО по зв'язку, пошуку та рятування (COMSAR) [99] і отримала підтримку в наступних документах ІМО [96, 97]. В цілому система SMART сприятиме підвищенню безпеки судноплавства при зменшенні функціонального навантаження на судноводія, особливо в тих ситуаціях, коли оперативне встановлення адресної і достовірної двосторонньої УКХ радіозв'язку має першорядне значення.

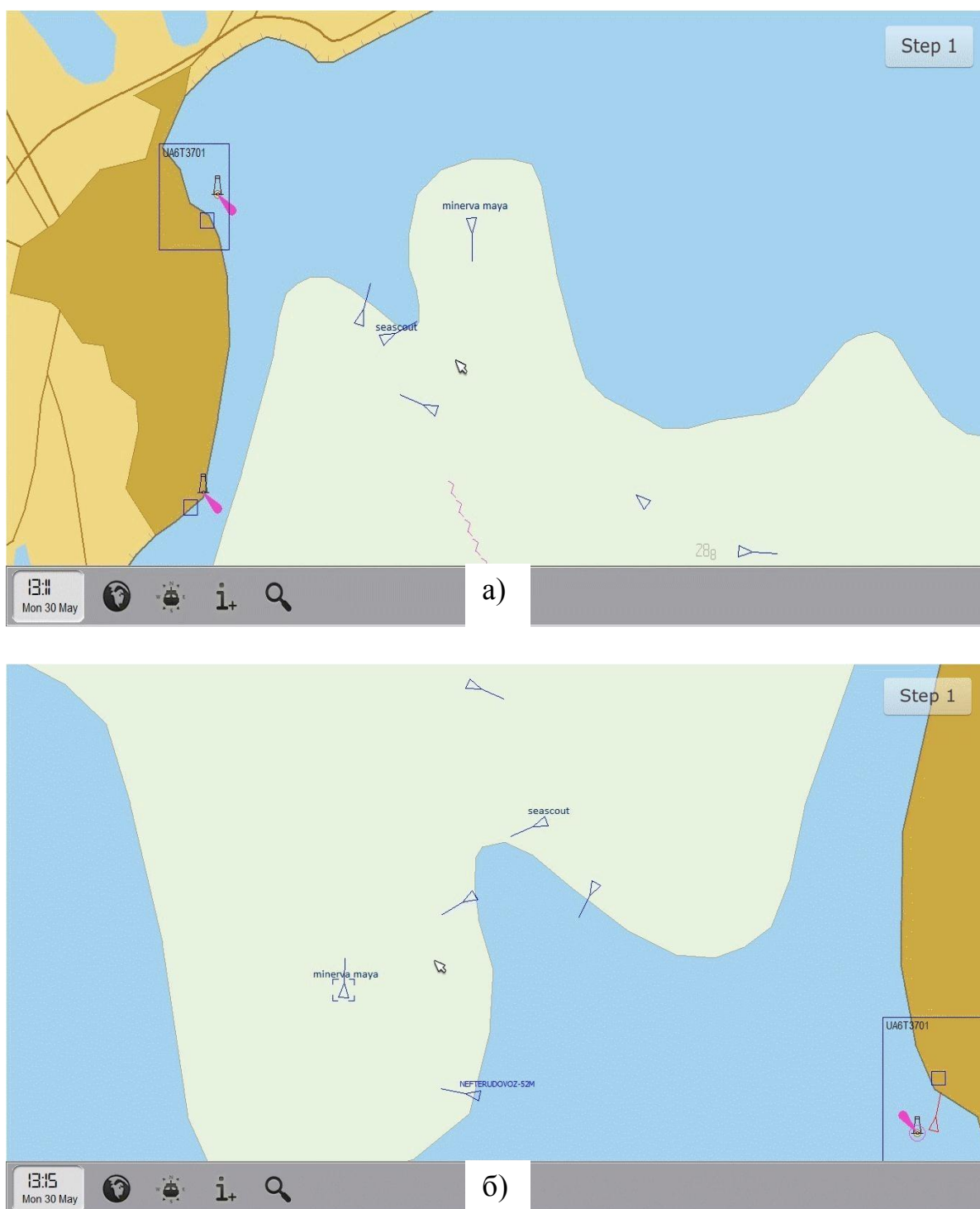


Рисунок 6.3 – Формування виклику в системі SMART: а) судно "Minerva Maya" робить індивідуальний виклик судну "Seascout"; б) відображення виклику на судні "Seascout"

Інтегрована система УКХ ЦВВ – ЕКНІС/АІС [65, 167] дозволяє виключити ручну процедуру формування виклику і замінити її практично дією click-to-talk (кликни для розмови) АІС позначки судна на електронній карті. Всі експлуатаційні процедури радіозв'язку з використанням ЦВВ також зберігаються в повному обсязі.

6.3. Пристрій прихованої передачі інформації за методом фазового кодування

Пристрої прихованої передачі інформації [193, 194] дозволяють вбудовувати непомітним чином цифрові дані в звуковий сигнал з метою подальшої автоматичної ідентифікації радіопередач або прихованої (стеганографічної) передачі додаткової інформації на фоні звукового сигналу. Вбудовування додаткової інформації забезпечується за рахунок квантування фаз гармонік ДПФ.

Пристрій (рисунок 6.4) дозволяє збільшити кількість інформації, що приховується в звуковому сигналі-контейнері. У кожному вибірку з N відліків сигналу-контейнера пристрій дозволяє вбудувати до $K=N/2-1$ відліків приховується. При цьому звуковий сигнал з вбудованою інформацією не відрізняється за своїм звучанням від вихідного сигналу-контейнера.

Положення рівнів округлення для різних значень R проілюстровані на рисунку 6.5.

Результати експертних слухових тестів дають результати, відображені в таблиці 6.1.

Для підвищення завадостійкості вкладеної інформації до адитивного шуму запропоновано використовувати для модуляції тільки гармоніки, що перевищують по амплітуді деякий поріг. На рисунку 6.6 г) представлено сузір'я стегосигналу при використанні тільки гармонік з досить великою амплітудою при відношенні сигнал-шум 20 дБ.

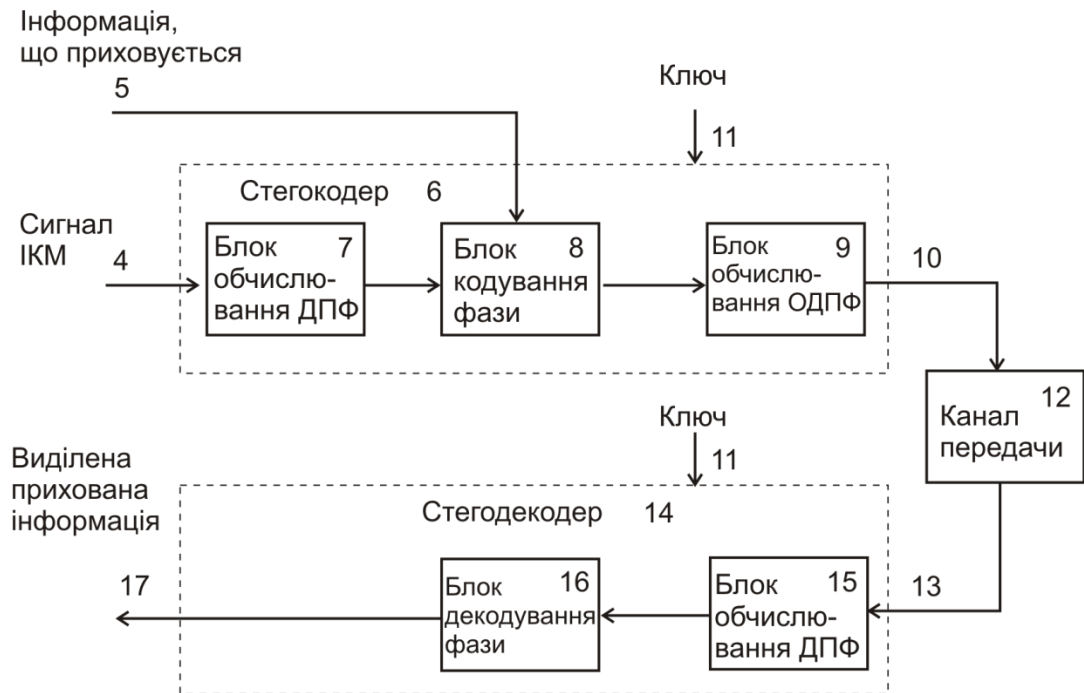


Рисунок 6.4 – Пристрій прихованої передачі інформації за методом фазового кодування

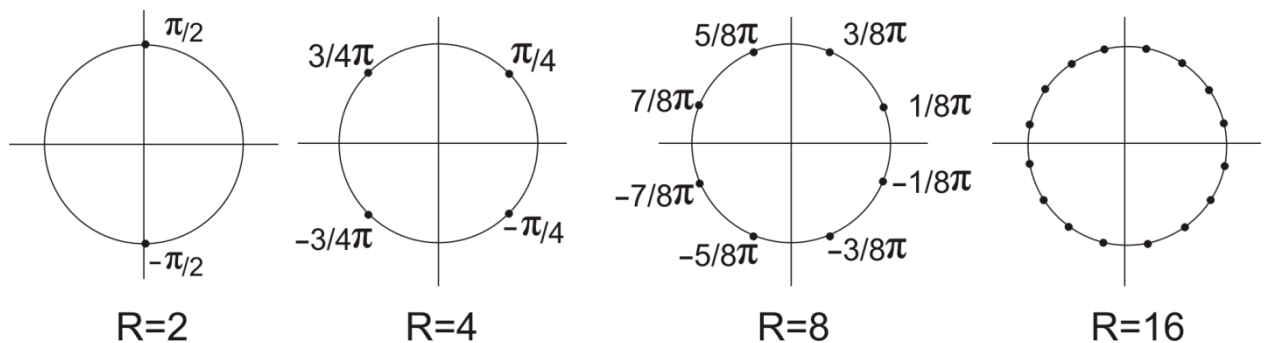


Рисунок 6.5 – Квантування фаз гармонік ШПФ

Таблиця 6.1 – Якість стегосигналу по слуховому сприйняттю

Кількість рівнів округлення фаз R	Якість стегосигналу по слуховому сприйняттю
2	Дуже погане
4	Погане
8	Добре
16	Відмінне, відмінностей немає
32	Відмінне, відмінностей немає

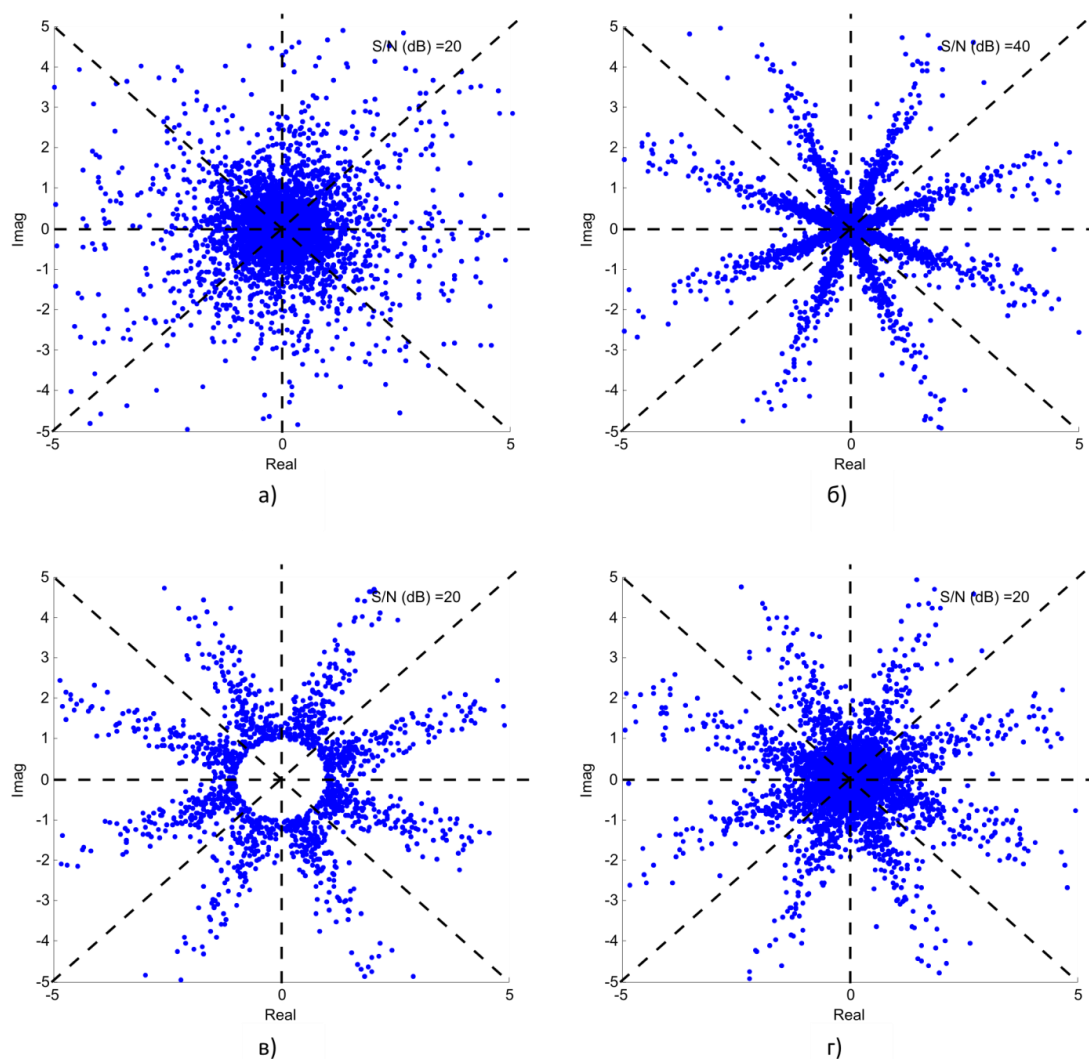


Рисунок 6.6 – Амплітудно-фазові сузір'я гармонік стегосигнала: а) вихідний сигнал-носії (порожній контейнер); б) стегосигнал (заповнений контейнер), відношення сигнал-шум 40 дБ; в) стегосигнал, відношення сигнал-шум 20 дБ, відмова від модуляції малих гармонік; г) стегосигнал, відношення сигнал-шум 20 дБ

6.4. Система передачі додаткової інформації в радіотелефонії на основі ПВП

На відміну від зазначених аналогів в пропонуваному пристрої інформація ідентифікації передається з використанням складних сигналів у вигляді псевдовипадкових послідовностей, які мають підвищену

завадостійкістю і скритністю в порівнянні з простими сигналами, використовуваними в аналогах.

Пристрій автоматичної ідентифікації (AI) радіопередач показаний на рисунку 6.7.

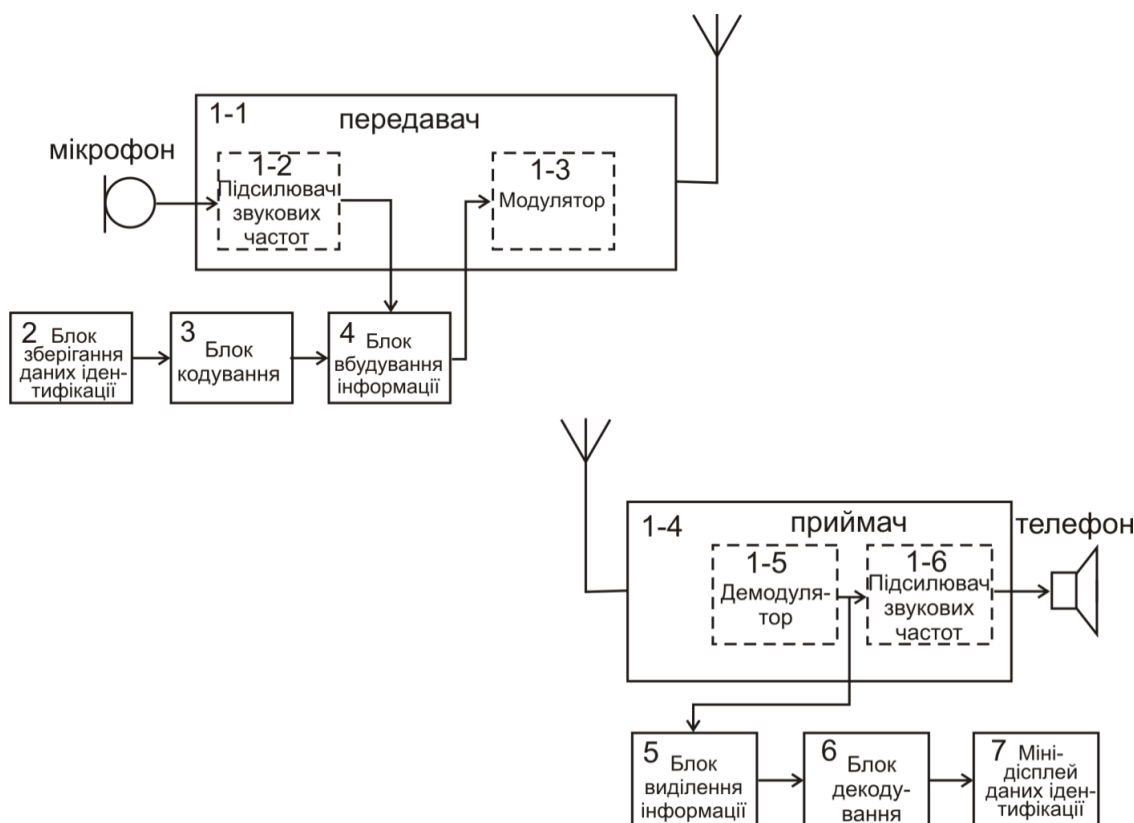


Рисунок 6.7 – Система AI на основі використання ПВП

Розроблений пристрій не припускав внесення будь-яких істотних змін в апаратуру радіозв'язку морської рухомої служби, а може використовуватися в якості додаткового пристрою, що дозволяє автоматично з мінімальною затримкою ідентифікувати передавальну станцію, не чекаючи голосової передачі даних ідентифікації. В даний час голосова передача ідентифікаційного номера та / або позивного сигналу судна є єдиним засобом ідентифікації. Неналежна передача позивного сигналу або його відсутність взагалі призводить до різного роду непорозумінь і непорозумінням, які негативно позначаються в кінцевому рахунку на безпеці судноплавства.

Застосування пристрою буде сприяти підвищенню оперативності встановлення радіозв'язку і поліпшенню безпеки судноплавства. Аналогічне застосування і досягається ефект пристрій має і в системі УКХ радіозв'язку цивільної авіації.

6.5. Пристрій АІ з обіляючим фільтром в приймачі

Послідовність вбудованих даних, розширена множенням на ПВП, являє собою послідовність некорельованих двійкових відліків. У той же час відліки мовного сигналу значно корельовано. Мовний сигнал-носії при не інформованому вбудовуванні інформації є сильною перешкодою для ЦВЗ. Для виділення ЦВЗ на фоні мовного сигналу в кореляційному приймачі необхідна велика час накопичення для перевищення рівня сигналу ЦВЗ над рівнем перешкоди. З огляду на значну кореляцію мовного сигналу, можна значно знизити його рівень, здійснивши декореляцію обіляючим фільтром. Ця ідея покладена в основу винаходу [196].

Загальна схема пристрою така ж як і для попереднього пристрою але відрізняється реалізацією блоків вбудовування та виділення інформації (рисунок 6.8).

У разі кореляційної обробці відношення сигнал ЦВЗ/сигнал-носії WSR збільшується в $\sqrt{N}$ раз, де N - довжина ПВП, використовуваної для передачі одного біта даних. Тоді відношення WSR на виході корелятора в дБ складе:

$$(R_{wx})_{\text{вих}} = (R_{wx})_{\text{вх}} + 20\lg(G\sqrt{N}) = -20 + 20\lg(G\sqrt{N}) \text{ дБ.}$$

Таким чином застосування кореляційного приймача разом з ОФ дає вигравш відношення ідентифікація/звук на $20\lg(G\sqrt{N})$ дБ. Наприклад, для досягнення на виході кореляційного приймача відношення ідентифікація/звук у 10 дБ необхідно згідно з (6) мати $G\sqrt{N} = 31,6$. Для значення $G = 8$ довжина ПВП становить $N = 16$.

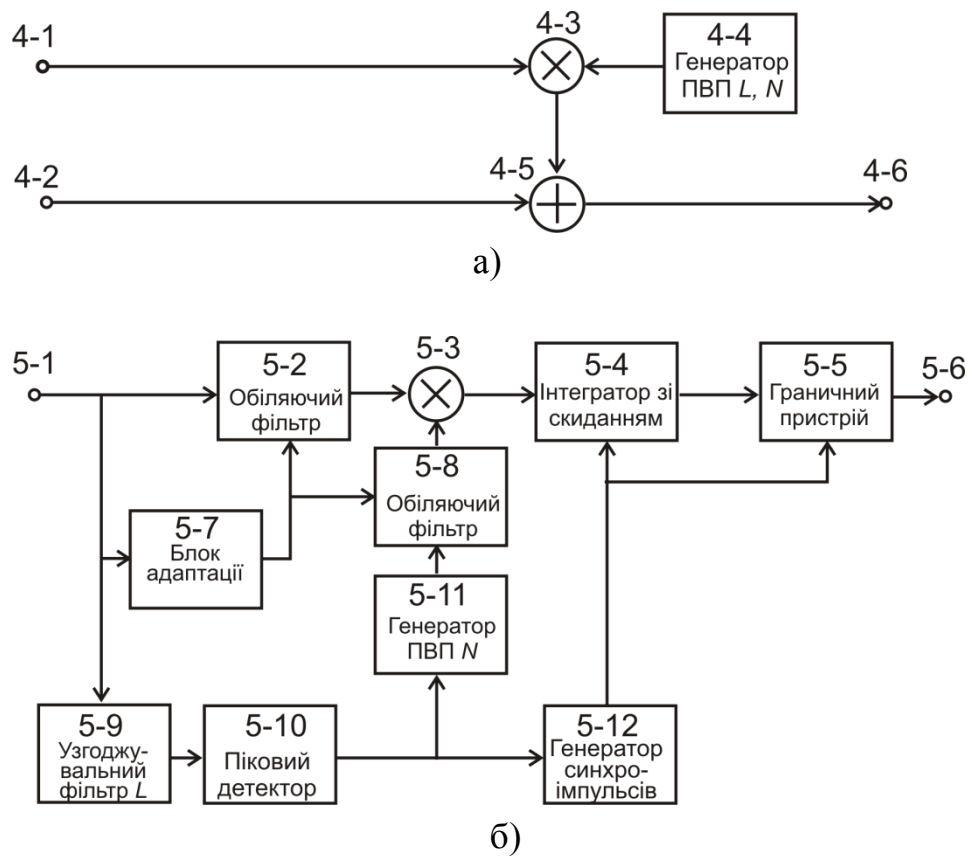


Рисунок 6.8 – Блоки вбудовування а) і виділення б) інформації в системі АІ з обліяючим фільтром

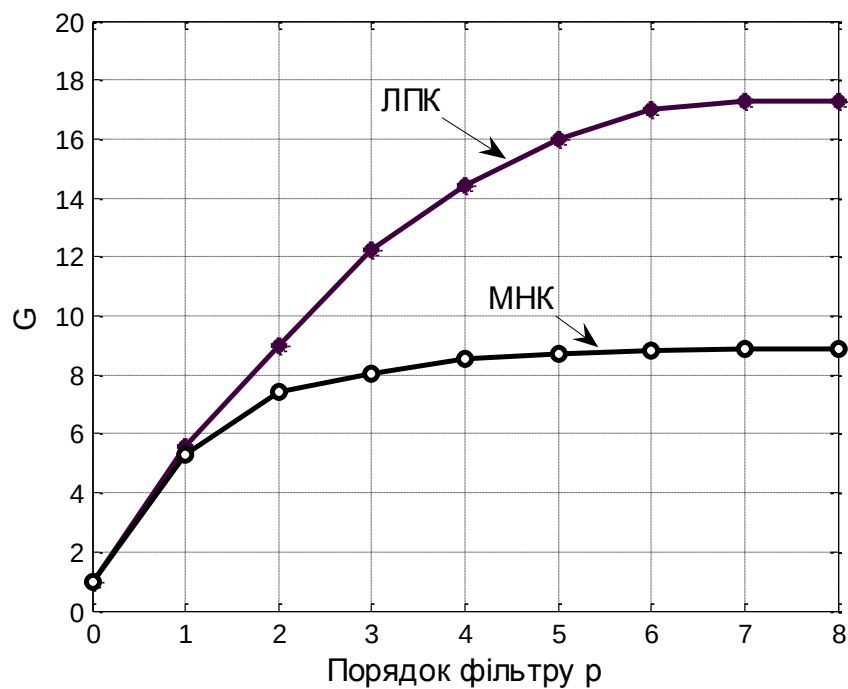


Рисунок 6.9 – Залежність виграшу G від порядку p обліяючого фільтру для алгоритмів ЛПК і МНК

Для розрахунку часу, затрачуваного на ідентифікацію, варто врахувати ширину смуги частот, що відводиться для передачі звукового сигналу. У цифрових системах з обмеженою частотною смугою для ідеального випадку швидкість передачі символів відповідно до межі Найквіста становить 2 символи/с/Гц. У реальному випадку це значення знижується до 1,8 – 1,4 символи/с/Гц [206]. Виходячи із цього, для нашого випадку смуги звукового сигналу 300 Гц – 3 кГц прийемо можливу швидкість передачі символів генератора ПВП, рівної: $R_{\text{ПВП}} = 5$ ксимв./с. Відповідно тактова частота генераторів ПВП у блоці вбудовування інформації 4 і блоці виділення інформації 5 складе $F_{\text{ПВП}} = 5$ кГц. Тоді швидкість передачі даних ідентифікації з урахуванням довжини ПВП $N = 16$ буде приблизно дорівнювати: $R_d = R_{\text{ПВП}}/N = 312$ біт/с.

Для подання ІМРС двійково-десятковим кодом потрібно $9 \times 4 = 36$ біт. З урахуванням надмірності кодування прийемо загальну кількість переданих біт протягом одного кадру рівною 50. Якщо для передавання кожного біту необхідно 16 символів ПВП, то довжина інформаційного поля становить $50 \times 16 = 800$ символів.

Для надійності синхронізації вважатиме, що довжина поля синхронізації складатиме 2048 біт. Тоді відношення ідентифікація/звук на виході узгоджувального фільтру 5-9 з урахуванням $G = 1$ складе:

$$(R_{\text{wx}})_{\text{вих}} = -20 + 20\lg(\sqrt{N}) = -20 + 20\lg(\sqrt{2048}) = 13,1 \text{ дБ},$$

що достатньо для надійного спрацювання пікового детектору 5-10. Таким чином, загальна кількість переданих символів ПВП на протязі одного кадру складає $2048 + 800 = 2848$ символів, що для швидкості символів ПВП

$R_{\text{ПВП}} = 5$ ксимв/с займе час приблизно 0,6 секунди.

6.6. Пристрій автоматичної ідентифікації радіотелефонних передач з підвищеною завадостійкістю до МСІ

Реальний УКХ радіоканал має нерівномірну амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) в смузі пропускання. Нерівномірність АЧХ призводить до виникнення міжсимвольної інтерференції. МСІ мають переважające деструктивний вплив на сигнал ЦВЗ в порівнянні з іншими перешкодами, наприклад, адитивним шумом. Тому для підвищення функціональної надійності пристрою АІ першорядне увага повинна бути приділена протидії впливу МСІ.

Ідея побудови пристрою АІ з підвищеною завадостійкістю до МСІ полягає в розбитті спектра сигналу на вузькі смуги і вбудовування даних ідентифікації незалежно в кожен частотну полосу (рисунк 6.10)

Моделювання алгоритму OFDM–ISS проводилося в середовищі математичного пакета Матлаб. На рисунку 6.11 представлені залежності правильного виявлення випадкового двійкового блоку ЦВЗ довжиною 15 біт від відношення $WSR = 20\lg(\sigma_w/\sigma_x)$. Змінюваними параметрами є довжина ПВП, яка розширює спектр, в кожному частотному субканалі $L = 7, 15, 31$ и відношення сигнал/шум $SNR = 20\lg(\sigma_s/\sigma_n)$, $SNR = 8, 10, 12$ дБ.

Моделювання проводилося з використанням фрагмента реального мовного сигналу, заданого 27000 відліків при частоті дискретизації $F_s = 8$ кГц. Для статистичної стійкості результатів моделювання фрагмент повторювався 10 разів. Зміна значення СКВ σ_w здійснювалося шляхом варіювання порога ρ . Інші параметри мають значення як зазначено у таблиці 6.2.

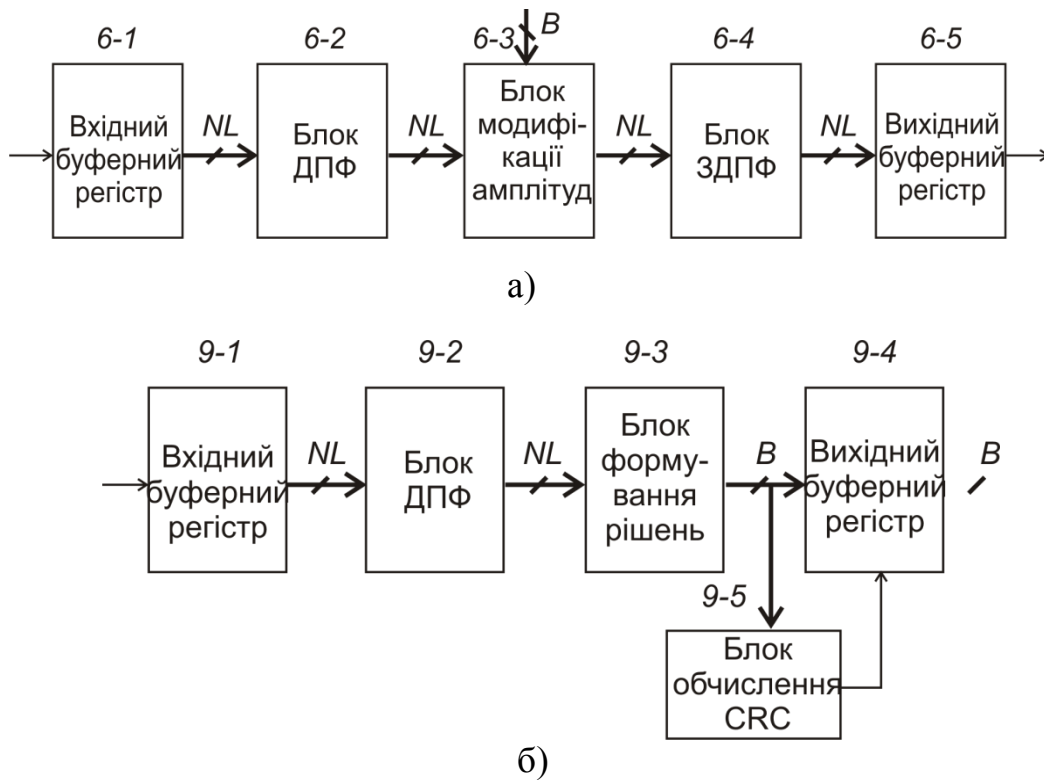


Рисунок 6.10 – Схеми блоків вбудовування а) і виділення інформації б) в пристрої АІ з підвищеною стійкістю до МСІ

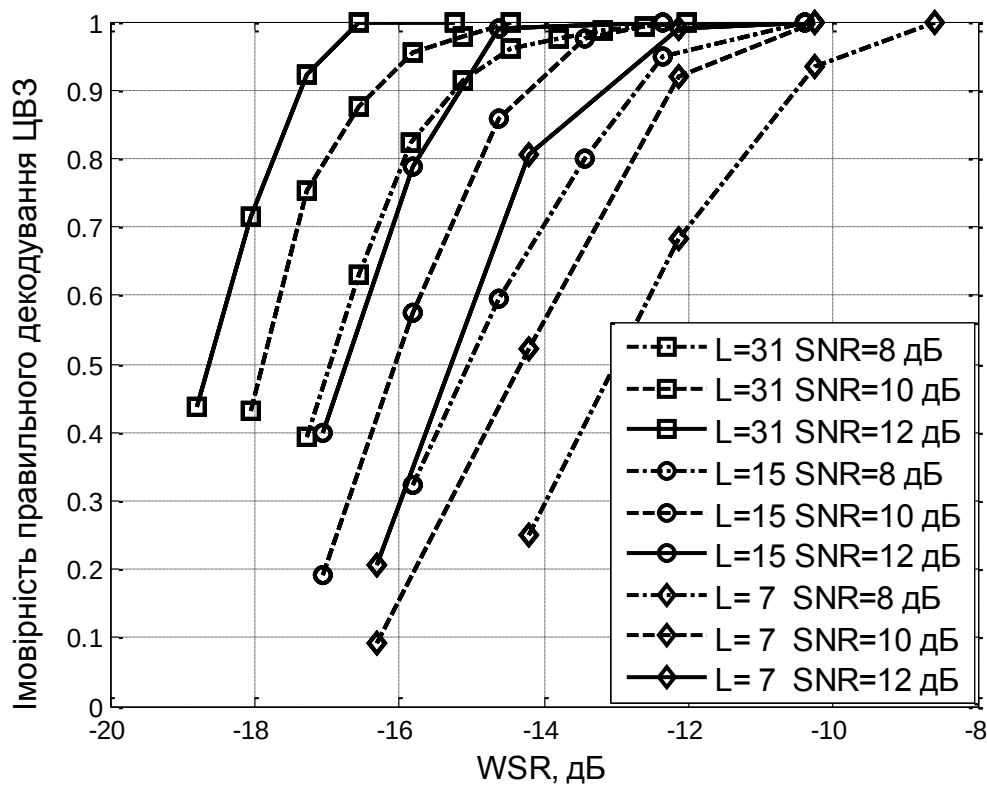


Рисунок 6.11 – Залежність імовірності правильного декодування ЦВЗ від відношень WSR і SNR

Таблиця 6.2 – Параметри сигналу AI

Параметр сигналу	Значення
Розмірність ШПФ	$N = 64$;
Число частотних субканалів	$B = 15$;
Ширина частотної смуги субканалу	$\Delta f = 125$ Гц;
Параметр норми	$p = 1/2$.

Швидкість передачі прихованої інформації визначається за формулою:

$$R = \frac{B F_s}{N L} \quad (6.13)$$

У таблиці 6.3 наведені граничні значення відношень WSR і SNR , для яких ймовірність правильного виявлення блоку ЦВЗ дорівнює одиниці, а також відповідні параметри L і R .

Достовірне визначення даних ЦВЗ досягається при рівні внесених спотворень нижче адитивного шуму більш ніж на 4 дБ для швидкості 60 біт/с і 2 дБ для швидкості 125 біт/с. Для приблизно рівних потужностей внесених спотворень і шуму $\sigma_w \approx \sigma_n$ досягається швидкість передачі ЦВЗ 268 біт/с.

Таблиця 6.3 – Граничні значення відношень WSR і SNR

WSR , дБ	-12,02	-14,45	-16,55	-10,38	-12,35	-14,61	-8,59	-10,25	-12,12
SNR , дБ	8	10	12	8	10	12	8	10	12
L	31	31	31	15	15	15	7	7	7
R , біт/с	60,5	60,5	60,5	125	125	125	268	268	268

Стійкість ЦВЗ до нелінійних спотворень досліджувалася шляхом кліпінгування тобто амплітудного обмеження сигналу зверху і знизу. На рисунку 6.12 представлені залежності ймовірності правильного виявлення блоку від рівня кліпінгування нормованого по максимуму сигналу для наступних параметрів: $SNR = 12$ дБ, 20 дБ и шум Відсутнє. У всіх випадках

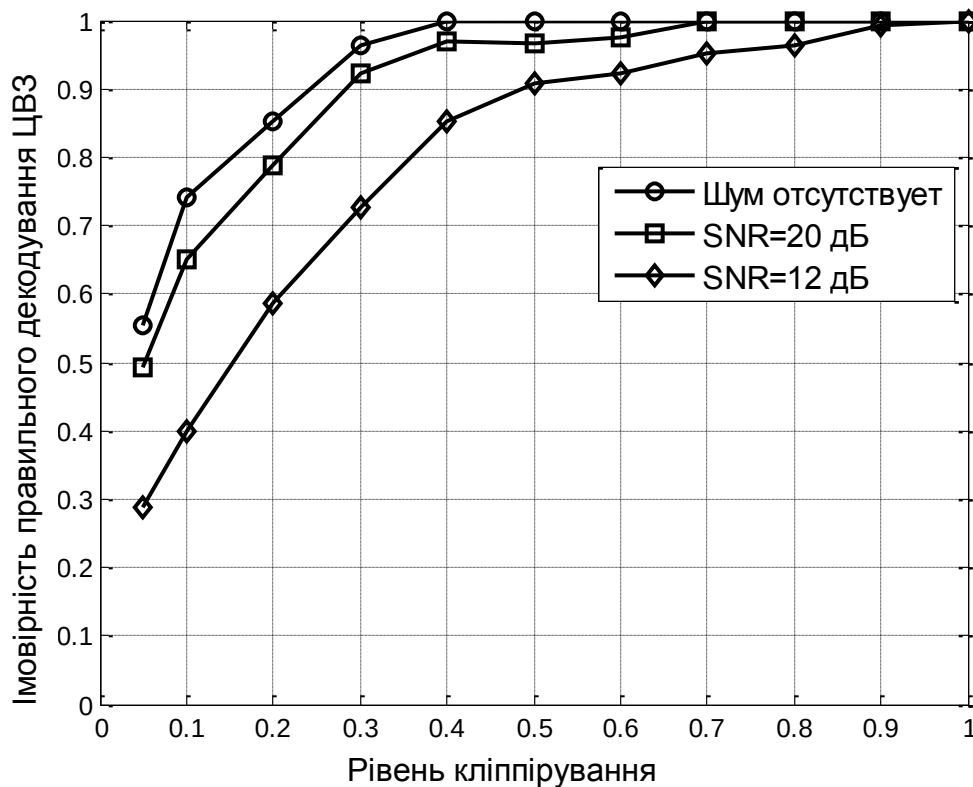


Рисунок 6.12 – Залежність ймовірності правильного декодування ЦВЗ від рівня кліпінгування

$WSR = 14,61$ дБ. Спостерігається хороша стійкість ЦВЗ до кліпування. У відсутності шуму кліпінгування не робить ніякого впливу на достовірність виявлення аж до рівня 0,4.

Ефективність суб-канальної обробки за технологією OFDM продемонстрована на рисунку 6.13. Графік 1 - ймовірність правильного детектування блоку ЦВЗ з використанням OFDM, графік 2 - то ж з обробкою в загальній смузі частот. Передавальна функція каналу формувалася за допомогою ФНЧ Баттерворта 2-го порядку із змінною в широкому діапазоні частотою зрізу. Величина МСІ розраховувалася як СКВ разностного сигналу вихід-вхід фільтра.

Для виключення фазових спотворень використовувалася процедура `filtfilt` двохпрохідної фільтрації в прямому і зворотному напрямках. Порівняння графіків свідчить про значну енергетичної ефективності (приблизно 8 дБ) застосування OFDM. Витратою субканальної обробки є

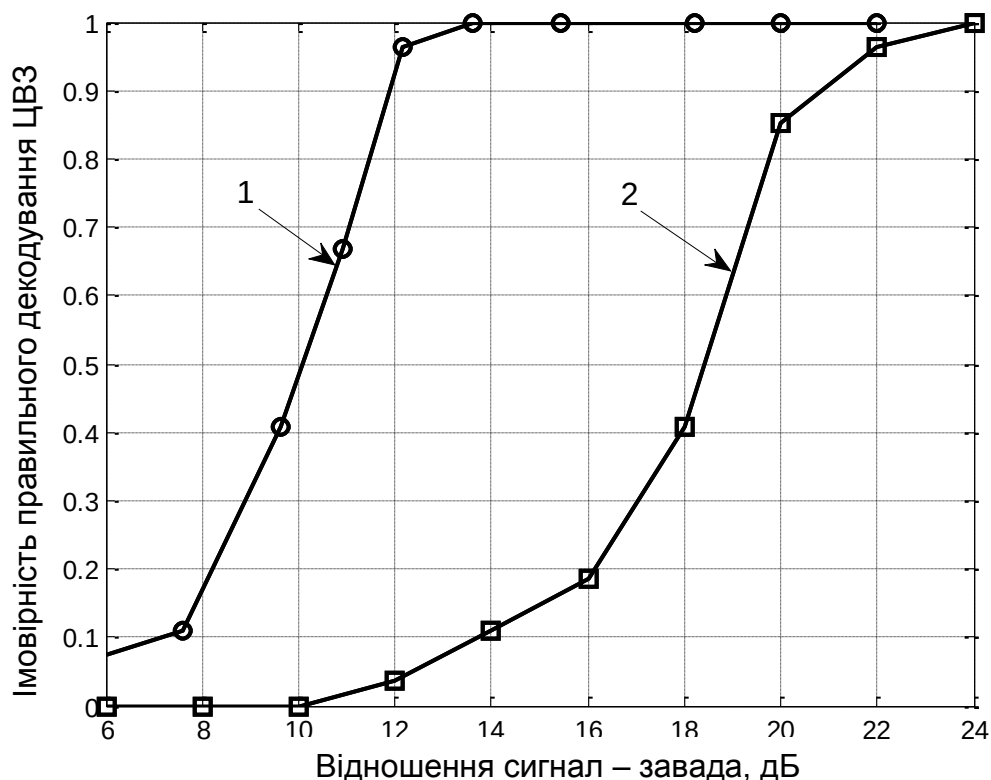


Рисунок 6.13 – Залежність ймовірності правильного декодування ЦВЗ від рівня міжсимвольної інтерференції: 1 - з використанням OFDM; 2 - те ж з обробкою в загальній смузі частот

збільшена затримка передачі сигналу в передавальному тракті, яка складає 120 мс.

Проводилися експериментальні випробування макета системи в реальному УКХ радіоканалі на частоті 156,850 МГц (17-й канал). Випробування проводилися в off-line режимі з використанням двох комплектів судновий радіостанції RT-2048 Sailor і USB-модуля АЦП-ЦАП типу E14-140 L-CARD [225].

Схема проведення випробувань представлена на рисунку 6.14.

Методика випробувань наступна: в тестовий мовної фрагмент в середовищі Матлаб багаторазово вносився блок даних ЦВЗ довжиною 15 біт. Далі підготовлений файл передавався через канал ЦАП – УКХ радіостанція 1 (на передачу) – радіоканал – УКХ радіостанція 2 (на прийом) – АЦП і записувався в прийнятий звуковий файл. Прийнятий файл оброблявся в

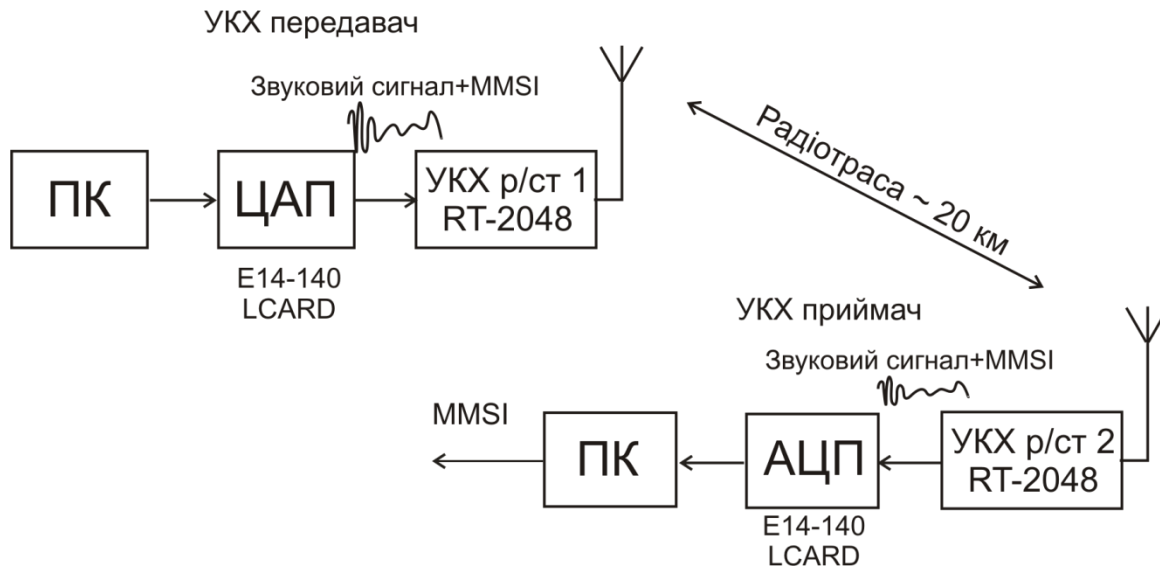


Рисунок 6.14 – Схема проведення експерименту випробувань пристрою AI в off line режимі

середовищі Матлаб. В умовах експерименту при $WSR = -12,35$ дБ, $SNR = 14$ дБ, $R = 125$ біт/с все блоки ЦВЗ на довжині мовного фрагмента детектувалися стійко вірно.

Вимірювалася також амплітудно-частотна характеристика наскрізного УКХ радіотракту. Для вимірювань АЧХ був сформований низькочастотний сигнал з лінійною частотною модуляцією (ЛЧМ) в смузі від 100 Гц до 3 кГц тривалістю 10 секунд. Цей сигнал передавався з постійною амплітудою і записувався на приймальній стороні. Огинаюча крива ЛЧМ сигналу приймалася за АЧХ наскрізного УКХ радіотракту (рисунок 6.15).

Встановлено, що АЧХ УКХ радіотракту суттєво нерівномірна в смузі (100 - 3000) Гц. Нерівномірність АЧХ не має істотного значення на слухове сприйняття мовного повідомлення в стандартному УКХ радіоканалі. Однак нерівномірність АЧХ призводить до значних міжсимвольних спотворень цифрових даних, якщо вони передаються з досить високою швидкістю в загальній смузі мовного сигналу. Таким чином, МСІ обмежує швидкість даних (або знижує стійкість сигналу ЦВЗ).

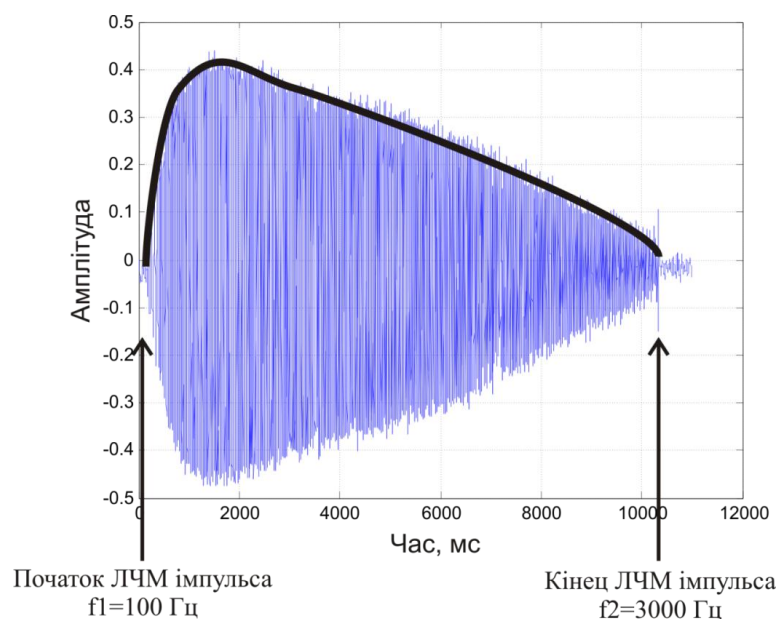


Рисунок 6.15 – АЧХ наскрізного УКХ радіотракту в смузі (100 - 3000) Гц за даними експерименту

Якщо ж передавати дані на низькій частоті паралельними потоками в незалежних частотних субканалів, то в межах кожного субканалу АЧХ можна вважати постійною. У цьому випадку вплив МСІ знижується при збереженні загальної швидкості передачі за всіма субканалами.

Для забезпечення стійкості звукових ЦВЗ до міжсимвольної інтерференції в завданні автоматичної ідентифікації УКХ радіотелефонних передач в морського радіозв'язку запропоновано використовувати OFDM технологію спільно з відомим поліпшеним алгоритмом прямого розширення спектра (ISS). OFDM - ISS алгоритм вбудовування ЦВЗ в аналоговий звуковий сигнал забезпечує стійкість ЦВЗ до міжсимвольної інтерференції, нелінійних спотворень і адитивному шуму при потужності внесених спотворень нижче рівня шуму.

Слухова несприйнятливість ЦВЗ досягається розподілом його енергії в частотно-часовій площині сигналу-носія і правильним завданням параметра ρ норми сигналу. Можливість гнучкого вибору параметрів N , L , B і ρ

забезпечує компромісне рішення задачі реалізації характеристик системи ЦВЗ.

Виявлення ЦВЗ здійснюється шляхом обробки в цілому всього пакету відліків на основі порівняння хеш-функцій. Такий підхід дозволяє обійтися без передачі синхронізуючої послідовності.

Практична реалізація системи ідентифікації на основі ЦВЗ може бути здійснена без будь-яких замін основних блоків існуючої апаратури УКХ радіозв'язку. Діючий УКХ трансивер може бути доповнений мікросхемою з прошивкою даних ідентифікації, яка встановлюється безпосередньо в телефонну трубку і міні-дисплеєм, підключеним до стандартного низькочастотного виходу звукового сигналу приймача для візуалізації ідентифікатора передавальної станції.

6.7. Результати моделювання системи з багатоканальним алгоритмом

Комп'ютерне моделювання було проведено в середовищі математичного пакету Матлаб для реалізації тестового мовного сигналу тривалістю біля 3,5 секунд, якій представлений 27500 відліками з частотою дискретизації $F_s = 8$ кГц. В таблицях 6.4, 6.5 показаний вплив параметрів алгоритму на спотворення сигналу за рахунок ЦВЗ для АФК і АК [215]. Спотворення вимірюються коефіцієнтом $WSR = 20\lg(\sigma_w/\sigma_x)$ (Watermark-to-Signal Ratio), де σ_w , σ_x - стандартні відхилення сигналу ЦВЗ $w = s - x$ і сигналу носія x відповідно. Швидкість передавання даних ЦВЗ підраховується за формулою:

$$R = \frac{K F_s}{N L}, \quad (6.14)$$

де K – кількість вбудованих біт в один пакет;

N – розмірність ШПФ;

L – довжина сигнального вектору.

Таблиця 6.4 – Значення відношення WSR , дБ для АФК

L		2			4			8		
K		1	4	8	1	4	8	1	4	8
Δ	0,25	-25,15	-15,22	-13,79	-28,99	-17,37	-16,06	-30,59	-18,08	-16,87
	0,5	-19,92	-8,61	-7,34	-22,55	-11,21	-9,95	-23,59	-12,47	-10,92
	1,0	-15,88	-5,27	-3,90	-17,53	-5,89	-4,53	-18,32	-6,32	-4,83

Для прийнятої розмірності ДПФ $N = 64$ R набуває значень в діапазоні (15,6 ... 500) біт/с. За рахунок належного вибору параметрів L, K, Δ може бути обрано компромісне рішення кількості інформації (payload) – подібність (fidelity) – стійкість (robustness).

Таблиця 6.5 – Значення відношення WSR , дБ для АК

L		2			4			8		
K		1	4	8	1	4	8	1	4	8
Δ	0,25	-30,33	-18,59	-17,67	-29,48	-20,15	-15,94	-31,23	-17,73	-17,86
	0,5	-24,56	-11,52	-11,14	-24,04	-13,24	-10,29	-24,01	-13,12	-10,60
	1,0	-26,69	-15,34	-13,72	-21,67	-10,09	-7,85	-19,66	-9,37	-5,27

На рисунку 6.16 наведені графіки з впливу каналу передавання у вигляді АБГШ і МСІ на вірогідність помилки детектування ЦВЗ. Моделювання проводилось для того ж самого мовного файлу при параметрах $N = 64, L = 8, K = 8, \Delta = 0,5$. Відношення сигнал-шум (Signal-to-Noise Ratio) обчислювалось за формулою: $SNR = 20 \lg(\sigma_s / \sigma_n)$, де σ_n - стандартне відхилення АБГШ. Графіки на рисунку 6.16 а) підтверджують практично однаковий вплив на вірогідність помилки, оскільки в обох випадках відстань між конкуруючими сигналами є однаковою.

На рисунку 6.16 б) показаний вплив MCI на вірогідність помилки для тих же параметрів. Для порівняння приведений графік, позначений як General band для обробки в часовій області, тобто в загальній частотній смузі. MCI

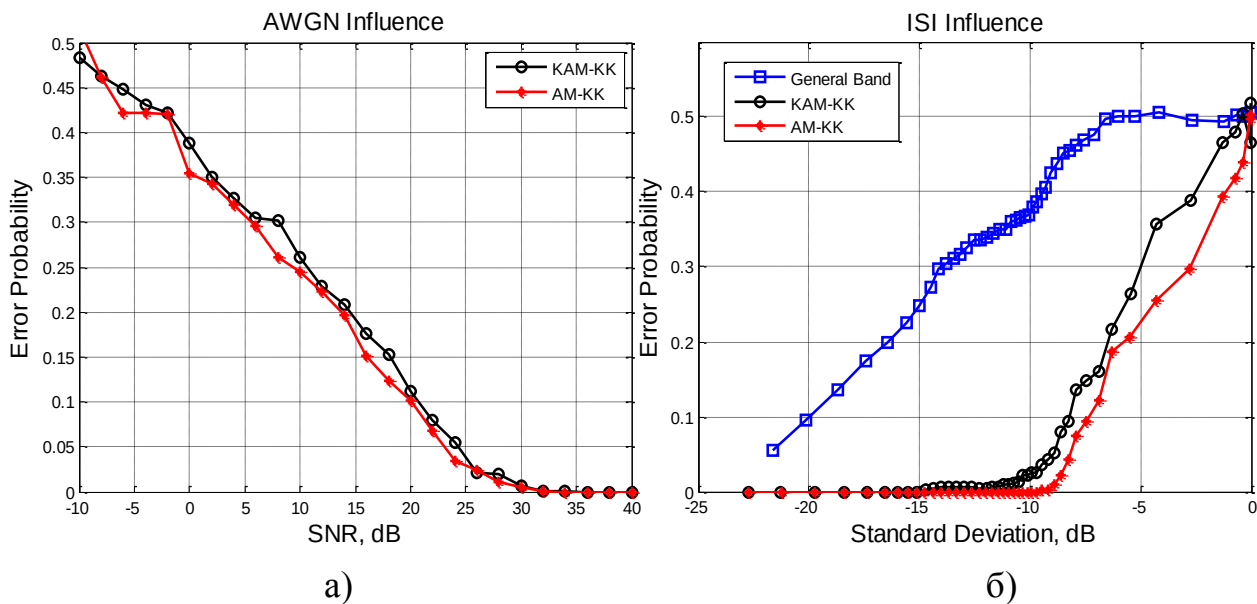


Рисунок 6.16 – Вплив АБГШ (а) і MCI (б) на вірогідність помилки ЦВЗ

моделювались проходженням сигналу скрізь фільтр нижніх частот (ФНЧ) Баттерворта 5-го порядку. Стандартне відхилення (Standard Deviation) обчислювалось за формулою $20\lg(\sigma_{(y-s)}/\sigma_s)$, де y - сигнал, що приймається. Рівень MCI регулювався частотою зрізу ФНЧ в діапазоні $(0,1 \dots 0,5) F_s / 2$.

Порівняння графіків демонструє переваги вбудовування кожного біту ЦВЗ в окремий вузькосмуговий сигнал за принципом технології OFDM. Декілька кращий результат дає амплітудне квантування.

Моделювання проводилось за умови наявності належної синхронізації. Для застосування алгоритмів у реальному аналоговому каналі у відсутності синхронізації може бути запропонований метод виявлення і детектування ЦВЗ у цілому за допомогою використання деякої хеш-функції [119]. Його суть полягає в тому, що до інформаційної частини ЦВЗ додається її хеш-функція. На прийомному боці виконується ковзний алгоритм за формулою

(6) в багатоканальному застосуванні. ЦВЗ вважається виявленим і детектованим вірно у разі збігу обчисленої і прийнятої хеш-функцій.

Запропонований алгоритм формування ЦВЗ для звукових сигналів в векторному просторі із збереженням норми сигналу і мінімізацією спотворень, що вносяться, дозволяє отримати ЦВЗ, які нечутливі до повільних амплітудних спотворень сигналу в каналі передавання. Нормування потужності сигналу ЦВЗ до миттєвої потужності сигналу-носія дозволяє знизити слухове сприйняття внесених спотворень, що зберігає норму сигнального вектору (або його потужність) на часовому інтервалі вбудовування одного біту інформації. Збереження потужності дозволяє знизити слухову чутливість до внесених за рахунок ЦВЗ спотворень особливо на фоні слабкого сигналу і в паузах.

За рахунок вибору параметрів ЦВЗ N , L , K , Δ можливий гнучкий компромісний вибір параметрів кількість інформації – подібність – стійкість у системі з прихованою модуляцією звукових сигналів.

Модуляція вузькосмугових сигналів за принципом OFDM дозволяє підвищити завадостійкість ЦВЗ до МСІ, які можуть бути обумовлені обмеженістю та нерівномірністю амплітудно-частотної характеристики каналу.

6.8. Результати моделювання системи з завадостійким кодуванням

Розроблені алгоритми досліджувалися на реальних мовних сигналах в середовищі Матлаб [218].

Вплив кроку квантування Δ і коефіцієнта інтенсивності h на швидкість передачі прихованої інформації (біт/с) і якість сигналу (дБ) представлено у таблиці 6.6 у вигляді пари значень R / SWR .

Швидкість інформації розраховувалася як середня швидкість передачі інформації на протязі мовного сигналу за формулою:

$$R = \frac{N_{TX} k}{l_{wav} F_s}, \quad (6.15)$$

де N_{TX} – число переданих фреймів;

l_{wav} – кількість відліків в тестованому сигналі wav-формату;

k – кількість інформаційних біт в одному пакеті ЦВЗ.

Для оцінки якості сигналу використовувалося відношення SWR потужностей сигналу-носія і внесених спотворень, яка розраховується частотно-часовій площині спектрограми ($N_{SP} \times T_{SP}$) за формулою:

$$SWR = 10 \lg \frac{\sum_{j=1}^{T_{SP}} \sum_{i=1}^{N_{SP}} X_{ij}^2}{\sum_{j=1}^{T_{SP}} \sum_{i=1}^{N_{SP}} (X_{ij} - S_{ij})^2}. \quad (6.16)$$

Відповідно до стандарту Міжнародної федерації фонографічної промисловості (IFPI) [25] внесення ЦВЗ не повинно знижувати якість звукового сигналу нижче 20 дБ. Задовольняють цій вимозі характеристики відокремлені в таблиці 6.6 жирною лінією.

Таблиця 6.6 – Співвідношення швидкість ЦВЗ (біт/с)/якість сигналу (дБ)

Шаг квантування Δ	Коефіцієнт інтенсивності h				
	0,5	1	2	4	8
0,25	93/48,8	136/41,5	238/32,6	390/24,8	458/21,4
0,5	93/43,1	136/34,5	221/26,1	348/19,5	458/14,4
1,0	85/38,9	136/30,4	229/21,2	331/14,6	450/ 8,7
2,0	93/34,6	144/24,3	212/16,8	348/ 9,8	450/ 5,4

Вбудовування інформації досягається за рахунок певних спотворень сигналу-носія. Ці спотворення можуть проявлятися в більшій чи меншій мірі в залежності від форми сигналу і вбудованої інформації. «Сприятливим» для вбудовування ЦВЗ кадром є той, який вимагає менших внесених спотворень. В ідеалі взагалі ніяких спотворень не буде потрібно. Тому використання

тільки відповідних кадрів для вбудовування ЦВЗ є розумним для мінімізації внесених спотворень [215].

В якості запобіжного внесених спотворень в i -му субканалі приймемо нормоване відстань $d_i = \|X_i - S_i\| / \|X_i\|$ між векторами X_i і S_i . Загальні спотворення оцінюються як $D = \sum_{i=1}^n d_i$. Тоді рішення про встановленні ЦВЗ в поточному кадрі може бути прийнято шляхом порівняння величини D з певним порогом ρ_{enc} . Якщо $D \leq \rho_{\text{enc}}$, тоді вбудовування можливо, інакше - відмова від модифікації поточного кадру.

Для більш рівномірного розподілу ЦВЗ протягом звукового сигналу запропоновано визначати плаваючий поріг у вигляді:

$$\rho_{\text{enc}} = h \Delta \frac{\sigma_{\text{long}}}{\sigma_{\text{frame}}}, \quad (6.16)$$

де $h = 0.5 \dots 2$ – деякий заданий коефіцієнт інтенсивності ЦВЗ;

Δ – шаг квантування;

σ_{long} – довгострокове значення СКВ сигналу-носія на інтервалі приблизно (3 - 5) секунд;

σ_{frame} – короткочасне СКВ поточного кадру.

Однак для об'єктивної порівняльної оцінки кількості вбудованої інформації слід враховувати ширину смуги частот сигналу-носія ЦВЗ і розраховувати не усереднену швидкість передачі прихованої інформації в складі ЦВЗ, а її щільність в площині частота – час, виміряну в (біт/с)/Гц. Тоді з урахуванням відрізняються в $18/3 = 6$ раз по ширині частотних смугах сигналу-носія щільність даних ЦВЗ в розроблених алгоритмах перевищує приблизно в (3 - 5) разів щільність приховується за методом [24] при тому ж рівні спотворень. При цьому слід підкреслити, що у таблиці 6.7 наведені відомості по кількості корисної і виправленої від помилок інформації (30 біт на один пакет ЦВЗ), а не всієї вбудованої інформації з урахуванням надмірності (63 біта на пакет ЦВЗ).

Завадостійкість ЦВЗ до атак в каналі оцінювалася відношенням числа виявлених і вірно декодованих пакетів ЦВЗ до загальної кількості вбудованих пакетів. Результати в залежності від кроку квантування коефіцієнта кореляції зведені у таблиці 6.7.

Специфікація модельованих перешкод каналу радіозв'язку наводиться нижче.

(1) Повторна дискретизація: сигнал з ЦВЗ з частотою дискретизації $F_s = 8$ кГц інтерпольований на частоту дискретизації 16 кГц, зміщений на один відлік, а потім відновлений назад на частоту 8 кГц. Використана процедура в Матлаб `interp(s, 4)`.

Таблиця 6.7 – Відносне число вірно декодованих пакетів ЦВЗ

Крок квантування	MP3 стискання	Компандування	Фільтрація	АБГШ, дБ			Квантування, Q=256	Кліпінгування* 50%	Повільні завмирання	Комплексна завада
				40	30	20				
(2)	(3)	(4)	(5)	(5)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	
0,125	0,62	0,76	0,13	0,23	0	0	0,5	0,9/1	0,13	0
0,25	0,87	1	0,26	0,6	0,1	0	0,63	0,93/1	0,37	0
0,5	1	1	0,72	0,72	0,37	0	0,84	0,94/1	0,5	0,03
1	1	1	0,94	0,86	0,71	0.14	1	0,97/1	1	0,43
2	1	1	1	1	0,74	0.37	1	1	1	0,68

* Для коефіцієнтів інтенсивності $h = 2 / 0.5$ відповідно

(2) MP3 стиснення 9,6 кбіт/с: сигнал з ЦВЗ формату wav з бітрейтом 64 кбіт / с був стиснутий в форматі MP3 зі швидкістю передачі 9,6 кбіт / с, а потім розпакований назад в формат wav 64 кбіт / с.

(3) Стиснення - розтягування за амплітудою (компандування): сигнал з ЦВЗ проходить стандартну процедуру компандування відповідно до μ -закону. Відповідні процедури в Матлаб `lin2mu(s)`, `mu2lin(y)`.

(4) Фільтрація: сигнал з ЦВЗ пропускався через смуговий фільтр Баттерворта порядку 2 з граничними частотами 400 Гц і 2 кГц. Відповідні процедури в Матлаб `butter(1, [.1, 0.5])`, `filter(bb, aa, s)`.

(5) Адитивний білий гаусів шум (АБГШ): АБГШ доданий до сигналу ЦВЗ на рівні, виміряним для всього фрагмента сигналу. `awgn(s, SNR, 'measured')`, `filter(bb, aa, s)`.

(6) Квантування: сигнал з ЦВЗ квантований по амплітуді на Q рівнів. `1/Q*round(s*Q)`.

(7) Кліппірування: сигнал з ЦВЗ обмежений за амплітудою зверху і знизу на рівні 50% від максимального значення.

(8) Повільні завмирання: сигнал з ЦВЗ піддавався амплітудної модуляції з частотою 3 Гц і глибиною модуляції 0,5.

(9) Комплексна завада: Сигнал одночасно піддавався впливу 3-х перешкод (4) + (5), $SNR=30$ дБ + (8).

Випробування показали, що ЦВЗ нечутливі до повторної дискретизації (1) і мають стійкість до інших видів перешкод, що оцінюється відношенням виявлених і вірно декодованих пакетів до загальної кількості переданих пакетів як показано у таблиці 6.7.

6.9. Пристрій АІ з синхронізацією GPS

Результати попередніх досліджень довели, що найбільш критичною ланкою системи АІ (або передавання додаткової інформації) є виявлення пакетів даних ЦВЗ. В розглянутих багатоканальних алгоритмах виявлення пакету ЦВЗ здійснюється у ковшу чому режимі обробки сигналу. Для цього процесор за часовий інтервал дискретизації $T_s = 1/F_s$ виконати повний обсяг

обчислень, що потребую його великої швидкодії і значно ускладнює практичну реалізацію пристрою.

Кардинальним рішенням проблеми є використання зовнішньої синхронізації сигналом точного часу ГНСС [123]. При наявності зовнішньої синхронізації система АІ може працювати у синхронному режимі передавання даних ЦВЗ. Джерелом сигналу синхронізації є секундні імпульси приймача GPS (PPS – Pulse per Second). Вони є відліками всесвітнього координованого часу. Зазвичай приймач GPS використовується для визначення координат судна, але у нашому призначенні він використовується для отримання зовнішньої синхронізації пакетів ЦВЗ у приймачі і передавачі системи АІ. Таке сумісне різних систем (ГНСС і радіотелефонії) демонструє важливість і корисність інтегрування як систем, так і технологій.

Пристрій АІ з синхронізацією GPS був розглянутий раніше у розділі 4. Нижче приводяться дані стосовно технічної реалізації пристрою, випробувань і комп'ютерного моделювання.

Пристрій реалізований на базі мікроконтролеру STM32F429ZIT8 і модуля GPS синхронізації NEO-6M-0-001 з використанням для проведення експериментів штатних УКХ радіостанцій IC-M330, RT-2048 Sailor. Характеристики пристрою наведені у таблиці 6.8.

Таблиця 6.8 – Характеристики експериментального прототипу пристрою АІ

Параметр	Значення
Мікроконтролер	STM32F429ZIT8
Тактова частота МК	168 МГц
Час виконання операцій з точкою що плаває: FFT 256 IFFT 256	370 мкс 475 мкс
Загальний час обробки одного кадру: в передавачі в приймачі	32 мкс 900 мкс

Параметр	Значення
Об'єм пам'яті ROM RAM	160 кБ 160 кБ
Розрядність АЦП, ЦАП Час перетворення АЦП	12 біт 0,5 мкс
Частота дискретизації f_s	8192 Гц
Швидкість передавання даних ЦВЗ Режим передавання	32 біт/с синхронний
Затримка передавання мовного сигналу	62,5 мс
Напруга, струм живлення	5 В, 180 мА

Результати дослідження відношення коефіцієнту сигнал ЦВЗ/сигнал носій WSR відображені у таблиці 6.9. Коефіцієнт WSR характеризує нечутливість внесених даних ЦВЗ у сигнал-носій, тобто якість сигналу у тріаді параметрів кількість – якість – стійкість на прийомному боці системи АІ в залежності від квантування – порогу ρ . Відповідно до стандарту Міжнародної федерації фонографічної промисловості (IFPI) [24] внесення ЦВЗ не повинно перевищувати відношення WSR більш ніж -20 дБ.

Таблиця 6.9 – Залежність WSR від порогу ρ

ρ	1	2	3	4	5
WSR , дБ	-24,7	-21,7	-19,2	-17,2	-15,4

Дослідження проводились для тестового мовного сигналу тривалістю приблизно 3,5 с. Відповідні сигналограми представлені на рисунку 6.17: зверху вихідний сигнал-носій (Host signal), всередині – сигнал з вбудованими даними ЦВЗ, $\rho = 1$ (Watermarked signal). Швидкість передавання даних 32 біт/с. На епюрі знизу показані імпульси синхронізації пакетів. Кожний пакет переносить один біт даних, тобто частота синхроімпульсів дорівнює

$F_{SYN} = 32$ Гц при тривалості кадру $T_{frame} = 31,25$ мс. Прослуховування сигналу

з ЦВЗ не виявляє будь-яких побічних ефектів.

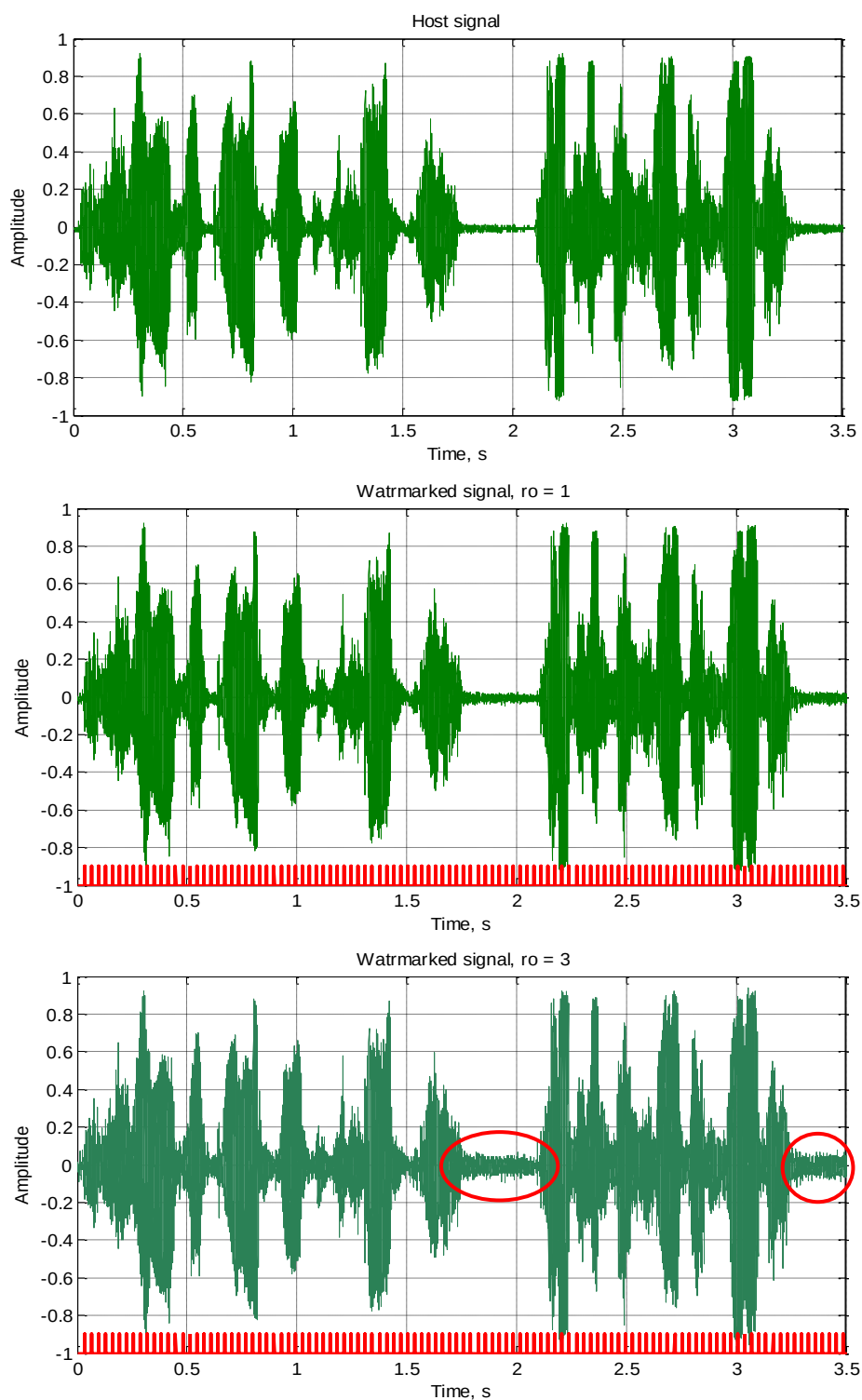


Рисунок 6.17 – Аудіо сигналограми у координатах час, с – амплітуда: зверху – вихідний сигнал-носії; в середині – сигнал з вбудованими даними ЦВЗ, $\rho = 1$; внизу – те ж саме, $\rho = 3$

На нижньої епюрі показаний сигнал з вбудованими даними ЦВЗ при $\rho = 3$. Також додані імпульси синхронізації пакетів. На відмінність від вихідного сигналу з'являється підвищення шумів у паузах – обведено червоними колами, що відчувається при прослуховуванні аудіо запису.

Завадостійкість ЦВЗ оцінювалась по діаграмам ока (рисунок 6.18). Множина графіків побудована як залежність спектральної ознаки від часового зсуву вікна аналізу спектру на часовому інтервалі 256 відліків для випадкової послідовності даних ЦВЗ і величині порогу $\rho = 3$. Видно, що при точній синхронізації, 128-й відлік, проміжок між протилежними значеннями

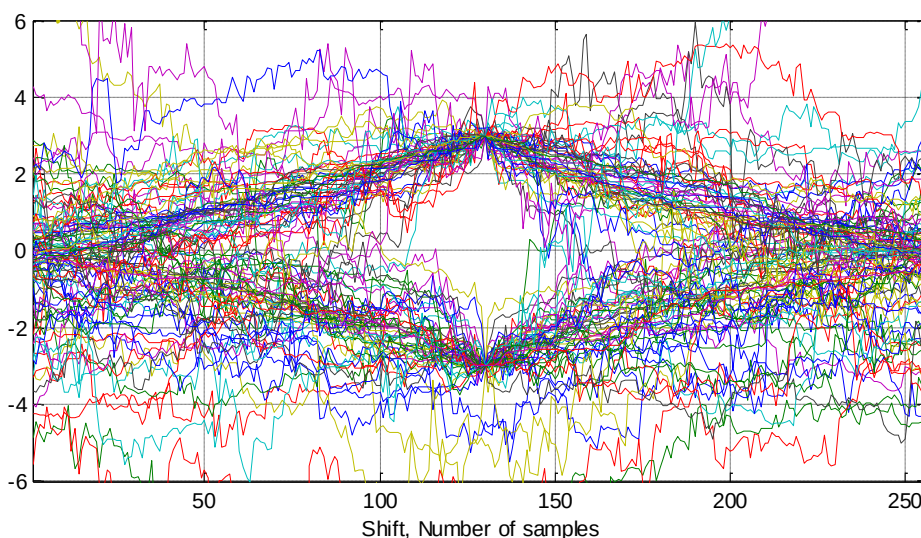


Рисунок 6.18 – Діаграма ока сигналу з вбудованими даними ЦВЗ при кадровій синхронізації у координатах зсув сигналу у кількості відліків – амплітуда

спектральної ознаки для різних $(0, 1)$ даних ЦВЗ складає величину $2\rho = 6$. Діаграма ока визначає стійкість даних ЦВЗ до зовнішніх завад (АБГШ, МСІ, інші) і помилок синхронізації. У разі завад мінімальний проміжок між протилежними значеннями спектральної ознаки, тобто просвіт, в момент прийняття рішення (128-й відлік) о вбудованому біті ЦВЗ буде

зменшуватися. Помилка синхронізації призводить до зміщення точки прийняття рішення від 128-го відліку.

Достатньо великій просвіт як по вертикалі, так і по горизонталі свідчить про наявність стійкості до зовнішніх завад і помилок синхронізації.

Оцінювалась помилка синхронізації, яка викликана відстанню суден що передає і приймає. Враховуючи швидкість розповсюдження радіохвиль 300 метрів/мкс, отримаємо помилку синхронізації для суден на відстані 30 км у розмірі 100 мкс. При періоді дискретизації $t_s = f_s^{-1} = 122$ мкс це складе трохи більше одного відліку на діаграмі ока рисунку 6.18, що зневажливе мало для впливу на зменшення стійкості даних ЦВЗ за рахунок відстані між суднами.

Експериментальні випробування апаратного прототипу проводились в реальному УКХ радіоканалі на відстані 5-ти км за схемою на рисунку 6.19.

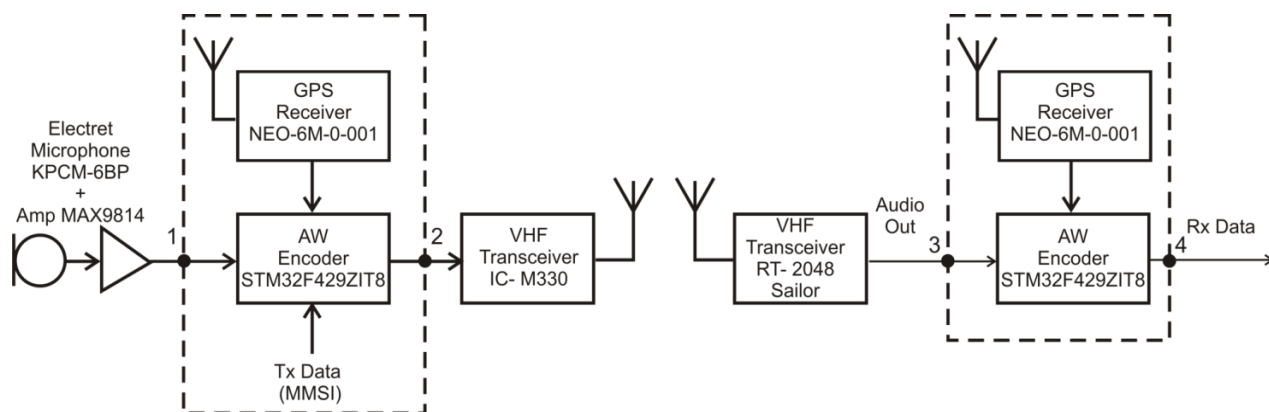


Рисунок 6.19 – Схема проведення тестувань системи передавання додаткової інформації в УКХ радіоканалі

На 77 каналі УКХ у складі тестових мовних повідомлень постійно передавалась випадкова комбінація з 30 біт, що відповідає довжині ІМРС. Поріг складав значення $\rho = 1$.

Дані ідентифікації на приймальному боці приймалися і виявлялися стійко без помилок.

6.10. Експериментальний зразок АПК інтегрованої системи

АПК на відмінність від попереднього комплексу УКХ/ЦВВ – ЕКНІС – АІС заснований на використанні окремого інформаційного дисплею замість ЕКНІС і використанням дистанційного управління радіомодулями у стандарті ІЕС 61162-1/2 (NMEA-0183). На рисунку 6.20 представлені схеми можливої реалізації інтерфейсу УКХ/ЦВВ – ЕКНІС (інформаційний дисплей) [56].

У першій версії інтегрованої системи COMEC використався специфічний (пропрієтарний) комунікаційний інтерфейс за рисунком 6.20 а). В наступному варіанті АПК з SMART інтерфейсом взаємодії використається стандартизований комунікаційний інтерфейс за стандартом ІЕС 61162-1/2 (NMEA-0183) [57].

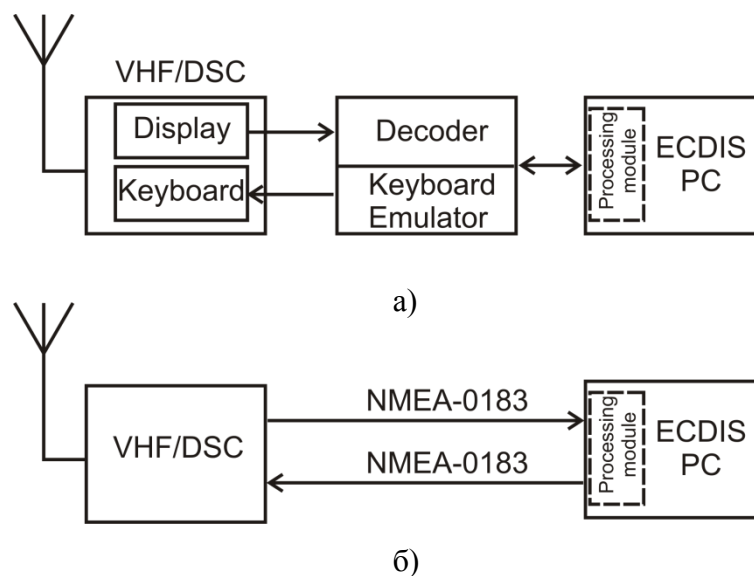


Рисунок 6.20 – Варіанти реалізації двостороннього інформаційного обміну УКХ ЦВВ – ЕКНІС (інформаційний дисплей): а) управління через передню панель; б) управління за стандартом NMEA-0183

Стандарт ІЕС 61162-1/2 не являється мережевим стандартом. Тому для об'єднання засобів навігації і зв'язку суднового містку вимагається велика кількість окремих з'єднань. Вдосконалений стандарт ІЕС 61162-450 (LWE) є вже мережевим і забезпечує сумісність зі стандартом ІЕС 61162-1/2 (рисунок 6.21).

У новій схемі по стандарту LWE кожен прилад підключається за допомогою «кручений парою» до спеціального комутатора (Switch, S), який управляє комутацією інформаційних пакетів. Для старих пристроїв стандарту ІЕС 61162-1/2 передбачається додаткове підключення LWE шлюзу. Основною командою для реалізації двосторонньої комунікації у системі

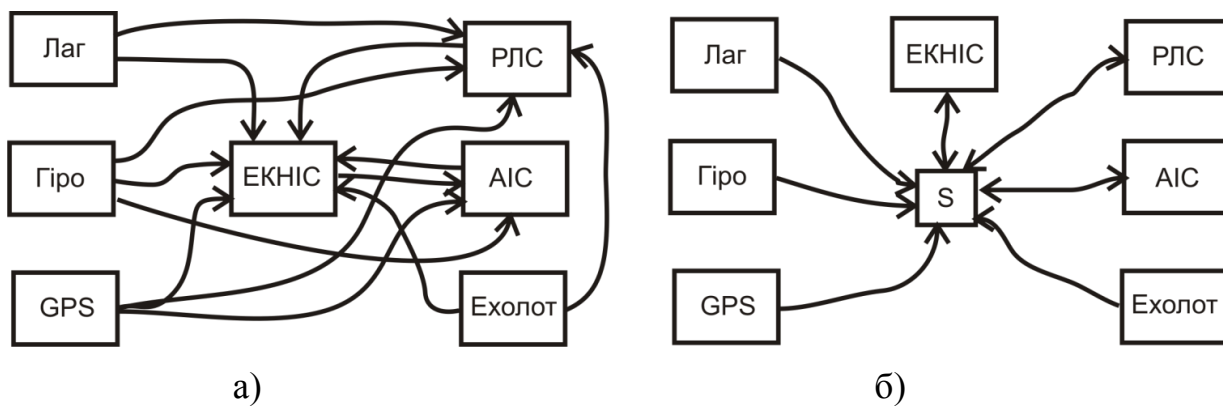


Рисунок 6.21 – Порівняльні схеми з'єднань пристроїв навігації:
а) за стандартом ІЕС 61162-1/2; б) за стандартом ІЕС 61162-450 (LWE)

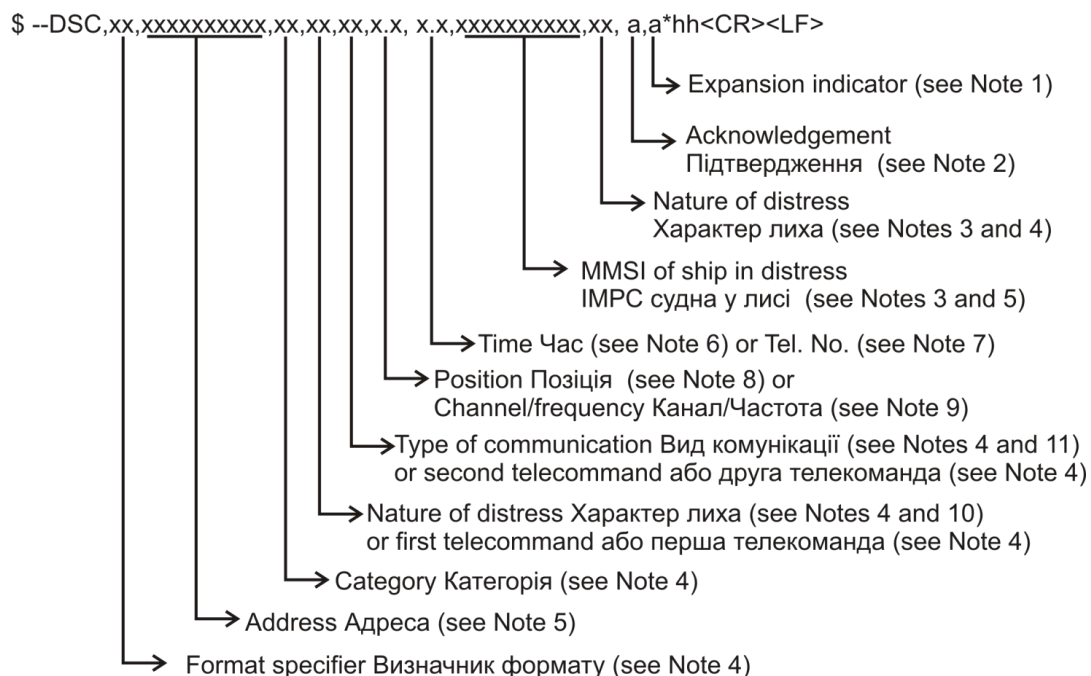


Рисунок 6.22 – Формат команди DSC

SMART є команда (або речення) DSC – Digital selective calling information (Інформація про ЦВВ), яка має формат як показано на рисунку 6.22.

У подальшому в зв'язку з перенавантаженням ЕКНІС іншими функціями для вирішення завдання управління радіозв'язком був обраний окремий інформаційний дисплей.

Для моніторингу/управління використалася команда стандарту IEC-61162 (NMEA-0183) DSC. Це речення використовується для прийому виклику або надання даних для радіотелефону за допомогою ЦВВ відповідно до Рекомендації МСЕ-R М.493.

На цьому етапі роботи були вирішені задачі, пов'язані з подальшою обробкою створених даних (\$ICDSC) з метою контролю можливості їх використання для двостороннього зв'язку в каналах ЦВВ. Для практичних

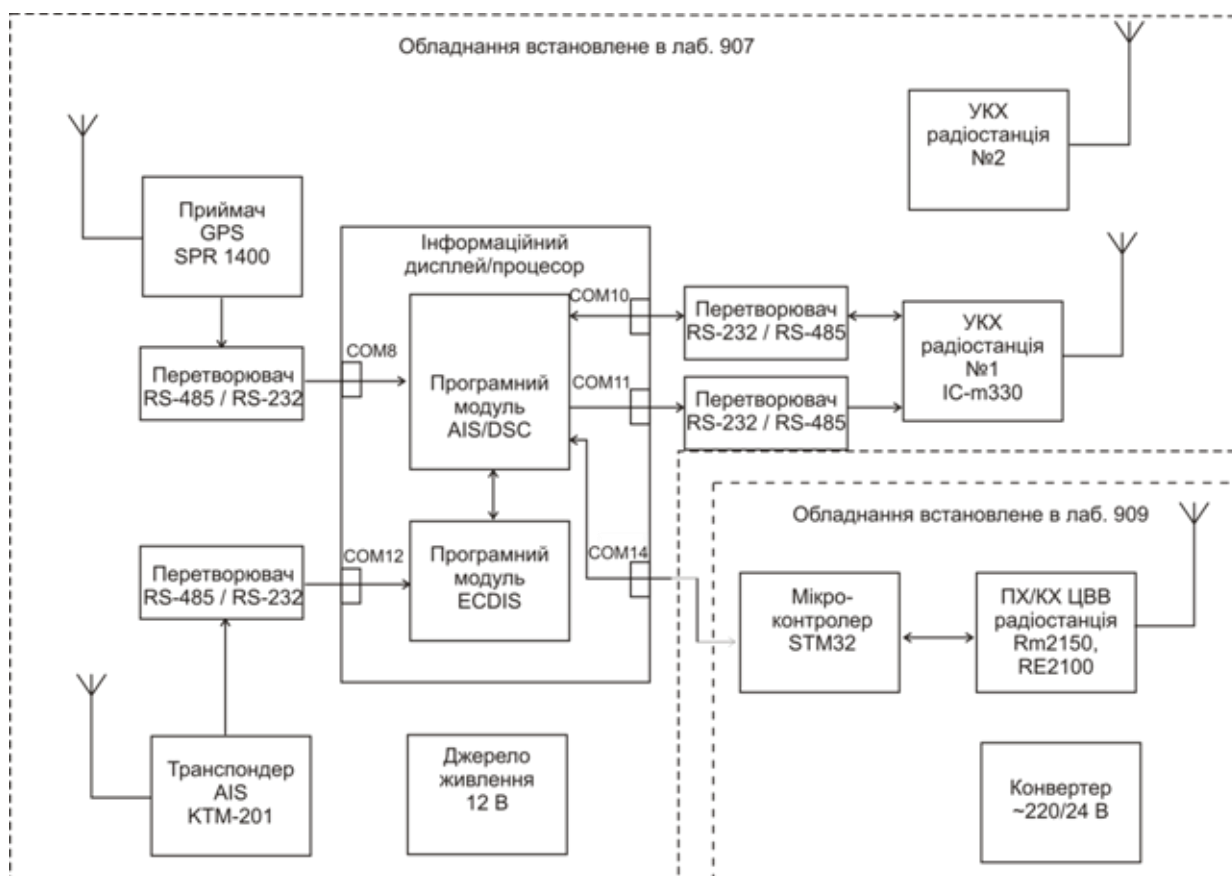


Рисунок 6.23 – Структурна схема АПК інтегрованої системи SMART

досліджень був розроблений експериментальний зразок АПК інтегрованої системи SMART (рисунок 6.23).

В роботі АПК задіяні дві УКХ радіостанції (ICOM M330 та RM2042 Sailor), приймач GPS (SPR 1400), ПХ/КХ радіоустаткування (RM2150, RE2100, підсилювач потужності), перетворювачі сигналів RS-485 - RS-232 та RS-232 - RS-485, інформаційний дисплей/процесор на базі стаціонарного ПК з програмними модулями OpenCPN 4.8.8 та AIS/DSC, універсальні пристрої живлення.

УКХ радіостанція №1 за допомогою конвертора підключена до програмного модуля AIS/DSC через послідовні порти COM10, COM11. На інший послідовний порт (COM8) для автоматичного вводу координат в повідомлення через перетворювачі сигналів RS-485 - RS-232 підключений приймач GPS. Транспондер АІС підключений до інформаційного дисплея/процесора через порт COM12, а ПХ/КХ радіостанція – через порт COM14.

Випробування АПК проводились за методикою натурних випробувань розробленою вимог згідно «ГОСТ 19.301-79 ЕСПД. Программа и методика испытаний. Требования к содержанию и оформлению (с Изменениями N 1, 2). Издание 2010» сумісно з казенним підприємством «Морська пошуково-рятувальна служба» м. Одеси з використанням АІС повідомлень, отриманих з реальних станцій АІС суден розташованих на рейді Одеського заливу.

Протокол випробувань, проведених сумісно з казенним підприємством «Морська пошуково-рятувальна служба», наведений у додатку Б.

Передача прямого (визивного) виклику

За допомогою кнопки Send (рисунки 6.24, 6.25) сформована послідовність обраної цілі у форматі \$ICDSC подається на вхід УКХ радіостанції №1. В модулі ЦВВ радіостанції ця інформація перетворюється в формат ЦВВ і після поданої оператором команди передається в ефір.

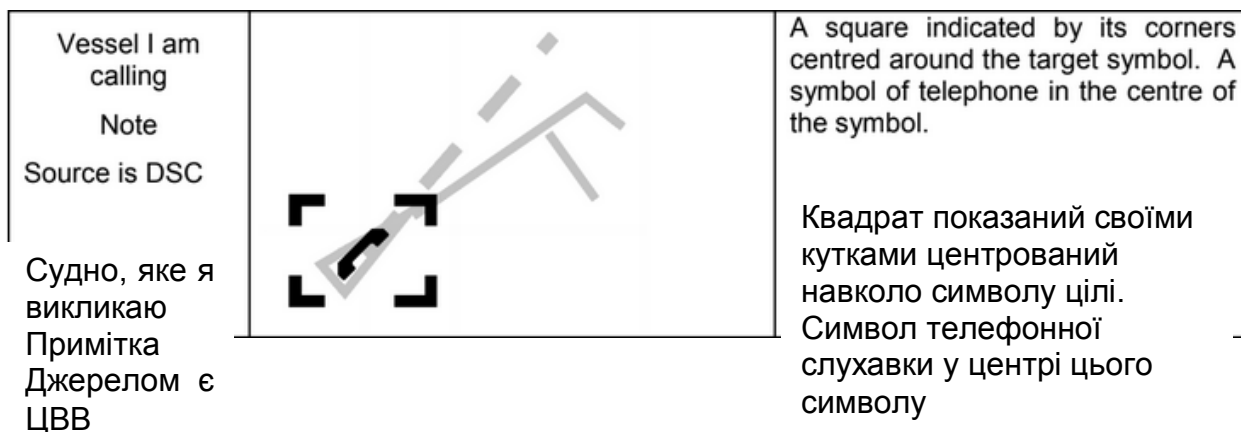


Рисунок 6.24 – Позначення судна що викликає за допомогою ЦВВ [76]

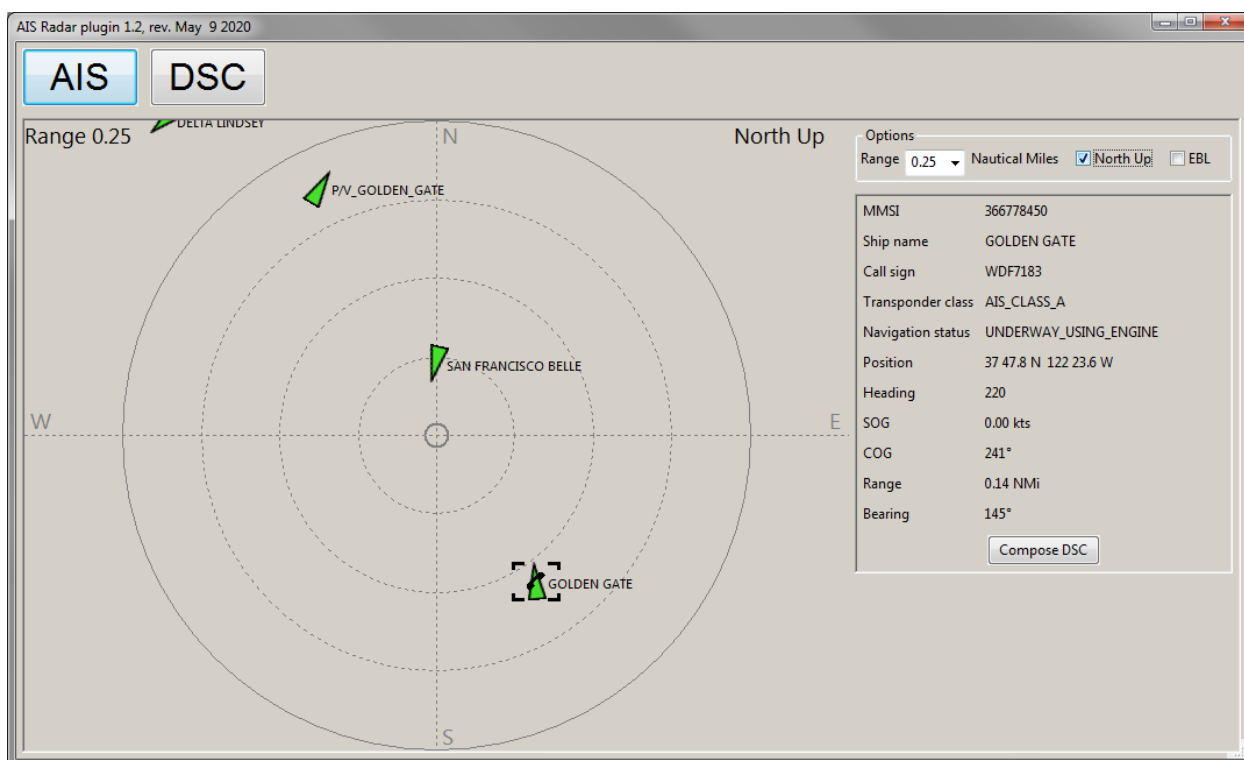


Рисунок 6.25 – Зображення обраної для передачі цілі у вікні графічного інтерфейсу SMART

УКХ радіостанція №2 використовується для прийому переданої інформації і її контролю (номер цілі, категорія, номер призначеного робочого каналу). З цієї радіостанції при необхідності можна передавати сигнали підтвердження прийому. Після прийому команди ЦВВ радіостанція №2 переходить на вказаний робочий телефонний канал. Радіостанція №1

виконує, таким чином, функцію трансівера, і дає можливість як передавати, так і приймати інформацію. Наявність в неї і в більшості морських УКХ пристроїв стандартних NMEA інтерфейсів дозволяє за допомогою конверторів спрягати їх із ПК з розробленим програмним забезпеченням з метою обміну інформацією за протоколами NMEA.

Прийом та індикація зворотного (підтвердження) виклику

Не менш важливою частиною розробленого інтерфейсу є можливість індикації і подальшої обробки виклику, який приймається від іншого судна. Для реалізації цієї опції в УКХ радіостанції №2 формувалася стандартний виклик ЦВВ на адресу УКХ радіостанції №1 з призначеним пріоритетом і робочим телефонним каналом. Сформований виклик передавався на УКХ каналі №70 (156,525 МГц). Після прийому виклику радіостанція №1 (IC-M330) автоматично переходить на вказаний робочий канал і генерує команду \$CDDSC з прийнятим ЦВВ викликом (рисунки 6.26, 6.27).

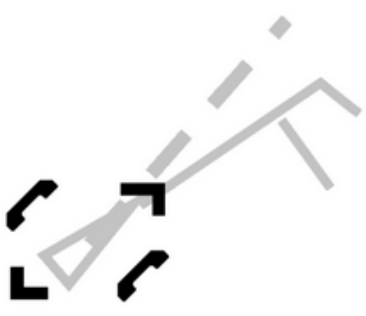
Vessel calling me Note Source is DSC		A square indicated by its corners centred around the target symbol. Upper left corner and lower right corner is formed from telephone symbol.
Судно, яке викликає мене Примітка Джерелом є ЦВВ		The symbol is flashing until user answer the call. Квадрат показаний своїми кутками центрований навколо символу цілі. Верхній лівий кут і нижній правий кут сформовані символом телефонної слухавки. Символ блимає до поки користувач не відповість на виклик

Рисунок 6.26 – Позначення судна що має бути викликане за допомогою ЦВВ [76]

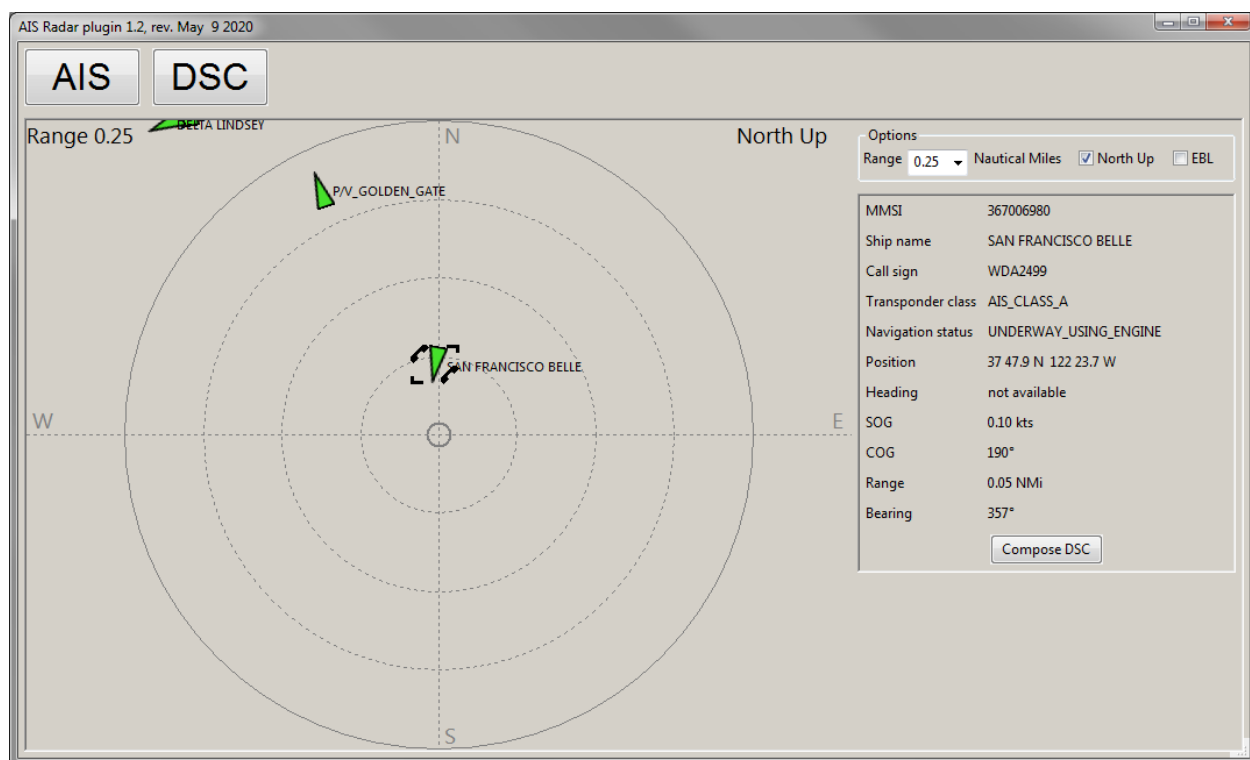


Рисунок 6.27 – Зображення цілі, з якої прийшов виклик, у вікні графічного інтерфейсу SMART

6.11. Графічний інтерфейс інформаційного дисплея/процесора

В процесі роботи вся інформація про передані та прийняті виклики накопичується в базі даних. Частина бази доступна в інформаційному полі графічного інтерфейсу.

Оперативність роботи з розробленим інтерфейсом визначається в першу чергу його універсальністю з точки зору відображення інформації про цілі, обрані для сеансу зв'язку. Графічний інтерфейс AIS/DSC в режимі AIS дозволяє відображати відмітки цілей відносно «свого судна» у різних масштабах з урахуванням орієнтації на північ. Обрана для передачі ціль фіксується за допомогою електронного маркера. В правій частині графічного вікна відображається формуляр цілі, який містить перелік даних судна, а поруч з відміткою цілі з'являється стандартний символ «Vessel I am calling», форма якого відповідає вимогам документу (NCSR4/8, 2 December 2016) [76]:

Обрана ціль – судно Golden Gate, MMSI 336778450, знаходиться на відстані 0,14 nm від судна, яке викликає, пеленг – 1450, координати: 37047' N, 122023'W.

У випадку прийому виклику з іншого судна навколо відмітки цілі для загострення уваги символ виклику блимає з інтервалом 1 с, доки не буде зроблена відповідь. Повний протокол взаємодії суден з відповідним маркуванням AIS-цілей наведений на рисунку 6.28.

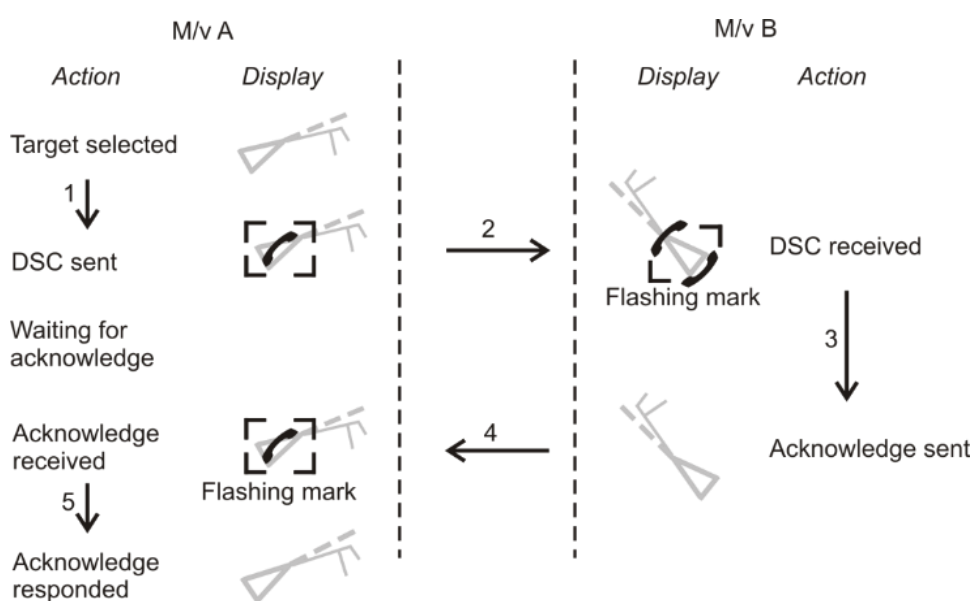


Рисунок 6.28 – Маркування суден на інформаційному дисплеї

У випадках великого скупчення цілей, або при роботі на великому масштабі дуже важко розпізнати ціль, з якої надійшов виклик. Для полегшення селекції цілі без зміни масштабу передбачене формування додаткової індикації цілі, що викликає, у вигляді списку під курсором (рисунок 6.29).

Під час роботи у вікні графічного інтерфейсу AIS/DSC в режимі AIS для підвищення оперативності виклику судна існує можливість формування команди \$ICDSC(DSC OUT) за допомогою однієї маніпуляції. Це стосується лише для індивідуальних викликів з пріоритетом Routine. У цьому випадку

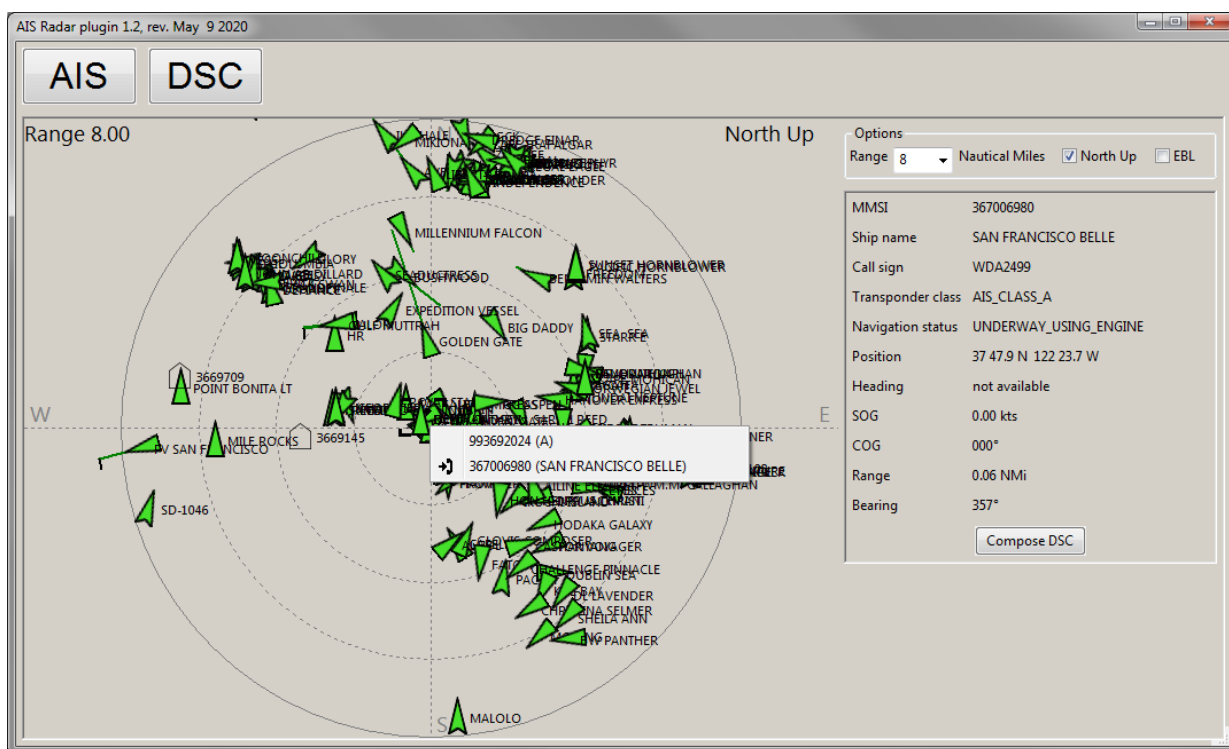


Рисунок 6.29 – Зображення додаткової інформації цілі, з якої прийшов виклик, у вікні графічного інтерфейсу AIS/DSC в режимі AIS

формування послідовності ЦВВ на передачу буде відбуватися за фіксованим алгоритмом, тобто формат виклику буде завжди той самий і можливість його коректування виключається. Структура формату буде співпадати з структурою виклику, який був переданий останній відносно виклику, що формується. Так, якщо, наприклад, останній виклик був переданий на судно з MMSI 993692028, Category – Routine, Work Channel – 77, Telecommand1 G3E SIMP Tel, то структура виклику на адресу обраного судна Golden Gate буде незмінною (Category – Routine, Work Channel – 77, Telecommand1 G3E SIMP Tel) за винятком MMSI – 366778460.

Для формування викликів з іншими пріоритетами (Safety, Urgency, Distress) необхідно користуватись розглянутим гнучким алгоритмом, що припускає можливість зміни параметрів виклику.

Загальний вид випробувального стенду АПК показаний на рисунку 6.30.



Рисунок 6.30 – Загальний вид випробувального стенду АПК

Висновки по розділу 6.

1. Розроблений апаратно-програмний комплекс інтегрованої системи УКХ/ЦВВ - ЕКНІС/АІС за назвою COMEC дозволив довести технічну здійсненність графічного інтерфейсу управління радіозв'язком на основі інтегрування судових систем навігації та радіозв'язку і спільної обробки даних ЦВВ і АІС. Певними недоліками системи COMEC є відсутність стандартизованого комунікаційного інтерфейсу і обмеження у використанні дисплея ЕКНІС для реалізації додаткової функції з управління радіозв'язком.

2. Через перевантаженість ЕКНІС вже існуючими функціями реалізація графічного інтерфейсу перенесена в окремий інформаційний дисплей у складі інтегрованої навігаційної системи. Нова версія АПК за назвою SMART використає стандартизований комунікаційний інтерфейс за стандартом серії IEC 61162. Проведені натурні випробування SMART

системи в реальних радіоканалах АІС і ЦВВ довели можливість отримання очікуваних техніко-експлуатаційних характеристик з моніторингу/управління радіозв'язком за допомогою графічного інтерфейсу.

3. Розроблені алгоритми вбудовування даних ЦВЗ в радіотелефонні сигнали довели свою спроможність для використання в системі автоматичної ідентифікації УКХ радіоповідомлень шляхом комп'ютерного моделювання з урахуванням всього комплексу завад і натурних випробувань в реальному радіоканалі в off-line режимі обробки сигналів в середовищі математичного пакету Матлаб. Апаратна реалізація алгоритмів обробки в реальному часі потребує використання високопродуктивних сигнальних процесорів.

4. Використання сигналів точного часу від навігаційної системи позиціонування GPS дозволило значно знизити вимоги до продуктивності процесора сигналів за рахунок зовнішньої синхронізації пакетів ЦВЗ в передавачі і приймачі. Натурні випробування в реальному радіоканалі системи АІ на основі мікроконтролера серії STM32 і модуля синхронізації підтвердили адекватність розробленої моделі УКХ радіоканалу і довели на практиці можливість безпомилкового передавання цифрових даних зі швидкістю 32 біт/с без будь-якого відчуття артефактів в штатному радіотелефонному каналі. Цієї швидкості достатньо для передавання даних суднового MMSI довжиною 30 біт щосекундне впродовж всього мовного повідомлення.

5. Проведені експерименти підтвердили правильність теоретичних положень і адекватність розроблених моделей, доцільність і плідність вибору стратегічного підходу з інтегрування незалежних систем і технологій для отримання нових техніко-експлуатаційних якостей морських засобів радіозв'язку і навігації в рамках штатного складу суднового обладнання.

Матеріали шостого розділу опубліковані в роботах [52 – 58, 65, 120 – 123, 178– 182, 222, 226] списку публікацій за темою дисертації.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено важливу проблему вдосконалення сучасних систем зв'язку і навігації морських суден за рахунок їх інтегрування і спільної обробки даних, залишаючись при цьому в рамках базового складу суднового обладнання. Відмінностями досліджень є те, що вони спираються на застосуванні штатного конвенційного обладнання і забезпечують повну сумісність з існуючим обладнанням.

Сучасні суднові системи навігації і радіозв'язку розроблялись і впроваджувались незалежно одна від іншої. Тому інтегрування систем дозволило отримати нові якості, які не притаманні жодної з складових систем.

Основні результати теоретичних і експериментальних досліджень полягають у наступному:

1. Розроблена концепція управління радіозв'язком, яка ґрунтується на інтегруванні комунікаційного і навігаційного обладнання, використання графічного інтерфейсу з використанням інформаційного дисплею і спільної обробки даних АІС та ЦВВ в інформаційному дисплеї і ідентифікації радіотелефонних передач. Це дозволяє отримати синергетичний ефект і досягти мети поліпшення навігаційного спостереження і створення ефективного інтерфейсу (SMART інтерфейс) для моніторингу і управління модулями апаратури радіозв'язку за рахунок спільної обробки даних від незалежних суднових засобів навігації і зв'язку.

2. Розроблена практична методологія інтегрування систем радіозв'язку і навігації, що забезпечує сумісність з діючою судновою апаратурою і відповідає вимогам до штатного обладнання суден. Запропонований графічний інтерфейс людина-машина відображає цільну інформацію з навігаційної обстановки з урахуванням радіозв'язку і придатний для

безпосереднього прийняття вахтовим офіцером рішень з управління судном. Для моніторингу/управління радіозв'язком спочатку обраний дисплей ЕКНІС, якій у подальшому був замінений на окремий інформаційний дисплей, виходячи з перевантаження ЕКНІС іншими функціями суто навігаційного призначення.

3. Доведено, що реалізація дистанційного моніторингу/управління радіомодулями зв'язку дозволяє створити стандартизований інтерфейс людина-машина, вільний від різноманіття кнопкових приборних інтерфейсів радіобладнання чисельних виробників. Практично цей інтерфейс може бути реалізований на інформаційному дисплеї ІНС в рамках додаткового модуля F, який планується включити до складу ІНС.

4. Розроблений спосіб АІ радіотелефонних передач на основі використання технології ЦВЗ в умовах збереження існуючого конвенційного обладнання морського УКХ радіозв'язку. Доведені переваги розробленого методу АІ для своєчасної ідентифікації станції, що передає в порівнянні з існуючою системою АТІС, яка використовується на внутрішніх водах континентальної Європи. Розроблений спосіб АІ дозволяє підвищити навігаційну безпеку (safety) і кібербезпеку (security), зокрема:

- вчасно виявляти анонімні радіотелефонні передавання без використання засобів радіопеленгування, що вкрай важливо для захисту каналів (частот) лиха та безпеки;
- ідентифікувати навмисно несправжні (фейкові) радіоповідомлення від іншої станції з будь-яких міркувань;
- виявляти випадкові або навмисні западання тангенти слухавки (так званий “keying phenomenon or effect”), що може привести к блокуванню УКХ каналів берегових станцій управління рухом суден;
- здійснювати приховану передачу конфіденційних даних у разі терористичних загроз.

5. Розроблені алгоритми формування і виявлення ЦВЗ, які придатні для практичного використання в реальних радіоканалах за умови врахування впливу усіх можливих перешкод (атак), найбільш руйнівними з яких для даних ЦВЗ є коливання амплітуди сигналу, МСІ, помилки часової синхронізації. Встановлено, що найбільш ефективними алгоритмами вбудовування ЦВЗ є такі, що побудовані за умови знання звукового сигналу, тобто використання поінформованого кодеру. При цьому затримка сигналу на передачу дорівнює приблизно 64 мс, швидкість передавання даних ЦВЗ 32 біт/с при загальній слухової нечутливості вбудованих даних.

6. Доведено, що вбудовування даних ЦВЗ для забезпечення їх стійкості до зовнішніх завад необхідно здійснювати в частотній області ДПФ сигналу-носія. Рекомендовано застосування розмірності ДПФ 256 відліків при частоті дискретизації 8 кГц.

7. Для підвищення надійності АІ та виявлення вбудованих даних ЦВЗ запропоновано здійснювати синхронізацію ЦВЗ шляхом використання сигналів точного часу приймача ГНСС (GPS). Використання сучасної інформаційної технології ЦВЗ і навігаційної системи GPS для реалізації нової функції АІ в радіотелефонному зв'язку ще раз підтверджує доцільність інтегрування технологій і систем для вирішення проблеми.

8. Запропоновано здійснювати інформаційний обмін в інтегрованій системі навігації і радіозв'язку за міжнародними стандартами серії IEC 61162.

9. Розроблені:

- експериментальний випробувальний АПК (стенд) інтегрованої системи у складі засобів радіозв'язку УКХ/ПХ/КХ з ЦВВ і навігації у складі АІС, приймача ГНСС (GPS), електронної картографії;
- експериментальна система АІ УКХ радіотелефонного повідомлення, яка реалізована на мікроконтролері STM32 Discovery і GPS модулі NEO-6M-0-

001 із застосуванням штатних суднових трансиверів IC-M330 і Sailor RT-2048.

Проведені натурні випробування і дослідження експериментальних прототипів в реальних радіоканалах ЦВВ, АІС і радіотелефонії морської рухомої служби, які довели справедливість розроблених теоретичних положень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Alexander L., Lee S., Baranovski A., Porathe T. Harmonized Portrayal of e-Navigation-related Information. *TransNav - International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2013. 7, No 1. pp. 39 – 43.
2. Alexander Lee, E-Navigation: Challenges and Opportunities. U.S. Hydrographic Conference. 450. 2009. URL: <http://scholars.unh.edu/ccom/450>
3. Andrianov M. AIS and ECDIS: a perfect marriage? *Maritime IT and Electronics*. 2003. No 10, pp. 10 – 12.
4. Balduzzi M., Pasta A., Wilhoit K. A Security Evaluation of AIS Automated Identification System. *Proceedings of the 30th Annual Computer Security Applications Conference ACSAC'14*, New Orleans, Louisiana, USA. December 08 - 12, 2014, pp. 436 – 445.
5. Begmann M. Integrated Data as backbone of e-Navigation. *TransNav - International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, vol. 9, No 3, September 2013, pp. 371 – 374.
6. Bekkadal F. Novel maritime communications technologies. *Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. A. Weinrit (ed.). London: Taylor & Francis Group, 2009. pp. 307 – 312. ISBN 978-0-415-80479-0.
7. Bender W., Gruhl D., Morimoto N., Lu A. Techniques for data hiding. *I.B.M. Systems Journal*. 1996. No 3. pp. 313 – 336.
8. Bistrowić M. Prediction of potential fire hot spots by using a model based on a computerized real-time view with IR cameras on ships. *Journals of the Maritime University of Szczecin*. 2017. No 50(122). pp. 23 – 29.
9. Bistrowić M., Komorcec D. Impact of E-Navigation on ECDIS Development as a Decision Support System. *Our Sea – International Journal of Maritime Science & Technology*. 2015. No 1. pp. 30 – 38.
10. Brzoska S. Advantages of Preservation of Obligatory Voice Communication on the VHF Radio Channel 16. *TransNav - International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2010. 4, No. 2, pp. 137 – 141.
11. Cai, L.B., Tu, R.H., Zhao, J.Y., et al. Speech quality evaluation: a new application of digital watermarking. *IEEE Trans. Instrum. Meas.* 2007. No 56(1). pp. 45 – 55. URL: <http://dx.doi.org/10.1109/TIM.2006.887773>

12. Castanedo Federico. A Review of Data Fusion Techniques. Hindawi Publishing Corporation. The Scientific World Journal. 2013. Article ID 704504, 19 p. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/704504>
13. Chang Liu, Bin Lin, Xiao-Ming Liu, Ji-Dong Suo, and Ren-Jie Liu. Fuzzy Correlation Algorithm for Multi-Target Fusion of Automatic Identification System and Radar. Journal of Computational and Theoretical Nanoscience. 2013. Vol. 10. pp. 2826 – 2830.
14. Chang Liu, Ming-zhi Cao, Han Feng, Shi Gui-ming and Liu Ren-jie. A Model for Fuzzy Data Correlation of AIS and Radar. International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems. 2012. Vol. 5, No. 4. pp. 843 – 858.
15. Chen B., Wornell G.W. Quantization index modulation: a class of provably good methods for digital watermarking and information embedding. IEEE Transactions on Information Theory. 2001. Vol. 47, No. 4, pp. 1423 – 1443.
16. Chen S., Leung H., Ding H. Telephony speech enhancement by data hiding. IEEE Trans. Instrum. Meas. 2007. Vol. 56, No 1. pp. 63 – 74.
17. Christensen, M.J., Rodseth, O.J.: Lightweight Ethernet a new standard for shipboard networks. Digital Ships. pp. 31 – 32 (2010).
18. COMSAR 14/7. IMO Sub-Committee on Radiocommunications and Search and Rescue. Proposal for simplification of VHF DSC radiocommunication and increasing DSC efficiency Submitted by Ukraine. 27 October 2009.
19. COMSAR 14/7/5. IMO Sub-Committee on Radiocommunications and Search and Rescue. Proposals to Amend the Performance Standards for Shipborne VHF Radiotelephone Facilities. Submitted by the Republic of Korea. 31 December 2009.
20. COMSAR 15/INF.3. IMO Sub-Committee on Radiocommunications and Search and Rescue. Scoping exercise to establish the need for a review the elements and procedures of the GMDSS. Shipboard User Needs. Submitted by the Nautical Institute. (2010).
21. COMSAR 16/7. IMO Sub-Committee on Radiocommunications and Search and Rescue. Automatic Transmission of the Identification of the Radiotelephone Station, 15 December 2011.
22. COMSAR 8/4/1. IMO Sub-committee on Radiocommunications and Search and Rescue Simplification of DSC equipment and procedures. Submitted by Finland, 27 November 2003.
23. Costa M.H. Writing on dirty paper. IEEE Transactions on Information Theory. 1983. Vol. IT-29, pp. 439 – 441.

24. Cox I.J. Miller M.L., Bloom J.A., Fridrich J., Kalker T. Digital watermarking and steganography. Second Edition. Morgan Kaufmann Publishers, USA. 2008. 594 p.
25. Dhar P.K., Shimamura T. Advances in Audio Watermarking Based on Singular Value Decomposition. Springer. 2015. 58 p.
26. Durrant-Whyte H. F. Sensor models and multisensor integration. International Journal of Robotics Research. 1988. Vol. 7, no. 6, pp. 97 – 113.
27. ETSI EN 300 338-1: European Telecommunications Standard. Technical characteristics and methods of measurement for equipment for generation, transmission and reception of Digital Selective Calling (DSC) in the maritime MF, MF/HF and/or VHF mobile service; Part 1: Common requirements. (2020).
28. ETSI EN 300698. European Telecommunications Standard. Radio telephone transmitters and receivers for the maritime mobile service operating in the VHF bands used on inland waterways. (2016).
29. Fantacci R., Menci S., Micciullo L., Pieruc L. A secure radio communication system based on an efficient speech watermarking approach. Security and Communication Networks, Vol. 2, Issue 4, July/August 2009. pp. 305 – 314.
30. Filipowicz W. Intelligent VTS. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. 2007. Vol. 1, No. 2, pp. 153 – 159.
31. Fjørtoft K.E., Kvamstad B., & Bekkadal F. Maritime Communication to Support Safe Navigation. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. 2009. Vol. 3, No. 1, pp. 87 – 92.
32. Frerichs W. Vision 2002: Integrated Bridge Systems – looking ahead. European Journal of Navigation. 2003. Vol. 1, No 1.
33. Gel'fand S. I., Pinsker M. S. Coding for channel with random parameters. Problems of Control and Information Theory. 1980. Vol. 9, No 1, pp. 19 – 31.
34. Giacomini J. What is Human Centred Design? An International Journal for All Aspects of Design. 2014. Vol. 17, No 4, pp. 606 – 623.
35. Hafiz Malik. Blind Watermark Estimation Attack for Spread Spectrum Watermarking. Informatica. 2009. Vol. 33, No 1. pp. 49 – 68.
36. Hagen J.E. Implementing e-Navigation. Artech House, 2017, 203 p.
37. Hering H., Hagmuller M., Kropfl A., Kubin G. Speech watermarking for air traffic control. Proceedings of the XII European Signal Processing Conference (EUSIPCO), 2004. pp. 1653 – 1656.
38. Hofbauer K., Hering H., and Kubin G. Speech Watermarking for the VHF Radio Channel. Proceedings of the 4th Eurocontrol Conference. 2005.

39. Hofbauer K., Kubin G. High-Rate Data Embedding in Unvoiced Speech. Proceedings of the 6th Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference. 2006.
40. Hofbauer K., Kubin G., and Kleijn W. B. Speech Watermarking for Analog Flat-Fading Bandpass Channels, IEEE Trans on Audio, Speech, and Language Processing. 2008. Vol. 17, No 8, pp 1624 – 1637.
41. Hua-Zhi Hsu. The AIS Operation for Effective Bridge Lookout. PhD thesis submitted to the University of Plymouth, 2008, 260 p
42. IEC 61097-3: International standard. Global maritime distress and safety system (GMDSS) – Part 3: Digital selective calling (DSC) equipment – Operational and performance requirements, methods of testing and required testing results. Edition 2.0. (2017).
43. IEC 61162. Edition 4.0: International standard. Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems – Digital interfaces – Part 1: Single talker and multiple listeners. (2010).
44. IEC 61162-450. Edition 1.0: International standard. Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems – Digital interfaces – Part 450: Multiple talkers and multiple listeners – Ethernet interconnection. (2011).
45. IEC 61924-2 (2012). International standard. Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems - Integrated navigation systems - Part 2: Modular structure for INS - Operational and performance requirements, methods of testing and required test results. 154 p.
46. IEC 62940: 2016: Maritime navigation and radiocommunication equipment and systems - Integrated communication system (ICS) - Operational and performance requirements, methods of testing and required test results. (2016).
47. Kim J.-S, Jeong J. S., and Park G.-K. Prediction Table for Marine Traffic for Vessel Traffic Service Based on Cognitive Work Analysis. International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems Vol. 13, No. 4, December 2013, pp. 315 – 323.
48. Klein L.A. Sensor and Data Fusion. A tool for Information Assessment and Decision Making. Second Ed., Spie Press, Washington, USA. 2012. 475 p.
49. Kondo, K. Subjective Quality Measurement of Speech. Its Evaluation, Estimation and Applications. Springer. 2012. 153 p.
50. Korcz K. Some Aspects of the Modernization Plan for the GMDSS. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. 2017, vol. 11, No. 1. pp. 167 – 174.

51. Korcz K. Some Radiocommunication Aspects of e-Navigation. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2009, vol. 3, No. 1. pp. 93 – 97.

52. Koshevyy V.M., Shishkin A.V. Enhancement of VHF Radiotelephony in the Frame of Integrated VHF/DSC - ECDIS/AIS System. *Navigational Problems. Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. Weintrit A. (ed.). A Balkema Book, CRC Press, Taylor & Francis Group. London. 2013. ISBN: 978-1-138-00107-7. pp. 299 – 303.

53. Koshevyy V.M., Shishkin A.V. Novel Function of ECDIS for SMART VHF Communication // *Науковий вісник Херсонської державної морської академії* № 1 (10), 2014. С. 22 – 29.

54. Koshevyy V., Shishkin A. DSC operation could be more intuitive // *Maritime Information Technologies and Electronics*. 2013. February/March, pp. 22 – 23.

55. Koshevyy V., Shyshkin O. ECDIS Modernization for Enhancing Addressed VHF Communication. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2015. Vol. 9, No. 3. pp. 327 – 331.

56. Koshevyy V., Shyshkin O. Standardization of Interface for VHF, MF/HF Communication Using DSC within Its Integration with INS in the Framework of e-Navigation Concept. *TransNav – International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2019, vol. 13, No. 3, pp. 593 – 596.

57. Koshevyy V.M., Konovets V.I., Shyshkin O.V. SMART Digital Selective Calling User Interface on the Base of Integration Maritime Navigation and Radiocommunication Equipment. // *TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, Vol. 15, No. 2 – June 2021, pp. 291 – 297.

58. Koshevyy V.M., Shyshkin O. VHF/DSC - ECDIS/AIS Communication on the Base of Lightweight Ethernet // *Proceedings of the International Conference on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation (TransNav 2017)*, Gdynia, Poland, 21 – 23 June 2017, Editor Adam Weintrit // CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton – London - New York – Leiden, 2017, ISBN: 978-1-138-29762-3 pp. 385 – 390.

59. Koshevyy V.M., Shyshkin O.V., Lisaj A. A method of Automatic Transmitter Identification for Inland VHF Communication // *Автоматизация судовых технических средств: Науч.-технический сб.* – 2015. вып. 21 – Одесса: ОНМА, С. 92 – 99.

60. Koshevyy V.M., Shyshkin O.V., Lisaj A. ECDIS – VHF Integration in River Information Services. // Автоматизация судовых технических средств. 2015. - Вып. 21. С. 82 – 91.
61. Kuznetsov A.V., Tsybakov B.S. Coding in a Memory with Random Parameters. Probl. Inform. Transmission. 1974. Vol. 10. pp. 132 – 138.
62. Laplante P. A., Ovaska S. J. Real-Time Systems Design and Analysis: Tools for the Practitioner. John Wiley & Sons. 2011. 560 p.
63. Lázaro F., et all. VHF Data Exchange System (VDES): an enabling technology for maritime communications. CEAS Space Journal 5 July 2018, pp. 1 – 9.
64. Malvar H.S., Florencio D.A. Improved Spread Spectrum: A New Modulation Technique for Robust Watermarking. IEEE Transactions on Signal Processing. 2003. Vol. 51, No 4. pp. 898 – 905.
65. Miyusov M.V., Koshevoy V.M., Shishkin A.V. Increasing Maritime Safety: Integration of the Digital Selective Calling VHF Marine Radiocommunication System and ECDIS. // TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. 2011. Vol. 5, No 2. pp. 159 – 161.
66. Mohammad A., Chalee V., Hamurabi G.R. Digital Watermarking. Techniques and Trends. Springer. 2017. 203 p.
67. MSC 94/18/2. Proposal for an unplanned output dedicated to modernization of ECDIS for VHF communication Submitted by Ukraine. IMO Maritime Safety Committee, 26 July 2014.
68. MSC.1/Circ. 1593. IMO Maritime Safety Committee: Interim Guidelines for the harmonized Display of Navigation Information Received via Communication Equipment. 25 May 2018.
69. MSC.1/Circ. 1595. IMO Maritime Safety Committee: E-Navigation Strategy Implementation Plan – Update 1. (2018).
70. Multisensor Data Fusion. From Algorithms and Architectural Design to Applications. Series Editor K. Iniewski. Taylor & Francis Group, LLC. 2016. 639 p.
71. Nautical Institute. S-Mode for onboard navigation displays. Seaways. 2008, July. pp. 25 – 26.
72. NAV 59/12/2. IMO Sub-Committee on Navigation. Proposal for modernization of ECDIS for VHF radiocommunication Submitted by Ukraine. 27 June 2013.
73. NCSR 1/Inf.14. IMO Sub-Committee on Navigation, Communication and Search and Rescue, Review and Modernization of the Global Maritime Distress

and Safety System (GMDSS). International Maritime Organization, London, 25 April 2014.

74. NCSR 3/INF.15. ECDIS-AIS linking with VHF DSC for simplification of addressed VHF radio communication and increasing DSC efficiency. Submitted by Ukraine. IMO Sub-Committee on Navigation, Communication and Search and Rescue, 25 December 2015.

75. NCSR 3/INF.20. IMO Sub-Committee on Navigation, Communications and Search and Rescue. Investigation on improper occupation of marine VHF CH16 based on seafarers' feedback. London, 25 December 2015.

76. NCSR 4/8/2. IMO Sub-Committee on Navigation, Communication and Search and Rescue. Guidelines for the Harmonized Display of Navigation Information Received via Communications Equipment. Submitted by Norway and IHO. London, 2 December 2016.

77. NCSR 5/6/1. IMO Sub-Committee on Navigation, Communication and Search and Rescue. Integration and presentation of available navigation-related information exchange via communication equipment by integrating VHF/MF/HF DSC into INS. Submitted by Ukraine. (2017).

78. NCSR 6/11/1. IMO Sub-Committee on Navigation, Communication and Search and Rescue. Revision of SOLAS Chapters III and IV for Modernization of the GMDSS, Including Related and Consequential Amendments to Other Existing Instruments. Submitted by Germany. IMO, London, 16 October 2018.

79. Neumann T. Multisensor Data Fusion in the Decision Process on the Bridge of the Vessel. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2008. Vol. 2, No. 1. pp. 85 – 89.

80. Neumann T., Weintrit A. Expert systems based on Dempster–Shafer theory of evidence in maritime – characteristic and applications. *Scientific Journals Maritime University of Szczecin*. 2012. Vol. 32(104). pp. 141 – 147.

81. NMEA 0183. Standard for Interfacing Marine Electronic Devices. Version 3.01. 2002. 88 p. URL: <http://http://www.plaisance-pratique.com/IMG/pdf/NMEA0183-2.pdf>

82. Norris A. S-Mode into the future. *The Navigator*. 2017, February. p. 10.

83. Ogunfunmi T., Narasimba M. *Principles of Speech Coding*. CRC Press. 2010. 357 p.

84. OpenCPN: Official Site of OpenCPN Chart Plotter Navigation software, <https://opencpn.org/>, last accessed 2021/04/10.

85. Ourique F., Licks V., Jordan R., Perez-Gonzalez F. Angle QIM: A novel watermark embedding scheme robust against amplitude scaling distortions.

Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, ICASSP. 2005. Vol. 2, pp. 797 – 800.

86. Park G. K., Kim Y.-K. On a Data Fusion Model of the Navigation and Communication Systems of a Ship. *International Recent Issues about ECDIS, e-Navigation and Safety at Sea*. Weintrit (ed.). 2011. Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-203-15742-8. pp. 113 – 117.

87. Patent No. : DE 212014000248 U1 (Germany). Elektronisches kartografisches Navigations- und Informationssystem. Koshevyy V., Shishkin O. Date of Patent : 09.10.2014. URL: <https://patents.google.com/patent/DE212014000248U1/en>

88. Patent No.: DE 11 2007 003 617 T5 (Germany). Integriertes System eines digitalen Selektivrufs und einer elektronischen nautischen Seekartographie. Shishkin O., Koshevyy V., Zaichko V. Date of Patent: 03.12.2007. URL: <https://patents.google.com/patent/DE202007019327U1/en>

89. Patent USA 7809370 B2, H04W 4/00. 05.10.2010. Space based monitoring of global maritime shipping using automatic identification system.

90. Patent USA 8180507 B2, Int. Cl. (2006.01) B60L 3/00, 15/00). 15.05.2012. Manoeuvre and safety system for a vehicle or an installation.

91. Patraiko D. Introducing the e-navigation revolution. *Seaways, the International Journal of the Nautical Institute*. 2007. pp. 5 – 9.

92. Patraiko D. The Development of e-Navigation. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2007. Vol. 1, No. 3. pp. 257 – 260.

93. Patraiko D. What is S-Mode and why does it matter? *The Navigator*. 2017, February. pp. 4 – 5.

94. Patraiko D., Wake P., Weintrit A. E-Navigation and the Human Element. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2010. Vol. 4, No. 1. pp. 11 – 16.

95. Piotrowski Z. Drift Correction Modulation Scheme for Digital Audio Watermarking. *Multimedia Information Networking and Security (MINES), International Conference*. 2010.

96. Piotrowski Z., Gajewski P. Fidelity Estimation of Watermarked Audio Signals According to the ITU-R BS.1116-1 Standard *ACTA PHYSICA POLONICA. Acoustic and Biomedical Engineering*. 2012. Vol. 121, pp. A82 – A85.

97. Piotrowski Z., Gajewski P. Voice spoofing as an impersonation attack and the way of protection. *Journal of Information Assurance and Security*. 2007. No 2. pp. 223 – 225.

98. Piotrowski Z., Nowosielski L., Zagozdziński L., and Gajewski P. Electromagnetic Compatibility of the Military Handset with Hidden Authorization Function Based on MIL-STD-461D Results. 2008. PIERS Online. Vol. 4, No. 5, pp. 566 – 570. URL: <http://piers.org/piersonline/piers.php?volume=4&number=5&page=566>
99. Pohl C., van Genderen J. L. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications. *Int. J. Remote sensing*. 1998. Vol. 19, No. 5. pp. 823 – 854.
100. Porathe T., et al.: Supporting Situation Awareness on the bridge: testing route exchange in a practical e-Navigation study, in: A. Weintrit, & T. Neumann (Eds.) *Information, Communication and Environment: Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. CRC Press, Boca Raton - London, 2015, pp. 85 – 92.
101. Porathe T., Lutzhoft M., Praetorius G. Communicating intended routes in ECDIS: Evaluating technological change. *Accident Analysis and Prevention*. 2013. Vol. 60. pp. 366 – 370.
102. Porathe T., Prison, Man Y. Situation awareness in remote control centres for unmanned ships. *Proceedings of Human Factors in Ship Design & Operation*, 26 – 27 February 2014.
103. Raol Jitendra R. *Data Fusion Mathematics. Theory and Practice*. CRC Press, 2016. 570 p.
104. Recommendation ITU-R M.1371-5: Technical characteristics for an automatic identification system using time division multiple access in the VHF maritime mobile frequency band. (2020).
105. Recommendation ITU-R M.493-15: Digital selective calling system for use in the maritime mobile service. (2020).
106. Recommendation ITU-R M.541: Operational procedures for the use of digital selective-calling equipment in the maritime mobile service. (2020).
107. Resolution MSC.232(82) (adopted on 5 December 2006) Adoption of the Revised Performance Standards for Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS).
108. Resolution MSC.64(67) (adopted on 4 December 1996) Recommendation on Performance Standards for Integrated Bridge Systems (IBS).
109. Resolution MSC.252(83) (adopted on 8 October 2007) Adoption of the Revised Performance Standards for Integrated Navigation Systems (INS).
110. Roddy D. *Satellite Communications*. 3-d Edition. McGraw-Hill, 2001. 569 p.

111. Rodseth O.J., Christensen M.J., Lee K. Design challenges and decisions for a new ship data network, ISIS 2011. 23 p. URL: <http://www.mits-forum.org/resources/lwe-paper-isis-v9.pdf>
112. Rodseth O.J., Burmeister H.C. Risk Assessment for an Unmanned Merchant Ship. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2015. Vol. 9, No. 3, pp. 357 – 364.
113. Sandler M., Gern T., Zimmermann R., Integration of Inland ECDIS, Radar and AIS. *European Journal of Navigation*. 2003. Vol. 1, No 2.
114. Satellite AIS. 2019. URL: <https://www.orbcomm.com/en/networks/satellite-ais>
115. Shishkin A., Koshevoy V. Audio Watermarking in the Maritime VHF Radiotelephony. Weintrit A. (ed.): *Navigational Problems. Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. A Balkema Book*, CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton – London - New York – Leiden, 2013. pp. 293 – 298.
116. Shishkin A.V. Information Embedding and Watermarking for Multimedia and Communication, *Proceedings of IEEE East-West Design & Test Workshop, EWDTW'06*, September 2006. pp. 386 – 389.
117. Shishkin A.V. OFDM-based audio watermarking for electronic radiotelephone identification, *Proceedings of IEEE East-West Design & Test Workshop EWDTW'2010*. St. Petersburg, Russia, 2010. pp. 190 – 194. <https://doi.org/10.1109/ewdts.2010.5742037>
118. Shishkin A.V., Koshevoy V.M. Stealthy Information Transmission in the Terrestrial GMDSS Radiotelephone Communication. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*. 2013. Vol. 7, No. 4, pp. 541 – 548. DOI: 10.12716/1001.07.04.09.
119. Shishkin A.V., Lyashko A.A. Hash-based Detection of OFDM Watermarking Symbol for Radiotelephone Identification. *Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTW'12)*. 2012. Kharkov, Ukraine, September 14 – 16, pp. 389 – 392.
120. Shishkin O.V., Koshevyy V.M. Audio Watermarking for Automatic Identification of Radiotelephone Transmissions in VHF Maritime Communication, *Watermarking - Volume 2, InTech*, 2012. pp. 209 – 227. ISBN 978-953-51-0619-7 <http://www.intechopen.com>
121. Shyshkin O., Koshevyy V. Hidden Communication in the Terrestrial and Satellite Radiotelephone Channels of Maritime Mobile Services // Weintrit A., Neumann T. (ed.): *Information, Communication and Environment. Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. A Balkema Book*, CRC Press, Taylor & Francis Group, London, UK, 2015, ISBN: 978-1-138-02857-9. pp. 13 – 19.

122. Shyshkin O., Koshevyy V. Voice Subtitle Transmission in the Marine VHF Radiotelephony // Proceedings of the International Conference on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation (TransNav 2017), Gdynia, Poland, 21 – 23 June 2017, Editor Adam Weintrit // CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton – London - New York – Leiden, 2017, ISBN: 978-1-138-29762-3 pp. 379 – 384.

123. Shyshkin O.V., Koshevyy V.M., Ryaboshapka I.V. GPS Synchronization of Audio Watermarks in the Maritime Automatically Identified Radiotelephony. // TransNav, International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 15, No. 2 – June 2021, pp. 307-311. DOI: 10.12716/1001.15.02.05.

124. SOLAS Consolidated Edition, 2012 Consolidated text of the International Convention for the Safety of Life at Sea, 1974, and its Protocol of 1988: articles, annexes and certificates.

125. Speech Watermarking for Air Traffic Control. EEC Note No. 05/05 Project INO-2-AT-AIT1 Issued: February 2005, 51 p.

126. Stankovic S., Orovic I., Sejdic E. Multimedia Signals and Systems. Basic and Advanced Algorithms for Signal Processing. Second Edition. Springer, 2016, 391 p.

127. Stateczny A., Lisaj A. Radar and AIS Data Fusion for the Needs of the Maritime Navigation Radar Symposium, 2006. IRS 2006. International. Krakow, Poland.

128. STRATEGY FOR THE DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF E-NAVIGATION. Annex 20 / MSC 85/26/Add.1 6 January 2009.

129. Surekha Borra, Rohit Thanki, Nilanjan Dey. Digital Image Watermarking: Theoretical and Computational Advances. CRC Press. 2018, 160 p.

130. Szlapczynska J. Data Acquisition in a Manoeuvre Auto-negotiation System. TransNav - International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, vol. 9, No 3, September 2015, pp. 343 – 348.

131. Wei Li, Xiangyang Xue, Peizhong Lu. Localized Audio Watermarking Technique Robust Against Time-Scale Modification IEEE Trans on Multimedia, Vol. 8, No. 1, February 2006, pp. 60 – 69.

132. Weintrit A. E-Nav, Is It Enough? TransNav - International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 2016, vol. 10, No 4, pp. 567 – 574.

133. Weintrit A. Guidelines on the Display of Navigation-Related Information Received by Communication Equipment at Sea. Archives of Transport System Telematics. 2018, vol. 11, No 3, pp. 57 – 62.

134. Weintrit A. Prioritized Main Potential Solutions for the e-Navigation Concept. TransNav - International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 2013, vol. 7, No 1, pp. 27 – 38.
135. Weintrit A. Six in One or One in Six Variants. Electronic Navigational Charts for Open Sea, Coastal, Off-Shore, Harbour, Sea-River and Inland Navigation. TransNav - International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 4, No 2, June 2010, pp. 165 – 177.
136. Weintrit A.: Prioritized Main Potential Solutions for the e-Navigation Concept. TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, Vol. 7, No. 1, 2013. pp. 27 – 38.
137. Weintrit, Adam. The Electronic Chart Display and Information System (ECDIS): An Operational Handbook, CRC Press/Balkema, 2009, 895 p., ISBN 978-0-415-48246-2
138. Wen-Nung Lie, Li-Chun Chang. Robust and High-Quality Time-Domain Audio Watermarking Based on Low-Frequency Amplitude Modification. IEEE Trans on Multimedia, Vol. 8, No. 1, Februaru 2006, pp. 46 – 59.
139. Xinshan Zhu, Shuoling Peng. A Novel Quantization Watermarking Scheme by Modulating the Normalized Correlation, IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), March 2012, pp. 1765 – 1768.
140. Yiqing Lin, Waleed H. Abdulla. Audio Watermark: A Comprehensive Foundation Using MATLAB. Springer, 2015, 199 p.
141. Yong Xiang, Guang Hua, Bin Yan. Digital Audio Watermarking. Fundamentals, Techniques and Challenges. Springer. 2017, 90 p.
142. Zareian M. and Tohidypour H. R. A Novel Gain Invariant Quantization-Based Watermarking Approach. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, vol. 9, No. 11, November 2014, pp. 1804 – 1813.
143. Адаптивные фильтры: Пер. с англ. / Под ред. К.Ф.Н. Коуэна и П.М. Гранта. - М.: Мир, 1988. - 392 с., ил.
144. Алексишин В.Г. Обеспечение навигационной безопасности плавания / В.Г. Алексишин, Л.А. Козырь, С.В. Симоненко. – Одесса : Феникс, 2009. – 518 с.
145. Антонов А.В. Системный анализ. Учеб. для вузов. М: Высшая школа, 2004. 454 с.
146. Афонин И.Л. Повышение достоверности информации, передаваемой в системах связи ГМССБ / И. Л. Афонин, В. Г. Слезкин // Вісник СевНТУ. Серія: Інформатика, електроніка, зв'язок. - 2014. - Вип. 149. - С. 91 – 95.

147. Баранов Г.Л., Тихонов І.В. Ергатичні інноваційні технології управління рухом суден. Судовождение. 2016, Вып. № 26. С. 10 – 19.

148. Богом'я В.І, Давидов В.С., Доронін В.В., Пашков Д.П., Тихонов І.В. Навігаційне забезпечення управління рухом суден (навчальний посібник) – Вид.1-е. – К.: ДВВП «Компас», 2012 – 336 с.

149. Бурмака І.А. Показатели уровня безопасности системы взаимодействующих судов. Судовождение. 2013, Вып. №23. С. 21 – 24.

150. Бурмака І.О. Розвиток теорії і методів зовнішнього управління суднами в ситуації небезпечного зближення : дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.13 – навігація та управління рухом, Одеса, 2020. 510 с.

151. Вагущенко Л.Л. Интегрированные системы ходового мостика: Учебное пособие / Одесская национальная морская академия. - Одесса, Латстар, 2003. – 170 с.

152. Вагущенко Л.Л. Современные информационные технологии в судовождении: Электронное учебное пособие/ Одесса ОНМА, 2013. – 135 с.

153. Вагущенко Л.Л., Вагущенко А.А. Судовые навигационно-информационные системы: учебное пособие. [3-е изд., перераб. и доп.] - Одесса, НУ «ОМА», 2016. – 338 с.

154. Вагущенко Л.Л., Вагущенко А.Л. Поддержка решений по расхождению с судами. Феникс, 2010. – 229 с.

155. Ван Трис. Теория обнаружения, оценок и модуляции. Том 1. – М.: Радио и связь, 1972. – 765 с.

156. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей, «Наука», М.: 1969, 366 с.

157. Вильский Г.Б., Мальцев А.С. Информационная безопасность в управлении судном. Рибне господарство України. 2010, № 3, С. 24 – 26.

158. Габрук Р.А., Цымбал Н.Н. Математическая модель количественной оценки безопасности функционирования полиэргатической системы при динамическом позиционировании. Судовождение. 2016, вып. 26. С. 65 – 71.

159. Галлагер Р. Теория информации и надежная связь. Пер. с англ. под ред. М.С. Пинскера и Б.С. Цыбакова. М., «Сов. радио», 1974, 720 с.

160. Гепко І.А., Олейник В.Ф., Чайка Ю.Д., Бондаренко А.В. Современные беспроводные сети: состояние и перспективы развития. – К.: «ЕКМО», 2009. – 672 с.

161. Глушков В.М., Амосов Н.М., Артеменко І.А. Энциклопедия кибернетики. Том 2. Киев, 1974 г. 624 с.

162. Горобец І.А. Перспективні напрямки створення і розвитку речних інформаційних служб на ВВП України. Морський вестник, № 4(40), 2011, сс. 55 – 58.
163. Горяинов В.Т., Журавлев А.Г., Тихонов В.И. Примеры и задачи по статистической радиотехнике / Под общей ред. В.И.Тихонова, «Советское радио», 1970, 600 с.
164. Грибунин В.Г., Оков И.Н., Туринцев И.В. Цифровая стеганография. – М.: СОЛОН-Пресс, 2009. – 265 с.
165. Демиденко П.П. Судові радіолокаційні і радіонавігаційні системи: Учебне посібник. Одеса, 2008.
166. Жилин Д. М. Теория систем. – М.: УРСС, 2004. – 183 с.
167. Ипатов В.В. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения. – М.: Техносфера, 2007. – 488 с.
168. Кларк Дж., мл., Кейн Дж. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1987. – 392 с.
169. Когаловский М.Р. Методы интеграции данных в информационных системах. Институт проблем рынка РАН, Москва, 2010. <http://www.ipr-gas.ru/articles/kogalov10-05.pdf>
170. Конахович Г.Ф., Пузыренко А.Ю. Компьютерная стеганография. Теория и практика. – К.: МК-Пресс, 2006. – 288 с.
171. Конвенция о международных правилах предупреждения столкновения судов в море 1972 г. МППСС – 72.
172. Коновец В.И., Шишкин А.В. Новые стандарты интегрирования бортовых морских средств навигации и радиосвязи // Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції. Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT – 2017): 23 – 25 травня 2017 р., Херсон, Україна, С. 217 – 220.
173. Коновець В.І., Черниш І.А., Симоненков В.М., Шишкін О.В. Шляхи побудови систем С4ISR морського призначення та MSA за досвідом держав-членів НАТО // Матеріали ІХ Міжнародної науково-практичної конференції. Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT – 2018): 29 – 31 травня 2018 р.). Херсон, 2018. С. 117 – 120.
174. Кошевий В.М., Коновець В.І., Шишкін О.В. Інтеграція систем морської навігації і радіозв'язку для поліпшення ситуаційної обізнаності на навігаційній безпеки. Стан та удосконалення безпеки інформаційно-телекомунікаційних систем (SITS'2018): збірник тез наукових доповідей Х Всеукраїнської науково-практичної конференції. (м. Миколаїв – Коблево, 21 – 23 червня 2018 р.). Миколаїв, 2018. С. 50 – 52.

175. Кошевий В.М., Купровський В.І., Шишкін О.В. Глобальний морський зв'язок для пошуку та рятування (GMDSS) : Підручник для студентів вищих навчальних закладів / В.М. Кошевий, В.І. Купровський, О.В.Шишкін. – Одеса: Екологія, 2011. – 248 с., іл.

176. Кошевий В.М., Шишкін О.В. Удосконалення системи УКХ радіозв'язку морського судноплавства // Наукові праці: Науково-методичний журнал. Серія «Техногенна безпека», Чорноморський державний університет ім. Петра Могили комплексу «Києво-Могилянська академія», Випуск 221, 2014, том. 233. С. 15 – 20.

177. Кошевой В.М. Модернизация ЭКНИС для взаимодействия с системой УКВ радиосвязи / Кошевой В.М., Шишкин А.В. // Судовождение: Сб. научн. трудов / ОНМА, Вып. 24. Одесса: «ИздатИнформ», 2014 – С. 92 – 100.

178. Кошевой В.М., Ковалев Н.И., Шишкин А.В. Стандартизация интерфейса интегрированной системы радиосвязи / В.М. Кошевой, Н.И. Ковалев, А.В. Шишкин // Судовождение: Сб. научн. трудов НУ «ОМА», Вып. 29. – Одеса: «ИздатИнформ», 2019. – С. 116-125. DOI: 10.31653/2306-5761.29.219.116-125.

179. Кошевой В.М., Шишкин А.В. Интегрирование ЭКНИС – ЦИВ. VII Международный форум «СВЯЗЬ НА МОРЕ И РЕКЕ – 2011».

180. Кошевой В.М., Шишкин А.В. Повышение эффективности УКВ радиосвязи в интегрированной судовой системе радиосвязи и навигации // Судноводіння: наук. - техн. зб. – 2012 - Вип. 21. Одеса. С. 129 – 137.

181. Кошевой В.М., Шишкин А.В. Помехоустойчивая идентификация радиотелефонных передач в аналоговых каналах морской радиосвязи // Автоматизация судовых технических средств: науч.-техн. сб. – 2009. – вып. 15. Одесса: ОНМА. – С. 29 – 36.

182. Кошевой В.М., Шишкин А.В., Галинский А. Интеграция систем радиосвязи и навигации // Порты Украины, № 01 (123) 2013. С. 40 – 41.

183. Кошевой В.М., Шишкин А.В., Купровский В.И. Система и устройства автоматической идентификации судов: Учебное пособие. – Одесса: ОНМА, 2005. – 116 с.

184. Кузнецов А. В., Цыбаков Б. С. Кодирование в памяти с дефектными ячейками / А. В. Кузнецов, Б. С. Цыбаков // Проблемы передачи информации. - 1974, - т. X, вып. 2. С. 52 – 60.

185. Мак-Вильямс Ф. Дж., Слоэн Н. Дж. А. Теория кодов, исправляющих ошибки: пер. с англ. / Ф. Дж. Мак-Вильямс, Н. Дж. А. Слоэн; пер. с англ. под ред. Л. А. Бассалыго - М.: Связь, 1979. – 744 с.

186. Мальцев А.С. Методологические основы маневрирования судов при сближении: монография / [Мальцев А. С. и др.] ; Одес. нац. мор. акад. - О. : ОНМА, 2013. – 218 с.

187. Маринич А.Н., Проценко И.Г., Резников В.Ю., Устинов Ю.М., Черняев Р.Н., Шигабутдинов А.Р. Судовая автоматическая идентификационная система АИС: Учебное пособие / С.-Петербург: Судостроение, 2004 – 182 с.

188. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море 1974 г. (СОЛАС-74).

189. Морелос-Сарагоса Р. Искусство помехоустойчивого кодирования. Методы, алгоритмы, применение: пер. с англ. / Р. Морелос-Сарагоса. - М.: Техносфера, 2005. – 320 с.

190. Морський радіозв'язок. Енциклопедія сучасної України http://esu.com.ua/search_articles.php?id=68562

191. Патент України № 123326 Інтегрована система морського радіозв'язку/ Кошевий В.М., Шишкін О.В. 18.03.2021 р. Опубліковано 10.06.2019, бюл. № 11, 2019 р.

192. Патент України № 78762, МПК (2006) H04Q 7/32, B63B 49/00. Пристрій для цифрового вибіркового виклику з підвищеною оперативністю / Кошевий В.М., Шишкін О.В., Заїчко В.С. Опубл. 25.04.2007, бюл. № 5, 2007 р.

193. Патент України № 81951, МПК (2006) G064K 9/00, H03M 7/00. Пристрій для прихованої передачі інформації у звукових сигналах / Шишкін О.В., Кошевий В.М. Опубл. 25.02.2008, бюл. № 4, 2008 р.

194. Патент України № 85189, МПК (2009) H01K 1/00. Пристрій для прихованої передачі інформації у звукових сигналах / Шишкін О.В., Кошевий В.М. Опубл. 12.01.2009, бюл. № 1, 2009 р.

195. Патент України № 90497, МПК (2009) H04W 92/00, G01B 5/14. Інтегрована система цифрового вибіркового виклику / Шишкін О.В., Кошевий В.М., Заїчко В.С. Опубл. 11.05.2010, бюл. № 9, 2010 р.

196. Патент України № 91375, МПК (2009) H04J 13/02, H04J 4/00, H04B 7/14. Пристрій для автоматичної ідентифікації радіотелефонних передач / Шишкін О.В., Кошевий В.М. Опубл. 26.07.2010, бюл. № 14, 2010 р.

197. Патент України № 92735, МПК (2009) H04J 13/02, H04J 13/00, H04J 4/00, H04M 11/00. Пристрій для автоматичної ідентифікації радіотелефонних передач / Шишкін О.В. Опубл. 10.12.2010, бюл. № 23, 2010 р.

198. Патент України № 94276, МПК (2011.01) H03M 9/00, H04Q 9/00. Пристрій для віддаленого контролю і управління апаратурою цифрового

вибіркового виклику морської рухомої служби / Кошевий В.М., Шишкін О.В., Заїчко В.С., Маляренко Ю.В. Опубл. 26.04.2011, бюл. № 8, 2011 р.

199. Патент України № 104349, МПК (2014.01) H04J 13/00, H04M 11/06, H04L 25/00. Пристрій для автоматичної ідентифікації радіотелефонних передач із підвищеною стійкістю до міжсимвольних спотворень / Шишкін О.В., Кошевий В.М., Ляшко О.О. Опубл. 27.01.2014, бюл. № 2, 2014 р.

200. Патент України № 110063, МПК (2015.01) G01C 21/00, H04B 7/26. Електронна картографічна навігаційна і інформаційна система / Кошевий В.М., Шишкін О.В. Опубл. 10.11.2015, бюл. № 21, 2015 р.

201. Пашенко О.Л. Радіостанція SAILOR VHF DSC 6222. Експлуатаційні процедури радіозв'язку: навчальний посібник / О.Л. Пашенко, В.І. Купровський, О.В. Шишкін. – Одеса: НУ «ОМА» 2021. – 51 с.

202. Регламент Радиосвязи. Статьи. Издание 2012 г.

203. Речная информационная система для внутренних водных путей Украины: <http://www.transas.com.ua/news/368/>

204. Руководящие принципы и рекомендации для речных информационных служб (РИС). Резолюция № 57. Европейская экономическая комиссия, Комитет по внутреннему транспорту, Рабочая группа по внутреннему водному транспорту. Женева, 2005. 58 с.

205. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: Учебник для вузов. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2007. – 751 с.: ил.

206. Скляр, Б. Цифровая связь – М.: Изд. дом «Вильямс», 2003 г., – 545 с.

207. Справочник по радиолокации. Под ред. М.И. Сколника. Перевод с англ. В.С. Вербь. Техносфера, М., 2014.

208. Судовая радиосвязь: Справочник по организации и радиооборудованию ГМССБ / В.Ю. Резников, Ю.М. Устинов, А.А. Дуров и др. Под общей ред. Ю.М. Устинова. - СПб.: Судостроение, 2002, С. 192 – 195.

209. Теория систем и системный анализ в управлении организациями: Справочник: Учеб. пособие / Под ред. В.Н. Волковой и А.А. Емельянова. М.: Финансы и статистика, 2006. 848 с.

210. Тихонов И.В. Интегрированные навигационные технологии для управления объектами водного транспорта на внутренних водных путях / С.В. Козелков, Г.Л. Баранов, І.В. Тихонов, С.М. Кучерук // М: Научно-технический журнал по проблемам навигации Научно-технического центра «Интернавигация» Межгосударственного совета «Радионавигация» –2010, Вип.2. – С. 25 – 29.

211. Тихонов І.В. Методологічні основи поліергатичного забезпечення навігації та управління рухом водних транспортних засобів (цільова технологія безпеки).: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.13. Київ, 2018. 441 с.

212. Тихонов І.В. Проблеми кібербезпеки в морському судноплавстві / І.В. Тихонов // Збірник тез ХХІІ науково-методичній конференції Державного університету інфраструктури та технологій 26 – 29 березня 2018 р. (Част. 2) – Київ: ДУІТ. – 2018. – С. 10 – 13.

213. Цымбал Н.Н., Бурмака И.А., Тюпиков Е.Е. Гибкие стратегии расхождения судов. Одесса: КП ОГТ, 2007. 424 с.

214. Шишкин А. В. Идентификация радиотелефонных передач в УКВ диапазоне морской радиосвязи // Известия вузов – Радиоэлектроника. Т. 55, № 11 (2012). С. 11 – 20. doi: <https://doi.org/10.3103/s0735272712110027>

215. Шишкин А. В. Статистические цифровые водяные знаки звуковых сигналов / А. В. Шишкин // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія: Радіотехніка. Радіо-апаратобудування. - 2015. - Вип. 62. – С. 20 – 30.

216. Шишкин А.В. Алгоритмы формирования цифровых водяных знаков для автоматической идентификации // Автоматизація судових технічних засобів: наук. - техн. зб. - 2013 - Вип. 19. Одесса. С. 89 – 95.

217. Шишкин А.В. Синдромный метод формирования цифровых водяных знаков и стеганографической передачи с использованием дополнительной информации о носителе. Известия вузов – Радиоэлектроника. Т. 53, № 1 (2010). С. 12 – 19. Shishkin A.V. Syndrome method of forming digital watermarks and stenographical transfer with the use of additional information about the carrier. Radioelectronics and Communications Systems. 2010. doi: <https://doi.org/10.3103/s0735272710010024>

218. Шишкин А.В. Устойчивые цифровые водяные знаки для звуковых сигналов // Известия вузов – Радиоэлектроника. Т. 54, № 3 (2011). С. 30 – 38. Shishkin A.V. Robust digital watermarks for audio signals. Radioelectronics and Communications Systems. 2011. doi: <https://doi.org/10.3103/s0735272711030046>

219. Шишкин А.В. Цифровые водяные знаки с расширением спектра для аудиосигналов при использовании информации о сигнале-носителе // Известия вузов – Радиоэлектроника. Т. 51, № 6 (2008). С. 22 – 32. Shishkin A.V. Digital watermarks with spectrum spreading for audio signals using the signal carrier information. Radioelectronics and Communications Systems. 2008. doi: <https://doi.org/10.3103/s0735272708060034>.

220. Шишкин А.В., Кошевой В.М. Автоматическая идентификация радиотелефонных передач в УКХ диапазоне морской подвижной службы //

Автоматизация судовых технических средств: научн.-техн. Сб. - 2008. - Вып. 14. - Одесса: ОНМА. - С. 101 – 109.

221. Шишкин А.В., Кошевой В.М. Устойчивая к атакам масштабирования стеганографическая передача информации с исключением мешающего влияния сигнала-носителя // Известия вузов – Радиоэлектроника. Т. 50, № 6 (2007). С. 3 – 15. DOI: 10.3103/S0735272707060015

222. Шишкин А.В., Кошевой В.М. Цифровые водяные знаки для радиотелефонных каналов с межсимвольной интерференцией. Цифрові технології: Збірник / ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2018. – Вип. 23. С. 17 – 29;

223. Шишкин А.В., Купровский В.И., Кошевой В.М. Глобальная морская система связи для безопасности мореплавания. Учебное пособие – Одесса: ОНМА, 2010. 314 с.

224. Шишкин А.В., Купровский В.И., Кошевой В.М. Глобальная морская система связи при бедствии и для обеспечения безопасности мореплавания (ГМССБ): Учебное пособие – М.: ТрансЛит, 2007 – 544 с.

225. Шишкин А.В., Ляшко А.А. Мультиплексирование цифровой информации в морской УКВ радиотелефонии: // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии: Материалы 22-й Международной Крымской конференции, 10-14 сентября 2012 г. Севастополь, Крым, Украина. - С. 330 – 331.

226. Шишкин А.В. Применение адаптивных алгоритмов в звуковых стеганографических системах с расширением спектра сигнала // Известия вузов – Радиоэлектроника. Т. 51, № 10 (2008). С. 10 – 21. Shishkin A.V. Adaptive algorithms application in sound steganographic systems with signal spectrum broadening Radioelectronics and Communications Systems. doi: <https://doi.org/10.3103/s0735272708100026>

227. Шишкін О.В. Формування і виявлення цифрових водяних знаків у системі автоматичної ідентифікації ультракороткохвильових радіопередач // Вісник Національного авіаційного університету, № 2 (55), 2013, С. 57 – 61.

228. Шишкін О.В. Прихована цифрова модуляція звукових сигналів / О.В. Шишкін // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Радіотехніка. Радіоапаратобудування. – 2014. – № 58. – С. 129 – 138.

ДОДАТОК А Технологічна карта дослідження

Технологічна карта дослідження

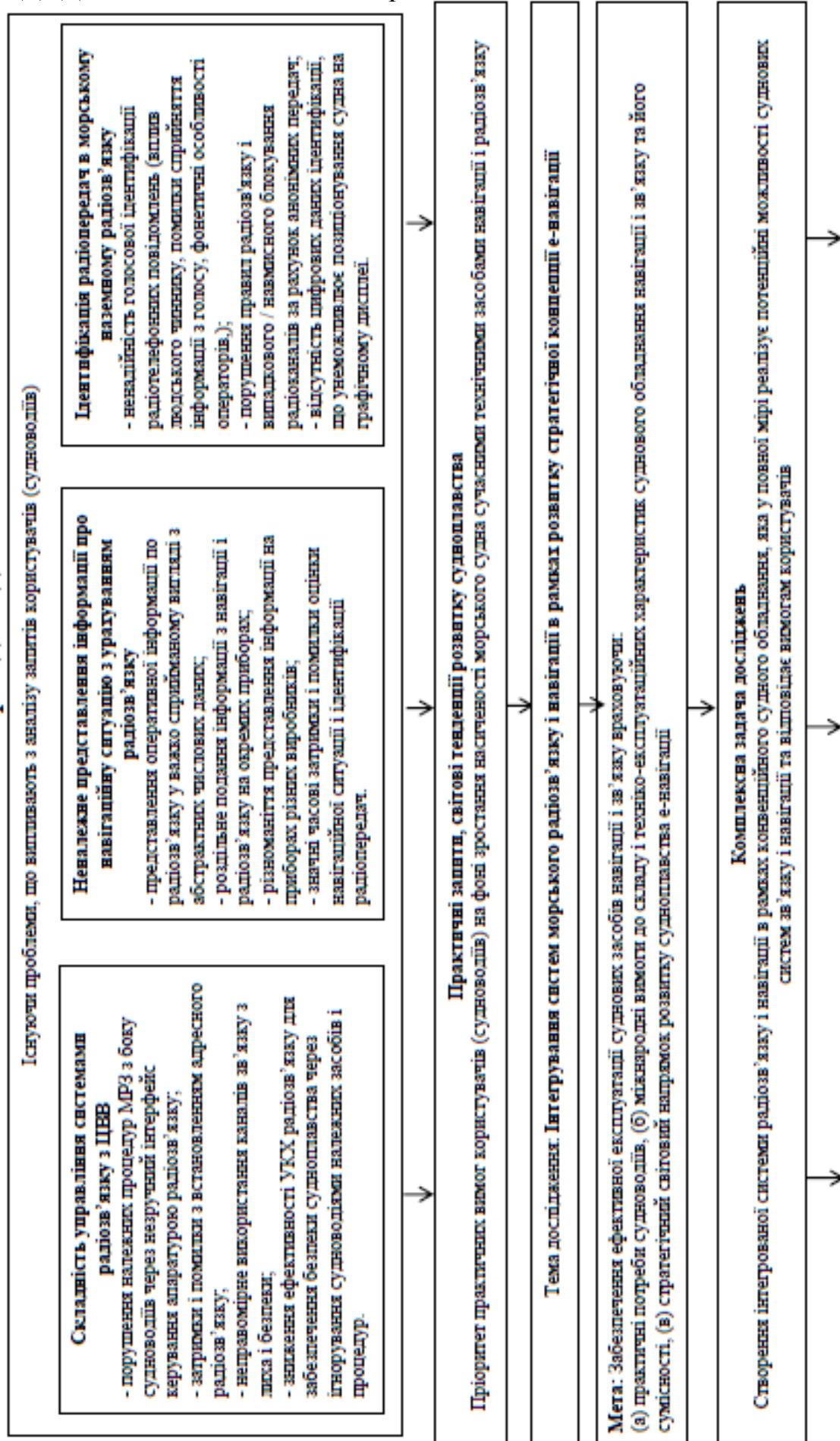


Рисунок А1 – Технологічна карта дослідження (існуючі проблеми, практичні запити, тема дослідження, мета, комплексна задача досліджень)

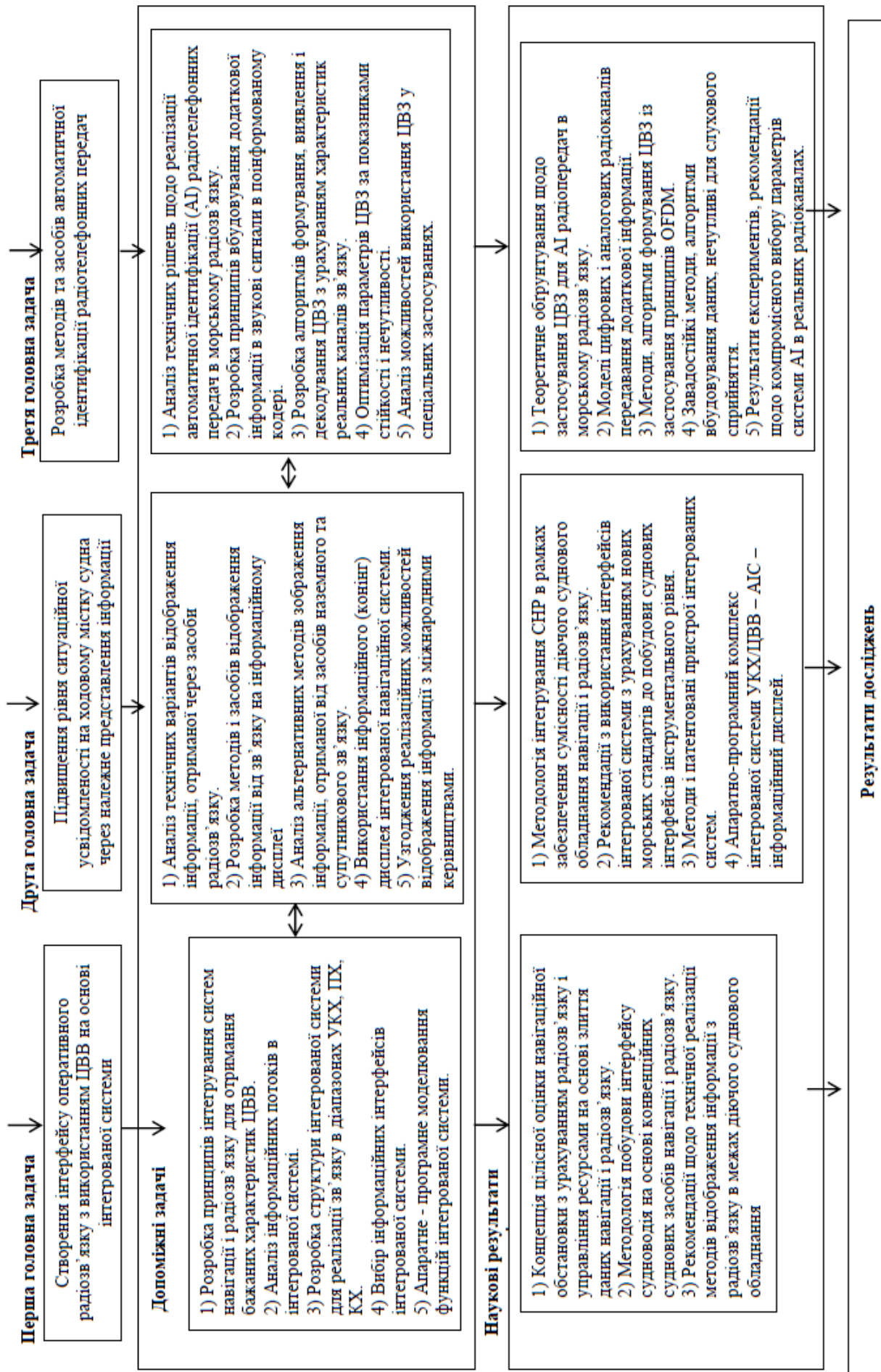


Рисунок А2 – Технологічна карта дослідження (головні і допоміжні задачі, наукові результати)

ДОДАТОК Б Копії патентів на винаходи, корисні моделі



УКРАЇНА

UKRAINE



ПАТЕНТ

НА ВИНАХІД

№ 81951

**ПРИСТРІЙ ДЛЯ ПРИХОВАНОЇ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ У
ЗВУКОВИХ СИГНАЛАХ**

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на винаходи
25 лютого 2008 р.

Голова Державного департаменту
інтелектуальної власності

М.В. Паладій









УКРАЇНА

UKRAINE



ПАТЕНТ

НА ВІНАХІД

№ 92735

ПРИСТРІЙ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ
РАДІОТЕЛЕФОННИХ ПЕРЕДАЧ

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи
і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на винаходи
10.12.2010.

Голова Державного департаменту
інтелектуальної власності

М.В. Паладій



УКРАЇНА

UKRAINE

ПАТЕНТ

НА ВИНАХІД

№ 94276

**ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВІДДАЛЕНОГО КОНТРОЛЮ І
УПРАВЛІННЯ АПАРАТУРОЮ ЦИФРОВОГО ВИБІРКОВОГО
ВИКЛИКУ МОРСЬКОЇ РУХОМОЇ СЛУЖБИ**

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на винаходи
26.04.2011.

Голова Державної служби
інтелектуальної власності

М.В. Паладій



УКРАЇНА

**ПАТЕНТ****НА ВИНАХІД****№ 104349****ПРИСТРІЙ ДЛЯ АВТОМАТИЧНОЇ ІДЕНТИФІКАЦІЇ
РАДІОТЕЛЕФОННИХ ПЕРЕДАЧ ІЗ ПІДВИЩЕНОЮ
СТІЙКІСТЮ ДО МІЖСИМВОЛЬНИХ СПОТВОРЕНЬ**

Видано відповідно до Закону України "Про охорону прав на винаходи
і корисні моделі".

Зареєстровано в Державному реєстрі патентів України на винаходи
27.01.2014.

Голова Державної служби
інтелектуальної власності України

— М.В. Ковіня







BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

URKUNDE

über die Eintragung des

Gebrauchsmusters

Nr. 20 2007 019 327.0

IPC
H04B 7/26

Bezeichnung
Integriertes System eines digitalen Selektivrufs und einer elektronischen nautischen Seekartographie

Gebrauchsmusterinhaber
Odessa National Maritime Academy, Odessa, UA

Tag der Anmeldung
03.12.2007

Tag der Eintragung
15.11.2011

Priorität
13.08.2007 UA a 2007 09203

Die Voraussetzungen der Schutzfähigkeit, insbesondere die Neuheit des Gegenstandes, wurden im Eintragungsverfahren nicht geprüft.



Die Präsidentin des Deutschen Patent- und Markenamts

Rudolf-Schäffer

Rudolf-Schäffer

— Bundesrepublik Deutschland —

Urkunde

über die Eintragung des
Gebrauchsmusters Nr. 21 2014 000 248

Bezeichnung:

Elektronisches kartografisches Navigations- und Informationssystem

IPC:

G01C 21/20

Inhaber/Inhaberin:

Odessa National Maritime Academy, Odessa, UA

Tag der Anmeldung:

09.10.2014

Tag der Eintragung:

02.09.2016

Priorität:

27.01.2014 UA 201400768

Die Präsidentin des Deutschen Patent- und Markenamts

Cornelia Rudloff-Schäffer

Cornelia Rudloff-Schäffer

München, 02.09.2016



Die Voraussetzungen der Schutzfähigkeit werden bei der Eintragung eines Gebrauchsmusters nicht geprüft.
Den aktuellen Rechtsstand und Schutzzumfang entnehmen Sie bitte dem DPMAregister unter www.dpma.de.

ДОДАТОК В Копії актів, інших документів, що засвідчують
впровадження результатів дисертаційної роботи

Національний університет «Одеська морська академія»
Міністерство освіти і науки України



ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор

за науково-педагогічної роботи

В.М.Захарченко

05 2020 р.

АКТ

про виготовлення експериментального зразка
апаратно-програмного комплексу інтегрованої системи УКХ/ПХ/КХ/ЦВВ –
AIC/Sat-AIC – інформаційний дисплей/процесор

Комісія у складі:

голова комісії Цимбал Микола Миколайович, декан факультету судноводіння,
д.т.н., професор;

члени комісії Бодашко Віталій Віталійович, декан факультету
електромеханіки і радіоелектроніки, д.т.н., доцент;
Голобородько Олександр Іванович, начальник відділу технічних
засобів навчання

в результаті перевірки функціональних можливостей, інтерфейсів апаратно-
програмного комплексу (АПК) інтегрованої системи УКХ/ПХ/КХ/ЦВВ – AIC/Sat-
AIC – інформаційний дисплей/процесор
засвідчила,

що експериментальний (лабораторний) зразок зазначеного АПК відповідає
технічному завданню на виконання науково-технічної роботи «Розроблення
стандартизованого інтерфейсу морського радіозв'язку на основі його
інтегрування з навігаційними системами» за договором № ДЗ / 89 – 2019 2019 від
11.10.2019.

Місце розташування АПК: лабораторія №906, корпус 7 Національного
університету «Одеська морська академія», Одеса, вул. Дідріхсона, 8.

Дата перевірки «12» 05 2020 р.

Голова комісії

М.М.Цимбал

Члени комісії

В.В.Бодашко

О.І. Голобородько

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
 Ректор Національного університету
 «Одеська морська академія»
 д.т.н., професор

М.В. Міусов

« 19 » 05 2021 р.

АКТ

про використання результатів дисертаційної роботи
 Шишкіна Олександра Володимировича «Інтегрування систем
 морського радіозв'язку і навігації в рамках розвитку концепції е-
 навігації» в пропозиціях, що були розроблені в університеті і
 представлені від України на державному рівні в структурах
 Міжнародної морської організації (ІМО)

Результати роботи дисертаційної роботи Шишкіна О.В. були використані
 в Національному університеті «Одеська морська академія» при розробці
 пропозицій, які були представлені на державному рівні від України в структури
 ІМО, а саме:

- Підкомітет ІМО з Радіозв'язку, пошуку та рятування (COMSAR/14) у 2009 р.,
- Підкомітет ІМО з Навігації, радіозв'язку, пошуку та рятування (NCSR/3) у
 2016 р., (NCSR/4) у 2017 р., (NCSR/5) у 2018 р.,
- Комітет ІМО з навігації (NAV/56) у 2010 р., (NAV/58) у 2012 р., (NAV/59) у
 2013 р.,
- Комітет ІМО з безпеки мореплавства (MSC/97) у 2016 р.

Зокрема, в розроблених документах використане рішення відображення
 суден, що викликають шляхом цифрового вибіркового виклику (ЦВВ), в
 електронній картографічній навігаційній системі (ЕКНІС) або інформаційному
 дисплеї інтегрованої навігаційної системи (ІНС) з метою покращення оцінки
 навігаційної обстановки і ефективності радіозв'язку.

Начальник науково-дослідної частини
 к.т.н., професор



В.Д. Савчук

Завідувач кафедри морського радіозв'язку,
 науковий консультант д.т.н., професор



В.М. Кошевий

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з науково-педагогічної роботи

Національного університету

«Одеська морська академія»

д.т.н., професор



В.М. Захарченко

2021 р.

АКТ

про використання результатів дисертаційної роботи Шишкіна Олександра Володимировича «Інтегрування систем морського радіозв'язку і навігації в рамках розвитку концепції е-навігації» в наукових дослідженнях, які виконувалися в університеті

Ми, що нижче підписались, начальник науково-дослідної частини університету проф. Савчук В.Д., завідувач кафедри морського радіозв'язку, науковий керівник НДР, науковий консультант здобувача д.т.н., професор Кошевий В.М., склали цей акт у тому, що результати дисертаційної роботи Шишкіна О.В. увійшли складовою частиною в заключні звіти з науково-технічних робіт, що виконувались в університеті:

«Методи та засоби побудови систем захисту інформації на основі технології стеганографії і цифрових водяних знаків», ДР № 0108U001486;

«Розробка методів і засобів автоматичної ідентифікації радіотелефонних передач у морській рухомій службі», ДР № 0109U001536;

«Розробка суднових інтегрованих систем радіозв'язку і навігації у рамках загальної концепції розвитку електронної навігації», ДР № 0112U000354;

«Інтегрування суднових систем радіозв'язку і навігації для підвищення безпеки судноплавства в рамках концепції е-навігації», ДР № 0119U001652;

«Розроблення стандартизованого інтерфейсу морського радіозв'язку на основі його інтегрування з навігаційними системами», № ДР 0119U103293, Державний

обліковий № 0221U104486 від 26.03.2021 р. Робота виконувалась за розпорядженням Кабінету Міністрів України від 10.07.2019 р. № 530-р згідно договору № ДЗ / 89 - 2019 від 11.10.2019 р. з МОН України, у якій здобувач був відповідальним виконавцем і написав розділ 3 «Графічний інтерфейс представлення інформації» та додатки В, Г, Е, К.

Начальник науково-дослідної
частини НУ «ОМА»
к.т.н., професор



В.Д. Савчук

Завідувач кафедри морського радіозв'язку,
науковий керівник НДР,
науковий консультант
д.т.н., професор



В.М. Кошевий

Довідка
про практичну реалізацію результатів науково-технічної роботи,
що виконувалась в рамках державного замовлення

“Розроблення стандартизованого інтерфейсу морського радіозв’язку на основі його
інтегрування з навігаційними системами”
за договором №ДЗ/89-2019 від 11.10.2019 р.

Результати науково-технічної роботи використані на Казенному підприємстві «Морська Пошуково-Рятувальна Служба», м. Одеса в рамках вдосконалення технічних засобів радіозв’язку з використанням цифрового вибіркового виклику (ЦВВ) в морських районах А1 і А2 системи глобального морського радіозв’язку у разі лиха та безпеки (ГМЗЛБ).

Ректор
Національного університету
«Одеська морська академія»




Міусов М.В.

Науковий керівник НТР


Кошевий В.М.

21 грудня 2020 р.

УЗГОДЖЕНО

Т.в.о. директора
Казенного підприємства
«Морська пошуково-рятувальна
служба»



С. А. Дубін
2020 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор
з науково-педагогічної роботи
Національного університету
«Одеська морська академія»
В.М.Захарченко
2020 р.



ПРОТОКОЛ

натурних випробувань апаратно-програмного комплексу
у мережі суднових і берегових радіостанцій

відповідно технічного завдання до НТР

**«Розроблення стандартизованого інтерфейсу морського
радіозв'язку на основі його інтегрування з навігаційними системами»**
за договором № ДЗ/89 - 2019 від 11 жовтня 2019 р.

Науковий керівник
Заслужений діяч науки і техніки України
д.т.н. професор

В.М.Кошевий

Одеса - 2020

Об'єкт випробувань: Апаратно-програмний комплекс (АПК) відповідно технічного завдання до НТР «Розроблення стандартизованого інтерфейсу морського радіозв'язку на основі його інтегрування з навігаційними системами» за договором № ДЗ/89 - 2019 від 11 жовтня 2019 р.

Місце проведення: Національний університет «Одеська морська академія», м. Одеса, вул. Дідріхсона, 8, корпус 7;

Казенне підприємство «Морська пошуково-рятувальна служба», м. Одеса, вул. Люстдорфська дор., 140 а.

Термін проведення випробувань: « 23 » 11 – « 10 » 12 2020 р.

Результати випробувань:

№	Пункт за програмою і методикою випробувань	Відповідність ТАК/НІ
1	4.1.1. УКХ ЦВВ судно-берег Звичайний виклик ЦВВ типу судно-берег берегової станції Одеса, MMSI 002723660, з інформаційного дисплея/процесора 1 на каналі 70. Виклик має бути здійснений шляхом безпосереднього «кліку мишкою» по АІС-цілі вказаної станції і/або введення/редагування параметрів ЦВВ з інформаційного дисплея/процесора 1. Берегова станція має прийняти і правильно декодувати дані ЦВВ. На інформаційному дисплеї має з'явитися спеціальний маркер (куточки зі слухавкою всередині) станції, що викликається.	Так
2	4.1.2. УКХ ЦВВ берег-судно Прийом виклику (підтвердження) ЦВВ від берегової станції Одеса 002723660 з відображенням цілі що викликає на інформаційному дисплеї /процесорі 1. АІС-ціль станції, що викликає має бути присутня на інформаційному дисплеї /процесорі 1. Прийняті дані ЦВВ мають бути відображені на інформаційному дисплеї 1 судна, що викликається, без помилок. На інформаційному дисплеї має з'явитися спеціальний маркер (куточки з двома слухавками) станції, що викликає.	Так
3	4.1.3. УКХ ЦВВ судно-судно Звичайний виклик ЦВВ типу судно-судно судової станції з MMSI, з інформаційного дисплея/процесора 1 на каналі 70 і прийом від неї виклику підтвердження. Суднова станція, що викликається має прийняти і відобразити на інформаційному дисплеї/процесорі 2 станцію, яка викликає. Суднова станція з інформаційного дисплея/процесора 2 ініціює виклик підтвердження. Прийняті дані ЦВВ на обох інформаційних дисплеях/процесорах 1 і 2 мають бути відображені без помилок. На інформаційних дисплеях мають з'явитися спеціальні маркери	Так

№	Пункт за програмою і методикою випробувань	Відповідність ТАК/НІ
	(куточки з двома слухавками)/(куточки зі слухавкою всередині) станції, що викликає/викликається відповідно.	
4	4.2.1. ПХ ЦВВ судно-берег Звичайний виклик ЦВВ типу судно-берег берегової станції Одеса, MMSI 002723660, з інформаційного дисплея/процесора 1 на домовленій частоті ПХ діапазону. Виклик має бути здійснений шляхом безпосереднього «кліку мишкою» по АІС-цілі вказаної станції і/або введення/редагування параметрів ЦВВ з інформаційного дисплея/процесора 1. Берегова станція має прийняти і правильно декодувати дані ЦВВ. На інформаційному дисплеї має з'явитися спеціальний маркер (куточки зі слухавкою всередині) станції, що викликається.	Так
5	4.2.2. ПХ ЦВВ берег-судно Прийом виклику (підтвердження) ЦВВ від берегової станції Одеса 002723660 з відображенням цілі що викликає на інформаційному дисплеї /процесорі 1. АІС-ціль станції, що викликає має бути присутня на інформаційному дисплеї /процесорі 1. Прийняті дані ЦВВ мають бути відображені на інформаційному дисплеї 1 судна, що викликається, без помилок. На інформаційному дисплеї має з'явитися спеціальний маркер (куточки з двома слухавками) станції, що викликає.	Так

Висновок: Апаратно-програмний комплекс (АПК) за своїми функціональними характеристиками відповідає вимогам Програми і методики випробувань АПК.

Від Казенного підприємства «Морська пошуково-рятувальна служба»:

Начальник відділу

Глобального морського зв'язку
у разі лиха та безпеки (ГМЗЛБ)



Пономаренко В.О.

Інженер відділу ГМЗЛБ



Ронікер Т.Ю.

Від Національного університету «Одеська морська академія»:

Доцент кафедри

Морського радіозв'язку (МРЗ)



Купровський В.І.

Старший викладач каф. МРЗ



Маляренко Ю.В.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION

*E*

SUB-COMMITTEE ON
RADIOCOMMUNICATIONS AND
SEARCH AND RESCUE
14th session
Agenda item 7

COMSAR 14/7
27 October 2009
Original: ENGLISH

DEVELOPMENTS IN MARITIME RADIOCOMMUNICATION SYSTEMS AND TECHNOLOGY

Proposal for simplification of VHF DSC radiocommunication and increasing DSC efficiency

Submitted by Ukraine

SUMMARY

<i>Executive summary:</i>	Proposal for simplification of VHF DSC radiocommunication for navigators and for increasing DSC efficiency by integration of the DSC VHF radio equipment and the AIS – ECDIS vessel's system. Proposed measures are to contribute to further developments in maritime radiocommunication systems, technology and progress of e-navigation strategy
<i>Strategic direction:</i>	5.2
<i>High-level action:</i>	5.2.4 and 5.2.5
<i>Planned output:</i>	5.2.4.4
<i>Action to be taken:</i>	Paragraph 12
<i>Related documents:</i>	COMSAR 8/4/1; COMSAR 11/14/1; NAV 53/14/1 and resolution MSC.74(69)

Introduction

1 Digital Selective Calling (DSC) is one of the basic features of GMDSS radiocommunication subsystems. In accordance with Recommendation ITU-R M.493 "Digital Selective-Calling System for Use in the Maritime Mobile Service" all radio-telephone transmissions of any priority (distress, urgency, safety and routine) must be preceded by the proper digital selective call. Nevertheless, the procedures of radiocommunication with the use of DSC are often neglected either in cases of distress or with other priorities. In particular, VHF channel 16 is often used incorrectly for any calls attributed with routine priority as it was foreseen in the old system procedure instead of using DSC on channel 70.

For reasons of economy, this document is printed in a limited number. Delegates are kindly asked to bring their copies to meetings and not to request additional copies.



2 The reasons for such neglect were analysed in detail in document COMSAR 8/4/1 "Simplification of DSC equipment and procedures", submitted by Finland on 27 November 2003. The main reason for the DSC communication procedure neglect is described in this document as the navigators' nonconformity with the DSC procedures based on:

- difficulty of manual DSC forming procedure;
- different DSC interface provided by manufacturers;
- the overload of the DSC call forming menu by secondary, non-important functions; and
- limited space for all DSC format visualization, etc.

Discussion

3 An important objective of the VHF radiocommunication improvement is the development and implementation of such technical improvements which could give an ability to:

- .1 simplify the process of providing DSC radiocommunication to, practically, the equivalent actions in terms of time and number of operations, as to the usual radio-telephone receiver picking up procedure; and
- .2 select the called/calling vessel among others which are displayed on the electronic navigational chart. This element is specifically important for the urgent reaction of the watch officer on the called vessel under difficult navigation conditions, i.e. to provide the automatic identification of the called/calling vessel in the live navigation situation.

4 The completion of these two tasks can be achieved within the frames of the currently used vessel equipment through the integration of the VHF DSC controller and the navigation equipment composed of the Automatic Identification System (AIS) and the Electronic Chart Display and Information System (ECDIS). In this case all of the basic functions of integrated systems are preserved.

5 Currently AIS is an obligatory equipment to be carried on board all vessels. ECDIS has been mandated recently, nevertheless even now it is widely used as a supplement to the traditional paper charts. AIS provides for the exchange of information which includes an identification number (MMSI). ECDIS, while operating with AIS, enables it to indicate vessels on a navigation display within the AIS operating area, i.e. approximately 30 nautical miles, and to reflect them on electronic navigational charts.

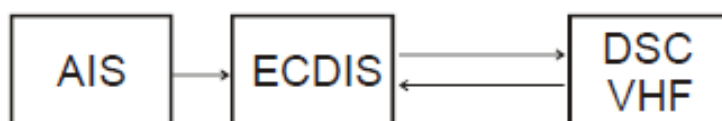
6 The combination of the VHF DSC equipment with the AIS - ECDIS system allows:

- .1 to eliminate, practically, the procedure of DSC forming while substituting manual operations by a computer mouse "click" on the ECDIS display; and
- .2 to provide the authentication of a calling vessel on the electronic chart and thus to make the process of attachment of the called/calling vessel to the navigation situation automatically. A calling vessel can be indicated on the display by a blinking mark which will allow OOW (officer of the watch) of the called vessel to

quickly estimate the navigational situation and make an effective decision. The unique character of the vessel's authentication is provided by the presence of vessel identifier (MMSI) both in DSC and AIS. In other words, it means that the calling vessel is automatically attached to the current navigation situation represented on a navigation display.

7 During the manual preparation of the call procedure, as it is provided in the existing system, an operator has to make an individual call to a vessel/coast station and for this purpose has to enter a nine-character long digital identifier (MMSI) and working channel number. While doing this, about 20 pressings of the DSC controller keyboard buttons are required. More difficult calls require more key pressing. The proposed method gives the ability to form a call through a mouse click only on the chosen vessel (or the coast station). The series of parameters, for example, the working channel number, can be set by default (or can be chosen manually if necessary). The entering of the MMSI is not required in the proposed method because it can be sent from the AIS - ECDIS system to the DSC controller automatically.

8 Integration of the DSC - VHF and AIS - ECDIS may be realized through a separate interface block connected to the DSC equipment of any equipment manufacturers. Replacement of the DSC equipment is thus not required. Appropriate scheme is presented in the figure below. Connection of DSC VHF equipment and ECDIS is implemented by means of bidirectional interface.



9 Integration of the DSC - VHF and AIS - ECDIS requires no changes to the existing radiocommunication operational procedures. All regular DSC forming and viewing functions are saved. What is essential is that the present manual method of forming/viewing calls will be preserved as a supplementary means to the automatic method of forming/viewing calls in the AIS - ECDIS system.

10 VHF DSC integration with the AIS-ECDIS will ensure further enhancement of safety of navigation while simplifying the navigator's interface with radiocommunication and navigational equipment and accelerating actions of operator.

11 This suggestion is fully compatible with the e-navigation development strategic direction which envisages further development of means of radiocommunications and navigation and the implementation of modern digital information technologies in navigation.

Action requested of the Sub-Committee

12 The Sub-Committee is invited to note the proposal and to take action, as appropriate.