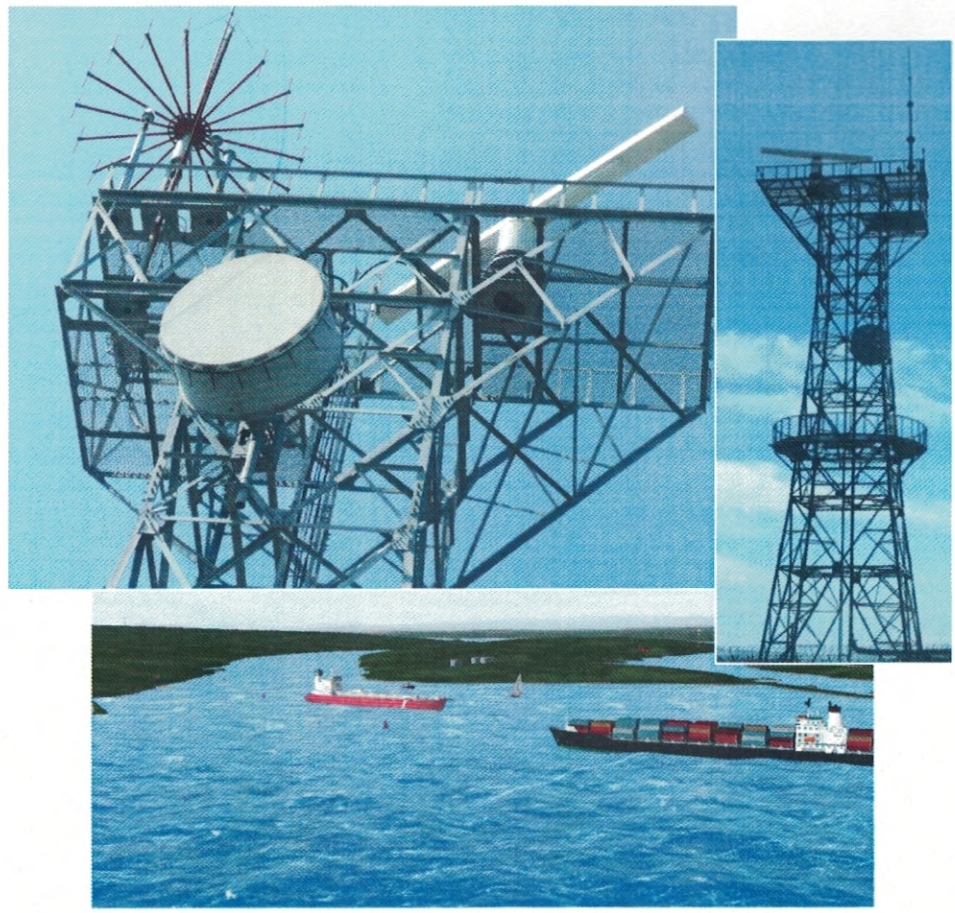
**Чавдар Александров**
**Мирослав Цветков**



# ИНФОРМАЦИОННИ СИСТЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ТРАФИКА НА ПЛАВАТЕЛНИТЕ СЪДОВЕ VTMIS

**Учебник**

**Варна, 2017 г.**

**Чавдар Александров**
**Мирослав Цветков**

# ИНФОРМАЦИОННИ СИСТЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ТРАФИКА НА ПЛАВАТЕЛНИТЕ СЪДОВЕ VTMIS

**Учебник**

Варна 2017г.

Учебникът Информационни системи за управление на трафика на плавателните съдове представя интензивното развитие на комуникационните и информационни технологии и тяхното приложение в корабоплаването в последните години, както и някои резултати от изследователската работа в тази област, провеждана в катедра „Електроника“ на ВВМУ „Н. Й. Вапцаров“ - Варна.

Съдържанието на учебника отразява техническата структура на информационната система за управление на трафика на плавателните съдове на Р. България, изграждана в продължение на почти две десетилетия и достигнала своя завършен вид и функционалност в резултат на серия от успешно приключили проекти с Европейско финансиране. Основните теми са посветени на подсистемите, осигуряващи информация за формиране на пълната картина на трафика в района на действие на системата и представят теоретичната основа, съвременното състояние на използваните технологии и техническите спецификации с оценка на основните експлоатационни параметри. Темите са развити в достатъчен обем и строгост на математическия апарат и са осигурени със списъци на допълнителни литературни източници.

Учебникът ще послужи на всички читатели, ангажирани професионално или желаещи да се запознаят по-подробно с тази интересна и бързо развиваща се област на приложение на новите електронни технологии в корабоплаването да обогатят своите познания. Тя може да се използва и като допълнително четиво по дисциплината „Системи за наблюдение и управление на корабния трафик“, която се изучава от студентите, обучаващи се по различни специалности и ОКС във факултет Навигационен на ВВМУ „Н. Й. Вапцаров“ – Варна.

Окончателният и завършен вид на изданието е резултат и от усилията и професионалната работа на рецензентите доц. д-р инж. Анчо Г. Драганов и доц. д-р инж. Николай Ж. Колев. Авторите са им благодарни за тяхното търпение, колегиалност и доброжелателност, проявени при работата над ръкописа, както и за ценните им препоръки, способствали за подобряване на неговото качество.

Авторите ще приемат с благодарност и всички мнения и забележки по съдържанието и оформянето на изданието.

**Информационни системи за управление на трафика на плавателните съдове**
**Vessel Traffic Management and Information Systems**

© Чавдар Илиев Александров, 2017
© Мирослав Йорданов Цветков, 2017
© ВВМУ „Н. Й. Вапцаров“, 2017

**ISBN 978-619-7428-02-5**

**СЪДЪРЖАНИЕ**


| | | | |
|---|---|---|---|
| | | ВЪВЕДЕНИЕ | 5 |
| 1 | | ОБЩО ОПИСАНИЕ НА СИСТЕМИТЕ VTMIS | 11 |
| | 1.1 | Предназначение | 11 |
| | 1.2 | Исторически сведения за развитието на системите VTMIS | 14 |
| | 1.3 | Обща класификация на системите VTMIS | 15 |
| | 1.4 | Изграждане на системата VTMIS на Р. България | 16 |
| | 1.5 | Техническа структура на системата | 23 |
| | 1.6 | Законова база на системите VTMIS | 31 |
| | 1.7 | VTS симулатор | 38 |
| 2 | | РАДИОВЪЛНИ, ДЪЛЖИНА НА ВЪЛНАТА, СКОРОСТ НА РАЗПРОСТРАНЕНИЕ | 44 |
| | 2.1 | Основни понятия | 44 |
| | 2.2 | Свойства на радиовълните | 50 |
| | 2.3 | Видове модулации | 51 |
| | 2.4 | Симплекс (Simplex) и Дуплекс (Duplex) | 55 |
| 3 | | КОНЦЕПЦИЯ ЗА СВЕТОВНАТА МОРСКА СИСТЕМА ЗА БЕДСТВИЯ И БЕЗОПАСНСТ (GLOBAL MARITIME DISTRESS AND SAFETY SYSTEM, GMDSS) | 58 |
| | 3.1 | Исторически сведения | 58 |
| | 3.2 | Концепция за СМСББ | 59 |
| | 3.3 | Райони на действие на системата | 62 |
| | 3.4 | Изисвания към корабното комуникационно оборудване | 66 |
| | 3.5 | Радиооборудване за спасителните съдове | 68 |
| | 3.6 | Функции на системата VTMIS на Р. България по СМСББ | 74 |
| 4 | | РАДИОЛОКАЦИОННОТО НАБЛЮДЕНИЕ В СИСТЕМИТЕ VTMIS | 86 |
| | 4.1 | Предназначение | 86 |
| | 4.2 | Общо описание на радиолокационна станция за наблюдение | 88 |
| | 4.3 | Основни технически параметри и експлоатационни характеристики на РЛС | 96 |
| | 4.4 | Преобразуване на радиолокационния сигнал в цифров вид | 124 |
| | 4.5 | Компресиране на импулса | 131 |
| | 4.6 | Определяне на параметрите на движение | 143 |
| | 4.7 | Обработка и разпознаване на радиолокационни изображения | 153 |
| | 4.8 | Алгоритми за съпровождане, основани на знанието | 167 |
| | 4.9 | Подсистема за радиолокационни наблюдение в информационната система за наблюдение на трафика VTMIS на Р. България | 182 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 5 | | РАДИОПЕЛЕНГАТОРИ | 198 |
| | 5.1 | Предназначение | 198 |
| | 5.2 | Видове радиопеленгатори | 198 |
| | 5.3 | Подсистема от радиопеленгатори в информационната система за наблюдение на трафика VTMIS на Р. България | 211 |
| | 5.4 | Точност на позициониране при радиопеленгаторите | 216 |
| | 5.5 | Корабен радиопеленгатор | 220 |
| 6 | | ГЛОБАЛНИ НАВИГАЦИОННИ СПЪТНИКОВИ СИСТЕМИ GNSS | 222 |
| | 6.1 | Исторически сведения | 222 |
| | 6.2 | Глобална спътникова радионавигационна система NAVSTAR | 222 |
| | 6.3 | Глобална спътникова радионавигационна система ГЛОНАСС | 233 |
| | 6.4 | Глобална спътникова радионавигационна система GALILEO | 240 |
| | 6.5 | Диференциални подсистеми | 245 |
| | 6.6 | DGPS осигуряване на информационната система за управление на трафика на плавателните съдове | 251 |
| | 6.7 | Използване на глобалните спътникови радионавигационни системи за определяне на единно време в информационната система за управление на трафика на плавателните съдове | 254 |
| 7 | | АВТОМАТИЧНА ИДЕНТИФИКАЦИОННА СИСТЕМА AIS | 257 |
| | 7.1 | Исторически сведения | 257 |
| | 7.2 | Предназначение и режими на работа | 258 |
| | 7.3 | Комуникационна схема | 265 |
| | 7.4 | Видове информация в AIS | 268 |
| | 7.5 | Корабно и брегово оборудване | 287 |
| | 7.6 | Автоматичната идентификационна система AIS в информационната система за наблюдение на трафика на плавателните съдове на Р. България | 293 |
| 8 | | СИСТЕМА ЗА ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЕ CCTV | 300 |
| | 8.1 | Общи сведения | 300 |
| | 8.2 | Техническо описание | 302 |
| | 8.3 | Стандартен комплект на системата за видео наблюдение | 305 |
| | 8.4 | Управление и контрол на сензорите за видео наблюдение | 305 |
| | 8.5 | Триизмерна (3D) визуализация | 310 |
| 9 | | СИСТЕМА ЗА СБОР НА ХИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧНА ИНФОРМАЦИЯ | 312 |
| | 9.1 | Общи сведения | 314 |
| | 9.2 | Техничеко описание | 314 |
| 10 | | WEB-БАЗИРАНИ СИСТЕМИ ЗА НАБЛЮДЕНИЕ НА ТРАФИКА | 317 |
| | 10.1 | Предназначение, особености и ограничения | 317 |
| | 10.2 | Web-базиран достъп до информационната система за управление | 318 |

на трафика на плавателните съдове на Р. България
10.3 VT Explorer 321
10.4 Web-базирани приложения на Европейската агенция за морска безопасност EMSA 323

11 ЗАКЛЮЧЕНИЕ 333

I СПИСЪК НА ИЗПОЛЗВАНИТЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СЪКРАЩЕНИЯ 340

СПИСЪК НА ИЗПОЛЗВАНАТА ЛИТЕРАТУРА 346

## ВЪВЕДЕНИЕ

В съответствие с изискванията на Директива 2002/59 ЕС и на протокол от 1988г, относно прилагането на международната конвенция за безопасност на човешкия живот на море (Safety Of Life At Sea, SOLAS) Министерството на транспорта, комуникациите и информационните технологии в лицето на Изпълнителна агенция „Морска администрация“ (ИАМА) беше задължено да изгради брегова система за управление на корабния трафик, както и система за комуникации в рамките на Световната морска система за бедствия и безопасност (GMDSS). За целта беше използван финансовия механизъм на Европейската програма Phare. Проектът Phare BG0012.01 завърши през октомври 2004г. с реализирането на първата фаза от изграждането на Информационната система за управление на трафика на плавателните съдове (Vessel Traffic Management and Information System, VTMIS) на Р. България. Въвеждането в експлоатация на системата VTMIS подобри в значителна степен условията за безопасно корабоплаване в териториалните води на Р. България. В състава на системата беше включена мрежа от базови станции за приемане на сигналите за автоматична идентификация на съдовете (AIS – Automatic Identification System), които осигуриха актуална информация за разположението на плавателните съдове в района и превозваните от тях товари. Системата от радиопеленгатори (RDF – Radio Direction Finder) също се използва за осигуряване на информация за мястото на морските съдове, излъчващи радиосигнали в обхвата на УКВ. В случай на бедствие тази информация се използва от Морския спасително-координационен център (МСКЦ) Варна за организиране и провеждане на операцията по търсене и спасяване на бедстващия съд. Изграждането на мрежа от брегови радиолокационни станции (БРЛС) в състава на VTMIS и добавянето на радиолокационно изображение върху цялостната картина на трафика, изобразявана на видеотерминалите в бреговите центрове за управление може да компенсира до голяма степен ограниченията при използване на AIS, в т.ч. некомпетентното или недобросъвестно използване на корабното AIS оборудване и да повиши достоверността на информацията. В районите на големите пристанища беше изградена система за видеонаблюдение за

контрол на маневрите, швартовите операции и товаро-разтоварните дейности. Изградена бе система GMDSS.A1, осигуряваща 24-часово покритие в ултракъсовълновия (УКВ) диапазон с обхват на дистанция 30-40 морски мили, следене на морските честоти и канали и гласова комуникация между дежурните оператори и плавателните съдове в района. В последствие беше добавена и система GMDSS.A2, осигуряваща 24-часово покритие в диапазона на средни вълни (СВ) с обхват на дистанция от 30-40 до 150-200 морски мили. Друга важна функция на системата - осигуряване на допълнителна информация за безопасно корабоплаване, като навигационни и метеорологични предупреждения, прогнози за времето и т. н., беше постигната с инсталирането на специализирани сензори и модернизация на системата NAVTEX.

За обучението и практическата подготовка на операторите в системата и в съответстие с изискванията на международните регламентиращи документи бяха разработени два специализирани курса: курс за VTS оператор и курс за преподготовка на кадрите на работното място. Всички действащи оператори са преминали обучение в курсовете. Допълнително беше проведен спецализиран курс за подготовка на инструкторите от доставчика на техническото оборудване на системата.

В процес на проектиране са модернизацията на буйовете, очертаващи фарватерите на двете най-големи пристанища и на другите средства за навигационно осигуряване (СНО) и на схемата за разделно движение (СРД) в териториалните води и морските пристанищата с национално значение на Република България.

Изграждането на новите системи, извършено в резултат на серия от успешно приключили проекти с Европейско финансиране превърна Българското Черноморско крайбрежие в едно от най-модерните и добре оборудвани крайбрежни райони на Европейския съюз. Използването на последните достижения на информационните и комуникационни технологии с приложения в корабоплаването позволи реализацията на трите основни задачи, поставяни пред системите VTMIS:

- Повишаване на безопасността на корабоплаването в районите на действие на системите;

- Опазване на околната среда;
- Подобряване на условията за икономическо развитие.

Съвременните информационни системи за управление на трафика на плавателните съдове включват подсистеми за наблюдение и сензори за сбор на допълнителна информация. Техническите средства за наблюдение и сензорите са свързани с комуникационна мрежа, притежаваща възможности за обмен на голямо количество информация в реално време. Освен за непосредствено осигуряване на процеса по управление на трафика тази информация се записва и съхранява на сървърите на системата за последващо използване (от анализи на произшествия и аварии до разширяване на обхвата на информационните услуги за морската индустрия и осигуряване на възможности за взаимодействие на държавните и ведомствени структури, от областта на морския транспорт).

Подсистемите, осигуряващи цялостна картина на трафика на плавателните съдове в района на действие на системата VTMIS са:

- Брегова AIS мрежа;
- Брегови радиолокационни станции (БРЛС);
- Радиопеленгатори.

Всяка от подсистемите се основава на използването на радиосигнали в различните честотни диапазони и решава конкретни задачи по наблюдението на крайбрежните води. Информационното съдържание, което всяка подсистема предоставя за изграждане на цялостната картина на обстановката притежава своя специфика по отношение на формата, съдържанието, точността на измерваните параметри и т.н. В табл. 1.1 са показани предимствата и недостатъците на трите подсистеми.

Интеграцията на трите подсистеми за наблюдение в системите VTMIS има за цел да компенсира недостатъците на всяка една от тях с предимствата на другите. Известно е например, че инициативата на Международната асоциация на фаровите служби и помощните средства за навигация (International Association of Lighthouse Autorities and Aids to Navigation, IALA) да разработва системата AIS произтича от желанието за идентификация на радиолокационните цели в районите на действие на системите за управление на трафика (Vessel Traffic Systems, VTS). В последствие е

оценена и възможността на AIS да подпомогне съпровождането на целите по време на маневра. В наши дни се оценяват възможносттите на AIS в подкрепа на антитерористичните мерки и незаконния трафик.

Таблица 1.1

| **AIS мрежа** | **БРЛС** | **Радиопеленгатори** |
|---|---|---|
| (-) Пасивно наблюдение | (+) Активно наблюдение | (-) Пасивно наблюдение |
| (+) Обхват над 40 nm | (-) Обхват под 30 nm | (-) Обхват под 40 nm |
| (+) Стабилност на приемания сигнал | (-) Нестабилност на приемания сигнал | (-) Нестабилност на приемания сигнал |
| (+) Пълно покритие на района на наблюдение | (-) Ограничения от брегова инфраструктура и релеф | (-) Ограничения от брегова инфраструктура и релеф |
| (-) Само оборудваните с AIS цели са видими | (+) Всички цели са видими | (-) Само целта, излъчваща в обхвата на УКВ е видима |
| (+) Голямо количество информация за целите | (-) Ограничено количество информация за целите (около 5 пъти по-малко от AIS) | (-) Минимално количество информация за целта (позиция) |
| (+) Висока точност на позициониране | (+) Висока точност на позициониране | (-) Ниска точност на позициониране |

Интеграцията на радиолокационната информация с AIS подобрява значително прецизността на цялостната картина на трафика. Ако поради някаква причина (развълнувана морска повърхност, силен дъжд или снеговалеж) радиолокационната цел бъде изгубена за известно време, следата на същата цел, съхранена в системата AIS ще запълни тази липса. Следите от AIS могат да компенсират също и в голяма степен една съществена слабост на радиолокационното съпровождане – размяната на траекториите на две цели, движещи се твърде близо една до друга. Интеграцията подобрява и точността на позициониране на целите. Според действащия стандарт изискванията към точността, с която се измерват координатите на радиолокационната цел са до 30m

или 1% от скалата по разстояние и до 1º по азимут. Точността на позициониране на AIS се определя от използваната позициониращa система и може да достигне до 10m за 95% от измерванията. Точността на позициониране с използване на радиопеленгатори е далече от тези стойности. Изискванията към точността, с която определят посоката към излъчващ УКВ предавател са в границите на ±2,5º. Тяхната основна функция обаче не е свързана с непрекъснато наблюдение на трафика, а с определяне на мястото на бедстващи спасителни съдове, които в общия случай остават невидими за радиолокационното наблюдение и AIS. Друга важна функция на подсистемата от радиопеленгатори е да визуализира кораба, който излъчва радиосигнал в обхвата на УКВ и по този начин да улесни оператора на VTS да идентифицира кораба, с когото е в радиовръзка, особено в райони с интензивен трафик.

Едно от важните предимства на интеграцията е и повишаването на надеждността на системата – тя ще продължи да изпълнява своите функции дори когато някоя подсистема откаже да работи.

Книгата Техническите средства за наблюдение в информационните системи за управление на трафика на плавателните съдове има за цел да представи в детайли описаните по-горе подсистеми, с включване на кратка историческа справка на тяхното развитие, с описания на съвременното състояние на технологиите, използвани в изграждането на системите за управление на трафика на плавателните съдове, както и с представяне на някои резултати от изследователската работа, провеждана в лабораториите на катедра „Електроника“ на ВВМУ „Н. Й. Вапцаров“ – Варна.

Съдържанието на книгата отразява техническата структура на информационната система за управление на трафика на плавателните съдове на Р. България, която е използвана като пример за приложение на достиженията на съвременните информационни и комуникационни технологии в корабоплаването. Основните теми са посветени на подсистемите, осигуряващи информация за формиране на пълната картина на трафика и са развити в достатъчен обем, обхващащ теоретичната основа, техническите спецификации и експерименталните оценки на експлоатационите параметри на използваните средства.

Крайната цел на настоящото издание е да се изследват и анализират възможностите на техническите средства за наблюдение по отношение на информационното осигуряване и да се посочат пътища за интегриране на различна по вид, форма, количество и интервали на обновяване информация в интерес на безопасността на корабоплаването, опазването на околната среда и подобряване на условията за икономическо развитие на региона.

# 1. ОБЩО ОПИСАНИЕ НА СИСТЕМИТЕ VTMIS

## 1.1. Предназначение

С увеличаването на интензивността на корабния трафик в Европейските води нараства и нуждата от повишаване на безопасността на корабоплаването. Инцидентите с танкерите „Erika“ и „Prestige“ доказаха тези нужди по безспорен начин и доведоха до осъществяване на значителни промени в посока въвеждане на строги правила и процедури, осигуряващи безопасността на корабоплаването. В резултат на тези промени беше разработена Директива 2002/59/ЕС на Европейския парламент от 27.06.2002г., въвеждаща единна Европейска информационна система за наблюдение на трафика на плавателните съдове. Според Директивата „ ...Изграждането на единна Европейска информационна система за наблюдение на трафика на плавателните съдове ще подпомогне предотвратяването на катастрофи и замърсявания в морето и ще намали тяхното влияние върху околната среда, икономическото развитието и здравето на населението в района“.

Според регламентиращите документи “Управление на корабния трафик (Vessel Traffic Management, VTM)“ е система от усилия (т.е. мерки, клаузи, постановления, услуги и свързани с тях функции), които в рамките на определен район и при определени обстоятелства имат за цел да минимизират риска за безопасността на корабоплаването и опазването на околната среда и да максимизират ефективността на водния транспорт и свързаните с него дейности“. Информационните системи за управление на трафика на плавателните съдове VTMIS имат за цел да създадат условия за подпомагане на управлениет на трафика в отговор на обществените и частните изисквания и интереси. VTMIS включва служби и услуги, предоставящи в определен район (на регионално, национално и международно ниво) подходяща информация, която да бъде използвана в реално време и в подходяща форма от различните участници в процеса по управление на трафика.

Освен за управление на трафика VTMIS могат да бъдат използвани и за управление на пристанищните дейности, на товарните потоци и на експлоатацията на флота. Те предоставят моментната картина на трафика, която да бъде използвана

от всички заинтересовани страни. Страните участнички в процеса (в т.ч. държавните органи, пристанищата и корабоплавателните компании, управляващи корабите и товарите), които потребяват информацията от VTMIS се делят на две групи – вътрешни и външни.

Вътрешните потребители са страните, директно свързани с управлението на корабите, като напр. операторите в системата, управляващия и поддържащ персонал, както и корабите в района на действие на системата.

Външните потребители са всички обекти / юридически лица, директно или индиректно свързани с водния транспорт, но извън VTS организациите. По-важните от тях са:

- Пилотските организации и портовия флот;
- Операторите на пристанищни терминали;
- Корабните агенти;
- Митническите служби;
- Военноморските сили и гранична полиция;
- Организациите за търсене и спасяване на море;
- Службите, осигуряващи събирането на отпадъци и опасни товари;
- Съседни VTS и др.

Според регламентиращите документи Информационна система за управление на трафика на плавателните съдове VTMIS е система за управление на корабния трафик, която в допълнение към задачите по управление притежава средствата и възможностите за осигуряване на информация, улесняваща корабите и операторите на товарите с помощта на средства за електронни комуникации с други VTS, както и GMDSS.A1 като брегова система за комуникации и системи за обработка на информация в дадения регион. Корабите участват в тази система от момента, в който са обявили своето навлизане в района на нейното действие до момента, в който я напуснат по пътя си към следващо пристанище. Най-краткото описание на VTMIS е система за разширяване и обогатяване на информацията за корабния трафик.

Безопасността на корабоплаването може да бъде повишена с прилагането на мерки, които най-общо се разделят на две групи – технически и организационни. Към техническите мерки могат да бъдат включени:

- Усъвършенстването на конструкцията на корабите и корабното оборудване;
- Усъвършенстването на оборудването на водните пътища и на средствата за навигационно осигуряване, СНО (Aids–to–Navigation, AtoN);
- Развитието на навигационните системи;
- Въвеждането на системите VTMIS.

В групата на организационните мерки могат да бъдат включени:

- Организация на система за управление на безопасността на корабоплаването (с въвеждането на ISM - кода);
- Подготовка и сертифициране на морските лица (с въвеждане на конвенцията STCW 78/95 с последните поправки);
- Въвеждане на зони за задължително буксироване и ползване на пилот;
- Въвеждане на схеми/системи за разделно движение (Traffic Separation Schemes);
- Въвеждане на система и зони за докладване от корабите (Shio Reporting System, SRS);
- Създаване на станции за информационно подпомагане на корабоплаването (Maritime Assistant Stations, MAS);
- Въвеждане на системите VTMIS.

Във връзка с казаното по-горе се очертават две направления за развитие на системите VTMIS – техническо усъвършенстване на използваната апаратура и усъвършенстване на организацията на дейността им.

Техническото усъвършенстване се реализира с въвеждането на нови технологии и търсене на по-ефективни методи за интегриране на информацията, предоставяна от различните източници. Усъвършенстването на организацията се търси в създаване на регионални системи чрез обмен на информация и взаимодействие между съседни пристанищни и крайбрежни системи, както и чрез създаване на мрежи от системи за наблюдение, обхващащи крайбрежието в една цялостна зона за контрол на движението на плавателните съдове.

Предназначението на системите VTMIS може да се обобщи до изпълнение на следните основни дейности:

- Откриване на кораби и други обекти на морската повърхност;
- Планиране на маршрути за движение на корабите;
- Контрол чрез наблюдение (мониторинг) и управление на движението;
- Въвеждане на режим на движението и на неговото управление;
- Оказване на помощ при управлението на корабите;
- Съпровождане на опасни товари и разрушаващи субстанции;
- Контрол на положението и състоянието на средствата на навигационното осигуряване (фарове, буйове и др.);
- Контрол на котвените стоянки и на швартовите операции;
- Осигуряване на комуникациите в района на действие.

## 1.2. Исторически сведения за развитието на системите VTMIS

Непосредствено след края на Втората световна война във връзка с интензифициране на търговското корабоплаване в резултат на започващото икономическо развитие много от технологиите, развивани предимно за военни цели, започват да намират и цивилни приложения. Една от тези технологии е радиолокацията. През 1947г. Британската фирма Decca произвежда първата брегова радиолокационна станция (БРЛС), предназначена за наблюдение на крайбрежието в интерес на търговското корабоплаване и водния транспорт. Първата инсталация е извършена в 1948г. в гр. Дъглас, а следващата - през 1951г. в пристанището на гр. Ливърпул. През 1951г. в Лонг Бийч, САЩ е инсталирана БРЛС в комбинация с УКВ радиостанция за връзка с корабите в района на действие, като по този начин към наблюдението се добавят и възможности за управление на корабоплаването. През 1956г. в Ротердам, Холандия се изгражда първата мрежа от 7 БРЛС с централен пост за наблюдение и транслиране на изображенията до него. През 1960г. в Германия се изгражда подобна мрежа, в която за първи път се използват необслужваеми радиолокационни станции. През 1972г. в САЩ, Лонг Бийч е инсталирана първата брегова радиолокационна система с възможности за подпомагане на вземането на решения по управлението на трафика на плавателните

съдове. За целта са използвани обработки, приложими в системите за автоматично съпровождане (Automatic Radar Plotting Aids, ARPA). През 2004г. отново в САЩ е изградена първата система с възможности за приемане и изобразяване на данни от автоматичната идентификационна система (Automatic Identification System, AIS). С това се поставя началото на изграждане на нов тип системи, използващи различни видове сензори и интеграция на информацията от тях.

### 1.3. Обща класификация на системите VTMIS

В зависимост от района на действие информационните системи за наблюдение и управление на трафика на плавателните съдове биват:

- Морски (Sea, Offshore VTMIS) – системи, изградени извън териториалните води на държавата, най-често в районите около нефтените платформи и други офшорни съоръжения за добив на нефт и газ;
- Маршрутни (Route VTMIS) – за осигуряване на бърз и безопасен преход по определени маршрути, като системите за разделно движение, разположени в териториалните води на държавата;
- Брегови (Coastal VTMIS) – системи, изградени в крайбрежните райони, около входовете на големите пристанища и устията на плавателните реки и канали;
- Пристанищни (Port VTMIS) – за наблюдение и управление на трафика в пристанищата и в районите с ограничения за маневриране;
- Защитни (Protection VTMIS) – около мостове и други брегови съоръжения, места за улов на риба и за добив на полезни изкопаеми. Обикновено имат ограничен район на действие – до 10nm.

В зависимост от големината информационните системи за наблюдение и управление на трафика на плавателните съдове VTMIS биват:

- Малки – системи, включващи в състава си една брегова РЛС и възможности за комуникация с плавателните съдове в района;

- Средни – системи, включващи в състава си поне две БРЛС, автоматична идентификационна система и средства за комуникации с плавателните съдове в района;
- Големи – системи, включващи в състава си поне три БРЛС, автоматична идентификационна система, средства за видеонаблюдение и средства за комуникации с плавателните съдове в района.

1.4. Изграждане на системата VTMIS на Р. България

Информационната система за управление на трафика на плавателните съдове в териториалните води на Р. България и в Българския отговорен район за търсене и спасяване VTMIS решава следните задачи:

- Непрекъснато наблюдение на териториалното море на Р. България;
- Управление на корабния трафик в големите морски пристанища, Варненския и Бургаски залив, котвените стоянки, езерата и свързващите ги водни пътища;
- Подобряване на възможностите за търсене и спасяване в Българския морски отговорен район;
- Подобряване на информационното обслужване за целите на опазването на околната среда;
- Събиране и предоставяне на цялата нужна информация за корабоплаването на компетентните органи;
- Подобряване на ефективността на морската индустрия в района на действе на системата.

Изграждането на системата преминава през няколко етапа.

Първият етап е осъществен с изграждането на първообраза на системата, наречен „Varna Initial System, VIS“. Разработва се в периода декември 1999г. – май 2000г. по проект „PSO99/BG/3/6 Vessel traffic Management and Efficiency in Bulgaria“, финансиран съвместно от правителствата на Р. България и Кралство Холандия. Системата VIS включва в състава си:

- Две брегови радиолокационни станции (БРЛС) с 18 – футови (18-ft) антени;

- Два отделни екрана, показващи картината на трафика по фарватера, входа на пристанище Варна и подхода към пристанището с подходящ потребителски интерфейс;
- Възможности за наблюдение, управление и запис на картината на трафика на електронен носител.

Системата притежава отворена архитектура, удовлетворяваща изискванията за разширение и за гъвкавост в процеса на експлоатация. Комуникацията между обектите с инсталираните БРЛС и центъра за управление на трафика се осъществява с помощта на стандартен комуникационен канал, позволяващ скорост на обмен до 64 Kbps.

Проектът VIS съдейства за изграждането на устойчиво – развиваща се транспортна система чрез предоставяне на техническа помощ, програмно осигуряване и апаратура от Холандия. Неговата реализация подпомага дефинирането на стратегията за изграждане на VTMIS, включително оценки за реализуемостта и ценовата ефективност, подготовката на функционалната и техническа спецификация и управлението на реализацията на новия проект, както и оценка на работата на VIS за подходите към пристанище Варна, което в последствие се превръща в неделима част от системата VTMIS на Р. България.

Следващият етап в прехода от VIS към VTMIS е изграждането на два VTS центъра:

- VTS Варна, обединяващ информацията от пет радарни сензора (двете БРЛС от проекта VIS плюс три нови, разположени в района на Варненско и Белославско езеро по фарватера към пристанище Варна запад);
- VTS Бургас, получаващ информация от радиолокационната станция, инсталирана на рейдовата кула на пристанището.

Последният етап в процеса на изграждането на системата VTMIS включва реализацията на три последователни проекта, разработени с използването на различни Европейски финансови механизми.

Изпълнението на проект „VTMIS – Фаза 1“ отнема 4 години и приключва в края на 2004г. В резултат от реализацията на проекта са инсталирани няколко

подсистеми за осигуряване на бреговото наблюдение на конвенционалните съдове (радиолокационно и AIS наблюдение, радиопеленгатори, камери за видеонаблюдение на районите на големите пристанища) и за надеждна комуникация на улракъси вълни (УКВ) между бреговите системи и корабите, плаващи в териториалните води на Р. България (GMDSS.A1).

В резултат от работата по проект „Phare BG0012.01 - Vessel Traffic Management and Information System“ в Р. България е изградена една модерна и високотехнологична автоматизирана система, чиято основна задача е повишаване на безопасността и на ефективността на корабоплаването в района, опазването на човешкия живот на море и на околната среда от възможните неблагоприятни въздействия на корабоплаването в териториалните води на Р. България. Системата предоставя на потребителите различна по вид и количество навигационна информация за подпомагане на вземането на управленски решения. Системата позволява идентифициранe и съпровождане на корабите и други навигационни обекти, както и планиране на трафика в района.

Основните цели при изграждане на системата са:

- Повишаване на морската безопасност в териториалните води на Р. България;
- Повишаване на темповете на икономическо развитие посредством подобряване на условията за работа на морския транспорт в големите морски пристанища на Р. България;
- Повишаване на нивото на опазване на околната среда в териториалните води на Р. България;

В рамките на проект „VTMIS – Фаза 1“ са изградени и интегрирани следните структури:

- Система за радиолокационно наблюдение, осигуряваща картина на корабния трафик по Българското черноморско крайбрежи и по-специално във входовете на пристанища Варна и Бургас и подходите към тях, включително и по фарватера към пристанища Варна запад;
- Интерална автоматична идентификационна система за автоматична идентификация и наблюдение на движението на плавателните съдове;

- Система за видеонаблюдение в пристанищата, осигуряваща картина на трафика в реално време;
- Система от радиопеленгатори за целите на локализирането на корабите в районите на подходите към пристанищата;
- Две хидро-метеорологични станции;
- Система за управление и мониторинг, позволяваща дистанционен достъп и управление на техническите компоненти;
- Комуникационна система за връзка с корабите на УКВ, осигуряваща пълно покритие на териториалните води на Р. България и район А1 на световната морска система за безопасност и бедствия GMDSS.A1;
- Система за обработка на данни за корабите и за техните преходи към и от Българските пристанища, както и за поддържане на база от данни за последващи справки;
- Телекомуникационна мрежа от радиорелейни станции (Microwave Carrier Link, MCL) за свързване и за интегриране на всички компоненти на системата;
- Мрежа за обмен на данни, разпространяваща информацията за трафика на плавателните съдове до всички заинтересовани страни, с възможности за свързване с външни системи;
- Напълно оборудвани оперативни центрове.

Информацията, осигурена от системата VTMIS се използва от министерството на финансите (Митническа администрация), министерството на вътрешните работи (Гранична полиция), министерството на отбраната (Военноморски сили), министерството на околната среда и водите, министерството на земеделието и храните, от образувателните институции и от цялата морска общественост на Р. България.

Проектът „VTMIS – Фаза 2“ е разработван в продължение на следващите 3 години (през периода 2004 - 2007г.). През това време е извършено подобряване на техническата инфраструктура на системата VTMIS с добавянето на нови БРЛС, радиопеленгатори и друго оборудване за наблюдение, включващо термовизионни

камери и хидро-метеорологични станции. Осъществено е и разширение на телекомуникационната мрежа, необходимо за включването на новите сензори.

Проектът се разработва с цел удовлетворяване на изискванията на международните стандарти за действие на системата като цялостна VTMIS. Финансирането е осигурено по програма Phare (BG 2003/004-937.04.01) на Европейския съюз. Основните дейности по проекта са насочени главно към подобряване на техническата инфраструктура на съществуващата система VTMIS на Р. България като интегриран инструмент за цялостно удовлетворяване на посочените по-горе цели и в съответствие с директивите на ЕС и Резолюция А.857 (20) на Международната морска организация IMO, на конвенцията SOLAS 74/78 с последните изменения, на изискванията на Международия съюз по телекомуникации ITU относно Световната морска система за бедствия и безопасност GMDSS.A1 и на изискванията на Международната асоциация на фаровите служби и средствата за навигация, дефинирани в документите IALA VTS Guide и IALA AIS Guide.

Проектът „VTMIS – Фаза 2“ подобрява експлоатационните възможности и разширява техническиа състав на системата с добавянето на:

- Седем нови БРЛС за разширяване на системата за радиолокационно наблюдение с подсистема за обработка, използваща алгоритми за многомоделно съпровождане, базирана на телекомуникационната архитектура, която е изградена при реализацията на проект „VTMIS – Фаза 1“;
- Три нови радиопеленгатора за разширение на зоната за наблюдение и цялостно покритие на Българското черноморско крайбрежие. Цялостната система от радиопеленгатори осигурява откриването на / насочването към малки неконвенционални съдове и подпомага дейностите по организиране и провеждане на операции по търсене и спасяване в Българския морски отговорен район;
- Разширяване на телекомуникационната мрежа от радиорелейни станции за свързване на новоинсталираните БРЛС;

- Нови видеокамери с инфрачервени сензори за нощно наблюдение на пристанищата и крайбрежните райони;
- Нови компютри и програмно осигуряване за информационната система и за управление на данните за трафика, тяхното разпространение и обмен между външните потребители. Новата платформа за управление на базата от данни предоставя възможности за оценка и статистически анализи на работата на системата и за поддържане на нейните информационни ресурси.

Проектът „VTMIS – Фаза 3“ е разработван в периода 2013 – 2015г. С неговата реализация е разширено покритието на съществуващата система по цялото Българско черноморско крайбрежие и е осъществено интегриране на всички подсистеми в една обща морска информационна система. В рамките на проекта е извършено обновяване на телекомуникационната инфраструктура, изграждане на нов център за електронна документация на дейностите, свързани с морския транспорт. Целта на този център е да разшири обхвата на информационните услуги и да предостави възможности за взаимодействие с други информационни системи на правителствени и ведомствени структури, в съответствие с изискванията на Европейсккото законодателство.

Проектът „VTMIS – Фаза 3“ е включен в приоритетна ос IV на Оперативна програма „Транспорт“ – „Подобряване на навигацията по море и по вътрешните водни пътища на Р. България“. Основните цели на проекта предвиждат инсталиране на радиолокационни станции от ново поколение, използващи твърдотелни усилватели на мощност (Solid-State Power Amplifiers, SSPA) и тяхното интегриране към съществуващата система за радиолокационно наблюдение, както и развитие на бреговата система GMDSS на Р. България.

В допълнение, цялостната ефективност на системата се повишава с добавянето на софтуер за триизмерна визуализация на обстановката в района на наблюдение и с VTS симулатор за подготовка на операторите в системата. Инсталирането на нови информационни центрове с голям капацитет в новите сгради във Варна и Бургас (Брегови център Варна и Брегови център Бургас) позволяват пълна интеграция на всички сензори в единна информационна система.

Целта на проекта „VTMIS – Фаза 3“ е да удовлетвори изискванията, заложени в ОП „Транспорт“:

- Подобряване на безопасността на водния транспорт в бреговата зона и акваторията на Р. България чрез изграждане и въвеждане в експлоатация на система за наблюдение и управление на корабния трафик и предоставяне на информационни услуги в областта на водния транспорт като част от Европейската система за морска безопасност SafeSeaNet;
- Обосноваване и изграждане на навигационна информационна система за подобряване на цялостната ефективност и обхват на инфомационните услуги за корабоплаването и разширяването на покритието на системата по цялото Българско черноморско крайбрежие;
- Изграждане на сгради на бреговите центрове за наблюдение и управление на корабния трафик и за предоставяне на информационни услуги в областта на корабоплаванието.

С реализацията на проекта „VTMIS – Фаза 3“ се разширява покритието на съществуващата система по цялото Черноморско крайбрежие и се осъществява интеграция на всички подсистеми, свързани към паневропейските структури в съответствие с изискванията на Европейското и на международното законодателство. Обновяването на телекомуникационната инфраструктура гарантира постоянна висока скорост на обмен на всички видове данни, включващи и гласовите комуникации. Изграждането на нов център за електронен документооборот в морския транспорт на Р. България по концепцията „Обслужване на едно гише (Single window)” подобрява цялостната ефективност и разширява обхвата на информационните услуги за морската индустрия и осигурява възможности за взаимодействие на държавните и ведомствени структури, от областта на морския транспорт.

В резултат на цялостното изграждане на системата, преминало през трите фази е повишена безопасността на корабоплаването, създадени са условия за подобряване на ефективността на корабоплаването и за опазването на околната среда. Системата осигурява информационни и навигационни услуги, комуникация с

корабите и обмен на информация с компетентните власти в случай на бедствия и в критични ситуации. Тя оптимизира управлението на корабния трафик чрез постоянен обмен на информация между участниците в морския транспорт и правителствените компетентни органи за по-добро планиране на посещенията на корабите и на товарни операции. Чрез осъществяване на непрекъснат мониторинг на корабния трафик системата предоставя възможности за избягване на критични ситуации, включващи разливи на нефтопродукти. В случай на замърсяване системата предоставя информация до всички заинтересовани страни, скъсявайки значително времето за реакция.

1.5. Техническа структура на системата

Системата VTMIS се състои от следните основни елементи:

- Подсистема за радиолокационно наблюдение, включваща:
    - 9 бр. брегови радиолокационни станции с магнетронен приемопредавател, инсталирани по време на изпълнението на Фаза 1 и Фаза 2 и оборудвани със специализиран радарен процесор резервирана конфигурация‘
    - 4 бр. нови БРЛС с твърдотелен приемопредавател, 21-футова антена и специализиран радарен процесор в резервирана конфигурация;
    - 3 бр. нови БРЛС с твърдотелен приемопредавател, 18-футова антена и специализиран радарен процесор в резервирана конфигурация.
- Подсистема за работа с автоматичната идентификационна система AIS, включваща 6 бр. нови базови станции в резервирана конфигурация (6 бр. х 2 приемопредавателя);
- Подсистема от радиопеленгатори (Radio Direction Finders, RDF), включваща:
    - 5 бр. радиопеленгатора, инсталирани по време на изпълнението на Фаза 1 и Фаза 2 и интегрирани в системата;
    - 1 нов радиопеленгатор;
- Метеорологични станции - 12 нови метеорологични станции с комплект датчици;

- Подсистема за видеоблюдение, включваща 9 бр. нови комбинирани наблюдателни системи с термовизионни камери;
- Подсистема от референтни станции за диференциална корекция (Differential GPS, DGPS) - 2 бр. нови DGPS референтни станции;
- Подсистема за радиокомуникации на УКВ, включваща:
    - 8 бр. УКВ приемо-предаватели с антени;
    - 8 бр. УКВ приемници, работещи в режим на цифрово избирателно повикване (Digital Selective Calling, DSC) с антени;
    - VoIP оборудване за пренос на глас чрез телекомуникационната мрежа;
    - 8 бр. операторски радио интерфейса, интегрирани във VTS операторските работни места на (4 бр. за БЦ Варна и 4 бр. за БЦ Бургас);
    - 2 комплекта централни сървъри за гласово управление /запис /възпроизвеждане (по един комплект за БЦ Варна и за БЦ Бургас);
    - 2 бр. NAVTEX приемника на СВ (по един за БЦ Варна и за БЦ Бургас).
- Подсистема за обработка на данни, включваща 2 комплекта основни сървъри (VTS сървър, AIS сървър, Сървър база данни, Времеви сървър), оборудвани със съответния софтуер за обработка на данни, интегриране и записване. (по един комплект за БЦ Варна и за БЦ Бургас);
- Операторски работни места:
    - 8 бр. VTS операторски работни места (4 бр. за БЦ Варна и 4 бр. за БЦ Бургас), оборудвани с компютри, дисплеи, обзавеждане, УКВ периферия (микрофон, високоговорители, педали и т.н.) и специализиран софтуер за управление на операциите;

- 2 бр. VTS контролни работни места (по едно за БЦ Варна и за БЦ Бургас), оборудвани с компютри, дисплеи, обзавеждане и специализиран софтуер за операциите;
- 2 бр. VTS мениджърски работни места (по едно за БЦ Варна и за БЦ Бургас), оборудвани с компютри, дисплеи, обзавеждане и специализиран софтуер за операциите;
- 2 бр. VTS инженерни работни места (по едно за БЦ Варна и за БЦ Бургас), оборудвани с компютри, дисплеи, обзавеждане и специализиран софтуер за операции.

- Допълнително оборудване, включващо:
  - 2 бр. VTMIS видео стени (по една за БЦ Варна и за БЦ Бургас);
  - LAN и WAN оборудване;
  - Шкафове за оборудването (19” ракове);
  - IP телефони.
- Съоръжения за отдалечени потребители, включващи 30 комплекта софтуер за отдалечени работни места, подобни на тези като на VTS операторите, но без възможност за управление на сензори за достъп до VTS на отдалечени потребители като ИАМА, гранична полиция и други институции, имащи отношение към дейността на системата;
- VTS симулатори – 3 комплекта (1 комплект за БЦ Варна, 1 комплект за БЦ Бургас и 1 комплект за обучаващата организация), включващи по 1 работно място за инструктор и 3 работни места за обучаеми;
- Резервни части и инструменти.

За продължаване на работата на Българската част от Световната морска система за бедствие и безопасност СМСББ в райони А1 и А2 (GMDSS.A1 и GMDSS.A2) допълнително е доставено следното оборудване:

- УКВ подсистема за гласова комуникация и за цифрово избирателно повикване (Digital Selective Calling, DSC), включваща:
    - 12 бр. УКВ радиостанции за гласова комуникация с антени в резервирана конфигурация (6 х 2 бр. приемопредаватели);
    - 12 бр. УКВ радиостанции за цифрово избирателно повикване DSC с антени в резервирана конфигурация (6 х 2 бр. приемопредаватели);
    - VoIP оборудване за пренос на глас чрез телекомуникационната мрежа.
- СВ/КВ подсистема за гласова комуникация и за цифрово избирателно повикване DSC, включваща:
    - 1 бр. КВ приемник с антена;
    - 10 бр. КВ приемници, работещи на една обща антена чрез комутатор (6 бр. за гласова комуникация и 4 бр. за DSC);
    - 3 бр. КВ/СВ предаватели (два основни и един резервен);
    - 1 бр. КВ/СВ предавателна антена;
    - 1 бр. антенен комутатор, позволяващ работа на всички КВ/СВ предаватели с една антена;
    - VoIP оборудване за пренос на глас чрез телекомуникационната мрежа.
- Подсистема за Navtex съобщения:
    - 4 бр. Navtex приемници с антени;
    - 3 бр. Navtex предаватели (два основни и един резервен);
    - 1 бр. Navtex предавателна антена (тип Т);
    - 1 бр. антенен комутатор, позволяващ работа на всички Navtex предаватели с една антена.
- Работни места за оператори, както следва:
    - 6 бр. GMDSS операторски работни места (5 бр. за БЦ-Варна и 1 бр. за БЦ-Бургас), оборудвани с компютри, монитори, обзавеждане и специализиран работен софтуер;

- 6 бр. операторски радиоинтерфейси (по един за всяка операторска работна станция), интегрирани в GMDSS операторските работно място;
- 1 бр. GMDSS инженерно работно място, разполагащо с функциите на операторските работни станции (за БЦ-Варна), оборудвано с компютри, монитори, обзавеждане и специализиран работен софтуер;
- 1 бр. операторски радиоинтерфейс, интегриран в GMDSS инженерното работно място.

- Център за обработка на данните, включващ два комплекта основни сървъри (резервиран GMDSS сървър, резервиран GMDSS Сървър база данни и сървър за аудиозапис и възпроизвеждане), оборудвани със съответния софтуер за обработка на данни, интегриране, записване. (по един комплект за БЦ-Варна и БЦ-Бургас);
- Допълнително оборудване, включващо:
  - LAN и WAN оборудване;
  - Шкафове за оборудването (19” ракове);
  - IP телефони.
- Резервни части и инструменти.

Оборудването е разпределено и инсталирано в определени обекти (сайтове), разположени по крайрежието и свързани с телекомуникационна мрежа от радиорелейни станции. Мрежата е изградена от три вида радиорелейни станции – крайни, свързващи и станции с разклонения и използва честотния обхват на сантиметровите вълни (12GHz SHF). Ширината на комуникационните канали е 28 MHz, което позволява общата скорост на обмен на данни и глас да е 155 Mbps.

Участъците от мрежата, изградени в рамките на проект „VTMIS – Фаза 3“ са разпределени в районите на Северното и Южното Черноморие както следва:

1. Район „Северно Черноморие“

- Калиакра 1 - Балчик 1;
- Балчик 1 – Радиоприемен център (РПЦ) Кичево;
- РПЦ Кичево – Каменар;
- РПЦ Кичево – Радиопредавателен център (РПЦ) Китка;
- Каменар - Пост 3;
- Каменар - Пост 2;
- Каменар - Брегови център (БЦ) Варна;
- Каменар – Горица;
- БЦ Варна - Рейдова кула (РК) Варна;
- Пост 3 - Пост 2;
- Пост 3 – Белослав 2;
- Белослав 2 - Фериботен комплекс Варна;
- РПЦ Китка – Горица;
- Горица - Емине 1.

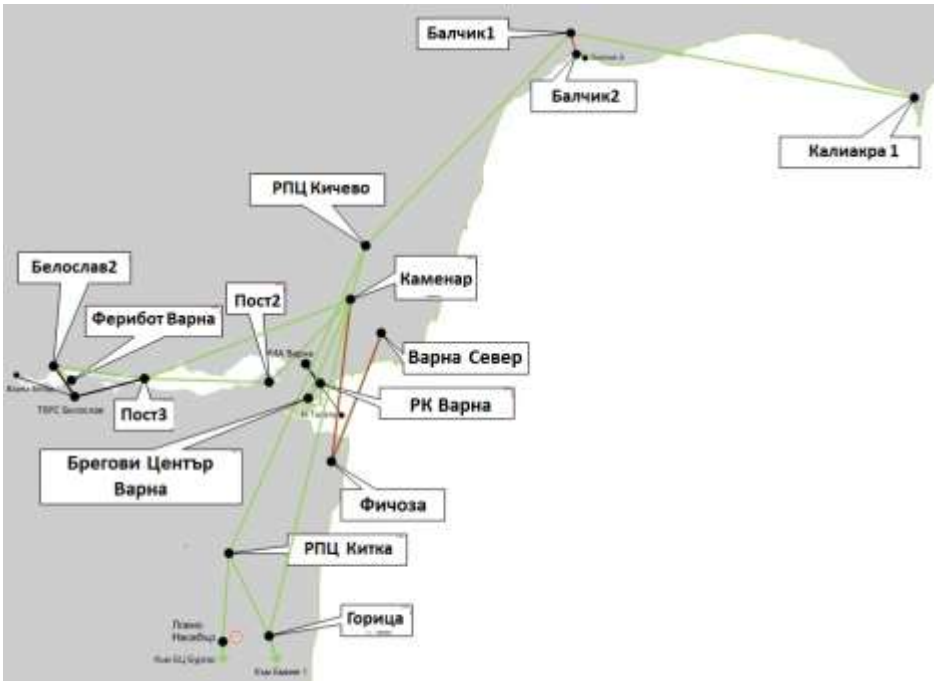
2. Район „Южно Черноморие“
- Емине 1 - Връх Китка;
- РПЦ Китка - Ловно Несебър;
- Ловно Несебър - Брегови център (БЦ) Бургас;
- БЦ Бургас - Емине 1.

От мрежата, изградена по време на реализацията на Фаза 1 и Фаза 2 се запазват връзките:

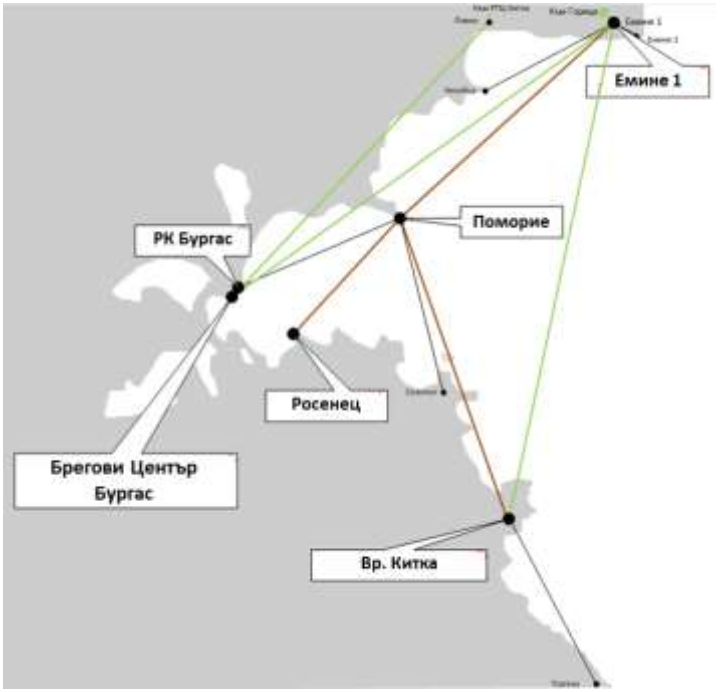
1. В район „Северно Черноморие“
- Балчик 1 – Балчик 2;
- ТВРС Варна (Каменар) – Фичоза;
- Фичоза – Траката.

2. В район „Южно Черноморие“
- Емине 1 – Поморие;
- Поморие - Връх Китка;

- Поморие – Нефтено пристанище Росенец.




Фигура 1.1. Разположение на радиорелейните станции в район “Север”




Фигура 1.2. Разположение на радиорелейните станции в район „Юг”

Връзките, изградени по предходните фази са интегрирани в новата система с помощта на специализирано интерфейсно оборудване. Топологията на връзките за двата района е показана на фиг. 1.1 и 1.2.

Важно е да се отбележи, че при проектране на топологията на мрежата е обърнато специално внимание на нейната надеждност. Мрежата е проектирана като съвкупност от участъци с т. нар. „Кръгови връзки / линкове“. Когато някоя от връзките в кръга пропадне, трафикът се пренасочва в другото направление за запазване на работоспособността на системата. Ако например в кръговия линк “Емине 1 – Поморие – вр. Китка“ пропадне връзката между Емине 1 и Поморие, трафикът ще се пренасочи от Емине 1 през вр. Китка към Поморие и работата на системата няма да бъде нарушена.




Фигура 1.3. Видове оборудване, инсталирано на различни обектите в системата VTMIS на Р. България

Обектите, свързани към телекомуникационната мрежа, са оборудвани с различни по вид и предназначение апаратури, както е показано на фиг. 1.3.

Информацията от тях се събира, обработва и съхранява в Бреговите центрове Варна и Бургас. Центровете са идентични и свързани помежду си, което позволява функциите на всеки един от тях да се поемат от другия в случай на авария, кризисна ситуация и пр. Това повишава значително надеждността на системата.

1.6. Законова база на системите VTMIS

Дейността на информационните системи за управление на трафика на плавателните съдове VTMIS се регламентира от две групи документи – международни и национални. Международните документи са задължителни, ако държавата е подписала съответната конвенция и препоръчителни за останалите случаи. Препоръчителните документи се вземат пред вид в различна степен според съответствието с националното законодателство.

За информационната система за управление на трафика на плавателните съдове на Р. България задължителни са следните международни документи:

- Конвенция **SOLAS (Safety Of Life At Sea), Ch. V, Reg. 12**, Vessel Traffic Services, Ship Reporting System;
- Общите принципи на **IMO (International Maritime Organization) Assembly Resolution A.851(20),** General Principles for ship reporting systems and ship reporting requirements, including guidelines for reporting incidents involving dangerous goods, harmful substances and/or marine pollutions;
- Указанията на **IMO Assembly Resolution A.857(20 ),** Guidelines for vessel traffic services;
- Препоръките на **IMO Assembly Resolution A.158(ES.IV),** Recommendation on port advisory services;
- Стандартните морски комуникационни фрази **IMO Assembly Resolution A.918(22),** IMO Standard Marine Communication Phrases, Part AI/6 "Vessel Traffic Service (VTS) Standard Phrases" );
- Одобрението на поправките на **IMO Resolution MSC.111(73),** Adoption of Amendments to Guidelines and Criteria for Ship Reporting System;
- Наръчника на **IALA (International Association of Lighthouse Authorities and marine aids to navigation)** Vessel Traffic Service Manual;

- Указанията на **IALA** Guidelines on VTS Operating Procedures;
- Препоръките на **IALA** Recommendation V-103, Standards of Training and Certification of VTS Personnel;
- **International Convention on Standards of Training, Certification and Watch-keeping for Seafarers (STCW 78/95)**;
- **International Aernautical and Maritime Search And Rescue International Convention (IAMSAR)**;

Както вече беше споменато, в Европейското законодателство също се включват няколко документа, регламентиращи дейността на системите на държавите – членки на Съюза, в т.ч. и на Р. България:

- **Директива 2002/59/ЕО** на Европейския парламент и на Съвета от 27.06.2002г. за създаване на система на Общността за контрол на движението на корабите и за информация;
- **Директива 2009/17/ЕО** на Европейския парламент и на Съвета от 23.09.2009г. за създаване на система на Общността за контрол на движението на корабите и за информация, в която са публикувани измененията на предходната директива;
- **Директива 2010/65/ЕС** на Европейския парламент и на Съвета от 20.10.2010г. относно формалностите за даване на сведения за кораби, пристигащи във или напускащи пристанищата на държавите-членки и за отмяна на Директива 2002/6/ЕО.

Списъкът с националните документи, свързани с дейността на информационната система за управление на трафика на плавателните съдове VTMIS на Р. България включва:

- **Кодекс на търговското корабоплаване** (Загл. изм. – ДВ, бр. 113 от 2002г.);
- **Закон за морските пространства**, вътрешните водни пътища и пристанищата на Р. България, (изм. – ДВ, бр. 26 / 01.04.2016г.);
- **Закон за електронните съобщения,** (в сила от 06.12.2016, ДВ, бр. 103 / 27.04.2016г.);

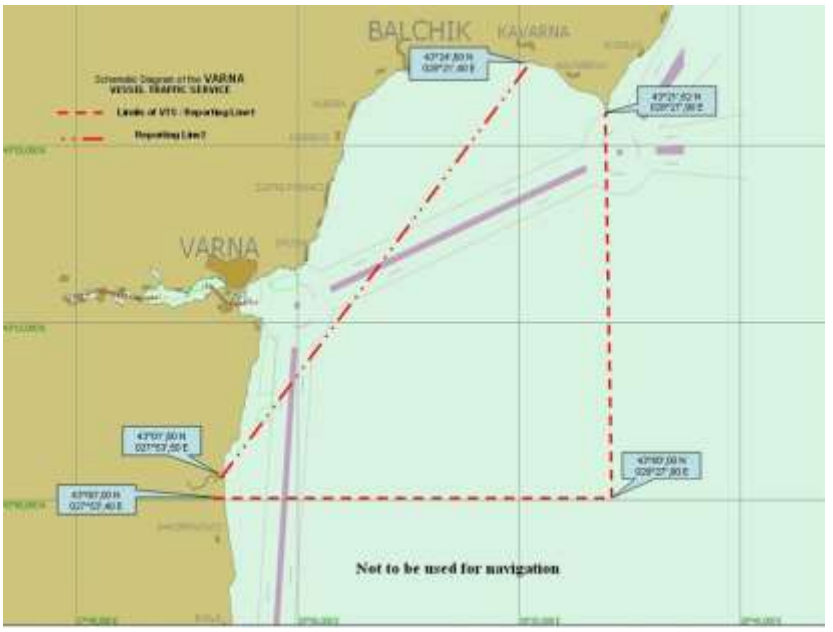
- **Наредба** за системите за движение, докладване и управление на трафика и информационно обслужване на корабоплаването в морските пространства на Р. България (Загл. изм. – ДВ, бр. 97 от 2010г., в сила от 10.12.2010г.);
- **Наредба** за системите за движение, докладване и управление на трафика и информационно обслужване на корабоплаванетов морските пространства на Р. България (Загл. изм. – ДВ, бр. 97 от 2010г., в сила от 10.12.2010г.);
- **Наредба** за организацията за осъществяване на граничен, паспортен, митнически, здравен, ветеринарномедицински, фитосанитарен контрол, както и контрол на транспортните средства в пристанищата на Р. България, обслужващи корабите от международно плаване (изм. и доп. – ДВ, бр. 12 от 03.02.2017г.);
- **Наредба** за обмена на документи в администрацията (Загл. изм. – ДВ, бр. 5 от 2017г., в сила от 01.03.2017г.);
- **Наредба №1** от 31.01.2001г. за условията и реда за осъществяване на пилотска дейност в Р. България (Обн. – ДВ, бр. 12 от 09.02.2001г.);
- **Наредба №7** от 23.05.2001г. за реда за посещение, маневриране и престой на корабите в пристанищата и рейдовете, за товарене и разтоварване, за качване на кораба и слизане на брега на екипажа, на пътниците или други лица, както и за връзка на кораба с брега (изм. – ДВ, бр. 52 от 08.07.2016г.);
- **Задължителни правила за морските пристанища** на Р. България, издадени от Изпълнителния директор на ИА „МА“ (изм. и доп. – ДВ, бр. 57 от 27.07.2012г., в сила от 27.02.2012г.);

Основният регламентиращ документ в горния списък е Наредбата за системите за движение, докладване и управление на трафика и информационно обслужване на корабоплаванетов морските пространства на Р. България. След обсъждане пред морската общественост Наредбата е приета, публикувана в Държавен вестник и влиза в сила през м. септември 2005г., а в последствие, изменена и допълнена влиза в сила през 2010г. Две са основните причини за измененията в наредбата - промяна на организационната структура на системата (извеждането от състава на ИА „МА“ и включване в структурата на ДП „ПИ“) и членството на Р. България в Европейския

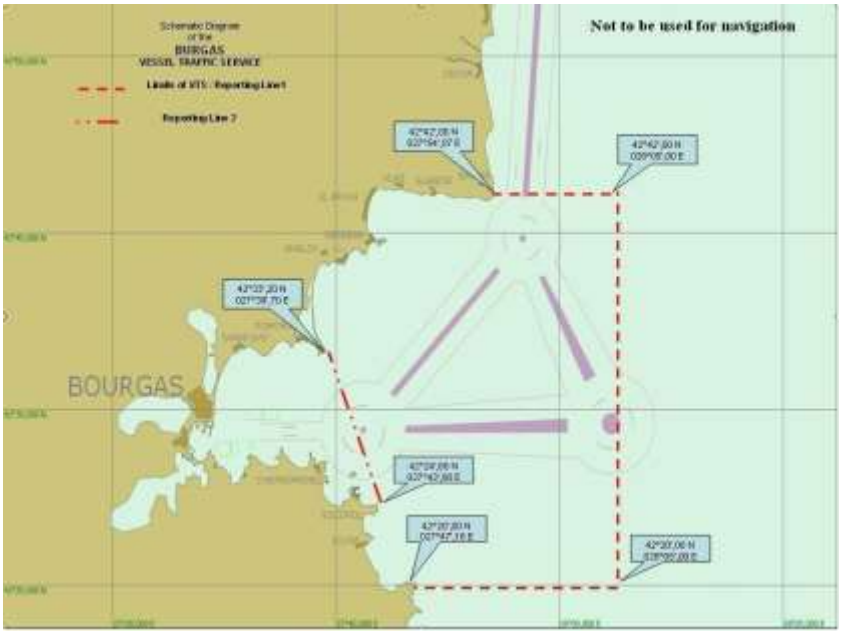
съюз. Наредбата съдържа пет глави, допълнителни и заключителни разпоредби и приложения. Първа глава съдържа общи разпоредби, описващи условията и редът за установяване, изменяне и отменяне на системата и контролът по нейното изграждане, поддържане и осигуряване с кадри, както и видовете плавателни съдове, за които се прилага и за които не се прилага наредбата. Втора глава съдържа общо описание на системата за управление на трафика информационно обслужване на корабоплаването. В трета глава са описани процедурите за създаване, изменяне и отменяне на системата за движение в морските пространства на Р. България. Четвърта глава описва процедурите, включени в системата за докладване в морските пространства на Р. България. Пета глава съдържа административнонаказателните разпоредби по дейността на системата. В приложенията са включени райните за рутинен доклад и отговорните райони за наблюдение и управление на трафика, обслужвани съответно от брегови център Варна и брегови център Бургас и показани съответно на фиг. 1.4 и фиг. 1.5. В приложенията са включени и системата (схемата) за разделно движение в морските пространства на Р. България, както и Българският морски отговорен район за търсене и спасяване.

В Приложение №7, включено в текста на изменената наредба е описана процедурата за обмен на информация с Европейската система за безопасност на корабоплаването SafeSeaNet. Представена е общата концепция и структура на системата, описани са нейното действие, управление и поддръжка. Обменът на данните чрез SafeSeaNet и правата за достъп, свързани със сигурността на информацията са описани в отделни точки в приложението.

В разгледаните по-горе документи са включени дефиниции на основните понятия и са представени правата и задълженията на страните, участнички в дейността на информационните системи за управление на трафика на плавателните съдове.




Фигура 1.4. Район за рутинен доклад и отговорен район за наблюдение и управление на трафика, обслужван съответно от брегови център Варна




Фигура 1.5. Район за рутинен доклад и отговорен район за наблюдение и управление на трафика, обслужван съответно от брегови център Бурас

***Район на действие на системата*** е акватрия с ясно определени граници, в която системата VTMIS изпълнява своите функции в рамките на предоставените й права и възложените й отговорности.

***Страните в района на действие на системата*** са:

- Капитанът на кораба и вахтеният помощник;
- Операторът на системата VTMIS и операторите на съдействащите служби;
- Пилотът.

Капитанът се свързва с оператора по определените правила. Качването и слизането на пилота се извършва на определените за целта места.

***Правата на системата VTMIS*** включват:

- При навлизане на кораба в района на действие на системата да изисква от него информацията, предвидена в документите, регламентиращи нейното действие;
- Да контролира дали корабът изпълнява установените правила за движение и да предоставя на капитана на пристанището информация за тяхното нарушаване;
- В случай на авария да дава указания за промяна на режима на движение на кораба и да изисква незабавното им изпълнение.
- Да изисква потвърждение на получаването на предупреждения и указания от Центъра за управление;
- При управление на движението да дава задължителни за изпълнение указания на кораба по отношение на:
    - Реда и времето за начало на придвижването;
    - Маршрута и скоростта на движението;
    - Реда за преминаване на корабите по фарватерите и за тяхното пресичане;
    - Местата за вземане на пилот и за неговото сваляне;
    - Местата на котвените стоянки.
- При оказване на на помощ по управлението на кораба да изисква потвърждение на получените информация и препоръки, както и сведения за предприетите действия.

***Системата VTMIS носи отговорности***:

- За изпълнение на целите и задачите, определени при нейното създаване;
- За качеството на предоставяните информационни услуги.

***Капитанът на кораба*** носи отговорности за безопасността на екипажа, кораба и товара. В случай, че не може да изпълни указанията на Центъра за управление, капитанът съобщава причините и своите по-нататъшни намерения. Неприемането на информацията, предупрежденията, препоръките и указанията на Центъра за управление не снема отговорността на капитана. В случай на неправилни препоръки от страна на Центъра за управление, довели до авария, съдът може да вземе предвид, че капитанът може да игнорира тези препоръки, когато, според него, те могат да доведат до инцидент.

При оказване на на помощ по управлението на кораба да изисква потвърждение на получените информация и препоръки, както и сведения за предприетите действия.

Организацията на дейността на информационните системи за управление на трафика на плавателните съдове VTMIS се подчинява на някои общи принципи.
Районът на действие напр. може да се раздели на подрайони, определени най-вече от географското разположение. Системата на Р. България напр. е разделен на два района, свързани с дейността на морските пристанища с национално значение - район Варна и район Бургас. В Германия районите на системата са разделени географски на Северно море и Балтийско море. В района на Северно море функционират 8 VTS центъра – Емден, Вилемсхафен, Бремерхафен, Бремен, Куксхафен, Кийл канал, Брунсбютел и Хамбург. В района на Балтйско море действат два центъра – в Любек и в Рощок.

Работата на системата VTMIS може да се раздели на няколко служби, напр.:

- Служба „Информация“, която предоставя на корабите координатите, параметри на движението и дестинациите на останалите съдове в района, всички промени в информацията за района на действие на системата VTMIS,

както и хидро и метеорологичната информация, навигационни предупреждения, състояние на средствата за навигационно осигуряване, наличие на навигационни опасности, УКВ каналите за връзка с VTMIS, с пилотските станции и пристанищните служби;

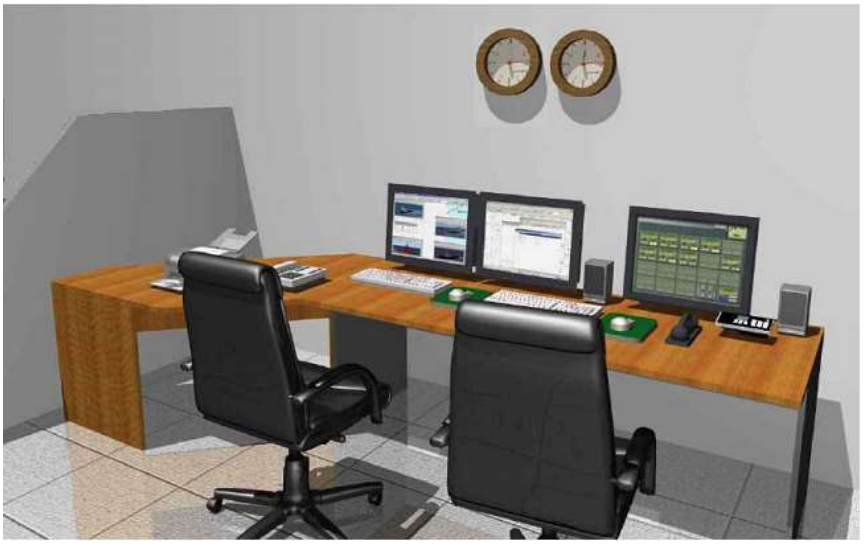
- Служба „Оказване на помощ на корабоводенето“, която да оказва съдействие на корабите при сложна навигационна и метео обстановка или при повреда или липса на определени технически средства за наблюдение и навигационно осигуряване. Помощ се оказва или по искане на кораба, или ако Центърът за управление реши, че е необходимо. Началото и краят се задават и потвърждават и от двете страни;
- Служба „Организация на движението“, която да предодвратява развитието на опасни ситуации и да осигурява безопасността и ефективността на корабоплаването чрез предварително планиране на движението на съдовете, установяване на режими на движение, напр. при военни учения или лоши хидрометеорологични услови, както и при проследяване на движението на съдовете и осъществяване на контрол по спазване на правилата;
- Други служби, свързани с дейността на системата, като пилотски станции, пристанища, хидрометео- служби, агентски фирми, служби за опазване на околната среда, морски спасително-координационен център и др.

## 1.7. VTS Симулатор

В програмите за реализиране на всяка една от трите фази на изграждане на системата VTMIS на Р. България е включено и обучение на операторите и на техническия персонал, осигуряващ подържането и експлоатацията на техническите средства. В съответствие с изискванията на IALA, описани в IALA VTS Manial в подготовката на VTS операторите трябва да се използва симулатор, който да предостави походящи условия за придобиване на уменията и компетентностите, необходими в тяхната работа.

Симулаторът, изграден по проект „VTMIS – Фаза 3“ включва в състава си инструкторско място, две работни места за VTS оператори и едно място за старши

оператор (супервайзор). Съществува възможност за включване и на работно място на борда на виртуален кораб, плаващ в района на действое на системата.



Фигура 1.6. Работно място на инструктора (по проект „Изграждане на лаборатория по Информационни системи за управление на трафика на плавателните съдове VTMS" на ВВМУ)

Инструкторското работно място на симулатора е разработено на базата на навигационния симулатор на Transas „Navi-Trainer NTPro 5000", както е показано на фиг. 1.6. Програмното осигуряване предоставя на инструктора следните възмжности:

- Генериране и редактиране на сценарии за провеждане на упражнения;
- Изпълнение на упражненията на операторските работни места;
- Наблюдение на изпълнението на упражнението;
- Извършване на корекции в сценария в процеса на изпълнение на упражнението (в реално време).

Сценарият за всяко упражнение включва описание на позициите и параметрите на движение на обектите, разположени в района. Обектите могат да бъдат:

- кораби, влекачи и/или неконвенционални съдове;

- швартовани кораби;
- спасителни съдове, участващи в операции по търсене и спасяване;
- оборудване за наблюдение, включено в състава на VTS центъра.

Възможно е допълнително включване в сценария на упражнението на някои настройки на хидро и метеорологичните условия и батиметрията на района.
Район за упражнение може да бъде или модел, или реален географски район. Той представлява съвкупност от:

- Пространствен модел на терена (с подводна и надводна част);
- Пространствени модели на бреговата инфраструктура (сгради, мостове, терминали и т.н.);
- Пространствени модели на средствата за навигационно осигуряване (фарове, буйове и др.);

В симулатора са включени районите на двете големи пристанища Варна и Бургас, техните входове и подходите към тях, както и фарватера за влизане в пристанище Варна Запад.

Процедурата за генериране на сценарий за провеждане на упражнение включва следните стъпки:

- Избор на географски район;
- Настройка на началните позиции на обектите;
- Настройки на скоростите и маршрутите за придвижване на обектите;
- Настройки на характеристиките на навигационното оборудване и корабните механизми на виртуалния кораб и на останалите цели;
- Настройка на хидрометеорологичните условия и промени за времето на провеждане на упражнението.
- Въвеждане на промени в батиметричните условия на района;
- Настройка на датата и часа на провеждане на упражнението.

За първоначална подготовка на инструкторите е проведен специализиран курс (Training of the Trainers) от доставчика на оборудването на симулатора.

За практическо обучение на VTS оператори в състава на симулатора са включени работни станции Transas Navi Harbour (вж. фиг. 1.5).



Фигура 1.7. Работни места на VTS операторите, включени в състава на симулатора (по проект „Изграждане на лаборатория по Информационни системи за управление на трафика на плавателните съдове VTMS" на ВВМУ)

Станциите предоставят предимството от взаимодействие с активни цели, които могат да бъдат управлявани от програмата по предварително написания сценарий или от инструктора. Работната станция за обучение на оператора притежава следните основни характеристики:

- Симулира основните оперативни функции на екрана на оператора (Operator Display Unit, ODU) в реалната система (вместо реален радиолокационен сигнал например се използва симулиран);
- Графичният интерфейс е идентичен с този от реалната система;
- Предоставя възможности за лесна адаптация към конкретната оперативна зона и околната среда на всяка реална VTS;
- Имитира движението на целите на основата на информацията.



Фигура 1.8. Работно място на борда на виртуалния кораб, включен в състава на VTS симулатора (по проект „Изграждане на лаборатория по Информационни системи за управление на трафика на плавателните съдове VTMS" на ВВМУ)

За обучението и практическата подготовка на операторите в системата и в съответстие с изискванията на международните и национални регламентиращи документи са разработени два специализирани курса: курс за VTS оператор и курс за преподготовка на кадрите на работното място. Програмите са разработени в тясно сътрудничество с Германския учебен център във Варнемюнде (Maritime Simulation Centre Warnemünde, MSCW) и са одобрени от Изпълнителна агенция „Морска Администрация". Сценариите за всяко упражнение са разработвани съвместно с ръководния екип на системата VTMIS и включват както рутинни процедури, които се отработват ежедневно, така и критични ситуации и случаи на бедствия в района на действие на системата. Допълнително е проведен специализиран курс за подготовка на инструкторите от доставчика на техническото оборудване на системата.

Използването на симулатори в практическото обучение на морските лица има някои съществени предимства: високо ниво на реализъм, но без реални опасности и без реални последствия, контрол на трафика в съответствие с целите и

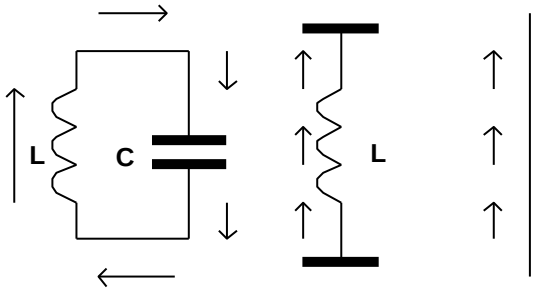
задачите на упражнението и в съответствие с неговия сценарий и т.н. Реализмът в използването на VTS симулатора се постига с използването на работни места, хардуер и софтуер, който се идентични с тези, използва в системата, както и много добрите софтуерни модели на реалните сензори и на VTS обектите.

В допълнение трябва да се отбележи също, че в някои от учебните планове на специалностите от факултет „Навигационен“ са включени дисциплини, свързани с информационните системи за наблюдение и управление на трафика на плавателните съдове VTIMS. В програмите се обръща внимание на различни аспекти от предназначението, дейността, състава и информационните възможности на системите. В бакалавърските и магистърските програми на специалност „Корабоводене“ фокусът е насочен към взаимодействието между корабите и VTS операторите, пилотите, службите за търсене и спасяване и т.н., както и на системата за докладване в съответствие с добавките от Манила към Конвенцията STCW 2010. В програмата на специалност „Корабна радиоелектроника“ фокусът е поставен върху техническите аспекти на системите, тяхната техническа поддръжка и експлоатация, а в дисциплината на специалност „Екплоатация на флота и пристанищата“ – на възможностите на системите VTMIS да осигурят информация, полезна за анализ на трафика и на потоците от различни видове товари, за различни пристанищни дейности по опазване на околната среда, повишаване на сигурността и др.

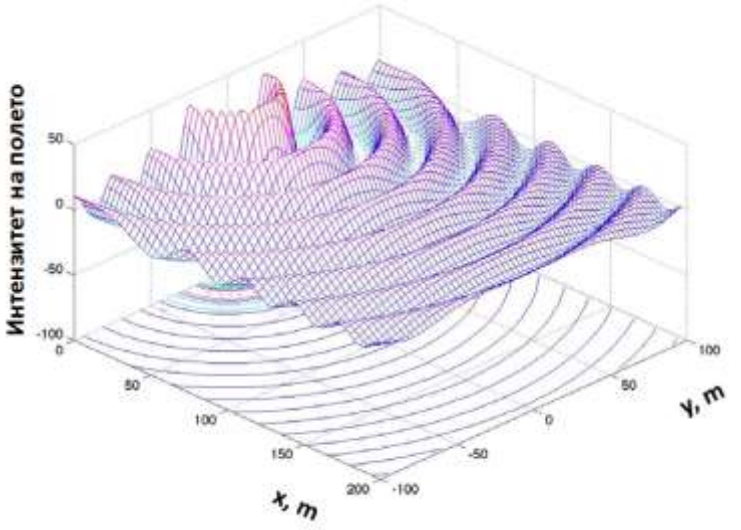
# 2. РАДИОВЪЛНИ, ДЪЛЖИНА НА ВЪЛНАТА И СКОРОСТ НА РАЗПРОСТРАНЕНИЕ

## 2.1. Основни понятия

Радиовълните са вид електромагнитно излъчване, създадено от токове с висока честота, получени в затворен колебателен контур (трептящ кръг, вж. фиг. 2.1). Когато такъв ток се подаде в отворен колебателен контур (антена), започва излъчване на радиовълната. Разпространението на радиовълните наподобява движение, предизвикано от източник на концентрични кръгове, както е показано на фиг. 2.2.

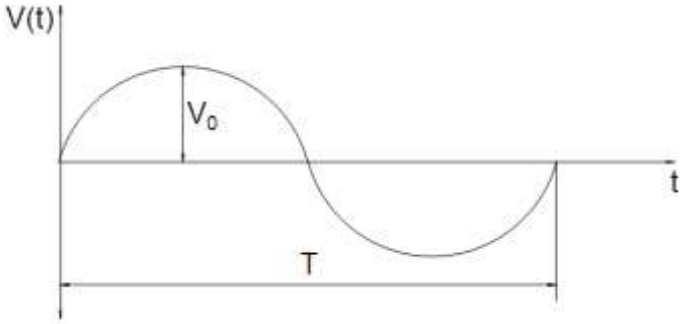



Фигура 2.1. Затворен колебателен контур, отворен контур и антена




Фигура 2.2. Разпространение на електромагнитното поле във вид на концентрични кръгове

Всяка радиовълна се състои от електрическо и от магнитно поле, разположени взаимно перпендикулярно и перпендикулярно на посоката на разпространение. Както електрическата, така и магнитната компонента представляват хармонични трептения и се описват със синусоида:




(2.1) $$V(t) = V_o \sin(\omega_o t + \varphi_o) = V_o \sin\psi ,$$

където $V_0$ е амплитудата на съответната компонента,

$\omega_0 = 2\pi f_o$ - честота,

$\varphi_0$ - начална фаза,

$T$ – период.

Дължината на вълната представлява пътят, който тя изминава за един период, т.е.

(2.2) $$\lambda = v.T ,$$

където $v = c = 3.10^8 m/s$ е скоростта на разпространение на електромагнитната вълна, практически равна на скоростта на светлината.

Отношенията между основните параметри на радиовълната дължина и честота се определят с изразите:

(2.3) $$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{и} \quad f = \frac{c}{\lambda}.$$

За практически цели последните два израза се модифицират до:

(2.4) $$\lambda, m = \frac{300}{f, MHz} \quad \text{и} \quad f, MHz = \frac{300}{\lambda, m}.$$

Ако напр. $f = 150MHz$,

то $\lambda = \frac{300}{150MHz} = 2m$.

Радиовълните заемат част от електромагнитния спектър, който обхваща колебания с честота от 3kHz до 300GHz, съответстващи на вълни с дължини съответно от 100km до 1mm. Разделят се на поддиапазони, както е показано в табл. 2.1.

Таблица 2.1

| НАИМЕНОВАНИЕ | ОБХВАТ | ПРИЛОЖЕНИЯ |
|---|---|---|
| VLF - Very Low Frequency СДВ – СвръхДълги Вълни | 3kHz – 30kHz | Нискоскоростна радиотелеграфия |
| LF – Low Frequency ДВ-Дълги Вълни | 30kHz – 300kHz | Комуникация и радионавигация на големи разстояния |
| MF – Medium Frequency СВ – Средни Вълни | 300kHz – 3000kHz | Морски комуникации (1600 – 3000kHz) |
| HF – High Frequency КВ – Къси Вълни | 3MHz – 30MHz | Всички видове комуникации на голямо разстояние (4000-27500kHz) |
| VHF – Very High Freq. УКВ – УлтраКъси Вълни | 30MHz – 300MHz | Комуникации на малки разстояния (156 – 174MHz) |
| UHF – Ultra High Frequency, dm | 300MHz – 3000MHz | Телевизионни и Радиорелейни системи |
| SHF – Super High Frequency, cm | 3GHz – 30GHz | Радиолокация, Спътникови комуникации |
| EHF – Extremely High Frequency, mm | 30GHz – 300GHz | Радиолокация, Спътникови комуникации |

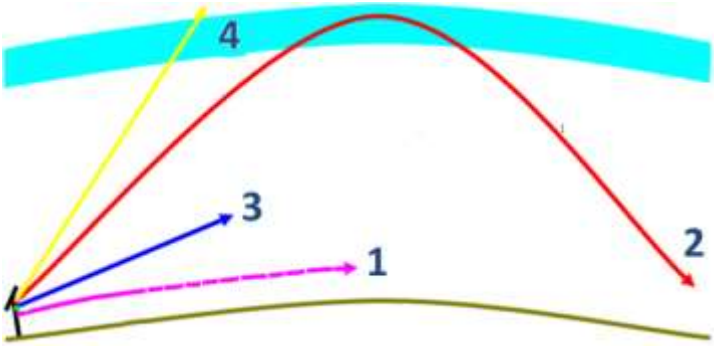
1. Разпространение на радиовълните

Според механизма на разпространение радиовълните биват 4 вида:

- Приземни вълни – 1 (Ground Waves) – (ДВ (LF), СВ (MF))
- Йоносферни вълни – 2 (Ionospheric Waves) – (КВ, (HF))

- Пространствени вълни – 3 (Direct Space Waves) – (УКВ (VHF))
- Вълни, свободно преминаващи през атмосферата – 4 (Escape Waves) – (УКВ (VHF), ДМВ (UHF))

На фиг. 2.3. са показани пътищата на разпространение.




Фигура 2.3. Механизми на разпространение на електромагнитните вълни

Приземните вълни се разпространяват следвайки релефа на земната повърхност. Поради голямата си дължина те заобикалят всички препятствия по своя път, в т.ч. сгради, съоръжения, възвишения и т.н. Ако мощността на предавателя е достатъчна, с тях може да се осъществи радиовръзка на много големи разстояния.

Йоносферните вълни се разпространяват чрез отражение от атмосферния слой с висока концентрация на йони, предизвикана в резултат на слънчевото греене. Ако след отразяване от йоносферата електромагнитната вълна се отрази от морската повърхност, върне се обратно към йоносферата и т.н., то в резултат на многократните отражения е възможно със сравнително малки мощности да се осъществи връзка на много големи разстояния. При разпространеието на йоносферните вълни трябва да се вземат предвид две важни особености:

Първо, радиовълните с различна дължина се отразяват по различен начин от йоносферата. По-късите напр. се отразяват по-добре от по-наситена среда и обратно.

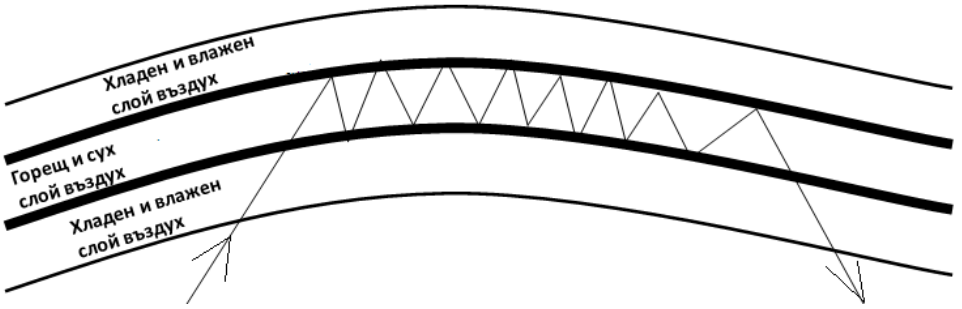
И второ, състоянието на йоносферата се променя непрекъснато и не непременно по определени закони. Освен периодичните промени в резултат на въртенето на земята около нейната ос и около слънцето тук оказва влияние и слънчевата активност, при която няма установена строга периодичност.

Някои вълни се разпространяват по различен начин в зависимост от състоянието на йоносферата. Средните вълни напр. през деня, при висока концентрация на йони, се разпространяват като повърхностни / приземни, а през нощта – като йоносферни. Пространствените вълни се разпространяват както светлината, т.е. по права линия в зоната на пряка видимост. Влиянието на атмосферните нееднородности върху начина на разпространение на тези вълни е незначително. Вълните, които не се отразяват от атмосферните слоеве и преминават свободно през тях, се използват при спътниковите системи за комуникации, но също и за радионавигация. Важно е да се отбележи, че връзките на големи разстояния с използването на радиовълните, които не се отразяват от атмосферните слоеве и преминават свободно през тях са възможни само в свободното пространство. При комуникации на морската повърхност върху далечината на радиовръзката оказва влияние формата на земята. Това влияние ще бъде обисано по-подробно в темата за радиолокационното наблюдение.

Таблица 2.2

| $h_t$ | $h_s = 10m$ | $h_s = 30m$ | $h_s = 100m$ |
|---|---|---|---|
| 4m | 13nm | 19nm | 30nm |

В табл. 2.2 са показани изчислените стойности на далечината на радиовръзката за малък съд (катер, моторна лодка и др.) с височина $h_t = 4m$ за различни височини на антената на брегова радиостанция.




Фигура 2.5. Явлението „Ducting“ позволява значително увеличение на обхвата на пространствените вълни

При определени атмосферни условия далечината на радиовръзката с използване на пространствените вълни може да нарастне значително. Явлението, наречено

„*Ducting*“, в случая вълновод, което се проявява, когато сух и горещ слой въздух е обхванат от два влажни студени слоя (т. нар. “*Инверсия*”), е илюстрирано на фиг. 2.5. С него се обясняват случаите на ненормално-големи покрития на УКВ, които се проявяват понякога през лятото, в случаи на високо атмосферно налягане. Попаднали в средния слой, радиовълните се отразяват многократно от границите на разнородните слоеве и подобно на разпространние във вълновод, могат да достигнат разстояния, надвишаващи многократно показаните в табл. 2.1 стойности.

Таблица 2.3

| **РАЗСТОЯНИЕ** | **ПРЕЗ ЛЯТОТО** | | **ПРЕЗ ЗИМАТА** | |
|---|---|---|---|---|
| **Морски мили** | **Денем** | **Нощем** | **Денем** | **Нощем** |
| До 30 | УКВ (VHF) | УКВ (VHF) | УКВ (VHF) | УКВ (VHF) |
| До 150 | СВ (MF) | СВ (MF) | СВ (MF) | СВ (MF) |
| 300 – 600 | КВ(HF)6MHz | HF 4 MHz | HF 4 MHz | СВ (MF) |
| 1000 – 1500 | HF 12 MHz | HF 8 MHz | HF 8 MHz | HF 6 MHz |
| 2000 – 3000 | HF 16 MHz | HF 8 MHz | HF 12 MHz | HF 8 MHz |
| 4000 – 5000 | HF 22 MHz | HF 8 MHz | HF 16 MHz | HF 8 MHz |

В табл. 2.3 са показани приблизителни стойности на разстоянията, на които може да се установят радиовръзки с използване на различни честоти с отчитане на условията за разпространение. Вижда се, че за установяване на радиовръзка на големи разстояния е по-добре да се използват по високи честоти от обхвата на късите вълни, докато за връзки на по-малки разстояния се предпочитат средни вълни. Комуникациите в зоната на пряка видимост по правило се осъществяват на ултракъси вълни.

## 2.2. Свойства на радиовълните

Свойствата на радиовълните, които трябва да се вземат предвид при тяхното използване са:

- ***Поляризация*** – определя се от ориентацията на равнината между векторите на електрическата компонента и на посоката на разпространение. Поляризацията може да е хоризонтална, вертикална или кръгова. Важно е да се отбележи, че при преминаване през атмосферни слоеве с различни характеристики радиовълната може да промени своята поляризация.
- ***Рефракция*** – представлява промяна на посоката на разпространение на радиовълните при преминаване през среда с променливи електрически характеристики. При преминаване през йоносферата напр. радиовълните могат да променят посоката на разпространение (йоносферна рефракция).
- ***Отражение*** – пълна промяна на посоката на разпространение на радиовълните в обратна посока (т.е. отражението е рефракция в посока, противоположна на първоначалната). Отражението на радиовълните от метална повърхност се използва в радиолокацията за откриване и определяне на координатите на обекти върху морската повърхност.
- ***Дифракция*** – преминаване на радиовълните покрай препятствия, чиито размери са съизмерими с дължината на вълната. В резултат на дифракцията дългите вълни могат да заобикалят препятствията, следвайки по този начин повърхността на Земята.
- ***Интерференцията*** е взаимодействие между две и повече радиовълни с еднаква дължина, когато достигнат една и съща точка по различни пътища. В резултат вълните могат да пристигнат с една и съща или с противоположни фази. В първия случай силата на приетия сигнал ще нарастне, а във втория ще отслабне до пълно затихване. В общия случай в резултат на интерференцията интензивността на приетия сигнал се променя непрекъснато и връзката се появява или се губи в произволни моменти от времето.

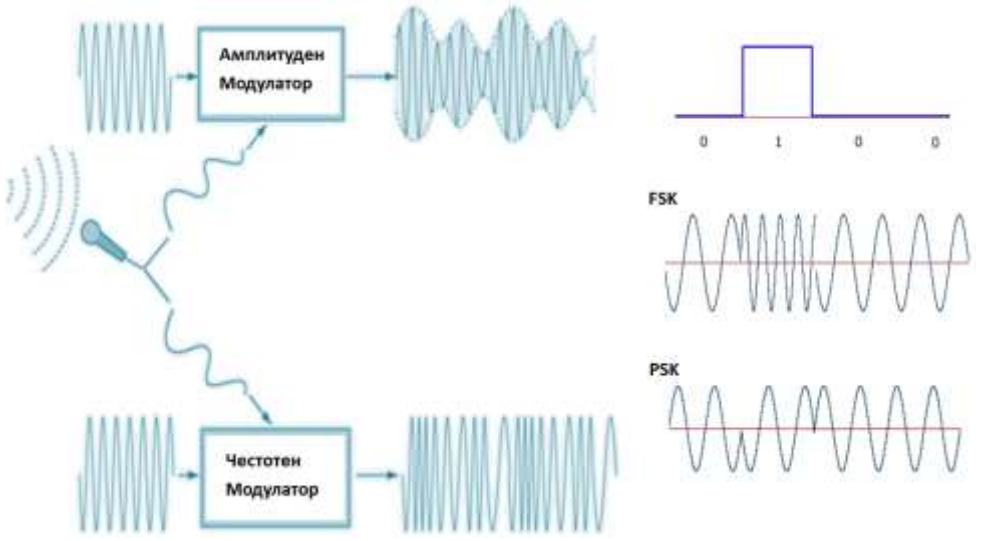
2.3. Видове модулации

Модулацията представлява процес на наслагване на сигнал с допълнителна информация върху радиовълна. Информационният сигнал обикновено е с ниска честота, напр. в звуковия диапазон (20Hz – 20000Hz), а наслагването се извършва чрез промяна на някой от параметрите на радиовълната. Според използвания параметър модулацията може да бъде:

- ***Амплитудна*** (Amplitude modulation, AM, SSB),
- ***Честотна*** (Frequency modulation, FM),
- ***Фазова*** (Phase modulation, PM),

Когато информационният сигнал е цифров, промяната на параметрите на радиовълната се нарича ***манипулация*** (Shift Keying). В съвременните комуникации се използват най-вече честотна и фазова манипулация (Frequency Shift Keying, FSK и Phase Shift Keying, PSK).

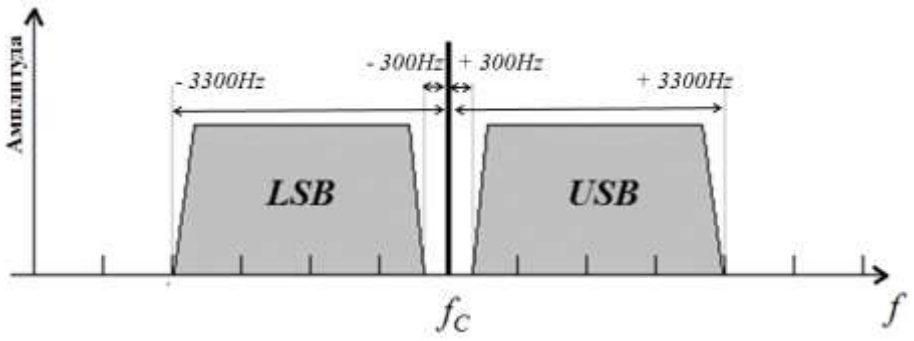
Устройството, осъществяващо процеса на модулация / манипулация се нарича модулатор. Модулираната радиовълна се нарича „*Носеща*“ (Carrier Frequency) и след усилване се излъчва през антената на радиопредавателя.




Фигура 2.7. Ампитудна, честотна и цифрови модулации

На фиг. 2.7 са показани формите на носещата радиовълна при амплитудна и честотна модулация (в ляво) и при честотна и фазова цифрова манипулация (в

дясно). Честотният спектър на носещата радиовълна може да се види след преобразуване в честотната област с помощта на специализиран математически апарат (напр. преобразуване с ред на Фурие). И при амплитудната, и при честотната модулация от двете страни на носещата честота ще се видят две странични ленти (Upper and Lower Side Bands, USB, LSB). При амплитудната модулация страничните ленти са еднакви и огледално разположени спремо носещата честота, докато при честотната модулация те са различни. При това с помощта на филтър амплитудно-модулираният сигнал може да се ограничи до една от двете странични ленти със или без носещата честота. Излъчена по този начин, радиовълната ще изразходва по-малка част от честотния ресурс и ще позволи по-ефективното му използване. При гласова комуникация напр. използваният честотен ресурс може да се ограничи до 3000Hz (3kHz) (вж. фиг. 2.8). За честотната модулация този подход е неприложим, поради което използваната честотна лента е с ширина от 25 kHz.




Фигура 2.8. Спектър на амплитудно-модулиран сигнал

Класът на излъчване е описание на модулираната радиовълна, което включва тип на модулацията, тип на информационния / модулиращия сигнал и вида на излъчваната информация. Описанието се извършва с буквено-цифрово съкращение, съдържащо три символа, както е показано в табл. 2.4.

Таблица 2.4

| **Буква (Тип на модулацията)** | **Цифра (Тип на модулиращия сигнал)** | **Буква (Тип на излъчв. информация)** |
|---|---|---|
| N – Немодулирана | 0 – Няма модулираща | N – Без информация |
| A – AM | 1 – Един канал, FSK (Single channel, FSK) | A – Морзова телеграфия (Morse telegraphy) |
| H – Еднолентова AM с носеща (SSB, Full Carrier) | 2 – Single channel, FSK, Digital Telex with the use of modulating Sub-carrier | B – Телекс (Telex) |
| R – Еднолентова AM, ограничена носеща (SSB, Reduced Carrier) | 3 – Един канал, Аналогов сигнал (Single channel, Analog Signal) | C – Факс (Fax) |
| J – AM, без носеща (SSB, Suppressed Carrier) | | D – Данни (Data) |
| G – Phase Modulation | | E – Глас (Voice, Telephony) |
| F – Frequency Modulation | | |
| P – Немодулирани импулси | | |

В табл. 2.5 са показани най-често използваните класове на излъчване в комуникационните системи, използвани за различни видове комуникации на море.
В табл. 2.6 са показани радиосигналите от всички честотни обхвати, използвани в системите за комуникации на море с класовете на излъчване и конкретните приложения.

Таблица 2.5

| Клас | Описание | Предназначение |
|---|---|---|
| H3E | SSB, Full Carrier, Analog signal, Telephony mode | Alarms (2182kHz only) |
| J3E | SSB, Suppressed Carrier, Analog signal, Telephony, Band Width – 3kHz | SSB, Telecom, TF, TLF, MF/HF RT working frequency |
| G3E | Phase modulation, Analog signal, Telephony mode, Band Width – 10kHz | TF, TLF, Telecom, G3E/F3E |
| F3E | Frequency modulation, Analog signal, Telephony, | VHF RT |
| G2B | Phase modulation, Digital telex signal with error correction, Data | VHF Digital Selective Calling, DSC |
| F1B | Frequency modulation, Digital signal, Telex, HF DSC | TELEX, NBDP, TOR, TLX |

Таблица 2.6

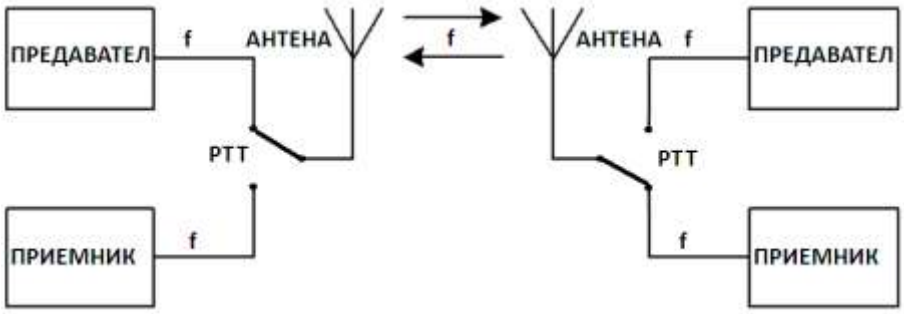
| Канал/ Честота | Банд | Клас | Предназначение |
|---|---|---|---|
| 518kHz | MF | F1B | International Navtex – MSI incl. IDUA |
| 2182kHz | MF | H3E | Distress, Urgency, Safety & Calling RT |
| 2187.5kHz | MF | F1B | Distress, Urgency, Safety & Routine DSC |
| 8291kHz | HF | J3E | Distress, Urgency, Safety Primary RT |
| 8414.5kHz | HF | F1B | Distress, Urgency, Safety Primary DSC |
| 121.5MHz | VHF | Nr | Ship to aircraft on scene of search, Homing signal, (location of EPIRB) |
| 123.1MHz | VHF | Nr | Ship to aircraft on scene of search |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Ch06 / 156.30MHz | VHF | F3E/G3E | Inter ship, On scene, ship to air RT |
| Ch10 / 156.50MHz | VHF | F3E/G3E | Inter ship, On scene, ship to ship |
| Ch13 / 156.65MHz | VHF | F3E/G3E | Bridge to Bridge, Safety of navigation RT |
| Ch16 / 156.80MHz | VHF | F3E/G3E | Distress, Urgency, Safety Primary RT |
| Ch70 / 156.525MHz | VHF | G2B | Distress, Urgency, Safety Primary DSC |
| Ch87B | VHF | G2B | Automatic Identification System AIS 1 |
| Ch88B | VHF | G2B | Automatic Identification System AIS 2 |
| 406.025MHz | UHF | Nr | EPIRB locating signals, Initial distress alerts |
| 1.228GHz | UHF | Nr | GNSS – PPS |
| 1.575GHz | UHF | Nr | GNSS – SPS |
| 1.5GHz | UHF | Nr | Satcoms – Satellite to ship |
| 1.5445GHz | UHF | Nr | Cospas-SarSat Satellite to LUT communications |
| 1.6GHz | UHF | Nr | Satcoms EPIRB, Ship to Satellite |
| 4GHz | SHF | Nr | Satcoms – Satellite to LES |
| 6GHz | SHF | Nr | Satcoms – LES to Satellite |

### 2.4. Симплекс и Дуплекс (Simplex and Duplex)

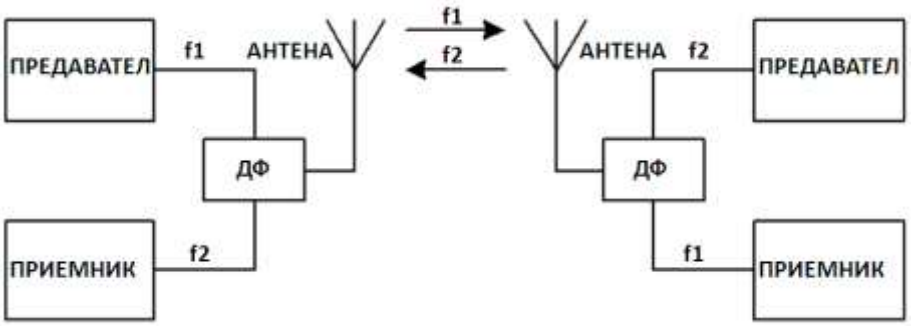
Комуникациите на море могат да се извършват в два режима – симплекс и дуплекс.

Комуникацията в режим „***Симплекс“*** използва само една честота, както за приемане, така и за предаване. В режим Simplex може или само да се приема, или само да се предава, но не едновременно.




Фигура 2.9. Схема на комуникация в режим „Симплекс“

Дуплексната комуникация използва едновременно две честоти – едната за предаване и другата за приемане. В този режим на работа радиостанцията може да приема и да предава едновременно. Изходът на предавателя е изолиран и честотно-разделен от приемника за избягване на неговото “запушване” с помощта на дуплексен филтър, ДФ. Обикновено бреговото оборудване (бреговата радиостанция) работи в режим ***„Пълен дуплекс“*** (Full-duplex), докато мобилното оборудване (корабната радиостанция) работи в режим ***„Полудуплекс“*** (Semi-, Half-duplex). Комуникацията в режим полудуплекс използва две честоти: една за приемане и една за предаване и бутон PTT (Push-To-Talk) за включване на предавателя. В този режим обаче, подобно на режим „Симплекс“ може или да се приема, или да се предава, но не и едновременно. На фиг. 2.9 е показана схемата на осъществяване на комуникации в режим „Симплекс“, а на фиг. 2.10 – в режим „Дуплекс“.




Фигура 2.10. Схема на комуникация в режим „Дуплекс“

# 3. КОНЦЕПЦИЯ ЗА СВЕТОВНАТА МОРСКА СИСТЕМА ЗА БЕДСТВИЯ И БЕЗОПАСНОСТ СМСББ (GLOBAL MARITIME DISTRESS AND SAFETY SYSTEM, GMDSS)

## 3.1. Исторически сведения

За първи път идеята за използване на радиосредства за повишаване на безопасността на корабоплаването се появява в конвенцията за морска безопасност Safety Of Live At Sea, SOLAS'14. Няколко години по-късно тази идея придобива реални измерения с въвеждането на задължително носене на радиовахта на средни вълни (СВ) (500 kHz Морзова телеграфия) с основен и допълнителен приемопредавател. Изискванията, публикувани в конвенцията SOLAS'29 се отнасят за товарни кораби с тонаж над 1600 бруторегистър тона (брт) и за пътнически кораби, превозващи повече от 50 човека на борда. По-късно, в SOLAS'48 към морзовата телеграфия на 500 kHz се добавя и радиовахта на 2182 kHz в режим „Телефония", за кораби над 300 брт, а в SOLAS'74 е добавен и канал 16 на УКВ (156,800 MHz), в режим „Телефония".

В резултат на тези изисквания типът на радиооборудването на борда зависи от типа, тонажа и пътническия капацитет на кораба. Бедстващият кораб може да установи контакт само с кораби в околността на разстояние 100 – 150 nm, какъвто е обхватът на СВ и не може да установи връзка с брега. Липсва автоматизация на основните комуникационни процедури и се изисква наличието на специалист – радиоофицер на борда.

През 1979 г. експерти на Международната морска организация IMO, разработвайки първоначалния вариант на конвенцията за търсене и спасяване International Aeronautical and Maritime Search And Resque (IAMSAR) предлагат резолюция за разработване на Световна морска система за безопасност и бедствия (Global Maritime Distress and Safety System, GMDSS) за осигуряване на комуникациите, необходими при организиране и провеждане на операции по търсене и спасяване.

През 1988 г. по инициатива на IMO се прави допълнение на конвенцията SOLAS относно изискванията за корабното оборудване по СМСББ и се разработва програма

за последователно въвеждане на системата в корабоплаването (т.нар. ***GMDSS Rolling Program***). Според тази програма:

- след 01.02.1992г. всички новопостроени кораби трябва да имат преносима УКВ радиостанция и активен радиолокационен отражател SART;
- след 01.08.1993г. всички кораби трябва да имат приемник NAVTEX и авариен радиобуй EPIRB;
- след 01.02.1995г. всички новопостроени кораби трябва да удовлетворяват изискванията на СМСББ;
- след 01.02.1998г. всички кораби трябва да удовлетворяват изискванията на конвенцията SOLAS по отношение на корабното оборудване по СМСББ;
- След 01.02.2005г. всички съдове, за които не се отнасят изискванията на GMDSS, се насърчават да имат УКВ радиостанция със система за цифрово избирателно повикване (Digital Selective Calling, DSC).

Изискванията на конвенцията се отнасят за т.нар. „Конвенционални или SOLAS – съдове", в които влизат:

- всички товарни кораби с товароподем от 300 брт плаващи в международни води;
- всички товарни кораби с товароподем от 500 брт плаващи в териториални води;
- всички пътнически кораби, независимо от района на плаване;
- всички мобилни платформи и плаващи сонди над 300 брт.

Изискванията на конвенцията не се отнасят за:

- всички съдове за забавления;
- всички съдове, които не се придвижват с механична тяга;
- военни и полицейски кораби;

### 3.2. Концепция за СМСББ

#### 3.2.1. Цел и задачи

Основна цел на Световната морска система за бедствия и безопасност СМСББ е да осигури приемане на излъчените от кораб сигнали за бедствие и спешност (Initial Distress and Urgency Alerts, IDUA) от бреговите радиостанции и морските

спасително-координационни центрове (MRCC), както и от корабите в околността. Счита се, че бреговите компетентни служби имат квалифициран щатен състав, специализирано оборудване и средства за успешно планиране, организиране и провеждане на операциите по търсене и спасяване, докато корабите в околността биха могли да се включат само в някои от дейностите.

Системата за бедствия и безопасност решава следните задачи:

- Осигуряване на добра координация между спасителните служби и корабите в околността на бедствието и подобряване на дейностите по търсене и спасяване;
- Предоставяне на мореплавателите на информация за морска безопасност по три различни начина:
    - Система NAVTEX на средни вълни;
    - Система NAVTEX на къси вълни;
    - Система Enhanced Group Calling, EGC на Inmarsat Standard C.
- Предоставяне на мореплавателите на възможности за обществена кореспонденция.

### 3.2.2. Подсистеми и компоненти на СМСББ

Системата за бедствия и безопасност включва в състава си три подсистеми:

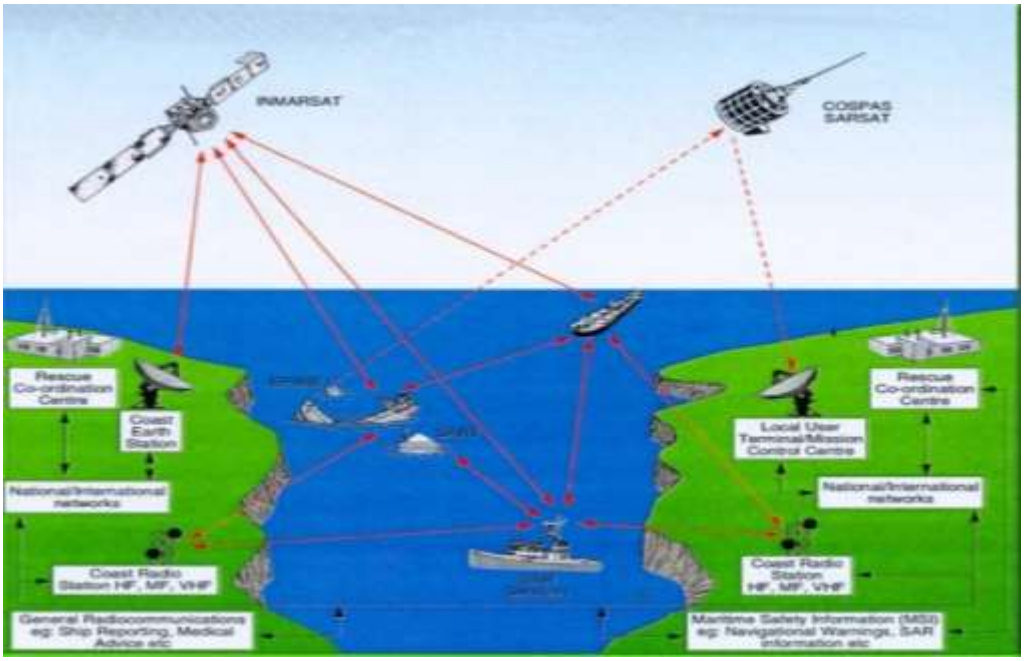
- ***Цифрово избирателно повикване*** (Digital Selective Calling, DSC). Представлява цифрова надстройка (Upgrade) на конвенционалните радиостанции за комуникация на УКВ, КВ и СВ със специализирано устройство – цифров контролер за автоматизиране на процедурите по гласова комуникация;
- ***Спътникова комуникационна система Inmarsat***. Състои се от група комуникационни спътници, разположени на геостационарни орбити и наземна телекомуникационна инфраструктура за осигуряване на различните видове комуникации с глобално покритие;
- ***Спътникова система за търсене и спасяване Cospas – Sarsat***. Състои се от две групи спътници, приемащи сигналите на специализирани устройства за указване на мястото на бедстващия кораб, самолет или членове на екипа.

Системата предоставя глобално покритие с висока вероятност за откриване на бедстващите.

Тъй като и трите подсистеми се нуждаят от информация за позицията на кораба, като четвърта подсистема неофициално се включва глобална спътникова позиционираща система (Global Navigational Satellite System, GNSS) – Американската GPS Navstar или Руската ГЛОНАСС (а в близко бъдеще вероятно и Европейската Galilleo).

Подсистемите на СМСББ осигуряват следните компоненти в нейната работа:

- Радиотелефония, буквено-цифров обмен (Телекс) и обмен на данни;
- Глобална спътникова комуникация;
- NAVTEX и EGC за осигуряване на информация за морската безопасност;
- Активен радиолокационен отражател (Search And Rescue radar Transponder, SART), работещ в X-обхвата (9 GHz) и AIS-SART;
- Авариен радиобуй, указващ позицията (Emergency Position-Indicating Radio Beacon, EPIRB).




Фигура 3.1. Концепция за СМСББ (от Admiralty List of Radio Signals, Vol. 5 Global Maritime Distress and Safety System, GMDSS)

### 3.2.3. Функции на СМСББ

За осъществяване на основната си цел и в изпълнение на своите задачи световната морска система за бедствия и безопасност има следните функции:

- Излъчване на сигнали за бедствие и спешност (IDUA) в направление "Кораб-Бряг" посредством поне две отделни и независими технически средства;
- Излъчване и приемане на сигнали за бедствие и спешност в направление "Кораб-Кораб";
- Приемане на сигнали за бедствие от брега;
- Осъществяване на комуникации по търсене и спасяване;
- Осъществяване на комуникации в района на провеждане на операцията по търсене и спасяване;
- Излъчване и приемане на позициониращи сигнали;
- Излъчване и приемане на информация за морската безопасност MSI;
- Осъществяване на радиокомуникации с брегови радиосистеми и мрежи;
- Осъществяване на комуникации в направление "Кораб-Кораб".

Корабното оборудване по СМСББ трябва да е в състояние да изпълнява всичките девет функции независимо от района на плаване.

Концепцията за СМСББ, основната цел, задачите, нейните подсистеми, компоненти и функции са илюстрирани на фиг. 3.1.

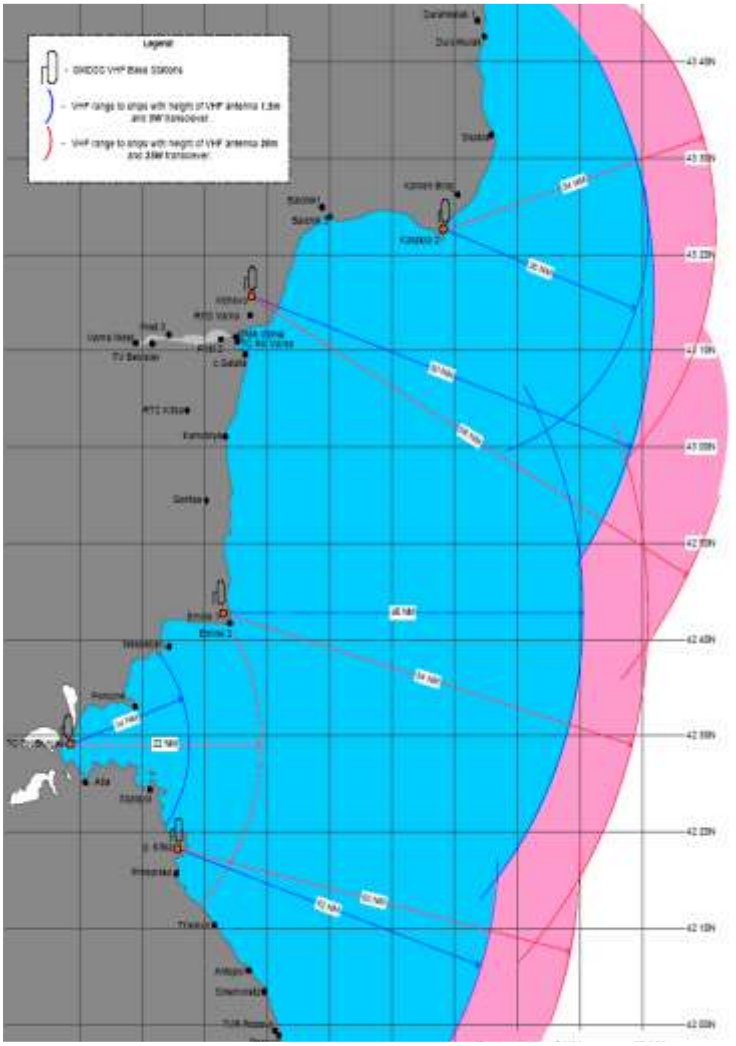
## 3.3. Райони на действие на СМСББ

Както беше споменато по-горе, до въвеждане на Световната морска система за бедствие и безопасност корабното комуникационно оборудване зависеше основно от типа, тонажа и пътническия капацитет на кораба. След въвеждане на системата концепцията за корабното оборудване се променя – неговия вид, технически параметри и количество вече зависят от района, в който корабът плава.

В системата за бедствие и безопасност са обявени 4 района (GMDSS Areas), означени съответно като A1, A2, A3 и A4.

***Район A1*** се дефинира като район от морската повърхност (т.е. като акватория), влизащ в обхвата на поне една брегова радиостанция на ултракъси вълни, носеща

непрекъсната радиовахта на честотите за бедствие, спешност и безопасност на цифровото избирателно повикване (VHF-DSC). Практически район А1 се простира до около 40nm от брега (вж. фиг. 3.2, показваща район А1 на Българското Черноморско крайбрежие, осигурен от Информационната система за управление на трафика на плавателните съдове VTMIS).

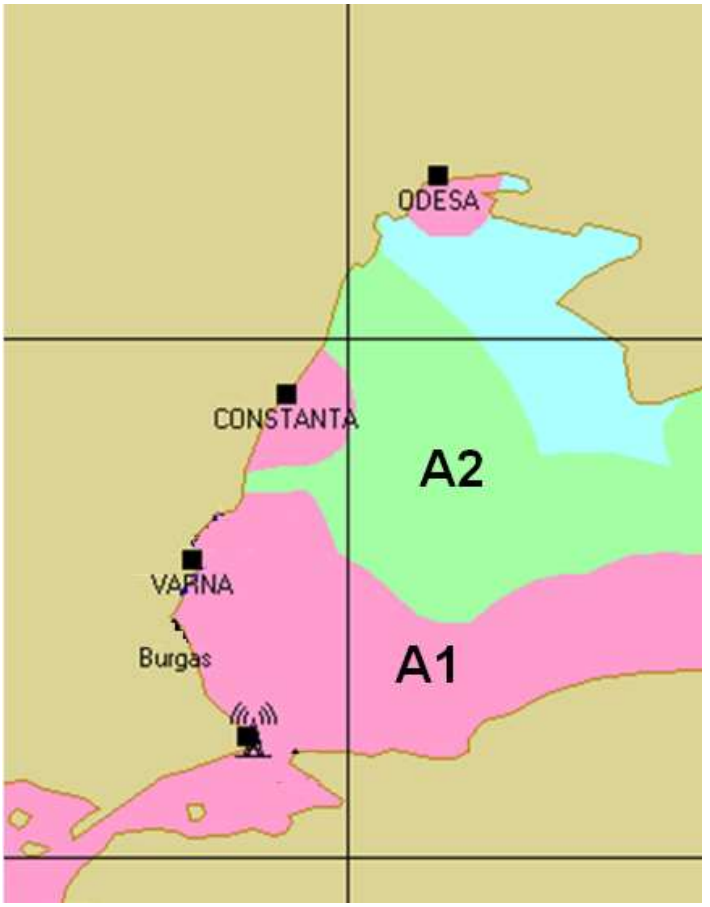


Фигура 3.2. Район А1 на Българското Черноморско крайбрежие
(От Проект PHARE BG 0012.01 – VTMIS, 2004)

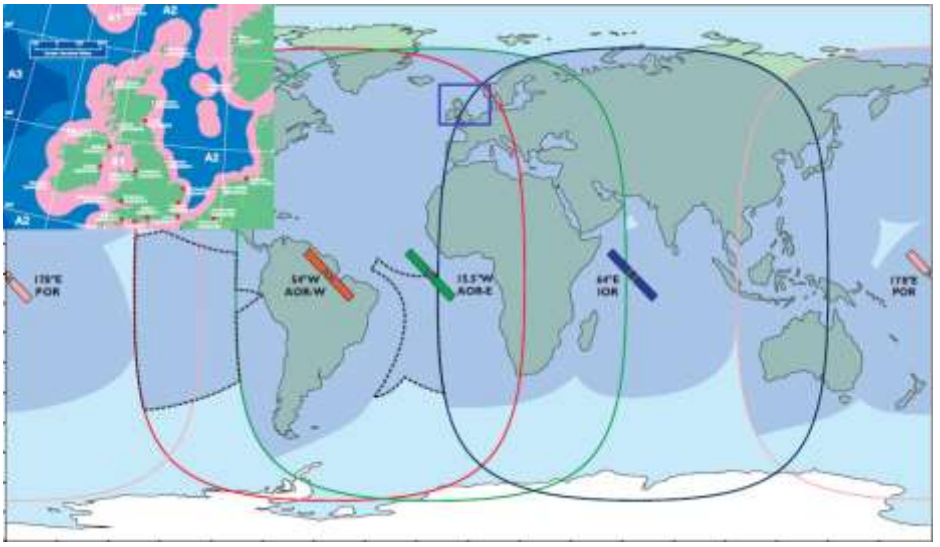
***Район А2*** се дефинира като район от морската повърхност извън А1, влизащ в обхвата на поне една брегова радиостанция на средни вълни, носеща непрекъсната

радиовахта на честотите за бедствие, спешност и безопасност на цифровото избирателно повикване (MF-DSC). Практически район А2 се простира от 40 до около 180nm от брега (вж. фиг. 3.3, показваща район А2 на западното Черноморско крайбрежие, осигурен от Бреговите радиостанции на Румъния, България и Турция).

***Район А3*** се дефинира като район от морската повърхност извън райони А1 и А2, влизащ в обхвата на спътниковата комуникационна система Inmarsat. Практически район А3 се простира от около 76˚ северна до 76˚ южна ширина, попадащи в покритието на четирите геостационарни спътници на Inmarsat, както е показано на фиг. 3.4.

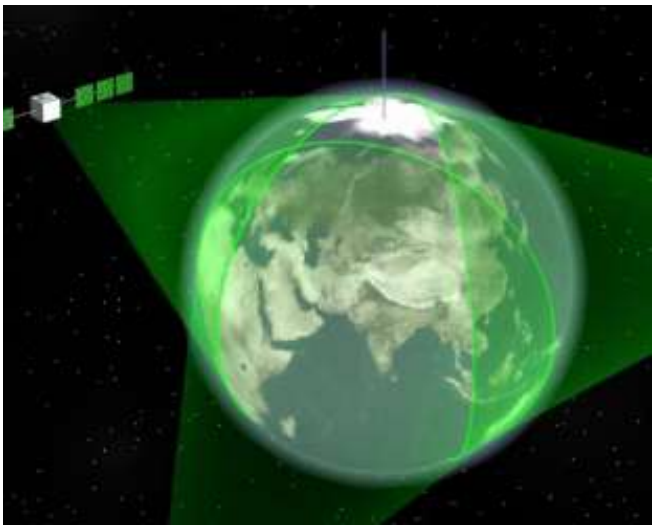



Фигура 3.3. Район А2 на западното Черноморско крайбрежие (от GMDSS симулатор TGS4100)




Фигура 3.4. Район А3 в обхвата на спътниковата комуникационна система Inmarsat (от Admiralty List of Radio Signals, Vol. 5 Global Maritime Distress and Safety System, GMDSS)

***Район А4*** се дефинира като район от морската повърхност извън райони А1, А2 и А3. Практически район А4 се простира в полярните области, от около 76˚ до 90˚ северна и от 76˚ до 90˚ южна ширина както е показано на фиг. 3.5.



Фигура 3.5. Район А4 в района на Севрния полюс (от Inmarsat, www.inmarsat.com)

### 3.4. Изисквания към корабното комуникационно оборудване

До въвеждането на GMDSS типът и броят на корабното радиооборудване зависят от тонажа на кораба. След въвеждането на GMDSS типът и броят на радиооборудването зависят от районите, в които корабът плава. Оборудването включва корабни радиостанции (Ship Radio Stations, SRS) и корабни земни станции за Inmarsat (Ship Earth Stations, SES), които служат както за излъчване и приемане на съобщения за бедствие, спешност и безопасност, така и за рутинна комуникация. Оборудването включва и допълнителни устройства за повишаване на безопасността. Пълният списък на корабното оборудване се състои от две части – задължително за всички кораби и допълнително, според района на плаване.

Списъкът със задължителното оборудване включва:

- Преносими УКВ радиостанции
    - За кораби от 300 до 500 брт – 2 бр.;
    - За кораби от 500 брт и повече – 3 бр.
- Активен радиолокационен отражател SART или AIS SART
    - За кораби от 300 до 500 брт – 1 бр.;
    - За кораби от 500 брт и повече – 2 бр.;
    - Допълнително във всеки спасителен съд може да има по един SART.
- EPIRB;
- Navtex и EGC приемник за зоните извън Navtex;
- DSC приемник за УКВ (70-ти канал);
- УКВ приемопредавател с DSC за гласова комуникация на 6-ти, 13-ти, 16-ти канал.

Корабите, плаващи в ***район A1*** трябва да бъдат оборудвани допълнително със следните устройства:

- Допълнително оборудване за излъчване на сигнали за бедствие:
    - Или EPIRB;
    - Или MF/HF радио с DSC
    - Или корабна станция за Inmarsat.

Корабите, плаващи в ***район A2*** трябва да бъдат оборудвано допълнително със следните устройства:

- MF приемопредавател за 2182 kHz с DSC;
- Дежурен DSC приемник за 2187,5 kHz;
- Допълнително оборудване за излъчване на сигнали за бедствие:
    - или EPIRB
    - или MF/HF радио с DSC
    - или корабна станция на Inmarsat.

За корабите, плаващи в ***район А3*** се предвиждат две възможности за конфигуриране на допълнително оборудване. Първият списък включва следните устройства:

- MF приемопредавател за 2182 kHz с DSC;
- Дежурен DSC приемник за 2187,5 kHz;
- Корабна станция на Inmarsat за режим Telex;
- Допълнително оборудване за излъчване на сигнали за бедствие:
    - или EPIRB
    - или MF/HF радио с DSC
    - или корабна станция на Inmarsat

Вторият списък включва следните устройства:

- MF/HF приемопредавател с DSC и Radiotelex;
- Дежурен MF/HF DSC приемник за всички HF обхвати;
- Допълнително оборудване за излъчване на сигнали за бедствие:
    - или EPIRB
    - или корабна станция на Inmarsat

Корабите, плаващи в ***район А4*** трябва да бъдат оборудвано допълнително със следните устройства:

- MF/HF приемопредавател с DSC и Radiotelex;
- Дежурен MF/HF DSC приемник за всички късовълнови (HF) обхвати;
- Допълнително оборудване за излъчване на сигнали за бедствие:
    - EPIRB.

За пътническите кораби са въведени и няколко допълнителни изисквания по отношение на оборудването по СМСББ:

- Всички пътнически кораби трябва да бъдат оборудвани допълнително с УКВ радиостанции, работещи на честоти 121,5 MHz и 123,1 MHz, предназначени за връзка с летателни апарати;
- Всички пътнически кораби трябва да бъдат оборудвани допълнително с т.нар. "*Distress Pannel*" на мостика, представляващ устройство, което събира всички бутони за излъчване на сигнал за бедствие от всички радиостанции и от всички спътникови станции на Inmarsat.

### 3.5. Радиооборудване за спасителните съдове

Радиооборудването, предназначено за спасителните съдове (лодки, плотове) при напускане на кораба включва преносими УКВ радиостанции и активни радиолокационни отражатели / транспондери за търсене и спасяване SART и AIS-SART.

Преносимите УКВ радиостанции (Er. Portable VHF Radio) са предназначени да изпълняват следните функции:

- Излъчване на сигнали за бедствие;
- Подпомагане на определянето на мястото (локализирането) на бедстващите;
- Осъществяване на комуникации между спасителния плот и корабите, участващи в операцията по търсене и спасяване;
- За комуникации на борда на кораба.

Всички кораби по конвенцията SOLAS трябва да носят на борда преносими УКВ радиостанции, както следва:

- 2бр. за кораби с тонаж от 300 до 500 брт;
- 3бр. за кораби с тонаж от 500 брт и повече;
- По-големият брой преносими УКВ радиостанции ще гарантира надеждни комуникации от борда на спасителните средства (лодки и плотове) при напускане на кораба.

Радиостанциите трябва да се съхраняват на достъпно място, напр. на мостика, за да се използват по всяко време, когато спешната ситуация го налага. В допълнение те трябва да разполагат с напълно заредена и пломбирана батерия в строка на годност, която да осигурява 8 часа работа на станцията в режим Rx 9 : Tx 1.

Преносимите УКВ радиостанции отговарят на следните технически изисквания:

- Работни канали – 16-ти плюс поне още един симплексен канал;
- Мощност на излъчване от 0,25W до 1W;
- Ненасочена гъвкава антена;
- Работна температура – до 40°C;
- Водоустойчивост – да запазят работоспособността си след потапяне на дълбочина от 1m за 5min, да са устойчиви на слънчева светлина и петролни продукти;
- Механична здравина - да запазят работоспособността си след падане върху твърда повърхност от височина 1m.

Таблица 3.1

| **Височина на антената** | **От / До:** | **Обхват** |
|---|---|---|
| Преносима (на борда на спасителния плот) | Брегова радиостанция | 15 nm |
| | Сасителен кораб, 10m висока антена | 10 nm |
| | Спасителен плот | 5 nm |
| 10m (на борда на яхта или друг малък съд) | Брегова радиостанция | 35 nm |
| | Сасителен кораб, 10m висока антена | 15 nm |
| | Спасителен плот | 10 nm |

Към преносимите УКВ радиостанции се предявяват и експлоатационни изисквания, като:

- Да имат сравнително малки размери и тегло;
- Да могат да се управляват с една ръка, дори и в ръкавица;
- Да бъдат окомплектовани със скоба за закачване на колана или с ремък за носене през рамо.

В табл. 3.1 са показани максималните разстояния, на които може да се осъществи връзка с преносима УКВ радиостанция. Разстоянията са определени с използване на израз (1.11), който определя обхвата на разпространение на пространствените радиовълни.

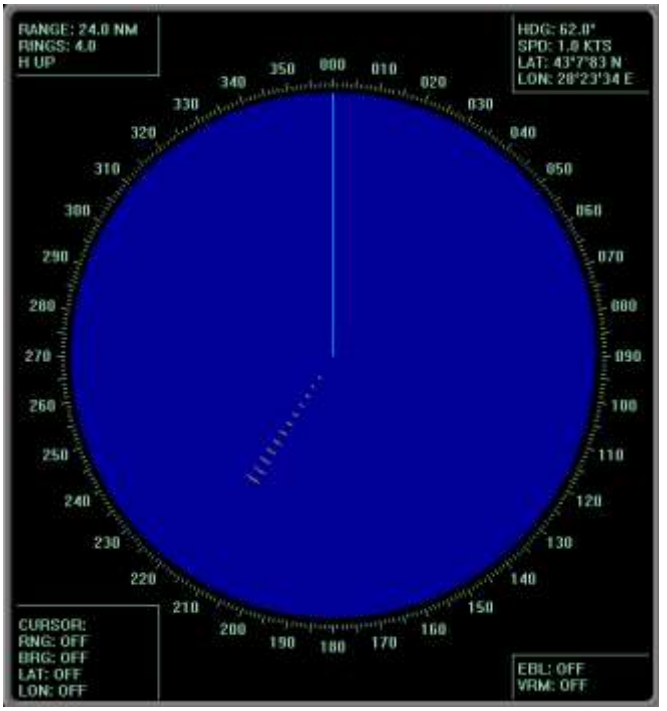
Активният радиолокационен отражател за търсене и спасяване (Search And Rescue Radar Trasnponder, SART) е основно средство в СМСББ за определяне на мястото на бедстващия кораб или на неговите спасителни съдове (лодки, плотове и т.н.). Когато се активира, радиолокационният SART отговаря на всеки радиолокационен сигнал с 12 импулса, които генерират поредица от 12 точки / проблясвания подредени в права линия от мястото на отражателя към периферията на радиолокационния екран по продължение на линията на пеленга към него, както е показано на фиг. 3.6. Разстоянието между всеки две точки е 0,6nm.

Когато разстоянието между радиолокационната станция и активния SART намалява, точките се разтеглят в дъги, а при разстояние под 1 nm дъгите се затварят в концентрични окръжности. Радиолокаицонният SART трябва да изработва звукова и светлинна сигнализация, когато е активиран от РЛС на минаващ наблизо кораб, като индикация за правилната работа, но също и за информация на бедстващите в спасителния съд.

От 1-ви януари 2010г. с резолюция MSC.256(84) IMO разреши използването на AIS-SART като алтернатива на съществуващия радиолокационен SART. Броят на устройствата остава непроменен, но се разрешава използването и на двата вида.

Транспондерът трябва да бъде инсталиран на достъпно място на мостика. За кораби под 500 брт се изисква един транспондер, а за кораби от 500 брт и повече – два. Всички пътнически кораби трябва да бъдат оборудвани с два SART-а. Всеки кораб може да носи допълно по един SART за всеки спасителен съд, както и един плаващ SART, като интегрална част от VHF DSC EPIRB-а.

Радиолокационният SART работи в X-обхвата (честота на излъчвания сигнал 9,2 – 9,5GHz, дължина на вълната 3cm). Батерията трябва да гарантира 96 часа работа в режим “Готовност (StandBy)“, с последващи 8 часа активно излъчване. Работната температура трябва да е между -20 и +55°C.




Фигура 3.6. Екран на кораба РЛС с изображение на активиран радиолокационен SART (От GMDSS симулатор TGS 4100)

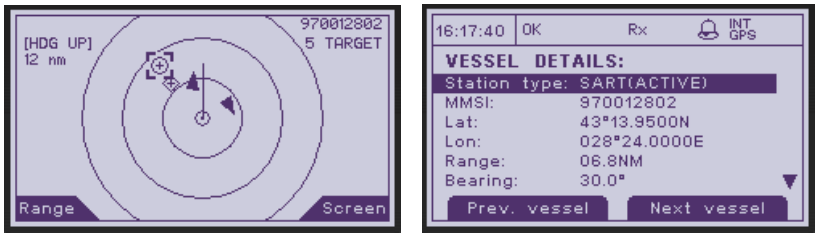
Работните честоти на AIS-SART са 161,975MHz (AIS1, VHF Ch. 87B) и 162,025MHz (AIS2, VHF Ch. 88B). Неговата батерия трябва да гарантира 48 часа активно излъчване при температура на околната среда между -20 и +55°C. Притежава вграден GPS премник, обикновено с 20 канала и идентификационен номер със следната структура:

AIS-SART ID – 970XXYYYY,

Където XX е кодът на производителя, а

YYYY – сериен номер.

На фиг. 3.7 е показан екран на корабен AIS – транспондер, изобразяващ активиран AIS-SART. На 3.7a) се вижда характерния символ на SART-а, наред със символите на два кораба и един A-to-N AIS, а на 3.7b) – текстовата информация, показваща идентификациония номер и координатите на транспондера, както и пеленга и разстоянието до него.




a) b)

Фигура 3.7. Активиран AIS SART на екрана на корабен AIS транспондер (a) – Plotter, b) – Текстов екран (От GMDSS симулатор TGS 4100)

Таблица 3.2

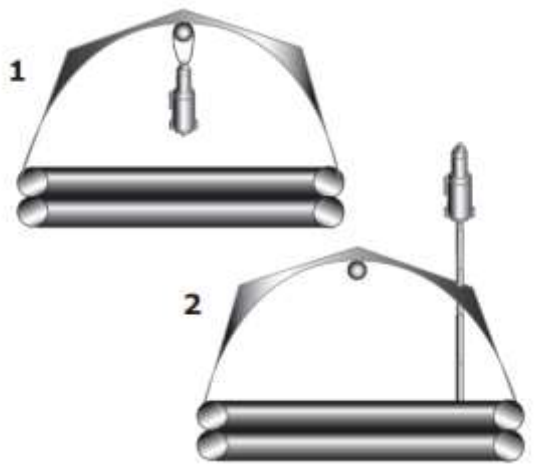
| **Наблюдаван от:** | **Обхват** |
|---|---|
| Въздушен RADAR с импулсна мощност 5 - 10kW на височина 800m | 30 - 40nm |
| Корабен RADAR с височина на антената 15m (SART е закрепен изправен, на 1m над морето) | 5nm |
| Корабен RADAR (SART изправен на дъното на спасителния плот) | 2,5nm |
| Корабен RADAR (SART легнал на дъното на спасителния плот) | 1,8 - 2nm |

В табл. 3.2 са показани максималните разстояния, на които може да се открие радиолокационен SART. Хеликоптер, оборудван с радиолокационна станция за X-обхват може да открие активиран SART на разстояние до 35nm при условие, че лети на 800m над водата. Корабната РЛС ще открие активирания SART на не повече от 5nm и то при условие, че SART-ът е разположен на 1m над морската повърхност. Ако се държи изправен на дъното на спасителния плот, разстоянието намалява до 2,5nm, а ако лежи на дъното на плота или плава по морската повърхност - на не повече от 2nm.

Разстоянията, показани в табл. 3.2 могат да се променят под въздействието на следните фактори:

- Типът на използваната РЛС – някои станции са по-добри в откриването на малки цели на големи разстояния;

- Уменията на оператора на РЛС да настройва станцията по най-добрия начин;
- Състоянието на морската повърхност – големите вълни могат да увеличат значително разстоянието на откриване, издигайки, макар и за кратко спасителния плот на голяма височина. Спокойната морска повърхност от друга страна може да създаде проблеми в следствие на отраженията на сигнала на радиолокационния SART от нея;
- Закрепването на SART-а в спасителния плот – за да се постигне максимално разстояние на откриване SART-ът трябва да е изправен и на височина поне 1m над морската повърхност, както е показано на фиг. 3.8;




Фигура 3.8. Закрепване на SART в спасителния плот – на височина поне 1m над морското равнище

- Наличието на пасивни радарни отражатели (рефлектори) на същия спасителен плот, на който е включен радиолокационен SART могат да предизвикат значителни изменения в радарната картина в резултат на многократните отражения на сигнала. За избягване на този ефект пасивните рефлектори трябва да се премахнат преди включване на SART.
- В допълнение, съгласно табл. 3.1 преносимата УКВ радиостанция, която се използва в спасителния плот, може да бъде засечена от брегови

радиопеленгатор на разстояние до 15nm, а от корабен на не повече от 10nm. Същото се отнася и за насочващия сигнал с честота 121,5 MHz, използван в съвременните EPIRB-и. Подобни са и разстоянията, на които може да бъде открит активиран AIS-SART, който също излъчва в УКВ обхвата.

- Ако сигналът за бедствие идва от яхта или друг малък неконвенционален съд с УКВ антена, разположена на височина от около 10m, той може да бъде засечен от брегови радиопеленгатор на разстояние до 35nm, а от корабен на не повече от 15nm.

Важно е да се отбележи, че сигналът от транспондера за търсене и спасяване SART не е сигнал за оповестяване на бедствие, а само за указване на мястото на бедстващия кораб или на негов спасителен съд. От вахтения помощник, отговарящ за радиооборудването се изисква да извършва ежемесечно тест на транспондерите, като за целта се използва корабната РЛС (тъй като транспондерт е в непосредтсвена близост, на екрана на РЛС ще се наблюдават концентрични кръгове). При това трябва да се има предвид, че тестовият сигнал може да бъде приет от друг кораб, преминаващ наблизо и да бъде разчетен неправилно като сигнал от бедстващ кораб или спасителен плот. За избягване на подобни недоразумения тестът трябва да се извършва за кратко време и при условие, че в околност от поне 5nm няма други кораби. От друга страна, когато на екрана на радара се появи изображението от включен SART за кратко време, той не трябва да се игнорира напълно. Добре е да се потърси контакт за идентификация на източника на сигнала.

### 3.6. Функции на системата на Р. България по осигуряване на СМСББ

Системата GMDSS на Р. България се осигурява от Информационната система за наблюдение на плавателните съдове за райони А1 и А2 (GMDSS.A1 и GMDSS.A2). Системата поддържа работа в режим „Телефония“ и в режим „Цифрово избирателно повикване (Digital Selective Calling, DSC) и осигурява излъчването на NAVTEX съобщения.

Работата в режим „Телефония“ осигурява възможност за гласова връзка между операторите и корабите, запис на всички гласови комуникации и мониторинг на компонентите на системата в реално време.

Режим „Телефония“ се използва за гласова комуникация с плавателните съдове. На всеки от обектите, осигуряващи район GMDSS.A1 са инсталирани по две VHF GMDSS радиостанции. Едната радиостанция се използва само за прослушване на канала за бедствие (Ch16), а другата – за комуникация с корабите в района на действие на системата. Операторите следят и честотата за бедствия, спешност и безопасност на MF (2182kHz) за осигуряване на район GMDSS.A2. Системата предоставя възможност и за гласова комуникация с корабите на всеки един от ITU/SSB – каналите за MF/HF обхвата.

Режимът DSC се използва за обмен на цифрови данни с корабите. На всеки от обектите, осигуряващи район GMDSS.A1 е инсталиран по един DSC приемопредавател, с който се поддържа непрекъснато наблюдение на канала за бедствие (Ch70) и могат да обменят данни с корабите. Непрекъснато наблюдение се поддържа и на DSC честотата 2187.5 kHz за бедствия, спешност и безопасност в MF обхвата. Връзка с корабите е възможна и на всяка MF/HF DSC честота.

Подсистемата Navtex дава възможност за излъчване на съобщения за навигационна безопасност. Navtex предавателите са инсталирани в Радиопредавателния център Китка и излъчват навигационни и метеорологични предупреждения и хидрометеорологични прогнози на международната честота 518 kHz с идентификация “J”. В съобщенията са включени и тези, които се излъчват от Констанца радио на Румънски език след като бъдат преведени на Английски.

Оборудването, осигуряващо работата на Българската част от Световната морска система за бедствие и безопасност СМСББ в райони А1 и А2 (GMDSS.A1 и GMDSS.A2) включва:

***VHF подсистема*** за гласова комуникация (работа в режим „Радиотелефония“) и за цифрово избирателно повикване (Digital Selective Calling, DSC). Системата се състои от 12 VHF радиостанции за работа в режим „Радиотелефония“ с антени и 12 бр. VHF радиостанции за цифрово избирателно повикване DSC с антени. И двата

типа станции са в резервна конфигурация, т.е. по 2 бр. приемопредаватели, разположени на 6 обекта. Радиостанциите са тип ELMAN RTV 1124. Те са проектирани за работа в морския честотен диапазон 146-174 MHz с клас на излъчване G3E с разстояние между каналите 25 или 12,5 KHz. Мощността на предавателя  може да бъде настроена на 1 W, 25 W или 50 W, като последната настройка може да бъде изключена при фабричната конфигурация. Радиостанцията от тип ELMAN RTV-1124 може да се настройва на мястото, на което е инсталирана с помощта на клавиатура и дисплей и разполага с вграден високоговорител и вход за микрофон и слушалки.




Фигура 3.9. VHF радиостанция ELMAN RTV 1124 с антена Procom R2-3I
(от Документ № 450001 – 01, Техническо описание за разширение и обновяване на VTMIS и GMDSS системи, Транслинк 2014)

Дистанционното управление се реализира през сериен (RS232 / RS422) или вграден мрежов интерфейс. Поддържа режими на работа симплекс, полу-дуплекс и пълен дуплекс. Може да работи както с отделни антени за приемане и за предаване, така и

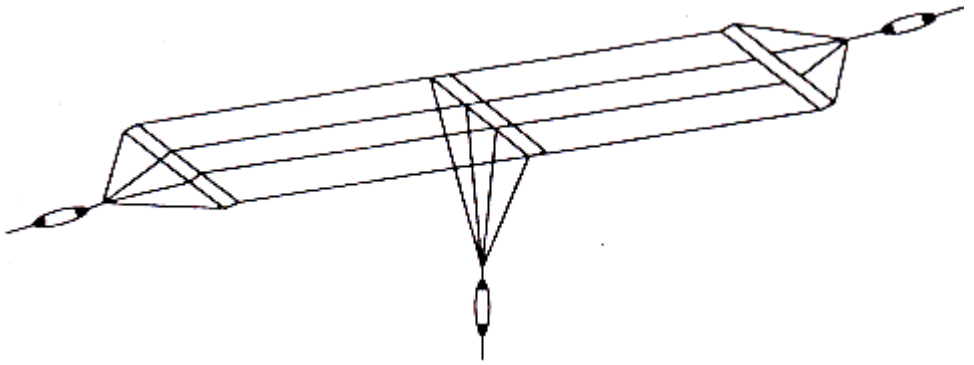
с една обща антена, комбинирана с дуплексен филтър за работа в режим пълен дуплекс. В станцията има вграден DSC Class-A кодер/декодер, като управлението на DSC режима може да се извърши дистанционно чрез стандарт IEC61162 ( NMEA - 0183). Всяка радиостанция е свързана с VHF антена модел PROCOM R2-3I. Антената е от тип Двуелементна Yagi, с усилване 3 dBd и импеданс 50 Ω. Ширината на диаграмата на насочено действие в хоризонталната равнина е 100°, както е показано на фиг. 3.9.

Таблица 3.3

| **Обща спецификация на радиостанция ELMAN RTV – 1124** | |
|---|---|
| Работна честота | От 146MHz до 174MHz |
| Разстояние между каналите | 12,5kHz или 25kHz |
| Клас на излъчване | G3E |
| Честотна нестабилност | 1ppm |
| Работна температура | -10°C до +55°C |
| Относителна влажност | До 95% |
| Управление на място | Клавиатура с 16 клавиша |
| Наблюдение на място | Графичен екран 160 X 128 пиксела |
| Дистанционно управление | RS232 / RS422, Ethernet |
| Дистанционно наблюдение | Web Интерфейс |
| Дистанционно конфигуриране | Web Интерфейс |
| **Спецификация на приемника** | |
| Чувствителност | ≤ 0.5 μV @ 20 dB SINAD<br>≤ 0.25 μV @ 12 dB SINAD |
| Избирателност | За 25 kHz: ≥ 70 dB<br>За 12.5 kHz: ≥ 60 dB |
| Аудио стъпало | Честотна лента 300 – 3000Hz<br>Изкривявания < 5%<br>Изходна мощност 4W / 4Ω |
| **Спецификация на предавателя** | |
| Максимална изходна мощност | ≥50W |
| Средна мощност | 25W ±1dB |
| Ниска мощност | ≤1W |
| Импеданс за антенния вход | 50Ω |
| Недостоверни излъчвания | ≤0,25μW при -36dBm |

***MF/HF подсистема*** за гласова комуникация (работа в режим „Радиотелефония“) и за цифрово избирателно повикване DSC. Системата се състои от 3 бр. MF/HF предаватели KENTA KHF2011 (два основни и един резервен) и 1 бр. MF/HF предавателна антена с антенен комутатор, позволяващ работа на всички

предаватели с антената. Т-образната антена от тип Moonraker HF FD 2-30 е показана на фиг. 3.10. Предавателят работи в обхвата на MF/HF от 1,6 до 30MHz в различни режими с класове на излъчване J3E (USB & LSB), H3E, F1B и CW и притежава изходна мощност от 1 kW при товар от 50Ω. Радиосигналът се генерира от цифров синтезатор с помощта на сигнален процесор за директен цифров синтез (Digital Signal Processor, DSP; Direct Digital Synthesis, DDS).



Фигура 3.10. Предавателна антена тип Moonraker HF FD 2-30
(от Документ № 450001 – 01, Техническо описание за разширение и обновяване на VTMIS и GMDSS системи, Транслинк 2014)

Таблица 3.4

| **Обща спецификация на предавател KENTA KHF2011** | |
|---|---|
| Работна температура | От -20ºC до +55º |
| Захранване | Монофазно 100/240VAC, 50Hz+/- 10% |
| Честотен обхват | От 1,65 MHz до 30 MHz |
| Максимална мощност | 1kW PEP в 50Ω |
| Хармонично потискане | ≥60dBc |
| Класове на излъчване | J3E (USB & LSB), H3E. F1B, CW |
| Стабилност на честотата | <10Hz по стандарт (<1Hz – опция) |
| Потискане на носещата честота | >60dBc |
| Аудио вход | Аналогов -10dBm/600Ω, конектор RJ45 |
| Интерфейс за контрол и мониторинг | RS232 / RS485<br>UDP/IP на Ethernet (10/100BaseT RJ45) |
| Съответствия | Препоръки на ITU и IMO;<br>Европейски директиви ETSI EN 301 489<br>резолюция RTT&E-EMC |

В подсистемата са включени още 1 бр. MF/HF приемник от тип ELMAN DSC-1097 с антена и 10 бр. приемници от същия тип, работещи с една обща антена чрез комутатор. Шест от приемниците са предназначени за работа в режим „Радиотелефония“ и четири - за DSC). ELMAN DSC-1097 е приемник за MF/HF с гласови, DSC, RTTY/NBDP и NAVTEX функции, работещ в честотен диапазон от 50 kHz до 30 MHz с класове на излъчване J3E и F1B. Приемникът може да сканира множество DSC и NAVTEX честоти за постоянно наблюдение на ефира. Освен по стандартен сериен интерфейс RS232 / RS485 достъп за дистанционно управление и контрол на състоянието е възможен и по Ethernet протокол UDP/IP. Предавателят KHF2011 е проектиран за инсталиране в брегова радиостанция и отговаря на изискванията на GMDSS за район A2. Отделните му блокове - захранване, генератор на радиосигнали (синтезатор), краен усилвател и филтър за хармонични честоти се монтират в стандартен 19-инчов шкаф за оборудване и се захранват от електрическата мрежа.




Фигура 3.11. Приемник ELMAN DSC-1097

Приемникът може да управлява външен MF/HF предавател за DSC. Избраният предавател може да бъде управляван през сериен порт (RS-232 / RS-422), за избор на клас на излъчване и честота, както и за връщане на предавателя в изходно работно състояние, след като излъчването е приключило. Приемникът може да се управлява на място посредством вградена клавиатура и екран, даващи достъп до всички функции на уреда или дистанционно през серийни портове. Може да се

използва и контролер ELMAN SRG-135 за съгласуване на приемника към IP през Ethernet. Приемникът е показан на фиг. 3.11.

Таблица 3.5

| **Обща спецификация на приемник ELMAN DSC – 1097** | |
|---|---|
| Работна честота | От 50kHz до 30MHz |
| Стъпка на настройване на честотата | 1Hz |
| Сканиране | До 8 честоти на DSC<br>До 3 честоти на NAVTEX |
| Класове на излъчване | A3E, J3E (Телефония)<br>F1B (DSC, RTTY/NBDP, NAVTEX) |
| Входен импеданс за антенния вход | 50Ω |
| Честотна нестабилност | 1ppm |
| Работна температура | -10°C до +55°C |
| Относителна влажност | До 95% |
| Управление на място | Клавиатура с 16 клавиша |
| Наблюдение на място | Графичен екран 160 X 128 пиксела |
| Дистанционно управление | RS232 / RS422 |

Таблица 3.6

| **Обща спецификация на предавател KNAVTEX5212** | |
|---|---|
| Работна температура | От -20ºC до +55º |
| Захранване | Монофазно 100/240VAC, 50Hz+/- 10% |
| Честотен обхват | 490kHz; 518kHz |
| Макс. мощност | 1kW PEP в 50Ω |
| Хармонично потискане | ≥60dBc |
| Класове на излъчване | F1B (FSK +/-85Hz, 100 bps) |
| Стабилност на честотата | <10Hz по стандарт (<1Hz – опция) |
| Потискане на носещата честота | >60dBc |
| Аудио вход | Аналогов -10dBm/600Ω, конектор RJ45 |
| Контрол / мониторинг | RS232 / RS485<br>UDP/IP на Ethernet (10/100BaseT RJ45) |
| Съответствия | Препоръки на ITU и IMO;<br>Европейски директиви ETSI EN 301 489 резолюция RTT&E-EMC |

***Подсистема за NAVTEX съобщения***, която включва 3 бр. NAVTEX предаватели KNAVTEX5212 (два основни и един резервен), 1 бр. предавателна антена тип Т с антенен комутатор, позволяващ работа на всички предаватели с антената и 4 бр. контролни NAVTEX приемници ELMAN DSC-1097. Системата излъчва съобщения на английски език (International NAVTEX) на 518kHz с идентификатор на

предавателя “J” по график както следва: от 01:30 до 01:40, от 05:30 до 05:40, от 09:30 до 09:40, от 13:30 до 13:40, от 17:30 до 17:40 и от 21:20 до 21:40 UTC. NAVTEX съобщенията се публикуват и на web-сайта на информационната система за наблюдение на трафика на плавателните съдове (www.vtmis.bg).

В табл. 3.3, 3.4, 3.5 и 3.6 са представени технически спецификации на радиосредствата за осигуряване на системата GMDSS – A1 и A2 на Р. България.

***Оперативен център по GMDSS*** за управление на радиосредствата и за осигуряване на комуникациите по търсене и спасяване с Морския спасително – координационен център Варна (МСКЦ). Центърът включва 6 бр. операторски работни места за GMDSS (5 бр. за Брегови център Варна и 1 за Бургас), оборудвани с компютри, монитори, обзавеждане и специализиран софтуер, както и 6 бр. операторски радиоинтерфейси, по един за всяка операторска работна станция. Допълнително е включено и едно инженерно работно място за центъра във Варна, разполагащо с функциите на операторските работни станции и оборудвано с компютри, монитори, обзавеждане и специализиран работен софтуер и операторски радиоинтерфейс.
Управлението на радиотелефонната подсистема се извършва от системата за управление на радио и аудио връзките OMNITRONICS DX-ALTUS. Системата се състои от пет приложения:

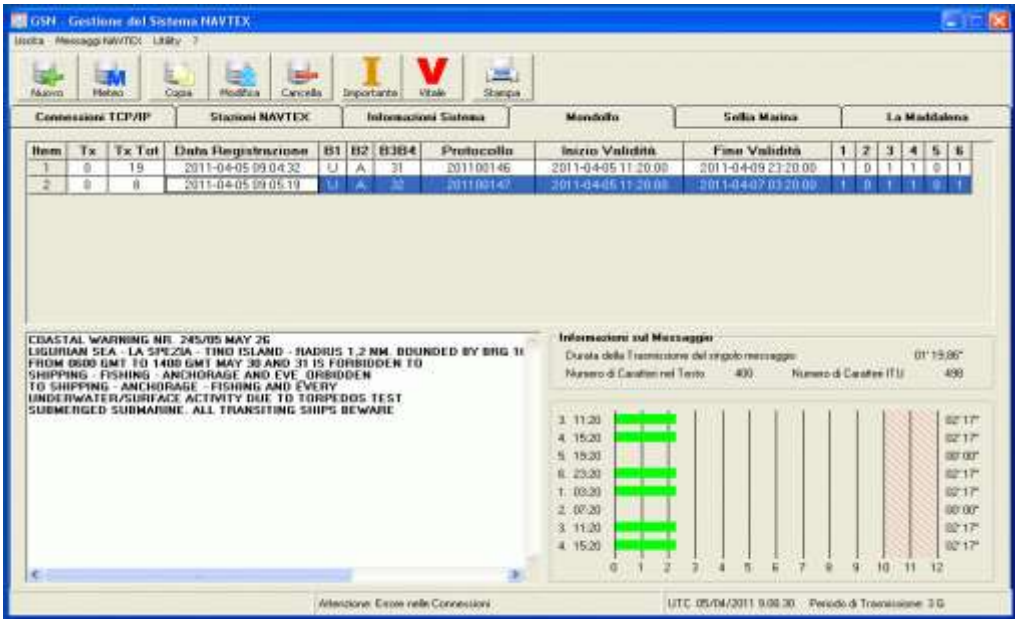
- Приложение за гласови комуникации с корабите (за работа в режим „Телефония“). Приложението се нарича Alto и е показано е на фиг. 3.12;
- Приложение за работа в режим DSC, показано на фиг. 3.13;
- Приложение за подготовка и излъчване на съобщения в системата NAVTEX, показано на фиг. 3.14;
- Приложение за поддържане на Базата от данни и на Дневниците, показано на фиг. 3.16;
- Приложение за наблюдение на трафика, показано на фиг. 3.17.



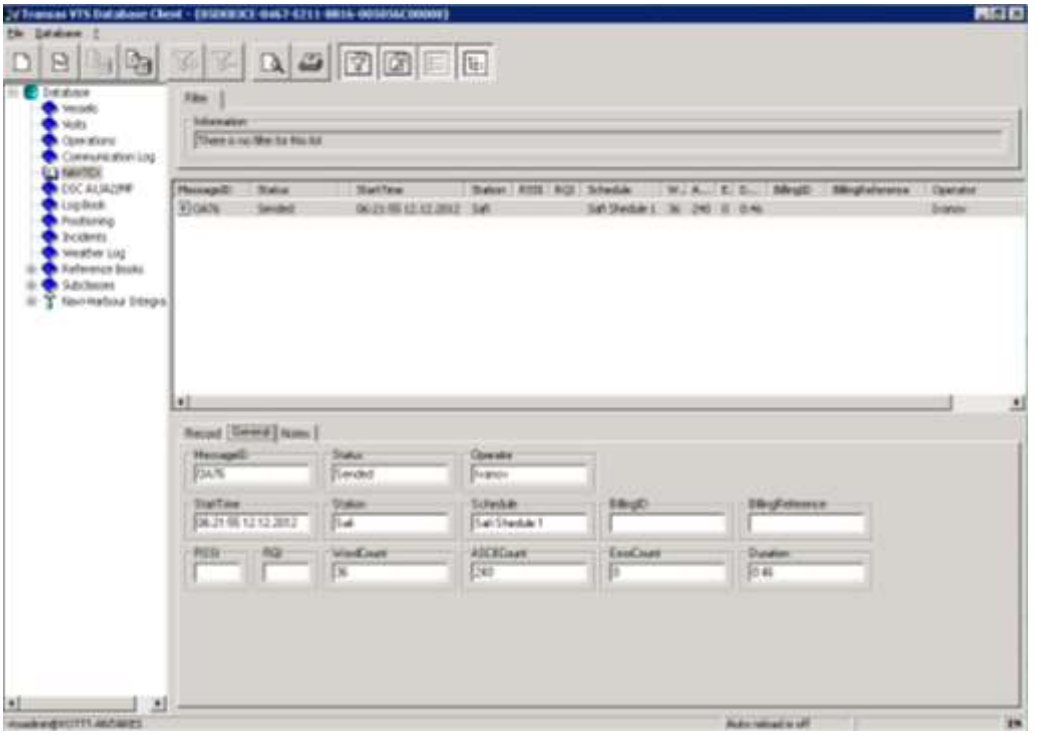

Фигура 3.12. Графичен интерфейс на приложението Alto за работа в режим „Телефония“



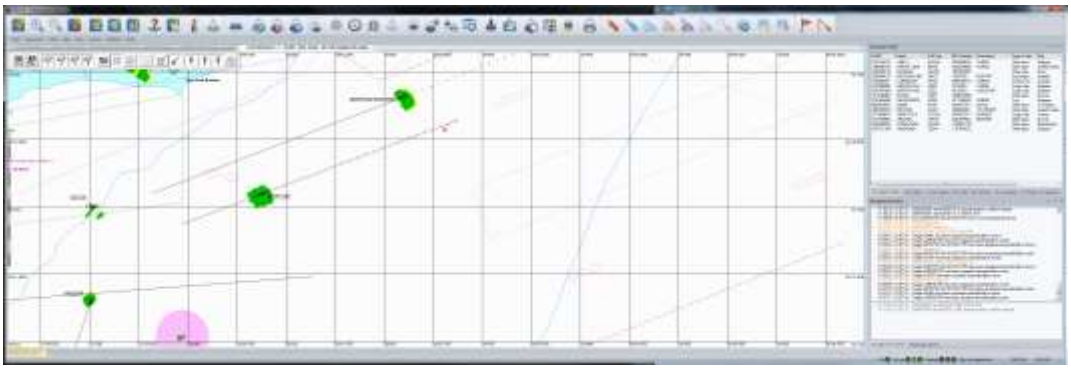
Фигура 3.13. Графичен интерфейс на приложението за работа в режим DSC



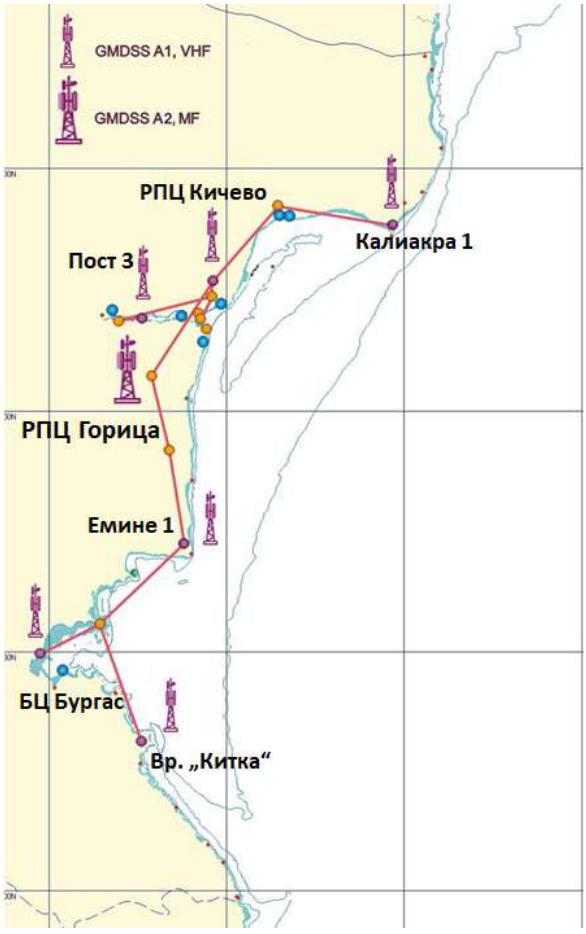

Фигура 3.14. Графичен интерфейс на приложението за работа в режим NAVTEX



Фигура 3.15. Графичен интерфейс на приложението за поддържане на Базата от данни и на Дневниците



Фигура 3.16. Графичен интерфейс на приложението за наблюдение на трафика




Фигура 3.17. Разположение на брегови станции, осигуряващи GMDSS A1 и A2 на Р. България

***Център за обработка на данните***, включващ два комплекта основни сървъри (резервиран GMDSS сървър, резервиран GMDSS Сървър база данни и сървър за аудиозапис и възпроизвеждане), оборудвани със съответния софтуер за обработка на данни, интегриране и записване, по един комплект за двата брегови центъра.

Всички данни на подсистемата се съхраняват в архив в продължение на една година, за да могат да бъдат възпроизведени при нужда. На всеки обект има инсталирани непрекъсваеми източници на захранващо напрежение (UPS), които в случай на отпадане на основното електрозахранване да поддържат работата на системата в продължение на 30 минути при работа на предавателите на пълна мощност.

Разположението на брегови станции, осигуряващи GMDSS.A1 и GMDSS.A2 на Р. България е показано на фиг. 3.17.

# 4. РАДИОЛОКАЦИОННО НАБЛЮДЕНИЕ

## 4.1. Предназначение

Радиолокацията е област от радиоелектрониката, предназначена за откриване на обекти с помощта на високочестотни електромагнитни колебания (радиовълни) и за измерване на техните координати и параметри на движение. В съвременните системи за радиолокационно наблюдение се извършват допълнителни обработки на сигналите с цел извличане на по-голямо количество информация за наблюдаваните обекти, необходима за тяхното последващо разпознаване, класификация, определяне на размерите, националната им принадлежност и пр.

В англоезичната литература се използва съкращението RADAR от RAdio Detection And Ranging – откриване и измерване на координатите с помощта на радиосигнал. Идеята е дошла от Германия, където в 1904г. Кристиян Хулсмайер (Christian Hulsmeyer) патентова радиотехническо устройство, предназначено за откриване на кораби. За тази цел устройството излъчва електромагнитни импулсни поредици, които се разпространяват в околното пространство. Когато вълната срещне по своя път някакъв обект, част от нейната енергия се отразява обратно. Количеството отразена енергия зависи от много фактори, а отразеният сигнал може да се разпространи в различни посоки, така че енергията, която се връща обратно в устройството обикновено е много малка част от излъчената и се открива с чувствителен приемник. Обект на наблюдение е всяко тяло, чиито електромагнитни характеристики се отличават от характеристиките на околната среда, в която се разпространява електромагнитната вълна – кораби, буйове или други средства за навигационно осигуряване, бреговата линия и др. В радиолокацията обектите на наблюдение се наричат цели (targets). Всякакви други обекти, като отражения от морската повърхност, от дъжд, сняг или други валежи, облаци или пясъчни бури, които могат да бъдат приети по погрешка за радиолокационни цели, се наричат смущения (clutter). Във военната област на приложение на радиолокацията смущенията могат да бъдат и преднамерени, т.е. нарочно генерирани. Един от основните проблеми при обработката на радиолокационни сигнали е как да се подтиснат смущенията с цел по-добро откриване на целите и по-правилно

определяне на координатите им и на параметрите на тяхното движение, независимо как се извършва това - от оператора на радиолокационната станция (РЛС) или автоматично.

Приложенията на радиолокацията в наши дни са изключително разнообразни и включва контрол на морския и въздушен трафик, радиолокационна астрономия, отбранителни и противоракетни системи, корабоводене и въздухоплаване, системи за предпазване от сблъскване, системи за наблюдение на космическото пространство и за скачване на космически апарати, в различните видове мониторинг – на морската повърхност, на валежите и др., както и под повърхността на земята за различни геоложки проучвания и много други.

В зависимост от конктретното приложение радиолокацията може да се използва за определяне на различен брой координати. Тримерната радиолокация, използвана в авиацията позволява определяне на сферичните координати на откритата цел – азимут $\beta$ (azimuth), ъгъл на мястото $\varepsilon$ (elevation) и наклонено разстояние $R$ (range). Двумерната радиолокация, използвана най-често за наблюдение на морската повърхност определя кръговите координати азимут и разстояние. Съществуват и приложения за определяне на една от координатите, напр. разстоянието до целта.

Описаният механизъм на работа се нарича *активна радиолокация с пасивен отговор*. Съществуват приложения, при които наблюдаваната цел излъчва сигнал-отговор, когато попадне в обхвата на РЛС. Отговорът се излъчва от специализирано устройство наречено *транспондер*, отговарящ предавател (*Trans*mitter - res*ponder*). Такъв механизъм на работа се нарича *активна радиолокация с активен отговор* и се прилага във военните системи за опознаване на „своите“ обекти и разграничаване от противниковите (IFF, Identification Frend or Foe), както и в Световната морска система за бедствия и безопасност СМСББ за определяне на мястото на бедстващия плавателен съд (SART, Search And Rescue Transponder). Собственото излъчване на целта също може да се използва за нейното откриване и за определяне на координатите й. Този механизъм се нарича *пасивна радиолокация*. Излъчването може да е в резултат от работата на предавателните устройства на наблюдаваната цел или от нейната температура. В този случай се говори за *радиотоплолокация* (termovision).

Системите за радиолокационно наблюдение притежават някои съществени предимства:

- Те са напълно автономни и независими;
- Позволява непрекъснато наблюдение в условията на лоша видимост и през нощта;
- Позволяват бързо и лесно определяне на координатите на собствения кораб (по пеленга и разстоянието до известен обект) с точност в границите на 1,5% от разстоянието с 95% вероятност;
- Откриват и определят координатите на обекти в околността и определят параметрите на тяхното движение;
- Откриват опасни за навигацията климатични формирования, като айсберги, валежи, големи морски вълни и др.

Радиолокационното наблюдение не е лишено и от някои недостатъци:

- Няма пълно съответствие между радиолокационното изображение, навигационните карти, вкл. електронните и реалната визуална картина;
- Няма пълно съответствие между размерите на радиолокационните цели и реалните наблюдавани обекти, целите нямат цветове и обем;
- Налага ограничения, свързани с далечината на откриване на малки съдове, ледени образувания и др., особено в бурно море;
- Налага ограничения, свързани с точността на измерване на координатите на наблюдаваната цел, на разрешаващата способност по ъгъл и по разстояние, и др.

## 4.2. Общо описание на радиолокационна станция за наблюдение

На фиг. 4.1 е показана блоковата схема на седемкомпонентна радиолокационна станция (РЛС), използвана най-често за наблюдение на морската повърхност и за навигация на море.

***Предавателят*** генерира високочестотно електромагнитно колебание (т.е. радиовълни) с голяма мощност и го модулира под формата на радиоимпулси. Голямата мощност на тези импулси е необходима за да се покрие необходимото разстояние на ефективно наблюдение. Източникът на електромагнитното колебание

може да бъде вакуумен прибор (т.е. електронна лампа от тип Клистрон (Klystron), Лампа с бягаща вълна (Traveling Wave Tube, TWT), Магнетрон (Magnetron)) или твърдотелен усилвател на мощност (Solid State Power Amplifier, SSPA). Всеки един от тях има специфични характеристики, предимства и ограничения.

В зависимост от използвания източник на електромагнитно колебание в радиолокацията се използват два вида сигнали – кохерентни и некохерентни (от лат. Coherentia – връзка, синхрон, съгласуваност). Две радиовълни са кохерентни, ако фазовата разлика между тях остава постоянна във времето. Това условие е изпълнено, ако честотите им са еднакви и постоянни във времето.

Импулсните РЛС са некохерентни (incoherent), ако началната фаза на носещата честота е случайна и следователно различна във всеки излъчен импулс. Когато за генератор на импулси в предавателя се използва магнетрон, началната фаза на носещата честота не може да бъде контролирана, в резултат на което излъченият сигнал е некохерентен.




Фигура 4.1. Седемкомпонентна радиолокационна система

***Приемникът*** трябва да е много чувствителен в честотния обхват на излъчвания сигнал, за да осигури голям обхват на действие на системата. При това в

процеса на усилване на приетия сигнал той не трябва да генерира прекалено силни вътрешни (най-често топлинни) смущения. Съвременните радиолокационни приемници са супер-хетеродинни и са в състояние да усилват ефективно междинната честота. След снемане на обвиващата от детектора на приемника т.нар. видеосигнал се усилва и подава към индикатора за изобразяване.

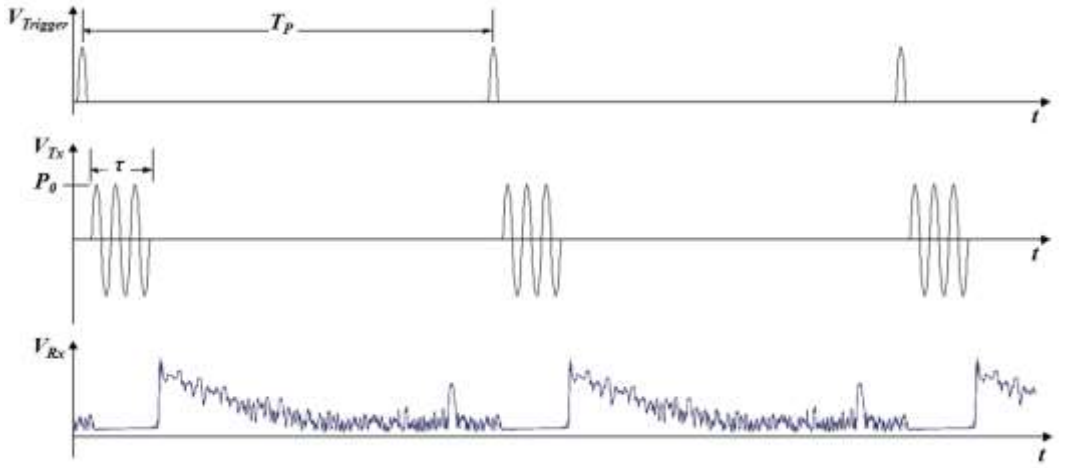
Способността на приемника да различава приетия сигнал от фоновия шум зависи от отношението „Сигнал - Шум“ (Signal to Noise Ratio, SNR). При това трябва да се има предвид, че в приемника се получава средната стойност на сигнала, получен при отраженията от много импулси. Случайните отражения, класифицирани като смущения не се срещат при всеки импулс и следователно след осредняване ще се редуцират в сравнение с отраженията от реалните цели, които присъстват във всеки импулс. Ако напр. наблюдаваната цел е облъчена с $n$ на брой поредни импулса, то в резултат на интеграцията отношението „Сигнал - Шум“ ще се подобри $\sqrt{n}$ пъти.

Процесът на сумиране на сигналите, получени в резултат на отраженията от много импулси, се нарича интегриране на радарните импулси. Интегрирането може да се осъществи преди детектора за снемане на обвиващата на отразения сигнал или след него. В първия случай се говори за преддетекторна или кохерентна интеграция. Кохерентната интеграция запазва фазата на отразените сигнали като по този начин увеличава неговата амплитуда. Във втория случай се говори за постдетекторна или некохерентна интеграция. При некохерентната интеграция не е налична информацията за фазовите съотношения.

На фиг. 4.2 са показани времедиаграмите на импулсната поредица, излъчена от предавателя и на видеосигнала, получен в резултат на следдетекторна интеграция в приемника. Продължителността на излъчения импулс (Pulse width/length/duration) е означена с $\tau$, а периодът на повторение – с $T_P$. Честотата на повторение на излъчените импулси се определя са израза

$$f_P = \frac{1}{T_P}. \tag{4.1}$$

Виодесигналът, приет в паузата между два излъчени импулса се нарича развивка (*sweep*).




Фигура 4.2. Времеви съотношения на радиолокационните сигнали

В съвременните системи за радиолокационно наблюдение на морската повърхност се използват и станции с вътрешноимпулсна модулация на излъчения сигнал. Модулацията може да е честотна или фазова, а усилвателят на мощност в предавателя може да е изграден с полупроводникови компоненти (*Solid State Power Amplifier, SSPA*).

***Захранващият блок*** осигурява необходимите работни напрежения на всички останали блокове в системата. Най-големият консуматор е предавателят, който в някои случаи изисква мощност от порядъка на няколко десетки киловата. Действителната мощност, съдържаща се в излъчвания импулс надвишава многократно средната мощност, предоставяна на предавателя. За да се осигури достатъчна импулсна мощност, енергията се натрупва в кондензаторни блокове по време на паузите между два импулса. За времето на следващия импулс цялата натрупана енергия се излъчва от предавателя, достигайки т.нар. импулсна или пикова мощност.

***Блокът за синхронизация*** изработва импулсна поредица за регулиране на времевите съотношения по време на работата на РЛС. Сигналите на блока за синхронизация се подават едновременно както на предавателя, който излъчва поредния импулс, така и на индикатора, който започва изобразяването на

следващата развивка. Такава синхронизация е необходима, за да се гарантира правилното измерване на координатите на наблюдаваната цел.

***Антенният превключвател*** свързва последователно / алтернативно предавателя и приемника към антената. Основното предназначение на превключвателя е да предпази чувствителния приемник от мощните импулси, генерирани от предавателя. За времето на излъчване на импулса с продължителност $\tau$ антенният превключвател ще бъде свързан към предавателя. След като импулсът бъде излъчен, антенният превключвател свързва антената към приемника и поддържа тази връзка по време на паузата до следващия импулс. В някои радиолокационни приложения не се изисква висока мощност на излъчваните импулси, при което използването на преключвател не е задължително.

***Антенната система*** се състои от задвижващ механизъм, осигуряващ сканирането на наблюдавания район и антена (aerial) която получава поредицата от мощни радиоимпулси, генерирани от предавателя и ги излъчва в ефир, а след това, по време на паузата до следващия импулс служи за приемане на отразените сигнали и ги предава на приемника. По правило в РЛС се използват антени с насочено действие, притежаващи много тясна диаграма на насоченост по посоката на наблюдение, която позволява точно измерване на ъгловите координати на наблюдаваната цел.

В системите за радиолокационно наблюдение на морската повърхност ширината на диаграмата на насочено действие във вертикалната равнина е сравнително голяма, тъй като те не измерват ъгъла на място.

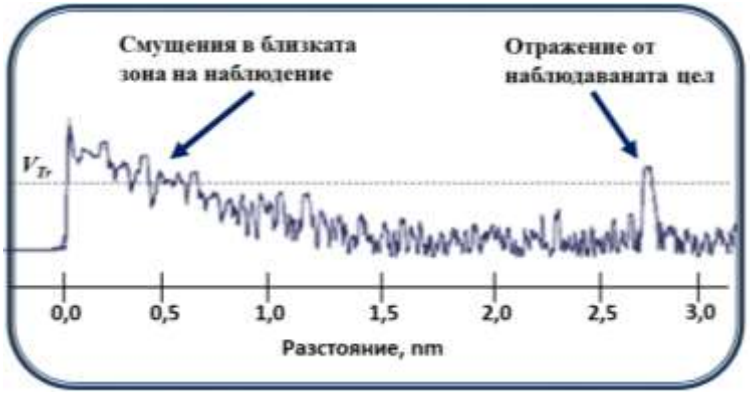
За да е в състояние да измерва ъгловата координата на наблюдаваната цел РЛС трябва да получава от антената информация за нейното ъглово положение. Обикновено тази информация се осигурява с две импулсни поредици. Първата е с много ниска честота, от порядъка на 0,3Hz и показва кога антената пресича посоката „Север“ или курса на кораба. В корабните РЛС тази поредица се използва за изобразяване на курсовата черта на екрана на индикатора. Всеки пореден импулс слага началото на новия радиолокационен обзор (т.е. кадър) на наблюдавания район. Втората поредица е с честота от порядъка на 300Hz – 5000Hz и съдържаща от

1024 до 16384 импулса за един оборот. Броят на импулсите от началото на текущия обзор определя ъгловото положения на антената към момента на отчитането.

В практиката се използват и неподвижни антени, наречени Фазирани антенни решетки (Phased array antennas), които управляват посоката на електронния лъч и по този начин сканират околното пространство, подлежащо на наблюдение. Тъй като секторът на наблюдение при тях е ограничен по ъгъл, могат да се използват конструкции с по няколко антени (напр. четири), насочени в различни посоки и работещи едновременно.

***Индикаторът*** служи за представяне на приетата информация в подходяща за потребителя (т.е. за оператора) форма. За изобразяване на радиолокационния сигнал върху екрана се използват няколко различни начина:

Базовият и исторически първи начин на изобразяване използва т. нар. „Екран тип А“ (A-scan, Amplitude vs. Time scan). Този екран е едномерен и представя времедиаграмата на приетия сигнал за времето на една развивка, както е показано на фиг. 4.3. Видът на екрана от тип А и начинът на представяне на приетия сигнал наподобяват екрана и начина на работа на електронния осцилоскоп.




Фигура 4.3. Радиолокационен екран Тип А (A Scan)

Прилагането на гранична стойност, т.е. праг (*Treshold*) позволява откриване на цел, в случай, че приетият сигнал надвиши праговата стойност. Определянето на праговата стойност на напрежението $V_{Tr}$ е от изключителна важност за правилното откриване на радиолокационните цели. Ако прагът е прекалено нисък, някои

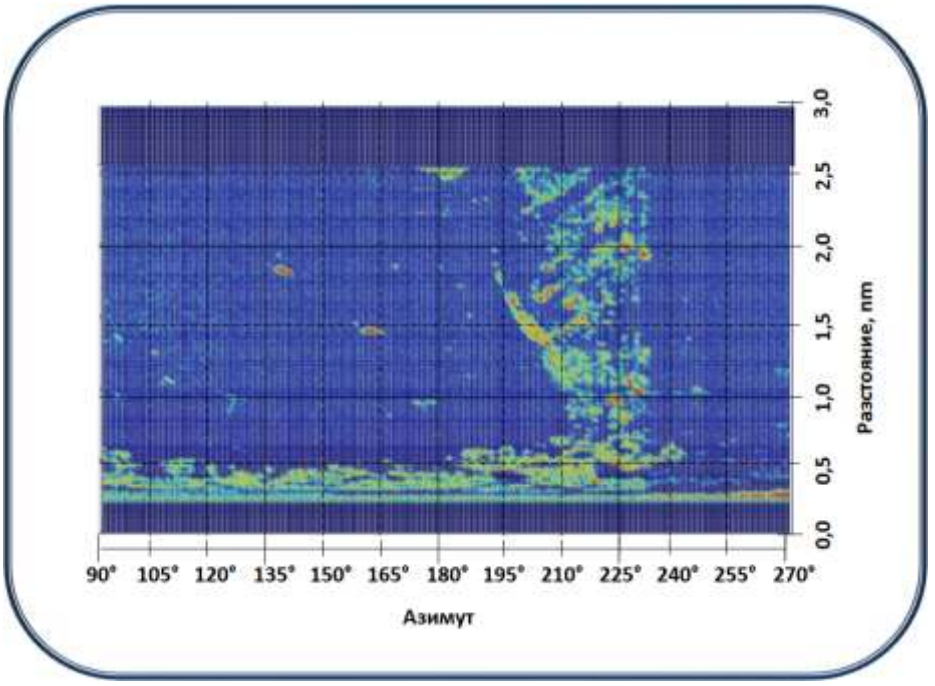
смущения ще бъдат приети за цели, т.е. ще се вдигне лъжлива тревога (*False alarm*). Обратно, ако прагът е твърде висок, целта може да бъде пропусната (*Target miss*). След като целта бъде открита, разстоянието до нея се определя с израза

$$R = \frac{c.t_R}{2}, \quad (4.2)$$

където $t_R$ е интервалът от време между излъчения импулс и отразения от целта сигнал, а $c = 3.10^8 m/s$ е скоростта на разпространение на електромагнитната вълна.

Произведението на скоростта по времето се дели на две, тъй като за времето $t_R$ електромагнитната вълна отива до целта и се връща обратно, т.е. изминава разстоянието $R$ два пъти.

Този начин на изобразяване не позволява определяне на посоката към целта, тъй като не предоставя информация за ъгловото положение на антената.

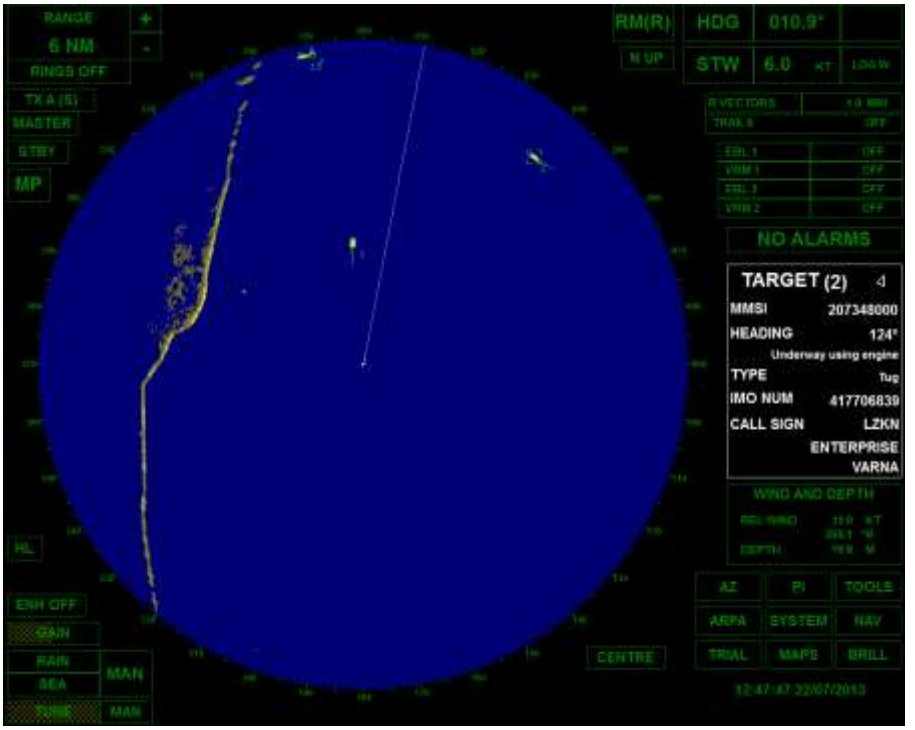



Фигура 4.4. Радиолокационен екран от тип B (B Scan)

Екранът от тип B (B-scan) изобразява определен брой развивки, съставляващи един кадър (един радиолокационен обзор, получен след едно

завъртане на антената). При това информацията от развивките се преобразува в яркост или в цвят, както е показано на фиг. 4.4. Предимството на екрана от тип В е, че той предоставя информация за ъгловото положене на антената и позволява лесно и бързо определяне на кръговите координати на целта – азимутален ъгъл $\beta$ и разстояние $R$. От фиг. 4.4 напр. е очевидно, че едната цел се намира в точка с азимутален ъгъл от 140° и разстояние 1,7 мили, а другата цел - в точка с азимутален ъгъл от 160° и разстояние 1,4 мили. Основният недостатък на този тип индикатори е, че картината, която те изобразяват е различна от картината на околността.

Екранът от тип С се използва в авиацията, за изобразяване на ъгловите координати на летящите цели – азимут и ъгъл на мястото.




Фигура 4.5. Индикатор с кръгов обзор, показващ изображение на корабна РЛС, ориентирано по посока“Север“ и курса на кораба

Екранът тип Р (*Plan Position Indicator, PPI*) формира радиолокационното изображение  след преобразуване на развивките в яркост или цвят и изобразяване в същата посока, по която е ориентирана антената. В резултат върху екрана на РЛС се получава картина на околността, с чиято помощ операторът лесно може да определи

координатите на наблюдаваната цел. Екранът от тип Р е най-естественият и най-често използван начин за представяне на радиолокационния сигнал.

Трябва да се отбележи обаче, че в практиката съществуват реализации, при които се предпочита използването на екрани от тип А или В. В някои случаи се предпочита също изобразяване на част от радолокационния обзор, ограничена между два азимута и две разстояния и наречена сектор. При бреговите системи за радиолокационно наблюдение секторът обикновено обхваща морската повърхност. Съществуват и реализации, при които секторът е ограничен до размерите на наблюдаваната цел.

## 4.3. Основни технически параметри и експлоатационни характеристики на РЛС.

Радиолокационните станции, използвани за наблюдение на морската повърхност се описват с техническите си параметри и експлоатационните си характеристики.

### 4.3.1. Технически параметри

Техническите параметри на РЛС включват:

***Режим на работа и вид на модулацията***. В системите за наблюдение на морската повърхност се използват два вида радиолокационни станции – импулсни и станции с непрекъснато излъчване. Импулсните РЛС излъчват приодично повтарящи се радиоимпулси с определена честота и продължителност. Радиоимпулсите са високочестотни електромагнитни колебания, модулирани импулсно, както беше показано на фиг. 4.2. Допълнително те могат да бъдат модулирани честотно или фазово (в този случай се наричат сигнали със сложна форма). Честотната модулация най-често е линейна и може да предизвиква или нарастване, или намаляване на носещата честота в рамките на един импулс. Фазовата модулация обикновено е дискретна, поради което се нарича манипулация (Phase Shift Keying, PSK). В рамките на един импулс фазата на сигнала може да се промени определен брой пъти, като най-често е или 0°, или 180°. Този тип манипулация се нарича двоична (Binary PSK, BPSK), тъй като позволява за времето на един импулс да се излъчи определена двоична последователност.

Радиолокационните станции с непрекъснато излъчване работят с два вида сигнали – немодулирани, т.е. с постоянни параметри и модулирани. Модулацията може да бъде амплитудна, честотна или фазова.

***Дължина на вълната***. В морската радиолокация се използват радиосигнали от дециметровия ($\lambda$ = *10cm, S - Band*), сантиметровия ($\lambda$ = *3cm, X - Band*) и милиметровия ($\lambda$ = *0,8cm, Ka - Band*) диапазон.

Таблица 4.1

| **Означение** | **Честотен обхват, GHz** | **Дължина на вълната, cm** | **Приложения** |
|---|---|---|---|
| L | 1 ÷ 2 | 30 ÷ 15 | Спътникови комуникационни и навигационни системи, клетъчни телефони |
| S | 2 ÷ 4 | 15 ÷ 7,5 | Спътникови комуникационни системи, радиолокация, клетъчни телефони, WiFi Bluetooth |
| C | 4 ÷ 8 | 7,5 ÷ 3,75 | Спътникови комуникационни и радиорелейни системи |
| X | 8 ÷ 12 | 3,75 ÷ 2,5 | Радиолокация |
| Ku | 12 ÷ 18 | 2,5 ÷ 1,6 | Спътникови телевизионни системи, радиолокация |
| K | 18 ÷ 26,5 | 1,6 ÷ 1,1 | Радиорелейни системи |
| Ka | 26,5 ÷ 40 | 1,1 ÷ 0,75 | Спътникови комуникационни и радиорелейни системи и радиолокация |

Изборът на конкретна стойност за дължината на вълната се определя в зависимост от предназначението на РЛС, тъй като тя влияе върху повечето експлоатациоинни характеристики. Станциите, използвани за наблюдение при лоши метеорологиячни условия (ниска облачност, валежи, запрашеност и др.) обикновено работят в дециметровия обхват. Причината е сравнително слабото затихване на радиовълната при разпространение в такива условия, дължащо се на по-малките размери на препятствията в сравнение с дължината на вълната. Сантиметровите и милиметрови вълни се използват в условията на наблюдение на по-близки разстояния, където се изисква по-висока точност на измерванията. В табл. 4.1 са показани означенията на диапазоните, честотните обхвати и приложенията на дециметровите и сантиметрови радиовълни.

***Форма и продължителност на импулса***. Формата на обвиващата на излъчваните импулси се различава от правоъгълната в известна степен. Това се дължи най-вече на процесите, свързани с генериране на мощните електромагнитни колебания. Параметрите, характеризиращи излъчения импулс са амплитуда, продължителност на импулса и продължителност на предния и заден фронт. Амплитудата на импулса се определя от импулсната мощност на предавателя. Продължителността на предния фронт оказва влияние върху точността на измерване на координатите. Колкото по-стръмен е предния фронт, толкова по-точно ще се определя разстоянието до целта. Счита се, че предният фронт нараства по експоненциален закон. Стръмността му се определя от честотата на електромагнитното колебание и от качествения фактор на трептящия кръг на генератора.

Продължителността на импулса се определя по такъв начин, че в него да се поберат между 500 и 1000 периода на електромагнитното колебание. При условие, че $T = \frac{\lambda}{c}$ и $\lambda = 3cm$, за продължителността на импулса се определят граници от порядъка на 0,05 до 0,1μs. Трябва да се има предвид също и че по-стръмният фронт и по-краткият импулс изискват по-голяма ширина на честотната лента на приемника на РЛС. Изразът, показващ връзката между продължителността на излъчения импулс $\tau$ и ширината на честотната лента на приемника $B$ има вида

$$\tau \geq \frac{1}{2.B}. \qquad (4.3)$$

Ако например $B = 10MHz$, то $\tau$ трябва да е поне $0,05\mu s$.

***Честота на повторение*** на излъчваните импулси. Основният фактор, определящ стойността на този параметър е максималното разстояние, на което работи РЛС. За да се избегне неяснозначността в измерване на разстоянието до наблюдаваната цел се изисква периодът на повторение на излъчените импулси да е достатъчно голям за покриване на това разстояние, т.е.

$$T_P \geq \frac{2R_{\max}}{c}$$

или все същото:

$$R_{\max} \le \frac{c.T_P}{2}$$

Счита се, че при наблюдение на морската повърхност е необходимо максималното разстояние да остане на по-малко от 80% от изчислената стойност, т.е. на практика

$$R_{\max} \le 0{,}8.\frac{c.T_P}{2}.$$

От тук следва, че

$$T_P \ge \frac{R_{\max}}{0{,}4.c}.$$

Окончателно за честотата на повторение на излъчваните импулси се получава изискването

(4.4) $$f_P = \frac{1}{T_P} \le \frac{0{,}4.c}{R_{\max}}.$$

На практика честотата на повторение се избира в границите от 500Hz до 4000Hz.

Таблица 4.2

| **Обхват на РЛС в морски мили** | **Честота на повторение – Продължителност на импулса** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | **Къс импулс (Short)** | | **Дълъг импулс (Long)** | |
| | ***$f_P$, Hz*** | ***τ, μs*** | ***$f_P$, Hz*** | ***τ, μs*** |
| 0,25 | 2000 | 0,05 | 2000 | 0,05 |
| 0,5 | 2000 | 0,05 | 1000 | 0,25 |
| 0,75 | 2000 | 0,05 | 1000 | 0,25 |
| 1,5 | 2000 | 0,05 | 1000 | 0,25 |
| 3 | 1000 | 0,25 | 500 | 1,0 |
| 6 | 1000 | 0,25 | 500 | 1,0 |
| 12 | 1000 | 0,25 | 500 | 1,0 |
| 24 | 500 | 1,0 | 500 | 1,0 |
| 48 | 500 | 1,0 | 500 | 1,0 |

Корабните радиолокационно станции обикновено работят на три групи разстояния (обхвати) – малки, среди и големи. В табл. 4.2 е показана връзката между честотата на повторение и продължителността на излъчваните импулси за различни обхвати на РЛС в два режима – къс импулс и дълъг импулс. Важно е да се отбележи, че режим „Къс импулс“ е основният режим на работа на РЛС, докато

режим „Дълъг импулс“ се използва по изключение при по-лоши метеорологични условия.

Радиолокационните станции за брегово наблюдение, влизащи в състава на системите VTMIS обикновено работят на две групи разстояния – малки и големи. При малките разстояния продължителността на излъчваните импулси е от порядъка на (0,05 ÷ 0,07μs), а честотата на повторение – (2000 ÷ 3000Hz). При големите разстояния тези стойности са съответно (0,2 ÷ 0,3μs) и (500 ÷ 1500Hz).

Ширината на честотната лента на приемника също се променя при смяна на обхватите. При малките обхвати на корабните станции тя е от порядъка на (10,0 ÷ 25,0MHz), при средните е около 5MHz, а при големите се свива до (3,0 ÷ 5,0MHz).

***Мощност на предавателя***. Представлява количеството енергия, излъчвано за единица време. Импулсната мощност следователно е количеството енергия, излъчвано за времето на един импулс. Освен с импулсна, в радиолокацията се работи още със средна и консумирана мощност.

Ако импулсната мощност на предавателя е $P_0$, то средната мощност, излъчвана от него се определя с израза

(4.5) $$P_t = P_0 \frac{\tau}{T_P}.$$

Ако например импулсната мощност на една РЛС за брегово наблюдение е $P_0 = 50\kappa W$ продължителността на излъчения импулс е $\tau = 0{,}7\mu s$ а периодът на тяхното повторение е $T_P = 1ms$, то за средната мощност на предавателя след заместване в (4.2) се получава

$$P_t = 50.10^3.\frac{0{,}7.10^{-6}}{1.10^{-3}} = 35\,\mathrm{W}$$

Общата консумирана мощност зависи и от ефективността на електронните компоненти, изграждащи предавателя т.е. от неговия коефициент на полезно действие $\eta$:

(4.6) $$P_\Sigma = \frac{P_t}{\eta}.$$

Радиолокационните станции за брегово наблюдение, разположени в районите на пристанищата обикновено работят с импулсна мощност, която не надвишава 30kW.

Мощността на станциите за наблюдение на крайбрежните райони могат да достигнат до 60kW. Мощността на станциите с непрекъснато излъчване е съответно от порядъка на 50W и 200W;

***Чувствителност на приемника*** – измерва се с минималната мощност на отразения сигнал, при която е възможно неговото откриване на фона на смущенията. Както беше казано по-горе, радиолокационните приемници трябва да са много чувствителни в честотния обхват на излъчвания сигнал, за да осигурят голям обхват на действие на системата. Това означава да притежават чувствителност в границите $S_{\min} = \left(10^{-12} \div 10^{-22}\right)$ W.

***Параметри на използваната антена***. В морската радиолокация се използват най-често вълноводно-прорезни антени (slotted waveguide), с насочено действие и с много тясна диаграма в хоризонталната равнина. Диаграмата е симетрична и се състои от един главен и няколко странични листи (main lob and side lobs), както е показано на фиг. 4.6. Тясно-насоченият главен лист дава възможност за по-точно измерване на ъгловата координата и фокусира енергията на предавателя, осигурявайки голяма далечина на действие при сравнително ограничена мощност на излъчване. Страничните листи влошават качеството на работа на РЛС, въвеждайки в приемника паразитни сигнали. Антената се описва със следните параметри:

*Коефициент на насочено действие* – Представлява отношението на мощността, излъчена от насочената (*directional*) антена към мощността, излъчена от ненасочена (omnidirectional) антена. Характеризира способността на антената да фокусира електромагнитната вълна в определена посока;

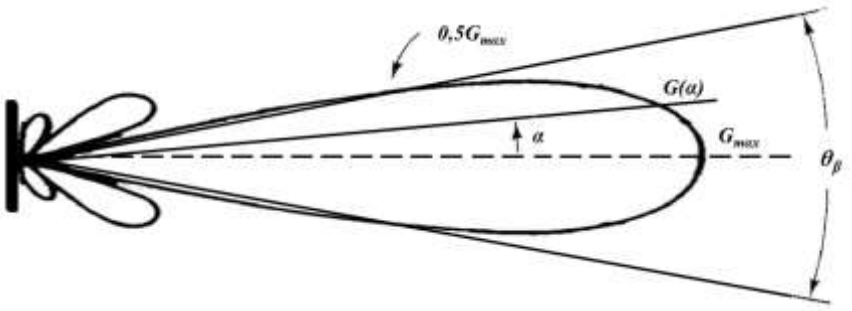
*Коефициент на полезно действие* – Представлява отношението на мощността, излъчвана от антената към мощността, подавана към нея от предавателя. Антените, използвани в морската радиолокация имат високо к.п.д., много близко до 1;

*Усилването на антената* в посоката на излъчване – характеризира се с коефициент на усилване

(4.7) $$G = \frac{4\pi . A_e}{\lambda^2},$$

където $A_e = A.\varepsilon$ е ефективната площ на антената, която се определя от геометричната ѝ площ $A$ и ефективността $\varepsilon$ ($0 \le \varepsilon \le 1$),

$\lambda$ – дължината на вълната.




Фигура 4.6. Диаграма на насочено действие на радиолокационна антена в хоризонталната равнина

*Ширина на диаграмите на насоченост* в хоризонталната и във вертикална равнини. Както се вижда на фиг. 4.6 усилването на антената зависи от ъгъла $\alpha$ между посоката на излъчване и линията сключваща прав ъгъл с антената, където коефициентът на усилване достига своя максимум. Диаграмата на насочено действие представлява ъгъла между линиите, преминаващи през точките, в които усилването достига половината от този максимум, т.е. точките, в които $G(\alpha) = 0{,}5.G_{\max}$.

За определяне на ширината на диаграмата на насоченост се използва приблизителния израз

$$\theta_p = (50 \div 70)\frac{\lambda}{d_p}, \tag{4.8}$$

където $d_p$ е линейният размер на антената в равнината, в която се извършва измерването, а параметърът $p$ е една от ъгловите координати – или азимут, или ъгъл на място. В морските радиолокационни системи дължината на вълноводно-прорезната антена определя ширината на диаграмата в хоризонталната равнина. За подобряване на този параметър бреговите РЛС обикновено използват антени с много по-голяма дължина в сравнение с корабните.

Примери:

Ширината на диаграмата на насочено действие на 21-футова антена (1ft = 0,3048m) за 3cm (X-Band) на РЛС за брегово наблюдение в хоризонталната равнина е

$$\theta_\beta \approx 70\frac{0{,}03}{21.0{,}3048} = 0{,}33^\circ .$$

Ширината на диаграмата на насочено действие на 8-футова антена за 3cm (X-Band) на корабна РЛС е

$$\theta_\beta \approx 70\frac{0{,}03}{8.0{,}3048} = 0{,}86^\circ .$$

Диаграмата на насочено действие във вертикалната равнина е от порядъка на 15° ÷ 25°, както е показано на фиг. 4.7.

*Скорост на въртене на антената* $\omega_s$. Изискванията на IMO ограничават минималната стойност на този параметър до $\omega_s \geq 12$ *rpm*. Обикновено скоростта на въртене на антената е около 20 rpm (т.е. около 3s за един оборот), но за РЛС предназначени за речни кораби тя може да достигне и до 60 rpm (т.е. около 1s за един оборот). Освен с обороти за минута скоростта на въртене на антената може да се измерва и с градуси за секунда:

(4.9) $$\dot{\theta}_s = \frac{\omega_s.360}{60} = 6.\omega_s \text{ deg/s.}$$

Времето, за което наблюдаваната цел попада в лъча на антената (т.нар. *dwell time* или *time on target*) се определя с израза:

(4.10) $$t_{ot} = \frac{\theta_\beta}{\dot{\theta}_s} = \frac{\theta_\beta}{6.\omega_s}.$$

Ако честотата на повторение на излъчените импулси е $f_p$, то броят на импулсите, които ще облъчат целта за времето, през което тя попада в лъча на РЛС, се определя с израза:

(4.11) $$n = t_{ot}.f_p$$

За РЛС с антена, чиято диаграма на насоченост в хоризонталната равнина е $\theta_\beta$ = 0,8° и скоростта на въртене е $\omega_s$ = *20 rpm*

$$t_{ot} = \frac{0,8}{6.20} = \frac{1}{150} \text{ s.}$$

Ако честотата на повторение на излъчените импулси $f_p$ = *3000 Hz*, то за времето, през което попада в лъча на РЛС целта ще бъде облъчена с

$$n = t_{ot}.f_p = \frac{1}{150}.3000 = 20 \text{ импулса.}$$

4.3.2. Експлоатационни характеристики

Експлоатационните характеристики определят предназначението на РЛС и нейните възможности да изпълнява предвидените в техническата документация задачи. Експлоатационните характеристики на РЛС включват:

***Предназначение***. В общия случай РЛС за работа на море се делят на корабни и брегови. При това е възможно корабни РЛС да се използват и в брегови системи за наблюдение, след въвеждането на някои ограничения;

***Зона на действие*** (***Работна област***). Тази характеристика се дефинира от минималното и от максимално разстояние (далечината на действие), в рамките на които РЛС може да открива определени цели с вероятност, съответстваща на техническата документация. Терминът „Работна област“ се използва за описания на частта от морската повърхност, в която РЛС измерва координатите на наблюдаваната цел с точност, съответстваща на техническата документация (на фиг. 4.4 може да се види работната област на РЛС с индикатор тип В, която покрива част от морската повърхност между 0,25 и 2,5nm).

*Минималното разстояние* зависи от продължителността на излъчения импулс, от височината на антената и от ширината на нейната диаграма на насочено действие във вертикалната равнина.

Както беше казано по-горе, за времето на излъчване на импулсите антенният превключвател изключва приемника от антената, за да го предпази. Към продължителността на импулса тук трябва да се добави и времето за превключване на антенния превключвател. В съвременните радиолокационни станции се

използват твърдотелни феритни циркулатори, притежаващи много по-високо бързодействие в сравнение с електровакуумните прибори, използвани в миналото. На фиг. 4.2 се вижда, че през това време нивото на приетия сигнал е близо до нулата и неговата стойност се определя единствено от собствените шумове на приемника. Стойността на минималното разстояние, дължащо се на антенния превключвател се определя с израза:

(4.12) $$R_{\min 1} = \frac{c.\tau}{2},$$

Но в практиката се използват и изрази, производни на горния, като

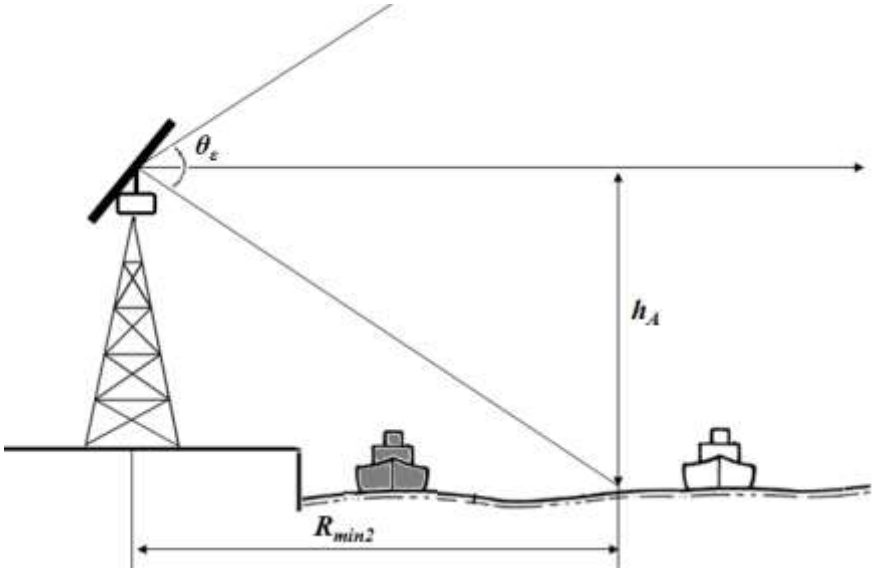
(4.13) $$R_{\min 1} = \frac{\tau[m]}{2},$$

където $\tau[m] = 300.\tau[\mu s]$ или все същото:

(4.14) $$R_{\min 1} = 150.\tau[\mu s].$$

Примери: при $\tau = 0{,}05\mu s$ $R_{min1} = 150.0{,}05 = 7{,}5m$,

а при $\tau = 1{,}0\mu s$ $R_{min1} = 150.1{,}0 = 150m$.




Фигура 4.7. Влияние на височината на антената и на ширината на диаграмата на насочено действие във вертикалната равнина върху минималното разстояние.

Влиянието на височината на антената и на нейната диаграма на насочено действие във вертикалната равнина е показано на фиг. 4.7.

Имайки предвид тригонометричното отношение между катетите в правоъгълния триъгълник минималното разстояние се определя с израза

(4.15) $$R_{\min 2} = h_A.ctg\left(\frac{\theta_\varepsilon}{2}\right).$$

Примери: при $\theta_\varepsilon = 20°$ и $h_A = 100m$, $R_{min2} = 100.5{,}671 = 567{,}1m$

а при $h_A = 10m$ $R_{min2} = 56{,}7m$.

Всяка цел, намираща се на разстояние, по-малко от $R_{min2}$ ще остане невидима / скрита за радиолокационната станция, както е показано на фигурата.

Окончателно за минимално разстояние се приема по-голямата от двете стойности, т.е.

(4.16) $$R_{\min} = \max\left(R_{\min 1}, R_{\min 2}\right).$$

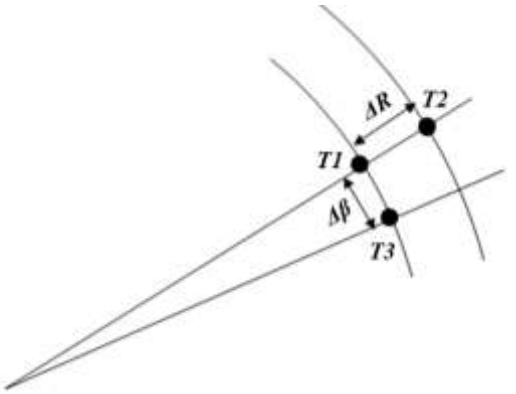
На екрана на радиолокационната станция минималното разстояние се изобразява като тъмна ивица в началото или като тъмно петно в центъра на изображението, което може да се види съответно на фиг. 4.4 и по-долу на фиг. 4.16.

*Максималното разстояние*, което ограничава зоната на действие на РЛС се наричадалечина на действие и зависи от техническите параметри на станцията.

Работната област на РЛС може да бъде ограничена и по ъгъл с дефинирани гранични азимутални стойности за начало и край на зоната. В този случай за описание на работната област се използват и термините „Сектор“ и „Секторен обзор“.

***Разделителна* (*Разрешаваща*) *способност***. Тази характеристика представя възможността на РЛС да открие и определи координатите на две цели поотделно, т.е. да ги разделя, когато те са разположени близо една до друга. Обикновено разделителната способност се конкретизира за всеки измерван параметър. Ако става дума за измерване на разстоянието, тази характеристика представлява минималното разстояние между две цели с един и същи азимут, при което те се възприемат от РЛС като отделни. Разделителната способност по азимут е минималният ъгъл

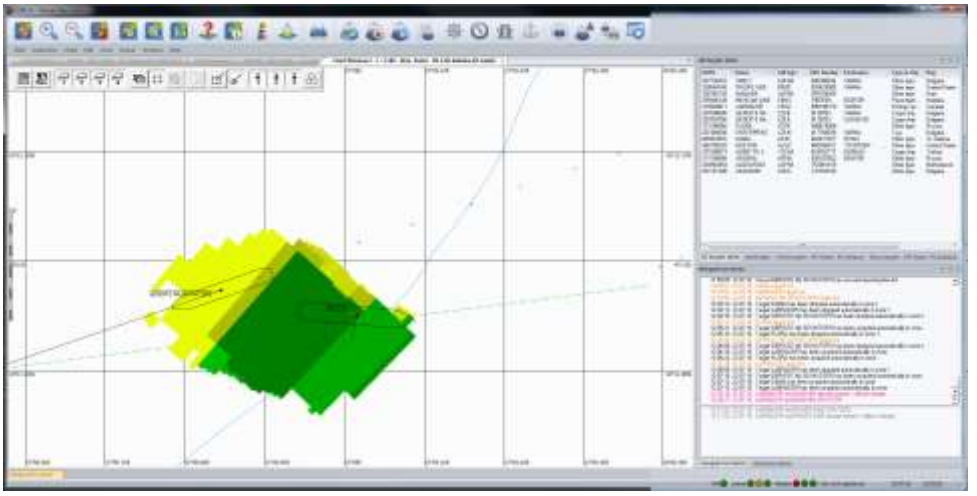
между две цели, разположени на едно и също разстояние до РЛС, при което те се възприемат като отделни.




Фигура 4.8. Разделителна способност на РЛС по азимут и по разстояние

На фиг. 4.8 целите Т1 и Т2 са с един и същи азимут. Ако разделителната способност на станцията по разстояние е $\Delta R$ и целите се доближат на по-малко от това разстояние, техните радиолокационни изображения ще се слеят и те няма да бъдат възприемани поотделно. Същото се отнася и за цели Т1 и Т3 при условие, че разликата между техните азимути стане по-малка от разделителната способност по азимут $\Delta\beta$. По подобен начин се дефинира и разделителната способност по радиална скорост.

В системите за наблюдение и управление на трафика радиолокационната картина се формира от няколко станции, разположени на различни точки по брега и се наслагва върху електронната карта на района. В тези случаи разделителната способност представлява една интегрална характеристика на системата, която определя нейните възможности за изобразяване, съпровождане, измерване и изчисляване на параметрите на движение на близко-разположените цели поотделно. На фиг. 4.9 е показано сливането на радиолокационните изображения на две цели, които се намират близо една до друга. Източникът на информация, позволяваща тяхното разделяне в случая е Автоматичната идентификационна система (AIS), която показва разположението на целите и мащабно-умалените им профили върху картата.



Фигура 4.9. Сливане на радиолокационните изображения на две близко разположени цели върху екрана на система за наблюдение и управление на трафика

Разделителната способност на РЛС се определя от продължителността на излъчвания импулс и от диаграмата на насочено действие на антената. Тези два параметъра определят сектор от радиолокационния обзор, наречен *разрешаваща, разделителна* или *елементарна площ* на радиолокационната станция (вж. фиг. 4.10).




Фигура 4.10. Разделителна (елементарна) повърхност на РЛС

Ако наблюдаваната цел се побира изцяло в разрешаващата площ, тя се нарича *точкова*. Сигналът, отразен от точкова цел (*Point target response*) е важна характеристика на станцията, свързна с нейната разделителна способност.

Ако някой от размерите на наблюдаваната цел надвишава размерите на сектора, целта се нарича *разпределена*. Корабите обикновено са точкови цели, а бреговата черта, отраженията от морето и смущенията, предизвикани от валежите – разпределени. Възможно е една и съща цел при определени условия да е точкова, а при други – разпределена, тъй като от една страна разрешаващата повърхност на

РЛС нараства с увеличаване на разстоянието, а от друга изображението променя размера си в зависимост от разстоянието и ракурса, под който се наблюдава целта, вълнението на морето и т.н.

Разрделителната способност на РЛС по разстояние се определя с израза

(4.17) $$\Delta R \approx \frac{c.\tau}{2},$$

където τ е продължителността на импулса. В практиката се използват и модифицирани изрази, като

$$\Delta R \approx 150.\tau[\mu s] \text{ или}$$

$$\Delta R \approx \frac{\tau[m]}{2},$$

където $\tau[m] = 300.\tau[\mu s]$.

Радиолокационните станции в системите на брегового наблюдение трябва да различават два кораба с големина 20m, намиращи се на 30m един от друг, когато са на разстояние до 6nm от станцията. Посочената стойност е определена за по-късия импулс. С увеличаване на разстоянието и превключване на дълъг импулс разделителната способност на РЛС се увеличава, т.е. влошава. Влияние оказва и процесът по преобразуване на радиолокационния сигнал в цифров вид, който също може да влоши разделителната способност по разстояние.

Разделителната способност по ъгъл се определя от ширината на диаграмата на насочено действие на антената в равнината на наблюдение (в случая – в хоризонталната равнина):

(4.18) $$\Delta\beta \approx 0{,}7.\theta_\beta$$

Разделителната способност по ъгъл може да се изрази и с линейното разстояние между целите, което обаче зависи и от разстоянието на целите до РЛС. Ако например целите Т1 и Т3 са разположени на разстояние *R* до РЛС, те ще бъдат възприемани поотделно, ако разстянието между тях е повече от $2R.tg\left(\frac{\Delta\beta}{2}\right)$.

Бреговите РЛС в състава на системите VTMIS трябва да имат разделителна способност по азимут, която да позволява различаването на два кораба с големина 20m, намиращи се на 75m един от друг, когато са на разстояние от около 6nm от станцията.

***Точност и достоверност***. Тези характеристики показват доколко измерените с помощта на РЛС величини са близки до действителните. Върху процеса на измерване оказват влияние редица фактори, някои от които закономерни, а други – не. Закономерните фактори предизвикват т.нар. *систематични* грешки, които в общия случай могат да бъдат определени и елиминирани или компенсирани. Такива са напр. грешките от различни настройки и/или регулировки, както хардуерни, така и софтуерни. Другият тип грешки са т.нар. *случайни* грешки, които се дължат на действието на редица фактори, неподлежащи на отчитане и прогнозиране. Счита се, че разпределението на случайната грешка е по нормален (Гаусов) закон, т.е.

(4.19) $$w(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left( \frac{x^2}{2\sigma^2} \right),$$

където σ е средноквадратичната грешка на случайната величина *x*.

Средно-квадратичната грешка се определя чрез коренуване на дисперсията при множество измервания на величина *x*. При Гаусовото разпределение се счита, че стойността на максималната грешка е ±3σ, тъй като вероятността за по-голяма грешка е под 0,03%. Вероятността за грешка в рамките на ±σ е под 70%, а в рамките на ±2σ е под 95%.

Точността на определяне на координатите зависи от разрешаващата способност на РЛС. Лошите атмосферни условия (дъжд, сняг) влияят негативно както върху разрешаващата способност по разстояние, така и по ъгъл, а от там и на точността на определяне на координатите на наблюдаваната цел. За радиолокационните станции, използвани за наблюдение на морската повърхност стойността на грешката при определяне на разстоянието на дистанция от 6nm трябва да е в границите на ±30m. В районите на интензивно движение стойността на грешката не трябва да надвишава ±15m. Счита се, че при прогнозиране на маневра стойността на грешката нараства с до 10m. Грешката при определяне на азимута се

оценява приблизително като половината от диаграмата на насочено действие в хоризонталната равнина. На разстояние от 6nm тази грешка не трябва да надвишава ±0,6°.

***Шумозащитеност***. Представлява способността на РЛС да открива цели и да определя техните координати и параметри на движение в условията на определен вид смущения, както естествени, така и преднамерени. Мярка за шумоустойчивостта може да бъде екстремната стойност на някой от параметрите на смущението, при която РЛС запазва работоспособността си, при прочие равни условия. Най-често използваната мярка за шумозащитеност е максималната мощност на смущението;

***Надеждност***. Показва в каква степен РЛС е в състояние да поддържа своите технически параметри в допустими граници при определени условия на експлоатация в рамките на определен период от време. Показатели за надеждността на РЛС са вероятността за отказ в зададен период от време, както и времето до следващия отказ;

***Пропускателната способност*** е характеристика, която представя възможността на РЛС да работи едновременно с определен брой цели. По отношение на автоматичното съпровождане и определяне на параметрите на движение напр. пропускателната способност на съвременните корабни и брегови РЛС надвишава 100 цели;

***Експлоатационни параметри***. Всяка РЛС се характеризира със специфична конструкция, брой на модулите, влизащи в нейния състав, техните размери, тегла, изисквания към условията на експлоатация, консумирана мощност, експлоатационна ефективност и т.н. Всички тези характеристики на РЛС влизат в състава на нейните експлоатационни параметри.

### 4.3.3. Основно уравнение на радиолокацията

Изразът, с който се определя максималното разстояние или далечината на действие на РЛС се нарича *основно уравнение на радиолокацията*. Освен техническите параметри на станцията, върху далечината на действие оказват влияние и характеристиките на наблюдаваната цел.

Нека импулсната мощност на РЛС, използваща ненасочена антена е $P_T$. Плътността на мощността на разстояние $R$ от РЛС се определя като мощност на единица площ, т.е.

(4.20) $$P_d = \frac{P_T}{4\pi R^2}.$$

При условие, че се използва антена с насочено действие, плътността трябва да се умножи по нейния коефициент на усилване, т.е.

(4.21) $$P_d = \frac{P_T.G}{4\pi R^2},$$

където $G = \frac{4\pi.A_e}{\lambda^2}$ съгласно (4.7).

Ако в точка на разстояние $R$ от РЛС се намира обект, чиято отразяваща повърхност е означена със $\sigma$, то отразената от този обект мощност се определя с израза

(4.22) $$P = \frac{P_T.G}{4\pi R^2}.\sigma.$$

Величината $\sigma$ се нарича ефективна отразяваща повърхност, ЕПР (Radar Cross Section, RCS) и представлява мярка за количеството енергия, която, отразена от наблюдавания обект се връща обратно към РЛС. С други думи ЕПР е площта на идеалния отражател, който връща обратно към РЛС точно толкова енергия, колкото и наблюдаваната цел.

Плътността на мощността на отразения сигнал на разстояние $R$ от целта, т.е. на разстоянието до РЛС ще се определи аналогично на (4.20) като мощност, попадаща върху единица площ, т.е.

(4.23) $$P_d = \frac{P_T G\sigma}{4\pi R^2}.\frac{1}{4\pi R^2}.$$

При условие, че ефективната площ на антената е $A_e$, то мощността на отразения сигнал, достигнал до приемника на РЛС ще се определи с израза

(4.24) $$P_R = P_d.A_e = \frac{P_T G\sigma}{(4\pi)^2.R^4}.A_e.$$

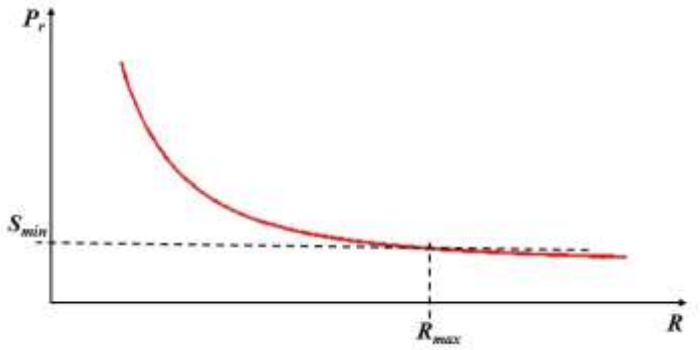
Очевидно мощността на приетия сигнал намалява с увеличаване на разстоянието. Ако в израза (4.24) тя се замени с минималната мощност на отразения сигнал, при

която е възможно неговото откриване, т.е. с чувствителността на приемника $S_{min}$, то разстоянието ще достигне своята максимална стойност, както е показано на фиг. 4.11, т.е.

$$S_{\min} = \frac{P_T G \sigma . A_e}{(4\pi)^2 . R_{\max}^4} .$$

От тук след преобразуване се достига до основното уравнение на радиолокацията:

(4.25) $$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_T G \sigma . A_e}{(4\pi)^2 . S_{\min}}} .$$




Фигура 4.11. Мощността на приетия сигнал намалява пропорционално на четвъртата степен на разстоянието до целта

Пример – Ако мощността на предавателя е $P_T = 60kW$, ефективната повърхност на разсейване на целта е $\sigma = 10m^2$, антената на РЛС е с параметри $G = 2744$ и $A_e = 25m^2$, а $S_{\min} = 1.10^{-12}W$, то след заместване в 4.25 за максималната далечина на откриване се получава стойността $R_{\max} = 127000m = 67nm$.

Трябва да се отбележи, че изразът (4.25) не отчита загубите в радиолокационната система и в този смисъл позволява определянето на мощността на приетия сигнал в идеални условия. На практика в системата съществуват загуби, които могат да се представят най-общо с един коефициент *L*. Този коефициент е безразмерна величина, която обобщава всички загуби, предизвикани в резултата на работата на системата и включва например загуби, свързани с разпространението на

електромагнитните вълни в атмосферата, загуби в приемника, в обработката на приетия радиоокационен сигнал, в процеса на неговото изобразяване върху екрана и дори от четенето на това изображения от оператора на РЛС. В този случай мощността на приетия сигнал ще се определя с израза

(4.26) $$P_R = \frac{P_T G \sigma . A_e}{(4\pi)^2 . R^4 . L} .$$

Известно е, че отношенията „Сигнал – Шум“ (*Signal to Noise Ratio, SNR*) в приемника на РЛС се определя като отношение на мощностите на приетия сигнал и на шума в приемника:

(4.27) $$SNR = \frac{P_R}{P_N} ,$$

където $P_N$ е осреднената мощност на шума, която може да се определи като

(4.28) $$P_N = k.B.T_S .$$

В горния израз $k = 1{,}38.10^{-23}$ е константата на Болцман (Boltzmann),

$B$ – ширината на честотната лента на приемника, а

$T_S$ се нарича ефективна шумова температура на системата.

След заместване на (4.26) и (4.28) в (4.27) за отношението „Сигнал – Шум“ се получава

(4.29) $$SNR = \frac{P_T G \sigma . A_e}{(4\pi)^2 . R^4 k . B . T_S . L} .$$

Имайки предвид, че съгласно (4.7) ефективната площ на антената се определя с израза

$$A_e = \frac{G . \lambda^2}{4\pi} ,$$

след заместване в (4.29), окончателният израз за определяне на отношението „Сигнал – Шум“ добива вида

(4.30) $$SNR = \frac{P_T G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 . R^4 k . B . T_S L} .$$

Ефективната шумова температура на системата $T_S$ се състои от три части, отчитащи работата на антената, на линията, свързваща антената с приемника (т.нар. фидер) и на самия приемник, т.е.

(4.31) $$T_S = T_A + T_r + L_r.T_e,$$

където $T_A$ е шумовата температура на антената, а $T_r$ – на фидера. Тук $L_r$ е безразмерна величина, отчитаща загубите във високочестотните компоненти на приемника, а $T_e$ е температурата на приемника. Всички температури са представени в градуси по Келвин.

За практически цели обобщено шумовата температура се представя с израза

(4.32) $$T_S = T_0.F_n,$$

където $T_0 = 290^\circ K$ е общоприетата стойност за стайна температура (приблизително равна на 17°C) а $F_n$ представлява шумовия коефициент (Noise Figure, NF) на приемника.

Отношението „Сигнал – Шум“ представлява стандартна оценка за възможностите на РЛС да открие дадена цел на определено разстояние. Казва се например, че при отношение „Сигнал – Шум“ $SNR = 13dB$ една радиолокационна цел с ефективна повърхност на разсейване $\sigma = 10m^2$ може да бъде открита на разстояние $100nm$ с определена вероятност. Това предполага използването и на друга форма на основното уравнение, която следва от (4.30) и в която участва отношението „Сигнал – Шум“:

(4.33) $$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_T G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3.SNR.k.T_0 B.F_n.L}}.$$

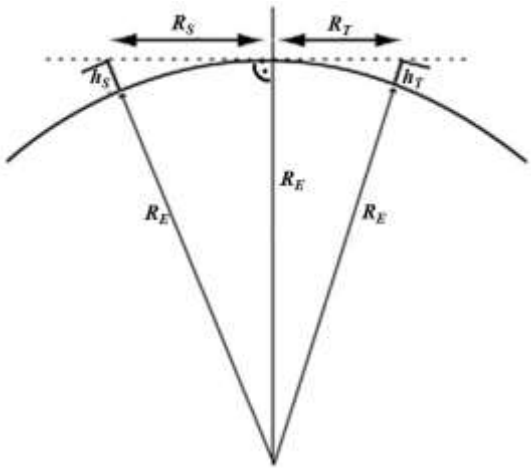
Пример – Ако мощността на предавателя е $P_T = 60kW = 60.10^3 W$, Ефективната повърхност на разсейване на целта е $\sigma = 10m^2$, $\lambda = 3{,}2cm$, антената на РЛС има усилване $G = 6310$, а отношението „Сигнал-Шум“ $SNR = 13dB = 19{,}95$, ширината на честотната лента на приемника е 5MHz, шумовия коефициент $F_n = 3{,}3$ а

коефициентът на загубите $L = 2,5$, то след заместване в (4.33) за максималната далечина на откриване се получава стойността

$$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{60.10^3.6310^2.(0,032)^2.10}{(4.3,14)^3.19,95.1,38.10^{-23}.290.5,0.10^6.3,3.2,5}}$$ или

$$R_{\max} = 43985m = 23,75nm .$$

(*SNR = 13dB* е стандартна прагова стойност, която определя вероятност за правилно откриване 0,5 или 50%).




Фигура 4.12. Влияние на формата на земната повърхност върху максималната далечина на откриване на целта

Важно е да се отбележи, че изрази (4.25) и (4.33) се отнасят за радиолокационно наблюдение в свободното пространство. С тях може да се определи теоретичния максимум на далечината на действие на РЛС. При наблюдение на морската повърхност върху далечината на действие оказва влияние формата на земята, както е показано на фиг. 4.12. В този случай максималната далечина на откриване (далечината на действие) на РЛС се определя като сума от катетите $R_S$ и $R_T$ на двата правоъгълни триъгълника, т.е.

(4.34) $$R_{\max} = R_S + R_T .$$

С помощта на Питагоровата теорема и след заместване в (4.34) за $R_{max}$ се получава

(4.35) $$R_{\max} = \sqrt{\left(R_E + h_s\right)^2 - {R_E}^2} + \sqrt{\left(R_E + h_t\right)^2 - {R_E}^2}$$ или

(4.36) $$R_{\max} = \sqrt{2R_E h_s + {h_s}^2} + \sqrt{2R_E h_t + {h_t}^2},$$

където $R_E = 1{,}33 \,.\, 6379km = 8460000m$ е т.нар. "Еквивалентен" радиус на Земята при нормални атмосферни условия,

$h_s$ е височината на наблюдателя (т.е. на антената на РЛС), а

$h_t$ – височината на целта (и двете височини са измерени в метри).

Числото, с което се умножава радиусът на Земята се нарича Коефициент на рефракция за стандартни атмосферни условия, т.е. $k = 1{,}33$.

Имайки предвид, че $h_s << R_E$ и $h_t << R_E$ и следователно могат да се пренебрегнат, за $R_{max}$ се получава приблизителния израз:

(4.37) $$R_{\max} \approx \sqrt{2R_E}.\left(\sqrt{h_s} + \sqrt{h_t}\right).$$

След заместване на числените стойности за далечината на действие на РЛС в метри се получава

$$R_{\max} \approx 4113{,}4.\left(\sqrt{h_s} + \sqrt{h_t}\right).$$

За представяне на далечината на действие на РЛС в морски мили числената константа се дели на 1852m и за далечината на действие на РЛС се получава често прилагания в практиката израз:

(4.38) $$R_{\max} \approx \frac{4113{,}4}{1852}.\left(\sqrt{h_s} + \sqrt{h_t}\right) = 2{,}221.\left(\sqrt{h_s} + \sqrt{h_t}\right).$$

Определена по този начин дистанцията $R_S$ се нарича още „*Радиохоризонт*":

$$R_S = 2{,}221.\sqrt{h_s}\ .$$

Примери – В табл. 4.3 са показани изчислените стойности на $R_{max}$ за малък съд с височина $h_t = 4m$ за различни височини на антената на РЛС.

Таблица 4.3

| $h_t$ | $h_s = 10m$ | $h_s = 30m$ | $h_s = 100m$ |
|---|---|---|---|
| 4m | 13nm | 19nm | 30nm |

В табл. 4.4 са показани изискванията, на които трябва да отговаря една морска РЛС по отношение на далечината на откриване (вж. *IMO Performance Standards for*

*minimum detection range in clutter-free conditions for detection of large ships as well as small boats and buoys*):

Таблица 4.4

| Тип / размери на целта | Ефективна повърхност на разсейване, ЕПР | Височина на целта | Далечина на откриване – не по-малко от |
|---|---|---|---|
| Дървена лодка с дължина до 6m | 6 $m^2$ | 1m | 6nm |
| Метален кораб с дължина до 20m | 25 $m^2$ | 3m | 12nm |
| Метален кораб с дължина до 80m | 300 $m^2$ | 8m | 24nm |

Както беше казано по-горе ефективната повърхност на разсейване, ЕПР представлява мярка за количеството енергия, която се връща обратно към РЛС в резултат на отражението от наблюдавания обект. С други думи ЕПР характеризира отразяващите свойства на обекта на радиолокационно наблюдение.

Таблица 4.5

| Тип на целта и ъгъл на наблюдение | Ефективна повърхност на разсейване, ЕПР |
|---|---|
| Метална сфера с диаметър *d* | $\sigma = \frac{\pi d^2}{4}$ |
| Метален лист с площа *A*, наблюдаван под ъгъл 90° | $\sigma = \frac{4\pi A^2}{\lambda^2}$ |
| Метален цилиндър с радиус *r* и височина *h* | $\sigma = \frac{\pi r h^2}{\lambda}$ |
| Тристранен ъглов отражател с размер на околния ръб *a* | $\sigma = \frac{4\pi a^4}{3\lambda^2}$ |

В табл. 4.5 са показани изразите за изчисляване на ЕПР на тела с определена форма. Сферата, металният лист с правоъгълна или триъгълна форма и цилиндърът, както и конусът се наричат тела с проста форма, тъй като тяхната ЕПР може да се

изчисли с използването на формули. Формулата за изчисляване на ЕПР на тристранния отражател е следствие от по-горните.

От таблицата се вижда, че в повечето случаи ЕПР на целта зависи както от нейните физически размери, така и от дължината на вълната $\lambda$. Така например при използване на 10-cm РЛС (S-Band) ефективната повърхност на ъгловия отражател е около 10 пъти по-малка.

За еталонната (тестовата) цел при определяне на разрешаващата способност по азимут и по разстояние обикновено се използва радарен отражател с ефективна отразяваща повърхност на разсейване $\sigma = 10\ m^2$.

Реалните радиолокационни цели обикновено са с по-сложна форма, което прави изчислението на ЕПР практически невъзможно. Те биха могли да се представят като съвкупност от тела с проста форма, като например метални листи с различна форма, цилиндри, конуси и т.н. Общият резултат от отражението обаче не може да се изрази с просто сумиране, тъй като отраженията от отделните елементи може да пристигнат в точката на приемане с противоположни фази. При това картината може да е различна дори от обзор към обзор, поради промяна в ъгъла (ракурса) на наблюдение, промяна на положението на целта, промяна на крена и/или диферента в резултат на вълнение на морето и т.н. В общия случай се приема, че резултантното отражение на радиолокационна цел със сложна форма представлява сума от отраженията от т.нар. *блестящи точки* или главни центрове на отражението (*Main Scattering Centers*), които са разположени по границите на профила на целта – на носа, кърмата и надстройките. Този процес може да се наблюдава при подходяща обработка на отразения сигнал за подобряване на разрешаващата способност на системата.

### 4.3.4. Фактори, оказващи влияние върху далечината на действие на РЛС

Както беше казно по-горе, формата на Земята е основния фактор, който определя далечината на действие на радиолокационните станции за наблюдение на морската повърхност. В някои случаи обаче трябва да се взема предвид и влиянието на атмосферата върху радиохоризонта, особено в случаите, когато корабна РЛС наблюдава бреговата линия. Причината се дължи на свойството „*Рефракция*“ на

радиовълните, което представлява промяна в посоката им на разпространение при преминаване през различни слоеве на атмосферата. Тъй като диаграмата на насоченост на РЛС във вертикалната равнина е сравнително широка, излъченият сигнал се пречупва в различна степен – напр. в долните слоеве повече, а в горните по-малко. В резултат се наблюдава изкривяване на лъча в посока към повърхността на Земята или обратно. Степента на проявление на този процес се опоределя количествено от две величини:

- коефициентът на пречупване $n_R$ ;
- вертикален градиент на коефициента на пречупване, показващ неговото изменение във височина – $\frac{dn_R}{dh}$.

В зависимост от стойността на вертикалния градиент рефракциите могат да бъдат различни видове, както е показано на фиг. 4.13.

Стойността на вертикалния градиент позволява да се определи радиусът на кривата, по която се разпространява електромагнитната вълна:

(4.39) $$R_{PROP} = -\frac{1}{\frac{dn_R}{dh}}.$$

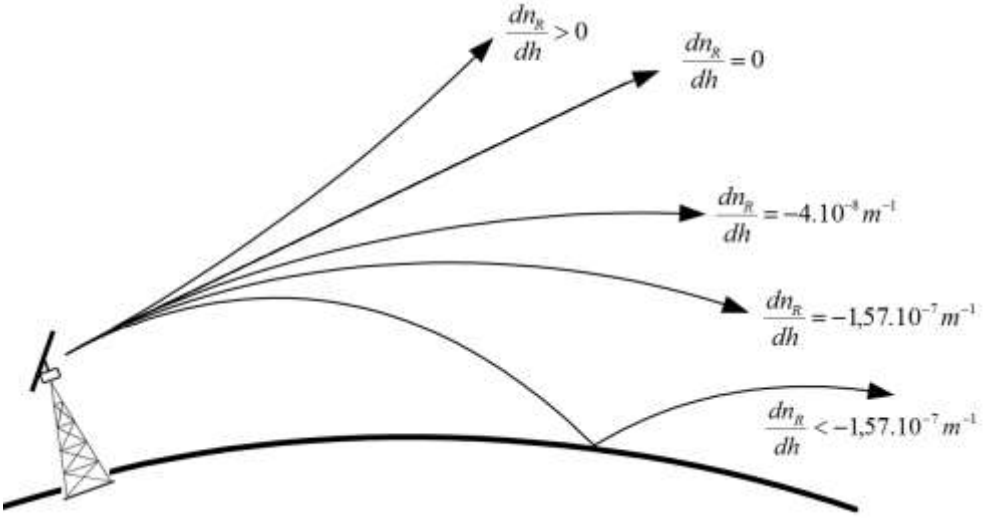
При отсъствие на рефракция $\frac{dn_R}{dh} = 0$ и следователно радиусът на кривата $R_{PROP} = 0$, което означава, че радиовълните се разпространяват по права линия;

При $\frac{dn_R}{dh} < 0$ радиусът е положителен и радиовълните закривяват по посока на кривината на Земната повърхност. Този тип рефракция се нарича „*Положителна*“ (*Super Refraction*) и води до води до увеличаване на далечината на откриване с до около 40%.

Пример – Изразът (4.38) определя далечината на действие на РЛС, когато са изпълнени следните условия:

- Преобладават стандартни атмосферни условия;
- Излъчваните от станцията импулси са достатъчно мощни;
- Наблюдаваната цел притежава добри отразяващи характеристики;

- Хидро-метеорологичните явления, като валежи и др. през които преминава радиолокационният импулс, не предизвикват съществено затихване на сигнала.




Фигура 4.13. Видове атмосферна рефракция в зависимост от вертикалния градиент на пречупване

Атмосферните условия се приемат за стандартни, ако:

- Температурата на въздуха е + 15°C, и спада с 0,00656°C на всеки метър височина (или с 2°C на всеки 1000 ft);
- Атмосферното налягане е 1013 mb, и спада с 0,118 mb на всеки метър височина (или с 36 mb на всеки 1000 ft);
- Относителната влажност на въздуха е 60% и остава без изменение във височина.

При тези условия коефициентът на пречупване $n_R$ приема стойност от порядъка на 1,00325 и намалява с $4{,}256.10^{-7}$ единици на всеки метър височина (или с 0,00013 единици на всеки 1000 ft), т.е. $\frac{dn_R}{dh} = -4.10^{-8} m^{-1}$.

Еквивалентният радиус на Земята, използван в израза (4.35) за определяне на далечината на действие на РЛС при наличие на стандартни атмосферни условия

зависи от вертикалния градиент на коефициента на пречупване и може да се определи с израза:

(4.40) $$R_E = \frac{R_e}{1 + R_e . \frac{dn_R}{dh}},$$

където $R_e = 6379km$ е действителният радиус на Земята.

Като се има предвид, че отношението между еквивалентния и действителния радиус се определя от коефициента на рефракция, т.е.

$$R_E = k.R_e$$

то след заместване в (4.40) може да се определи, че

$$k = \frac{1}{1 + R_e . \frac{dn_R}{dh}}.$$

При условие, че $\frac{dn_R}{dh} = -4.10^{-8} m^{-1}$, за коефициента на рефракция се получава

$$k = \frac{1}{1 + 6379.10^3 . \left(-4.10^{-8}\right)} \approx 1{,}33 .$$

Фактори, които влияят на положителната рефракция:

- относителната влажност на въздуха започне да намалява с височината;
- температурата на въздуха намалява по-бавно от обичайното с височината;
- или когато над относително студената вода, се установи сравнително сух и топъл слой въздух.

По-нанатъшното намаляване на градиента води до намаляване на радиуса на кривината на линията, по която се разпространява електромагнитната вълна. При стойност на градиента $\frac{dn_R}{dh} = -1{,}57.10^{-7} m^{-1}$ радиусът на кривината става приблизително равен на радиуса на Земята:

$$R_{PROP} = -\frac{1}{-1{,}57.10^{-7}} = 6369427 \approx R_e .$$

Това означава, че в този случай електромагнитата вълна се разпространява успоредно на земната повърхност. Типът на рефракцията в този случай се нарича „*Критична*“.

При $\frac{dn_R}{dh} < -1{,}57.10^{-7} m^{-1}$ радиусът на кривината става по-малък от радиуса на Земята и настъпва явление, наречено „*Свръхрефракция*“ (*Extra Super Refraction*). Условията за настъпване на свръхрефракция, т.е. за намаляване на вертикалния градиент под критичната стойност са:

- силно изразена температурна инверсия във височина (температурата нараства рязко с увеличаване на височината);
- силно изразен градиент на относителната влажност (влажността на въздуха рязко намалява).

В този случай непосредствено над земната / водната повърхност се образува тънък атмосферен слой, в който електромагнитната вълна се разпространява като във вълновод. Височината на слоя се оценява на около 30m и ако в него попаднат едновременно РЛС и целта, кривината на Земята практически не влияе върху далечината на действие.

При $\frac{dn_R}{dh} > 0$ радиусът на кривината на линията, по която се разпространява електромагнитната вълна става отрицателен и радиовълните закривяват по посока, обратна на кривината на Земната повърхност. Това явление се нарича „*Отрицателна*“ рефракция (*Sub-Refraction*), и влияе негативно върху радиовълните закривяват по посока, обратна на кривината на Земната повърхност. Влияние на отрицателната рефракция върху откриването на цели, намалявайки далечината на откриване с до около 30%. Фактори, които могат да предизвикат отрицателна рефракция:

- бързо (рязко) повишаване на относителната влажност във височина;
- бързо понижаване на температурата с височината.

4.4. Преобразуване на радиолокационния сигнал в цифров вид

За да бъде въведен в компютър, а от там и в системата за наблюдение, радиолокационният сигнал на изхода на приемника се преобразува в цифров вид. За целта се използва специализирано устройство, наречено *Радарен процесор, екстрактор* или *интегратор*. За да преобразува успешно видеосигнала от изхода на приемника, този процесор се нуждае още от поредицата синхроимпулси (Trigger-импулси) и двете импулсни поредици, даващи информация за ъгловото положение на антената, описани по-горе. Системата, показана на фиг. 4.14 включва РЛС, Радарен интегратор / процесор и компютър и се нарича PC-Radar (Personal-Computer-Radar).




Фигура 4.14. PC-Radar

Веднъж преобразуван и въведен в компютъра радиолокационният сигнал се подлага на допълнителна обработка за подтискане на смущенията, за определяне на параметрите на движение на наблюдаваните цели и за извличане на допълнителна информация за тях. Изчистеното изображение заедно с информацията за целите се предава по комуникационен канал в някакъв общоприет (стандартен) формат.

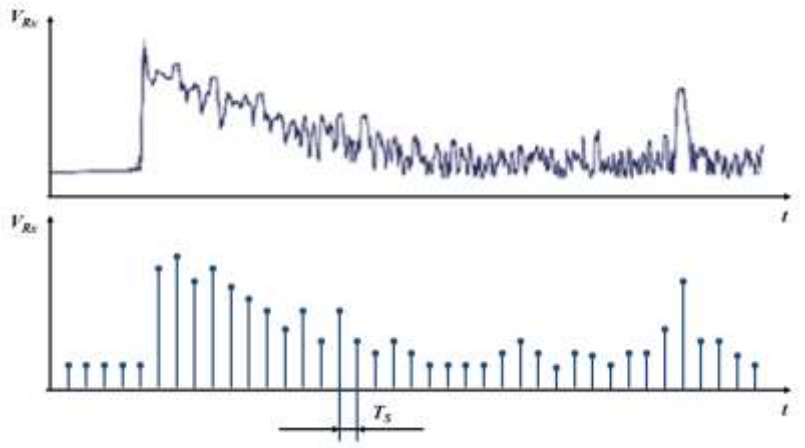
Преобразуването на приетия сигнал от аналогов в цифров вид се извършва в радарния интегратор и включва две последователни процедури – дискретизация и квантоване.

Дискретизацията (Sampling) се състои във вземане на отчети от аналоговия сигнал (samples) през равни интервали от време $T_S$, наречени *период на дискретизация* (Sampling period). Величината

$$f_S = \frac{1}{T_S}$$

се нарича *честота на дискретизация* (Sampling frequency или Sampling rate).

Квантоването (Quantisation) представлява задаване на числени стойности на отчетите от аналоговия сигнал. При това стойностите обикновено са положителни цели числа. Аналогово-цифровото преобразуване на приетия сигнал е показано на фиг. 4.15.




Фигура 4.15. Преобразуване на приетия сигнал от аналогов в цифров вид (Аналогово – цифрово преобразуване, АЦП)

Управлението на аналогово-цифровото преобразуване се извършва от компютъра с помощта на специализиран софтуер. Честотата на дискретизация трябва да бъде съобразена с продължителността на излъчваните импулси по такъв начин, че в рамките на един импулс да има няколко отчета. Причината за това е, че ако по пътя на импулса попадне малък обект (т.е. точкова цел) то отразеният от нея сигнал има линеен еквивалент, определен с израза:

(4.41) $$l = \frac{c.\tau}{2}.$$

Добре е в рамките на този еквивалент да има 2-3 отчета, за да е възможно използването на по-прости и ефективни методи за обработка в последствие. Така например за импулс с продължителност $\tau = 0{,}07\mu s$ линейният еквивалент ще бъде

*l = 10,5m*. В такъв случай линейното разстояние между два съседни отчета трябва да бъде между 3 и 5m, т.е. *Δd = 3 ÷ 5m*. С цел улесняване на последващите обработки обикновено се избира линейно разстояние, кратно на морската миля, напр. *0,01nm, 0,005nm, 0,0025nm* и т.н. В конкретният пример *Δd = 0,0025nm = 4,63m*. Това означава, че

(4.42) $$T_S = \frac{2.\Delta d}{c} = \frac{2.4{,}63}{3.10^8} = 0{,}0309\mu s$$

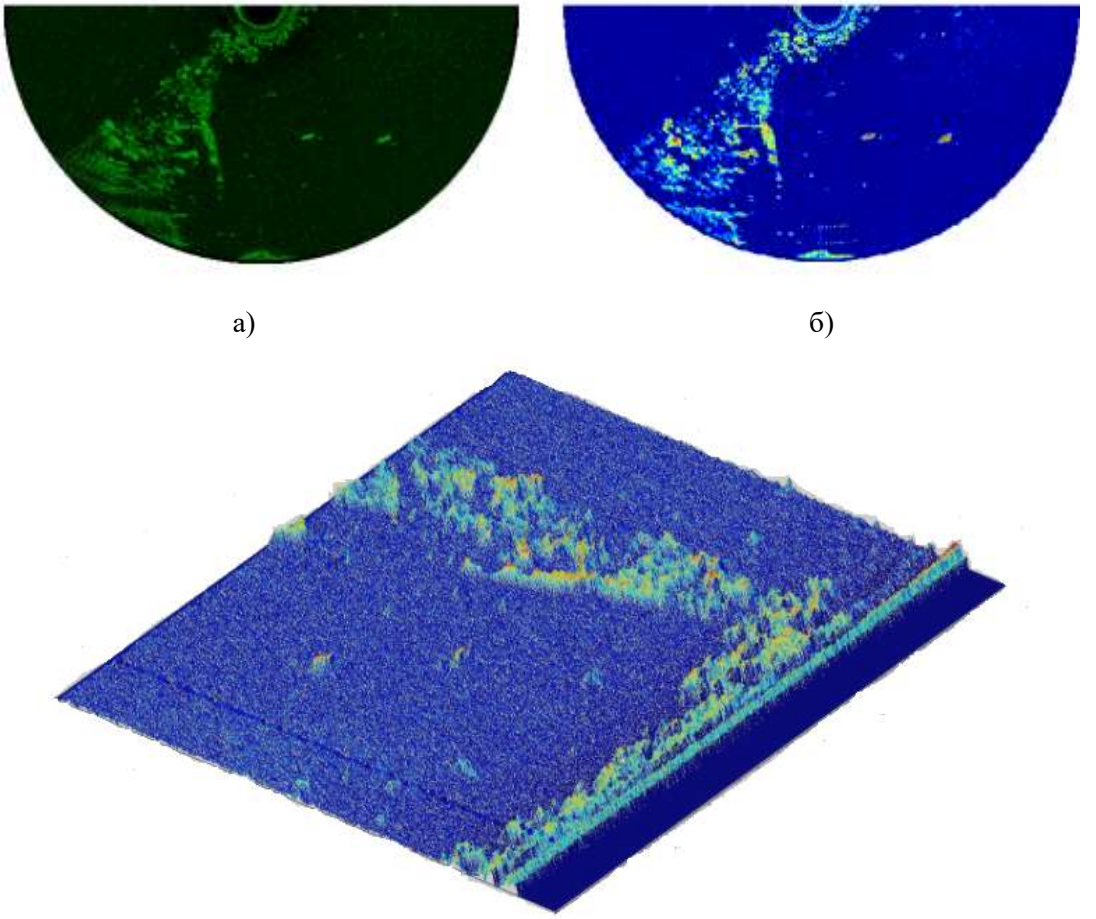
и съответно

(4.43) $$f_S = \frac{1}{0{,}0309.10^{-6}} = 32{,}397408MHz\,.$$

Броят на отчетите от всяка развивка определя максималното разстояние, на което могат да се наблюдават обектите. При 1024 отчета за направените по-горе изчисления например максималното разстояние ще е *2,56nm*.

На фиг. 4.16 е показано радиолокационно изображение с описаните по-горе параметри, записано с PC-Радар, инсталиран на северния бряг на Варненски залив. На изображението се вижда вълнолома, новия канал към Варненско езеро и част от н. Галата, отстоящ на около *2,5nm* от точката, в която е разположен PC-Радара. Намаляването на честотата на дискретизация ще доведе до увеличаване на максималното разстояние. Ако например честотата се намали 4 пъти, линейното разстояние между два отчета ще се увеличи до една стотна от морската миля (*Δd = 18,52m*) и максималното разстояние ще нарастне до 10 мили. В този случай обаче малката точкова цел с линеен еквивалентен размер *l = 10,5m* ще започне да пропуска обзори. За да се избегнат такива ситуации е необходимо по-ниските честоти на дискретизация да се използват при по-продължителни импулси.

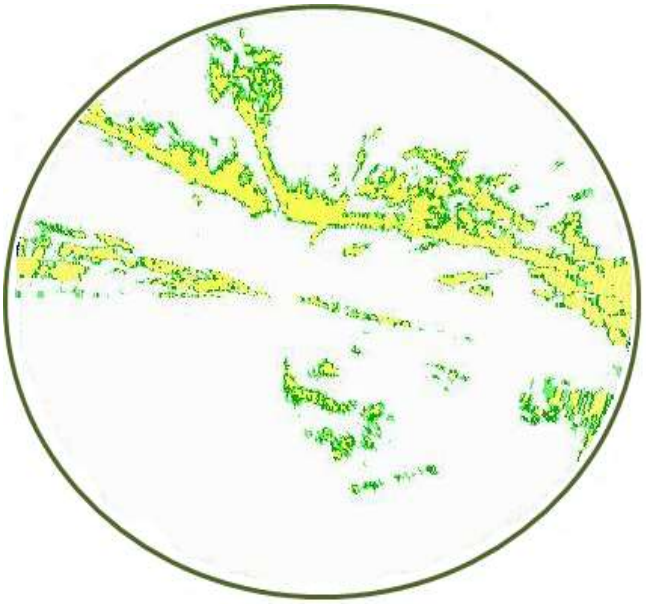
Диапазонът на стойностите на отчетите се определя от разрядността на аналогово-цифровия преобразовател. Ако той е например 6-битов, стойностите на отчетите се побират в границите 0 ÷ 63 (000000b ÷ 111111b) и всеки отчет заема един байт памет. За повечето стандартни приложения такова представяне на видеосигнала е твърде подробно.




Фигура 4.16. Радиолокационно изображение на Варненски залив с радиус от около *2,5nm*, представено с използване на градации на зеленото (монохромно), цветно и триизмерно

Най-често се прилага двубитово описание на отчетите, при което се формират 4 нива на сигнала – отсъствие на сигнал (00b), слаб (01b), среден (10b) и силен сигнал (11b). И в двата случая цифровите стойности се изобразяват на екрана на компютъра или като монохромно изображение с различни степени на яркостта (напр. в зеления спектър, вж. фиг. 4.16а), или с цветова палитра от по-студени към по-топли тонове, както е показано на фиг. 4.16б). Възможно е и напоследък се

използва все по-често и тримерно представяне на цифровия радиолокационен сигнал върху екрана на компютъра, както е показано на фиг. 4.16в).



Фигура 4.17. Радиолокационно изображение на р. Дунав с двубитово описание

На фиг. 4.17 е показано радиолокационно изображение на р. Дунав в района на пристанище Русе, описано с два бита. Отсъствието на сигнал тук е представено с бял цвят, а за останалите са използвани съответно яркожълт, жълт и зелен. Дискретизацията на изображението по азимут се извършва с помощта на импулсен генератор, поставен на въртящата се антена, който изработва определен брой импулси за един оборот. Най-често за целта се използва фоторастеров преобразовател, ФРП. Броят на генерираните импулси за един оборот може да бъде в границите 1024 ÷ 16384 импулса за оборот и се определя от съображения, подобни на тези при избор на честота за дискретизация по разстояние, но относно ширината на диаграмата на насоченост на антената в хоризонталната равнина. При 1024 импуса за един оборот например дискретът по азимут ще е

$$\Delta\beta = \frac{360^{\circ}}{1024} = 0{,}352^{\circ},$$

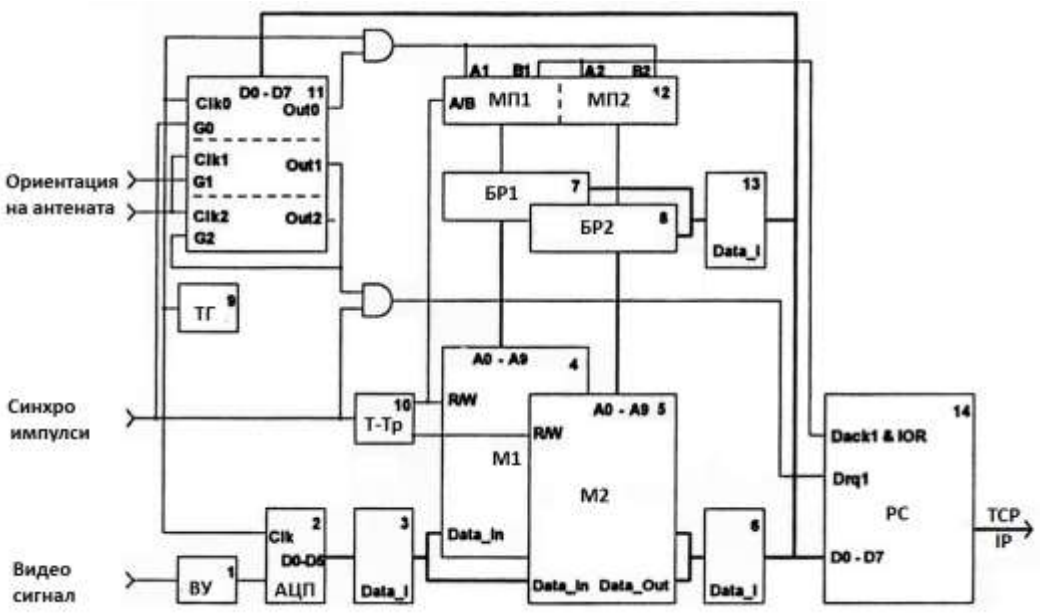
което при ширина на диаграмата на насоченост от порядъка на 0,8° ще гарантира 2-3 дискрета. При 16384 импулса за един оборот дискретът по ъгъл ще е 0,022°. Процесът дискретизация по азимут е малко по-сложен от дискретизацията по разстояние, тъй като освен поредицата за ъгловото положение на антената екстракторът трябва да следи и поредицата от синхро (Trigger) – импулси и да търси съвпадение на импулси от двете поредици, които в общия случай са асинхронни.

Изображението, показано на фиг. 4.16 например съдържа 900 развивки с дискрет по ъгъл от 0,2° и всяка развивка съдържа 1024 отчета (байта). Лесно може да се изчисли, че изображението ще заеме около 1Mbyte в паметта на компютъра. Изображенията на двете цели, показани на фиг. 4.13а) и 4.13б) съдържат 32 развивки, всяка с по 32 отчета (байта). Следователно всяко едно от тях заема 1Kbyte в паметта на компютъра. При 2-битово представяне на сигнала всеки 4 съседни отчета се записват в един байт и обемът на изображението намалява 4 пъти. Съдържанието на тази памет се обновява при всеки нов обзор на РЛС (т.е. при всяко следващо завъртане на антената).

На фиг. 4.18 е показана блоковата схема на Радарен интегратор, разработен за въвеждане на сигнал от некохерентна РЛС с кръгов обзор в персонален компютър. Видеосигналът от изхода на детектора на станцията постъпва на входа на видеоусилвател 1, който служи за формиране на динамичния диапазон на сигнала. Усилвателят е с достатъчно широка честотна лента за целите на приложението. Изходът на усилвателя е свързан към входа на аналогово-цифров преобразовател 2. Преобразователят е 6-битов с с директно преобразуване на сигнала (*Flash-ADC*), чиято честота на дискретизация може да се управлява програмно от 16,1987 MHz до 2,0248 MHz от тактов генератор 9. Това означава, че всеки отчет от видеосигнала се квантова на 64 нива, а разстоянието между два отчета може да се променя програмно от една двестна от морската миля ($\Delta d$ = *9,26m*) до една двадесет и пета част от милята ($\Delta d$ = *74,08m*). Цифровият видеосигнал се записва в два блока външна памет 4 и 5, през входен буфер данни 3.

Блоковете памет са статичен RAM с капацитет 1024 X 8 и служат за съгласуване на бързата дискретизация със сравнително бавното въвеждане на данните в персоналния компютър. Изходите на блоковете памет се свързват към

информационната магистрала на компютъра през изходен буфер-данни 6. Входовете за управление Четене/Запис (R/W) на блоковете памет се управляват от Т-Тригер 10, който се превключва от синхроимпулсите на станцията. При това всяка нечетна развивка на видеосигнала се записва в първия блок памет М1, а всяка четна – във втория блок М2. В допълнение докато текущата развивка се записва в единия блок памет, предходната развивка, вече записана в другия блок, се въвежда в компютъра с използването на директен достъп до паметта. Тази организация на обмена, известна като „Метод на пинг-понката“ позволява съгласуване на различните скорости на дискретизация и въвеждане в компютъра при закъснение на въвеждането от порядъка на един период на синхроимпулсите, което определя режима на работа на интегратора близък до работа в реално време (Near Real Time Mode).




Фигура 4.18. Блокова схема на радарен интегратор

Програмируемият таймер 11 е добавен в схемата на интегратора за да позволи въвеждането сектор от радиолокационното изображение, ограничен между два азимутални ъгъла и две разстояния. В общият случай това позволява въвеждането само на онази част от обзора, която съдържа обекта, представляващ

интерес, като в частност може да се въведе и целия радиолокационен обзор. Компютърът управлява размерите на сектора, записвайки начален и краен азимут и начално разстояние в таймера, а броят на отчетите, които трябва да бъдат въведени, се записват в броячите 7 и 8, които работят в инверсен режим до достигане на нулева стойност.

Резолюцията на интегратора се определя от честотата на импулсната поредица, идваща от антената на РЛС. За станция с датчик, генериращ 1800 импулса за един оборот на антената резолюцията по азимут ще е 0,2°.

Веднъж въведено в компютъра радиолокационното изображение може да бъде обработено и изпратено до потребителите в мрежата по стандартен комуникационен протокол.

С развитието на електронните технологии вече е възможно функциите на персоналния компютър да се изпълняват от специализиран програмируем контролер с вградени мрежови комуникационни възможности. В една интегрална схема вече могат да се поберат повечето от блоковете на интегратора от фиг. 4.18 – тактовия генератор, блоковете памет, интерфейса за връзка с антената и процесора с мрежов контролер за TCP/IP интерфейс.

## 4.5. Компресиране на импулса

Както беше казано по-горе разделителната способност на РЛС по азимут и разстояние е от изключителна важност за качествата на станцията. Добрата разделителна способност е необходима за подобряване на точността на измерваните параметри и за извличане на допълнителни характеристики на наблюдаваната цел, позволяващи нейната идентификация.

Разделителната способност по разстояние зависи от продължителността на излъчвания импулс, както показва израз (4.17). Използването на къси импулси обаче налага някои съществени ограничения:

- първо, продължителността на излъчвания импулс определя ширината на честотната лента – съгласно израз (4.3), двете величини са в обратно пропорционална зависимост.

- и второ, за осигуряване на необходимата енергия се изисква много високо ниво на импулсната мощност. Обаче при високи нива на импулсната мощност се появява Arcing, особено в областта на високите честоти. За една типична брегова РЛС с кръгов обзор с импулсна мощност *50 KWt* и продължителност на импулса 0,2 $\mu s$ например, енергията в импулса е

$$E = P_T.\tau = 50.10^3.0,2.10^{-6} = 10mJ\ ,$$

а разделителната способност по разстояние е

$$\Delta R = \frac{300.\tau[\mu s]}{2} = 150.0,2 = 30m\ .$$

За да се достигне резолюция от *30cm* при запазване на енергията в импулса е необходимо неговата продължителност да се намали до *2ns*, а импулсната мощност да нарастне до *5 MWt*. Такава мощност е недостижима за подобен тип РЛС. Трябва да се отбележи още, че в радиолокационните предаватели все по-често се използват поупроводникови елементи в крайните усилвателни стъпала (Solid State Power Amplifiers, SSPA). Полупроводниците не могат да генерират високи нива на мощност поради технологични ограниченията – в работната температура и в изолационното съпротивление.

Енергията в импулсите на РЛС може да се повиши единствено с увеличаване на тяхната продължителност. Използването на дълги импулси обаче води до лоша разделителна способност по разстояние.

Основното предимство на краткия импулс – по-добрата разделителна способност, може да се постигне с модулация на носещата честота в импулс с голяма продължителност чрез повишаване на стойността на произведението от продължителността на импулса и ширината на честотната лента ($\tau\ .\ \Delta f$).

За импулсна РЛС това произведение е единица:

$$\tau.\Delta f\ = \frac{1}{\Delta f}.\Delta f\ = 1,$$

докато за станции, използващи модулираните импулси

$$\tau.\Delta f_M\ = \frac{1}{\Delta f}.\Delta f_M\ > 1.$$

Очевидно произведението от продължителността на импулса и ширината на честотната лента може да е по-голямо от 1, ако вътрешноимпулсната модулация води до увеличаване на ширината на честотната лента на сигнала, т.е. до използване на широколентови сигнали.

В съвременните радиолокационни системи се използват техники, които позволяват излъчване на продължителни импулси с определени параметри и последваща обработка в приемника, наречена „Компресия“. Най-често прилаганите в практиката методи са компресия с използване на линейночестотна модулация ЛЧМ (Linear Frequency Modulation, LFM) и на двоична фазова модулация / манипулация ФМ (Binary Phase Shift Keying, BPSK).

Компресирането на импулса с използване на честотна или фазова модулация позволява на РЛС да съчетае основните предимства на импулсите с голяма и с малка продължителност – високо ниво на излъчената енергия и добра разделителната способност. Отношението $\frac{\Delta f_M}{\Delta f} = \tau.\Delta f_M$, показващо разширението на спектъра на сигнала с вътрешноимпулсна модулация спрямо немодулирания импулс се нарича Коефициент на свиване/компресиране на импулса (*Pulse Compression Ratio, PCR*).

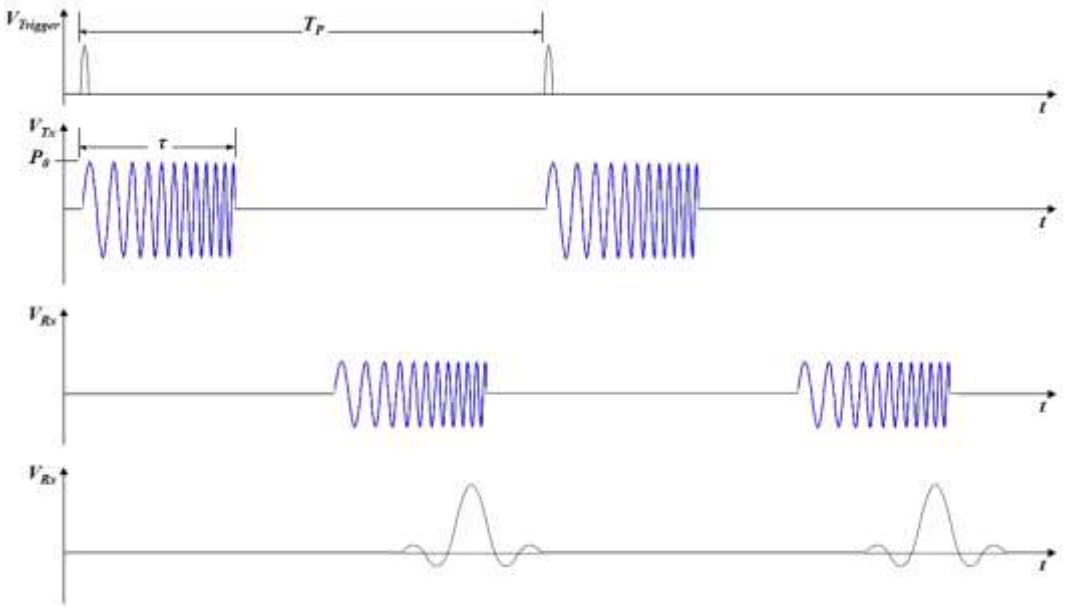
Използването на описаните по-горе техники има и някои недостатъци, по-съществените от които са:

- по-сложно и следователно по-скъпо оборудване;
- по-високи стойности на минималното разстояние поради използването на по-продължителен импулс;
- появяване на странични листи по продължителността на развивката около отразения от целта сигнал в резултат на обработката на сигнала в приемника.

### 4.5.1. Линейночестотна модулация, ЛЧМ

Радиолокационните станции с ЛЧМ използват линейно-честотна модулация за компресия на импулса с цел увеличение на далечината на действие и подобряване на отношението „Сигнал / Шум“. Това се постига с излъчване на дълги честотно-

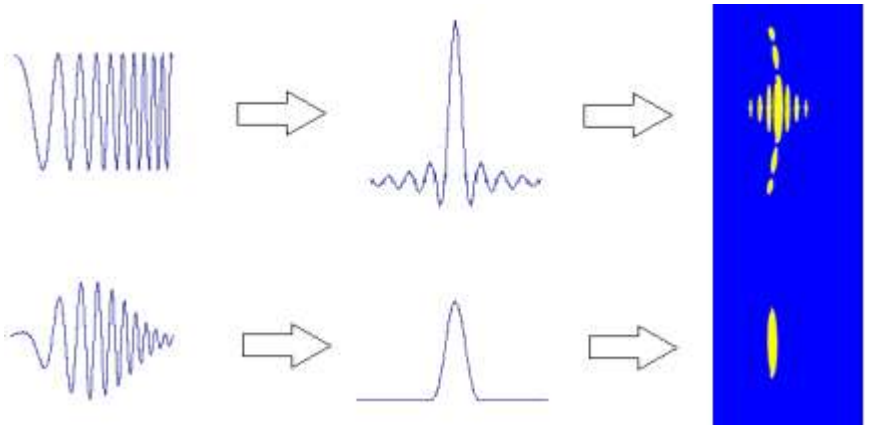
модулирани импулси с относително ниска импулсна мощност, като в същото време се осигурява значителна средна мощност на излъчване и увеличение на далечината на действие. Използването на компресия на импулса осигурява и независимост на шумовата чувствителност на станцията от ширината на честотната лента. Отношението „Сигнал/шум“ в тези станции е пропорционално на излъчената мощност, разделена на общото ниво на шум на приемника. В резултат на компресията чувствителността на станцията се определя от излъчената мощност, както при нормална импулсна РЛС, но при значително подобряване на резолюцията.




Фигура 4.19. Времедиаграми на импулсните поредици на РЛС с ЛЧМ

На фиг. 4.19 са показани времедиаграмите на импулсните поредици в радиолокационна станция с използване на ЛЧМ. Под синхроимпулсите са показани импулсите от изхода на предавателя. Вижда се, че поради по-голямата им продължителност коефициентът на запълване $K = \frac{\tau}{T_P}$ има по-голяма стойност в сравнение с импулсната РЛС, чиито времедиаграми са показани на фиг. 4.19. Показани са и отразените импулси, достигнали до входа на приемника, с по-малка амплитуда и времезакъснение, определено от разстоянието до наблюдаваната цел.

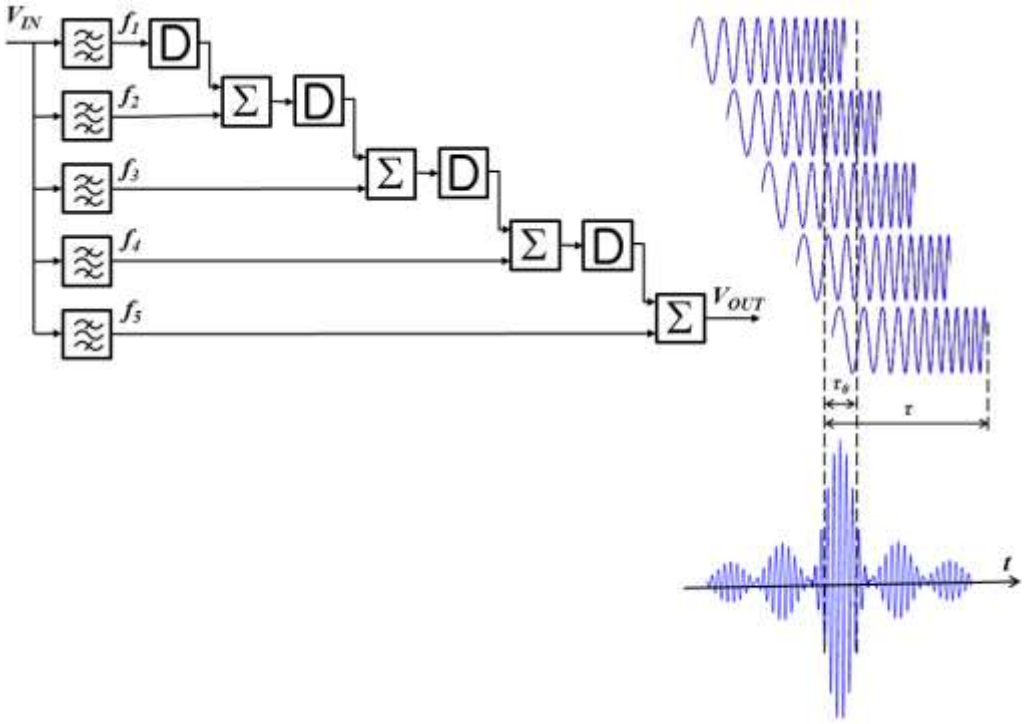
След преминаване през процедурата за компресия и демодулация, приетите импулси придобиват форма, която се описва с израза $A.\frac{\sin(x)}{x}$. В резултат изображението на наблюдаваната цел ще бъде придружавано от появата на странични листи по разстояние, предизвикващи допълнителни петна, както преди, така и след изображението (подобни петна могат да се се получат и по азимут в резултат на наличието на странични листи в диаграмата на насочено действие на антената в хоризонталната равнина). За отстраняване на този недостатък се прилагат филтрации с използване на амплитудни теглови функции. На фиг. 4.20 е показано подобно изображение на цел, формирано в ЛЧМ РЛС, както и изображение след филтрация с прозорец на Хеминг (Hamming Window). В резултат на прилагане на тази обработка обикновено се получава затихване на основния импулс с до 1 dB и подтискане на страничните листи с до 30 dB.



Фигура 4.20. Използване на прозорец на Хеминг (Hamming) за подтискане на страничните времеви листи на компресирания импулс

На фиг. 4.21 е показна блокова схема на устройство за компресиране на ЛЧМ сигнал. Устройството използва диспергираща закъснителна линия, която разпределя входния сигнал на честотните му съставящи и предоставя за сумиране части от сигнала с различно закъснение. Входният сигнал постъпва едновременно

на входовете на няколко лентови филтри, настроени на честотните съставящи в ЛЧМ сигнала. Съставящата с най-висока честота $f_1$ преминава през първия филтър и постъпва на входа на първата закъснителна линия. След закъснение от порядъка на $\tau_0$ той се сумира с честотната съставяща $f_2$. Сумата от двете честотни съставящи постъпва на входа на втората закъснителна линия и след закъснение от порядъка на $\tau_0$ се сумира с $f_3$ и т.н. Следователно сигналът с най-висока честота $f_1$ изминава най-дълъг път по линията, а сигналът с най-ниска честота $f_5$ – най-кратък.




Фигура 4.21. Блокова схема на устройство за компресия на ЛЧМ импулс със суматори и закъснителни линии за отделните честоти

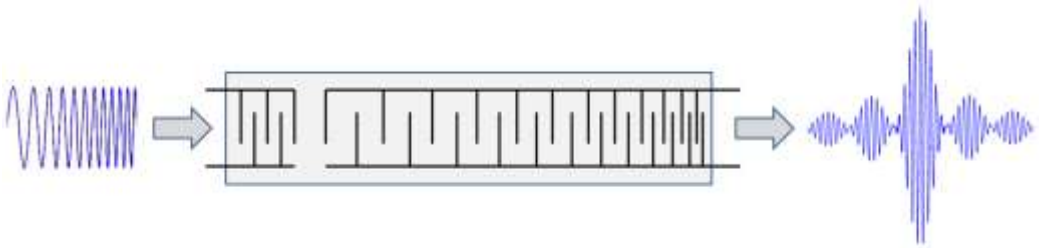
Резултатът от работата на устройството е изходният сигнал, чиято обвиваща се описва с израза $A.\frac{\sin(x)}{x}$, където $x = \pi.\Delta f_M \tau_0$. След детектиране се получава импулс с камбанообразна форма с продължителност $\tau_0$ и странични листи, както е показано на фиг. 4.19. Може да се докаже, че в резултат на компресията

амплитудата на изходния импулс нараства спрямо входния пропорционано на квадратния корен от коефициента на свиване, т.е.

(4.44) $$V_{OUT,m} = V_{IN,m}\sqrt{\tau.\Delta f_M} = V_{IN,m}\sqrt{\frac{\tau}{\tau_0}}\,.$$

Тъй като мощността на сигнаа е пропорционална на квадаата от неговата амплитуда, от израза (4.44) следва, че мощността на изходния сигнал нараства $\left(\tau.\Delta f_M\right)$ пъти. При запазване на мощността на шума това означава, че компресията на импулса подобрява отношението „Сигнал/шум“. Следователно компресирането на импулса с използване на вътрешноимпулсна ЛЧМ подобрява далечината на действие, разделителната способност и шумоустойчивостта на станцията.

В приемниците на съвременните РЛС компресирането се извършва използване на филтри с повърхностни акустични вълни или с цифрова конволюция на приетия сигнал с опорен сигнал, аналогичен на излъчения. Филтрите с повърхностни акустични вълни (ПАВ – филтри, Surface Acoustic Wave Devices, SAW) използват правия и обратен пиезоелектричен ефект за преобразуване на радиосигнала в акустична вълна, за предаване на сигнала по звуков канал и за обратно преобразуване в радиосигнал. Преобразователят на входа представлява резонатор с равни разстояния между електродите (еквидистантен резонатор), а на изхода – с променящи се разстояния. Различните честотни съставящи във входния сигнал получават в изходния преобразовател различни закъснения. Най-малко е закъснението за ниските честоти, а най-голямо – за най-високите съставящи в спектъра на сигнала. С подходящ подбор на разстоянията между електродите във втория преобразовател дисперсионната характеристика на закъснителната линия, т.е. зависимостта на закъснението от честотата може да се направи линейна. При това от всеки ЛЧМ импулс на входа на филтъра ще се изработва по един компресиран импулс, както е показано на фиг. 4.22.



Фигура 4.22. закъснителна линия с повърхностни акустични вълни (ПАВ-филтър)

Компресията на приетия импулс може да се осъществи чрез директна конволюция на приетия сигнал с излъчения (опорен) сигнал във времевата област, както е показано на фиг. 4.23.




Фигура 4.23. Компресия на приетия импулс чрез конволюция във временната област

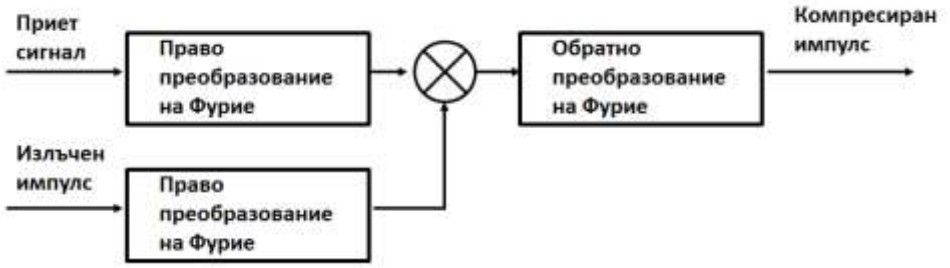
В този случай изходният сигнал се определя с израза:

(4.45) $$V_{OUT} = V_{IN} * V_{REF},$$

където $V_{REF}$ е опорен сигнал, аналогичен на излъчения.

В израза (4.45) „*“ означава конволюция.

Компресията на приетия сигнал може да се осъществи и чрез преобразуване в честотната област. За целта е необходимо предварително преобразуване на приетия и на опорния сигнал чрез дискретно преобразование на Фурие (ДПФ). След конволюция на двата сигнала в честотната област се извършва обратно дискрено преобразование за връщане във временната област, както е показано на фиг. 4.24.




Фигура 4.24. Компресиране на приети сигнал чрез конволюция в честотната област

В съвременните РЛС компресията на импулса с ЛЧМ се извършва с използване на цифрова обработка. За целта приетият сигнал се преобразува в цифров вид с помощта на аналогово-цифрови преобразователи (АЦП) с висока честота на преобразуване и широка честотна лента.

Използването на ЛЧМ позволява използването на ефекта на Доплер при определяне на скоростта на наблюдавания обект. По този начин е възможно едновременното измерване на двата параметъра, т.е. интегрирането на измерването на разстояние и скорост. На фиг. 4.25 са показани спектрограмите на излъчения и на приетия сигнал при два различни сценария – когато наблюдаваната цел е неподвижна, и когато се движи с фиксирана радиална скорост спрямо станцията. Вижда се, че когато целта е неподвижна, спектърът на приетия импулс не се различава от излъчения. В този случай разстоянието до целта се определя с израза

$$R = \frac{c.t_R}{2}$$ , както беше показано в т. 4.2.

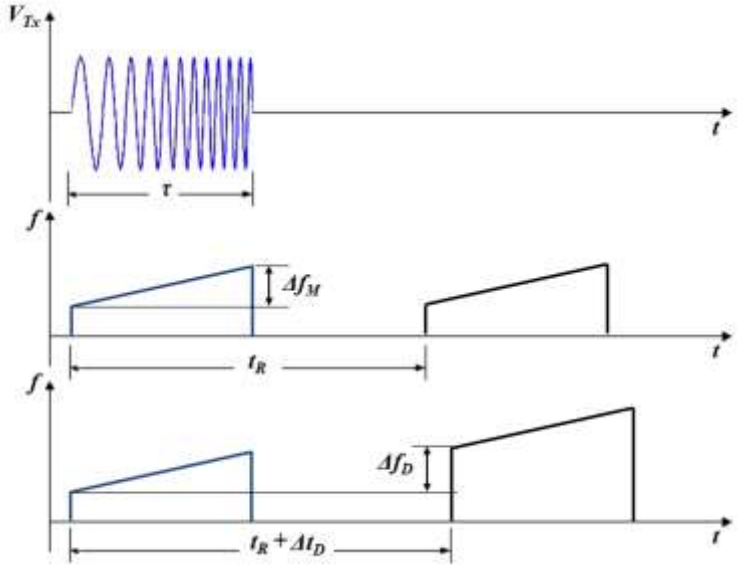
Когато обаче целта се движи с фиксирана радиална скорост спрямо станцията, в резултат на ефекта на Доплер спектърът на приетия импулс ще се различава от излъчения. Ако напр. целта се приближава към станцията, приетите честоти ще са по-високи със стойност, наречена Доплерово отместване и определена с израза:

(4.46) $$\Delta f_D = \frac{\Delta v}{c}.f_0,$$

където $\Delta v$ е относителната скорост на целта спрямо станцията;

$f_0$ – началната честота в излъчвания импулс;

$c$ – скоростта на разпространение на електромагнитните вълни.




Фигура 4.25. Спектрограми на излъчения и приет ЛЧМ импулси при отсъствие на Доплерово отместване (горе) и наличие на Доплерово отместване (долу)

В резултата на компресията на импулса в спектрограмата ще се появи допълнително закъснение $\Delta t_D$, дължащо се на Доплеровото изменение на честотите в отразения ЛЧМ импулс. Това закъснение се определя с израза

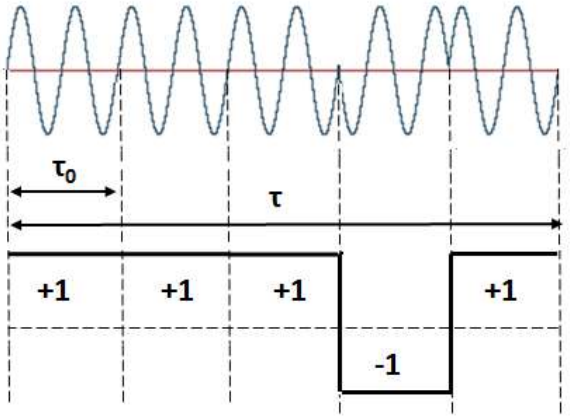
$$\Delta t_D = \frac{t_R . \Delta f_M}{\Delta f}$$

и трябва да се вземе предвид при изчисляване на разстоянието до целта.

Влиянието на ефекта на Доплер върху работата на РЛС с ЛЧМ импулси може да се използва за измерване на радиалната скорост на целта спрямо РЛС, както и за отделяне на движещите се цели от неподвижната (фонова) част на радиолокационното изображение (Селекция на движещите се цели, СДЦ, Moving Target Indication, MTI).

4.5.2. Фазово манипулирани импулси

Друг широко-използван механизъм за компресия на импулсите е използването на фазова манипулация на носещата честота в рамките на излъчвания импулс. Всеки импулс се разделя на n времеви интервала, като фазата на носещата честота във всеки интервал се променя с определен фазов ъгъл Δφ. Най-често се използва противофазна система, при която фазовият ъгъл се променя с противоположна стойност π (180º) в съответствие с определена двоична последователност. При това, ако продължителността на излъчвания импулс е означена с τ, то продължителността на времевите интервали $\tau_0$ ще се определи с израза $\tau_0 = \frac{\tau}{n}$. За целите на компресиране на импулсите най-подходящ се оказва кодът на Баркер поради добрите параметри на автокорелационната му функция.

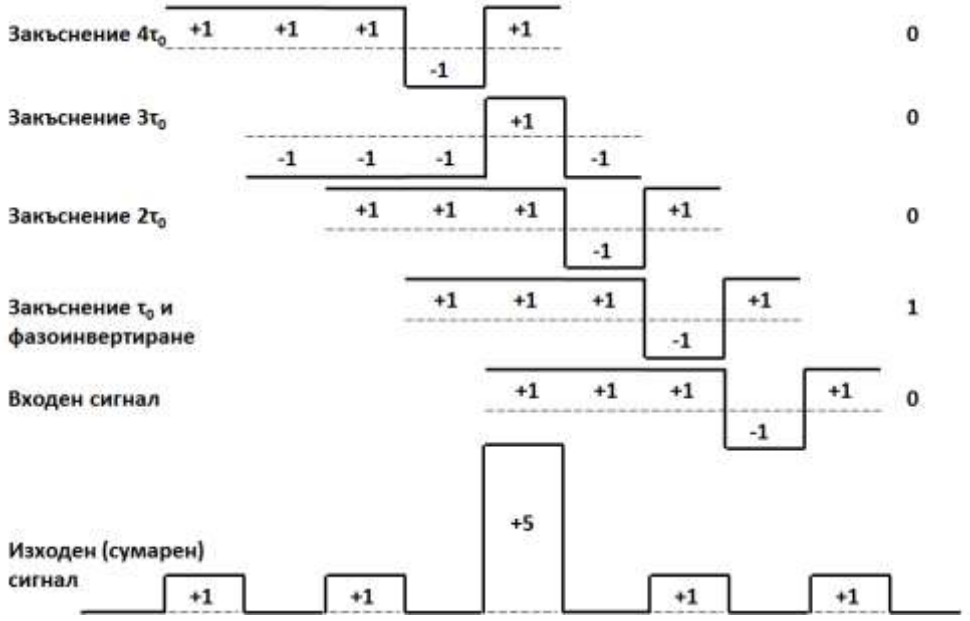



Фигура 4.26. Фазово манипулиран импулс с 5-битов код на Баркер

На фиг. 4.26 е показан импулс с продължителност τ, който е разделен на 5 времеви интервала с продължителност $\tau_0$. В рамките на всеки интервал фазата на носещия радиосигнал се променя в съответствие с двоичен код на Баркер с дължина 5 бита и със стойност 00010. Нулите в двоичния код задават начална фаза на носещия радиосигнал със стойност 0 (0º), а единиците – противоположната стойност π (180º) за всеки битов период $\tau_0$, (*Binary Phase Shift Keying, BPSK*). Условно сигналите с начална фаза 0 се означават с (+1), а тези с противофаза – с (-1). Така формираният сигнал се усилва в предавателя и през антената се излъчва в

околното пространство. Отразените от целта радиоимпулси се приемат обратно от антената и постъпват в приемника, където се преобразуват до междинна честота и се подлагат на обработка за компресиране.

Основната част на обработката се състои в използване на 4 закъснителни линии с интервал на закъснение $\tau_0$, един фазоинвертор на стойност $\pi$ (180º) и един петвходов суматор. Входният сигнал постъпва на един от входовете на суматора и на входа на първата закъснителна линия. Нейният изход е свързан с входа на втората закъснителна линия и през фазоинвертора – с втория вход на суматора. Изходът на втората закъснителна линия е свързан с входа на третата и с третия вход на суматора и т.н. Суматорът изчислява алгебричната сума на сигналите за времето на всеки битов период $\tau_0$.




Фигура 4.27. Компресиране на импулса с използване на фазово манипулиран сигнал

На фиг. 4.27 са показани времедиаграмите, които илюстрират описаната обработка. От фигурата се вижда, че фазовото инвертиране съответства на мястото на единиците в кода на Баркер. В резултат на обработката се получава един компресиран импулс с продължителност $\tau_0$ и по два странични листа от двете

страни. Амплитудата на компресирания импулс е n-пъти по-голяма от амплитудата на приетия сигнал и на страничните листи. Импулсите са запълнени с междинна честота и след преминаване през видеодетектор се подават за последваща обработка в приемника.

Компресираният импулс е прост радиоимпулс и следователно ширината на честотната му лента ще се определи с израза:

$$\Delta f_0 = \frac{1}{\tau_0}.$$

При условие, че излъчваният импулс не съдържа вътрешноимпулсна фазова манипулация, неговият честотен спектър би имал ширина със стойност

$$\Delta f = \frac{1}{\tau}.$$

Следователно прилагането на вътрешноимпулсна фазова манипулация разширява спектъра на излъчвания импулс n пъти:

(4.47)
$$\frac{\Delta f_0}{\Delta f} = \frac{1/\tau_0}{1/\tau} = \frac{\tau}{\tau_0} = n.$$

Изразът (4.47) показва, че колкото по-продължителен е излъчвания импулс и колкото по-кратки са вътрешноимпулсните интервали (т.е. колкото повече разряди има в кода на Баркер), толкова по-добри ще са резултатите от компресирането на импулса. В повечето практически реализации в РЛС се използва код на Баркер с дължина 11 (стойност 00011101101) или 13 (стойност 0000011001010).

## 4.6. Определяне на параметрите на движение

Параметрите на движение (т.е. курсът и скоростта) на наблюдаваната цел се описват с нейния вектор на скоростта. Определянето на вектора на скоростта, се нарича *вторична обработка на радиолокационната информация*. По същество тя се извършва чрез диференциране на координатите на наблюдаваната цел по време, т.е.

(4.48)
$$\vec{V} = \frac{dP(t)}{dt},$$

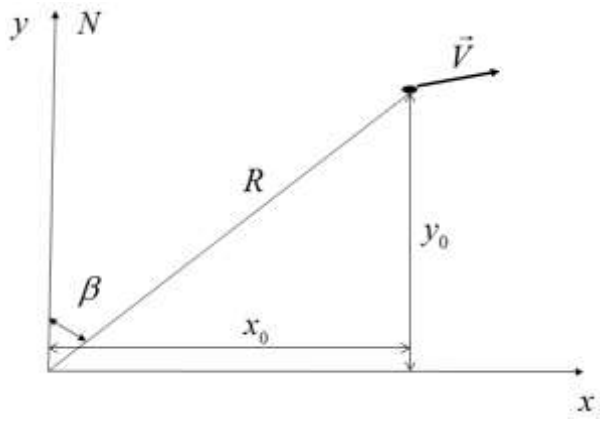
където $P(t)$ е функцията, описваща изменението на координатите (позицията) на целта за времето на наблюдението. Имайки предвид сравнително ниската скорост на движение на морските съдове, може да се предположи, че за времето на един радиолокационен обзор позицията на наблюдаваната цел ще се промени незначително, производната в израза (4.48) може да се замени с отношението на крайните нараствания на функцията и аргумента. За улесняване на изчисленията най-напред се извършва преобразуване на полярните координати в правоъгълни с помощта на изразите (4.49), както е показано на фиг. 4.28.

(4.49) $x_0 = R.\sin(\beta)$ и $y_0 = R.\cos(\beta)$,

където $\beta$ е пеленга,

$R$ – разстоянието до наблюдаваната цел.

По правило при тези преобразувания посоката Север ($N$) съвпада с ординатната ос $y$.




Фигура 4.28. Преобразуване на полярните координати в правоъгълни

След преобразуване на координатите се извършват необходимите изчисления.

Нека по време на първия обзор наблюдаваната цел е била в точка с координати ($x(1)$, $y(1)$), а по време на втория обзор – в точка с координати ($x(2)$, $y(2)$), както е показано на фиг. 4.29. Ако $T$ е интервалът от време между два последователни обзора, то съставящите на вектора на скоростта по посоките $x$ и $y$ се определят с изразите:

(4.50) $$V_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x(2) - x(1)}{T} \qquad \text{и} \qquad V_y = \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{y(2) - y(1)}{T}.$$

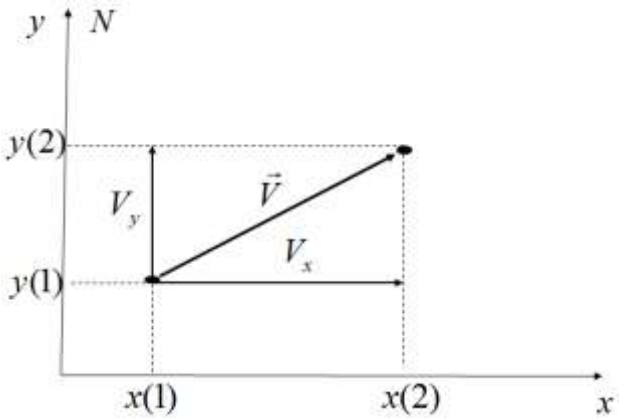
Големината на вектора, т.е. скоростта на наблюдаваната цел се определя с израза

(4.51) $$V = \left|\vec{V}\right| = \sqrt{V_x^2 + V_y^2},$$

а посоката, т.е. курса на целта – с израза

(4.52) $$C = arctg\left(\frac{V_x}{V_y}\right) + \frac{k\pi}{2},$$

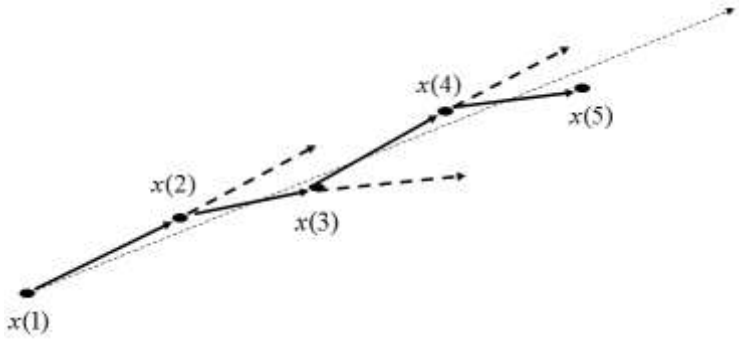
където *k* е цяло число, зависещо от ориентацията на вектора.




Фигура 4.29. Изменението на позицията на наблюдаваната цел за интервал от време между два последователни обзора на РЛС

За съжаление тези сравнително лесни изчисления не могат да бъдат прилагани в практиката, тъй като определянето на координатите на радиолокационната цел е вероятностен процес и върху резултатите от измерванията оказват влияние редица случайни фактори. При това дори и целта да се движи равномерно и праволинейно, резултатите от радиолокационните измервания могат да покажат съществени колебания в нейната траектория, както е показано на фиг. 4.30. Очевидно е, че ако за определяне на параметрите на движение се прилагат изразите (4.50) – (4.52) ще се наблюдават съществени изменения на резултатите от обзор към обзор. За решаване на този проблем се извършва изглаждане на траекторията (*Smoothing of Trajectory*) и съпровождане на целта (*Target Tracking*).

Изглаждането на траекторията всъщност представлява обратен процес – когато са налице множество точки, показващи последователните позиции на целта и трябва да се начертае осредняващата линия на нейното движение, която преминава между тези точки на минимални разстояния от тях. Традиционният метод на изглаждане е с използването на интерполационен полином, наречен *α – β филтър*. Освен с измерените стойности на координатите *x(n), n = 1, 2, 3, ...,* този филтър работи още с екстраполирани (прогнозни) и изгладени (филтрирани) стойности на търсените величини.




Фигура 4.30. Промяна на траекторията на радиолокационната цел в резултат на въздействието на случайни фактори

За определяне на екстрполираните и изгладените стойности по посоката *x* се използват съответно изразите:

$$x_E(n) = \hat{x}(n-1) + V_x(n-1).T \quad , \tag{4.53}$$

$$\hat{x}(n) = x_E(n) + \alpha(n).\left[x(n) - x_E(n)\right], \tag{4.54}$$

$$V_x(n) = V_x(n-1) + \beta(n).\frac{x(n) - x_E(n)}{T} \quad , \tag{4.55}$$

където $x_E(n)$ е екстраполираната (прогнозната) координата за *n*-тия обзор,

$\hat{x}(n)$ – изгладената (филтрираната) координата за *n*-тия обзор,

$\alpha(n)$ – изглаждащ коефициент за позицията за *n*-тия обзор,

$\beta(n)$ – изглаждащ коефициент за скоростта за *n*-тия обзор,

$V_x(n)$ – компонентата на вектора на скоростта по посоката *x* за *n*-тия обзор, а

*T* – интервалът от време между два поредни обзора.

Изглаждащите коефициенти α и β могат да бъдат постоянни, но по-често се променят от обзор към обзор. За целта се използват изразите:

$$\alpha(n) = \frac{2(2n-1)}{n(n+1)} \quad \text{и} \quad \beta(n) = \frac{6}{n(n+1)} \quad \text{за } n < 20, \tag{4.56}$$

след което коефициентите спират да се променят , т.е.

$$\alpha(n) = \alpha(n-1) \quad \text{и} \quad \beta(n) = \beta(n-1) \quad \text{за } n \geq 20. \tag{4.57}$$

Аналогични изрази се използват и за определянето на величините по координатата *y*. Накрая за определяне на скоростта и курса на наблюдаваната цел се използват изрази (4.51) и (4.52).

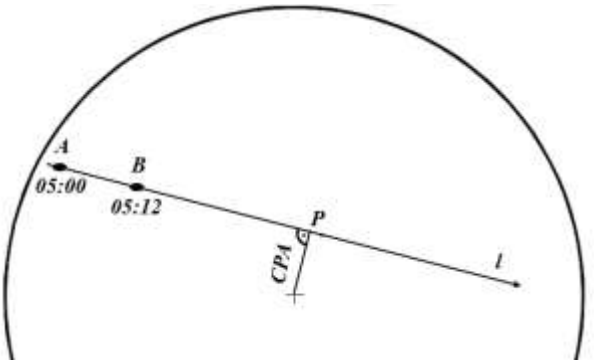
Времето за захващане и първоначално изглаждане на траекторията продължава докато коефициентите α и β се променят. През това време целта се огражда с прекъсната линия, след което (т.е. след 20-тия обзор) захващането на целта се счита за успешно-приключило и векторът на скоростта се изобразява с непрекъсната линия. Неговата дължина се задава от оператора и зависи най-вече от навигационната обстановка. За корабна станция по подразбиране тя трябва да съответства на обхвата на РЛС, т.е. ако станцията е превключена на обхват 6 nm, дължината трябва да е 6 min., а ако обхватът е 12 nm – 12 min и т.н. Някои станции извършват тези промени автоматично. След първоначалното изглаждане на траекторията радиолокационната станция е в състояние да определи и точката на максимално сближаване на наблюдаваната цел до определена позиция (Closest Point of Approach, CPA), както и времето до това събитие (Time to CPA, TCPA).

Определянето на параметъра CPA е геометрична задача. Ако предварително са известни две последователни позиции на наблюдаваната цел, напр. в т. A и в т. B, както е показано на екрана на РЛС на фиг. 4.31, то лесно може да се изведе

уравнението на правата *l*, по която се движи целта, като права, преминаваща през две точки:

(4.58) $$l : \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} \ .$$

Тук $(x_1, y_1)$ и $(x_2, y_2)$ са координатите на точките *A* и *B*.




Фигура 4.31. Определяне на CPA като разстояние от точка до права

След преобразуване на уравнението на правата в нормално, т.е.

(4.59) $$l : ax + by + c = 0 ,$$

се изчислява CPA като разстояние от точка до права:

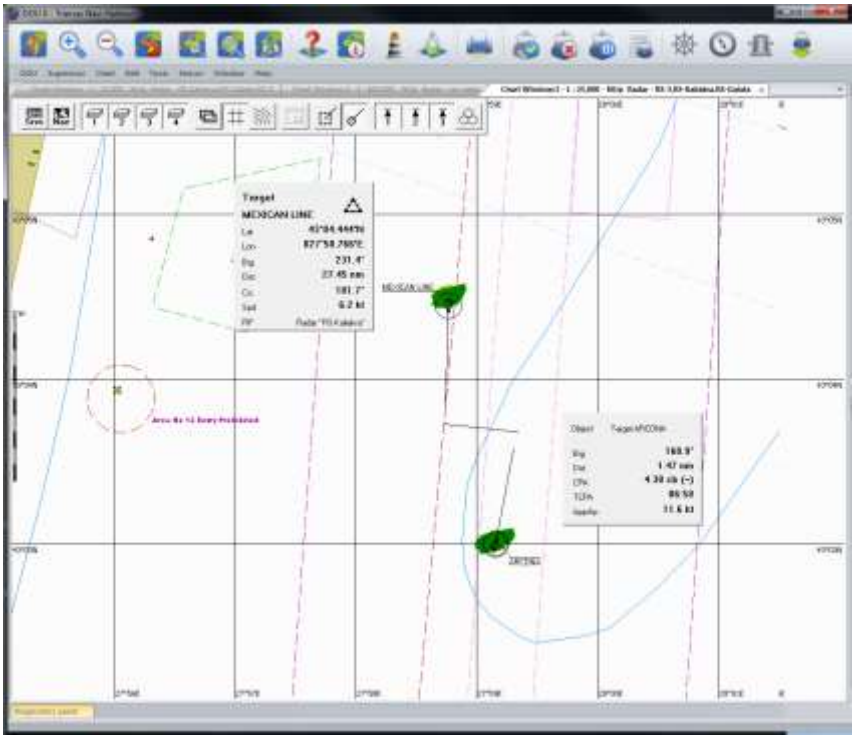
(4.60) $$CPA = d = \frac{ax_0 + by_0 + c}{\sqrt{a^2 + b^2}} \ ,$$

където $(x_0, y_0)$ са координатите на точката, спрямо която се извършват изчисленията. В конкретния случай точката се намира в центъра на координатната система и следователно $(x_0, y_0) = (0,0)$. След заместване в (4.60) окончателно се получава израза:

$$CPA = \frac{c}{\sqrt{a^2 + b^2}} .$$

Имайки предвид времето, за което целта е изминала разстоянието от т. А до т. В лесно може да се изчисли момента, в който тя ще бъде в т. Р, а от там и времето до това събитие – TCPA.

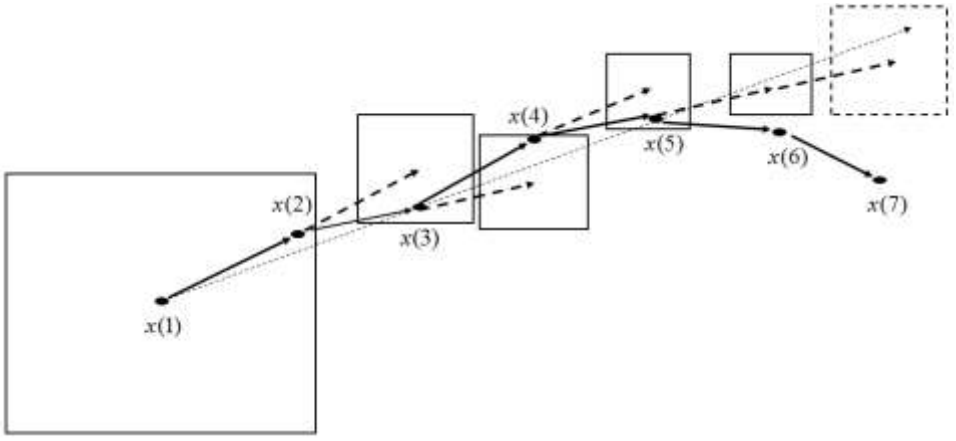
На фиг. 4.33 е показан екрана на оператора в Система за наблюдение и управление на корабния трафик VTMIS, изобразяващ стойностите на CPA и TCPA за две цели, движещи се на насрещни курсове. При това стойностите се изобразяват както числено, така и графично, за улеснение на оператора.



Фигура 4.33. Екран на оператора в системата VTMIS, изобразяващ стойностите на CPA и TCPA за две цели, движещи се на насрещни курсове VTMIS (от VTMIS симулатор NaviHarbour)

Процесът по съпровождане на захванатата цел се състои в последователно отваряне на сектори (стробове) на местата, където се очаква следващото появяване на целта, т.е. в околността на екстраполираната позиция. Секторите са ограничени по ъгъл и по разстояние, но с известно приближение тяхната форма може да се приеме за правоъгълна. Използването на кръгови сектори също е възможно, но те са неудобни от изчислителна гледна точка тъй работата с тях изисква по-голям ресурс. Размерът на съпровождащия сектор се променя в зависимост от развитието на процеса. След първоначалното захващане на целта размерът е максимално-голям, за

да се гарантира, че целта ще попадне в него по време на следващия обзор. Размерът на втория сектор е по-малък, тъй като следящата система вече разполага с приблизителна информация за посоката и скоростта на движение. След третото появяване размерът на сектора се определя динамично в зависимост от разликите между екстраполираните и измерените стойности на координатите от предходния обзор. Целта е секторът да се поддържа достатъчно малък за да се избегне попадането на друга радиолокационна цел. Ако това все пак се случи, за достоверна се приема целта, намираща се по-близо до центъра на сектора (т.е. целта, измерените координати на която са по-близки до екстраполираните). Измерените координати се определят като центъра на тежестта на радиолокационното изображение на целта.




Фигура 4.34. Автоматично съпровождане (Tracking) на наблюдаваната цел

Важно е да се има предвид, че при описаните по-горе процедури за изглаждане на траекторията и за съпровождане на наблюдаваната цел се предполага, че тя се движи равномерно и праволинейно и не предприема маневри нито по курс, нито по скорост. В случай, че целта предприеме маневра по курс и/или по скорост, в резултат на което не се появи в следващия сектор, както е показано на фиг. 4.34 за случая *x(6),* системата отваря по-голям сектор в опит да захване целта при последващото ѝ появяване. Ако и този опит пропадне, целта се обявява за изгубена и изчисленията се преустановяват. При това целта следва да бъде захваната за ново съпровождане след приключване на маневрата

Описаният по-горе α – β филтър не е достатъчно надежден и често допуска загуба на цели. Много по-добър в това отношение е т.нар. *Калманов (Kalman) филтър*, който изчислява параметрите на движение по подобен начин, но изглаждащите коефициенти се определят в зависимост от дисперсията (*V*, variance) на стойностите на измерените и на екстраполираните координати. За координата *x* напр.

(4.61) $$\hat{x}(n) = x_E(n) + K(n).\left[x(n) - x_E(n)\right],$$

където изглаждащият коефициент *K(n)* се определя с израза

(4.62) $$K(n) = \frac{\sigma^2\left(x_E(n)\right)}{\sigma^2\left(x(n)\right) + \sigma^2\left(x_E(n)\right)}.$$

Тук $\sigma\left(x(n)\right)$ е средноквадратичното отклонение на измерените координати, а $\sigma\left(x_E(n)\right)$ – на екстраполираните координати на целта.

Известно е, че връзката между средноквадратичното отклонение и дисперсията се определя с израза

(4.63) $$\sigma\left(x(n)\right) = \sqrt{V\left(x(n)\right)}\,.$$

С други думи изглаждащите коефициенти в Калмановия филтър са променливи величини не само по време на първоначалното изглаждане (т.е. за $n < 20$), а през цялото време на действие на филтъра. Определянето на тези коефициенти прави Калмановия филтър един оптимален рекурсивен алгоритъм за обработка на данни с много и разнообразни приложения.

Според изискванията на IMO всяка система ARPA трябва да е в състояние да съпровожда, да изчислява параметрите на движение и да изобразява на екрана информацията за поне 10 цели, ако захващането е само ръчно и за поне 20, ако е възможно и автоматично захващане (вж. IMO Radar / ARPA performance standards). Съвременните системи за автоматично съпровождане притежават изчислителни възможности за следене и определяне на параметрите на движение на повече от 100 цели едновременно.

Важна предпоставка за правилното съпровождане на наблюдаваната цел е изчислителната система да разполага с точните данни за позицията на

радиолокационния сензор (т.е. на антената), както и прецизното съгласуване на сензора с посоката „Север“. За съгласуване на процеса на съпровождане с времето системата трябва да има достъп до източник на единно системно време UTC.

Точността на настройките на всеки радиолокационен сензор се определя чрез сравняване на определените от него координати на отраженията от известни точкови цели, чиито координати са определени с използването на други източници. Трябва да се има предвид, че върху точността на определяне на координатите и параметрите на движение влияят не само техническите характеристики на РЛС, но и възможността на съпровождащия алгоритъм да реагира при маневриране на наблюдаваната цел. При това в изразите, с които се изчислява точността в границите на $\pm 2\sigma$ участва и времето за откриване на маневра.

При бреговите системи за радиолокационно наблюдение точността на измерване на разстоянието в метри се определя с израза:

$$\Delta R = 4{,}4\frac{\left(\frac{c.\tau}{2}\right)}{\sqrt{\omega_s.t_m}} \quad (4.64)$$

Точността на измерване на азимута в градуси се определя с израза:

$$\Delta\beta = 4{,}4\frac{\theta_\beta}{\sqrt{\omega_s.t_m}} \quad (4.65)$$

Точността на изчисляване на скоростта в метри за секунда се определя с израза:

$$\Delta V = 2{,}9\sqrt{\frac{\left(\frac{c.\tau}{2}\right)^2 + R^2.\theta_\beta^2}{\omega_s.t_m^3}} \quad (4.66)$$

Точността на изчисляване на курса в градуси се определя с израза:

$$\Delta C = \frac{522}{\pi V}\sqrt{\frac{\left(\frac{c.\tau}{2}\right)^2 + R^2.\theta_\beta^2}{\omega_s.t_m^3}} \quad (4.67)$$

където $R$ е разстоянието до целта;

$V$ – скоростта на целта;

$\omega_s$ – скоростта на въртене на антената в обороти за мин.;

$\tau$ – продължителността на импулса;

$\theta_\beta$ – ширината на диаграмата на насоченост на антената в хоризонталната равнина

$t_m$ – времето за откриване на маневра, при която векторът на скоростта се променя до $\pm 3\sigma$.

При това трябва да се има предвид, че точността на определяне на курса трябва да се извършва при наличието на някаква минимална скорост на целта. За бавнодвижещи се цели точността на курса може да остане неопределена в случай, че изминатото от целта разстояние за един обзор е по-малко или дори съизмеримо с грешките при определяне на позицията на целта.

## 4.7. Обработка и разпознаване на радиолокационни изображения

### 4.7.1. Обработка на радиолокационния сигнал

Въведения в компютъра радиолокационен сигнал се подлага на няколко вида обработки с цел подтискане на смущенията и извличане на допълнителна информация:

- Обработка на една отделна развивка (on sweep processing) – има за цел подтискане на фоновия шум и изчистване на единични импулсни смущения;
- Обработка между няколко развивки, междуредова обработка (from sweep to sweep processing) – тази процедура изисква запомняне на няколко развивки в паметта и тяхната едновременна обработка. Тъй като ширината на диаграмата на насоченост в хоризонталната равнина е достатъчно голяма, информацията в няколко съседните развивки не би трябвало да се различава съществено. Както беше казано по-горе, случайните отражения, класифицирани като смущения не се срещат във всяка развивка и при сравняване ще се редуцират в сравнение с отраженията от реалните цели, които присъстват във всяка развивка.Търсенето на съвпаденията и елиминирането на различията в съседните развивки подобрява отношението

„Сигнал/Шум“. Тази обработка предизвиква известно закъснение при изобразяване на резултата, но то е в границите на няколко милисекунди и следователно може да се пренебрегне;

- Обработка между няколко обзора, междукадрова обработка (from scan to scan processing) – използва се при подтискане на смущенията, предизвикани от развъняваната морска повърхност при откриване на малки отдалечени цели. Тази обработка изисква запомняне и съхраняване на няколко радиолокационни обзора и предизвиква закъснение при изобразяването на резултата от порядъка на няколко секунди, което е недопустимов системите за управление на трафика на плавателните съдове. Ето защо тя би следвало да се прилага в изключителни случаи и само за времето на откриване на целта. След нейното захващане за съпровождане тази обработка би трябвало да се преустанови. Трябва да се има предвид още и че координатите на целта в този случай не са точни и грешката нараства с увеличаване на нейната скорост.

Морските радиолокационни станции работят в условията на постоянно-променяща се околна среда. Отразената от нея и върната към приемника енергия може да варира в много широки граници – от чисто термален шум (без отражение от морската повърхност) до силни импулсни отражения от водната повърхност и от различни атмосферни нееднородности, чието разпределение е различно от нормалното (Гаусово). Основната обработка на отделната развивка в съвременните радиолокационни системи за наблюдение на морската повърхност е т.нар. обработка за осигурявне на постоянна вероятност за лъжлива тревога (*Constant False Alarm Rate, CFAR*). Както беше споменато по-горе откриването на наблюдаваната цел на фона на шумове и на смущения от различен вид се извършва с помощта на прагова стойност (*Treshold*), с която се сравнява отразения от целта сигнал. При това върху вида и параметрите на този сигнал оказват влияние редица случайни фактори, като промяната в стойността на ЕПР-а на наблюдаваната цел, свойствата на електромагнитните вълни (разсейване, поглъщане, рефракция и интерференция), както и вида и качествата на автоматичните устройства за вземане

на решение. Поради тази причина откриването на отразените от наблюдаваните цели радиолокационни сигнали е статистическа задача от областта на теорията за вземане на решения, свързана със сбъдването на определена хипотеза.

Теорията за откриване на сигнали на фона на смущения (*Signal Detection Theory, SDT*) е разработвана по време на втората световна война, когато радиолокационните станции са били използвани са търсене на самолетите на противника. Приетият от станцията сигнал съдържа както отражения от наблюдаваната цел *s(t)*, така и различни видове смущения, означени тук като адитивен шум *n(t)*, т.е.

$$y(t) = s(t) + n(t)$$

Този сигнал се сравнява с прагова стойност $V_T$ за да се вземе решение за наличие или отсъствие на цел. В конкретния случай хипотезите са две – H1: да, има цел, целта е открита и H0: не, няма цел, измерването съдържа само шум, както е показано на фиг. 4.38:




Фигура 4.38. Откриване на сигнала на фона на смущения

При това са възможни четири характерни ситуации:

- Първо, сигналът да не надвишава праговата стойност и да се вземе правилно решение, че няма цел (т.е. правилно неоткриване, Correct Rejection);
- Второ, сигналът да надвишава праговата стойност и да се вземе правилно решение за наличие на цел (т.е. правилно откриване, Detection, Hit);
- Трето, сигналът да надвишава праговата стойност без да има цел и да се вземе неправилно решение за наличие на цел (лъжлива тревога, False Alarm);

- И четвърто, сигналът да не надвишава праговата стойност при наличие на цел и да се вземе неправилно решение, че няма цел (пропуск на цел, Target Miss), вж. фиг. 4.40.

Очевидно в последните две ситуации се допускат грешки при вземане на решение. В едната от тях прагът очевидно е позициониран твърде ниско, при което някои смущения с по-голяма амплитуда ще бъдат класифицирани като цели (*False Alarm*). В другата ситуация прагът е позициониран твърде високо, при което някои цели може да бъдат пропуснати (*Target Miss*), както е посочено на фиг. 4.39. Вероятностите да се случат тези събития се означават съответно с $P_{FA}$ и $P_{TM}$ . Вероятността за правилно откриване се означава с $P_D$, а за правилно неоткриване – с $P_{CR}$.

| | | **Според откривателя (H)** | |
|---|---|---|---|
| | | **Да, има цел** | **Не, няма цел** |
| **В действителност (A)** | **Да, има цел** | **H1A1**<br>**Правилно откриване**<br>**(Detection, Hit)** | **H0A1**<br>**Лъжлива тревога**<br>**(False Alarm)** |
| | **Не, няма цел** | **H1A0**<br>**Пропуск на цел**<br>**(Target Miss)** | **H0A0**<br>**Правилно неоткриване**<br>**(Correct Regection)** |

Фигура 4.39. Разпределение на събитията при откриване на сигнал

Вероятностите за реализиране на всяка една от описаните по-горе ситуации в действителност са условни и се определят с израза

(4.68) $$P(A/H) = \frac{P(HA)}{P(H)},$$

където *P(HA)* е вероятността за едновременното осъществяване на събитието А и на избраната хипотезата Н,

*P(H)* – вероятността да се осъществи избраната хипотеза.

Вероятността за правилно откриване, напр. се определя с израза

$$P_D = P(A1/H1) = \frac{P(H1A1)}{P(H1)},$$

а вероятността за пропуск на цел – с израза

$$P_{TM} = P(A0/H1) = \frac{P(H1A0)}{P(H1)}.$$

Сумата от двете вероятности е 1, тъй като правилното откриване и пропускът на цел представляват пълна група събития:

(4.69) $$P_D + P_{TM} = 1.$$

Същото се отнася и за вероятностите за правилно неоткриване и за лъжлива тревога:

(4.70) $$P_{CR} + P_{FA} = 1,$$

където $P_{CR} = P(A0/H0) = \frac{P(H0A0)}{P(H0)}$, а

$$P_{FA} = P(A1/H0) = \frac{P(H0A1)}{P(H0)}.$$

От практическа гледна точка интерес представляват вероятността за правилно откриване $P_D$ и вероятността за лъжлива тревога $P_{FA}$.

Решението за наличие на цел обикновено се основава на някаква стратегия, представена като правило за вземане на решение, което е свързано с отношението на правдоподобие. В морската радиолокация най-често се използва критерият на Нейман - Пиърсън (*Neyman - Pearson*), при който се търси максимална стойност на вероятността за правилно откриване $P_D$ при условие, че вероятността за лъжлива тревога не надвишава определена предварително зададена стойност ( $P_{FA} \le \varepsilon$ ). Тези изисквания се използват при определяне на праговото ниво. Веднъж определено, то позволява да се вземе решение, както следва:

- Ако стойността на текущото измерване е над праговата, приема се хипотезата H1 (сигнал + шум);
- Ако стойността на текущото измерване е под праговата, приема се хипотезата H0 (шум).




Фигура 4.40. Фиксиран праг на откриване (Treshold, $V_T$):
$V_{T1}$ – твърде висок, пропуск на цел; $V_{T2}$ – твърде нисък, лъжлива тревога

На фиг. 4.41 са показани графичните зависимости на плътностите на вероятностите за наличие или отсъствие на сигнал на фона на шума от амплитудата на текущото измерване в радиолокационната развивка.

Известно е, че вероятността да се случи определено събитие се представя с площта под кривата на функцията, затворена в опрелени граници. Ако с $f_n(v)$ се означи функцията, показваща плътността на вероятността за наличие единствено на шум, то вероятността текущото измерване да се намира между две стойности $v_1$ и $v_2$ (т.е. площта под кривата на функцията, затворена между тези стойности) ще се определи с израза:

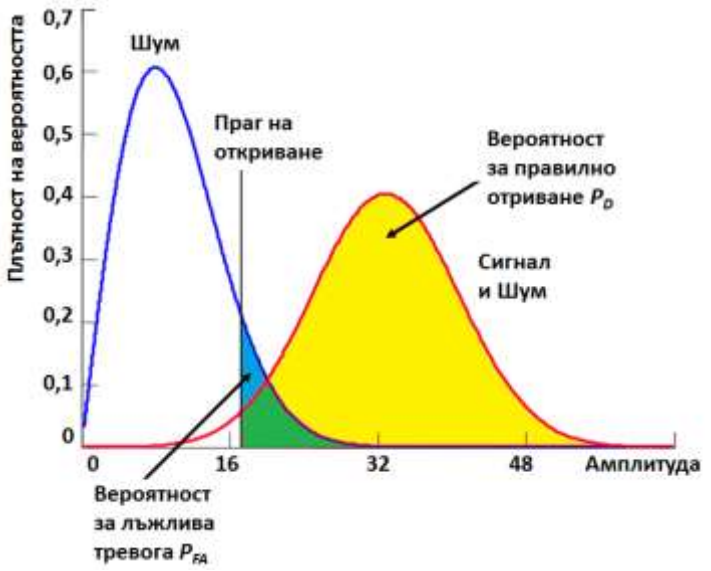
$$P(v_1 \le y(t) \le v_2) = \int_{v_1}^{v_2} f_n(v)dv\,. \tag{4.71}$$

По аналогичен начин вероятността за лъжлива тревога ще се определи като площта под кривата на функцията, която остава в дясно (т.е. над) праговата стойност:

(4.72) $$P_{FA} = \int_{V_T}^{\infty} f_n(v)dv .$$

Ако с $f_s(v)$ се означи функцията, показваща плътността на вероятността за наличие на сигнал на фона на смущенията, то вероятността за правилно откриване ще се определи като площта под кривата на функцията, която остава в дясно (т.е. над) праговата стойност:

(4.73) $$P_D = \int_{V_T}^{\infty} f_s(v)dv .$$




Фигура 4.41. Определяне на праг на откриване

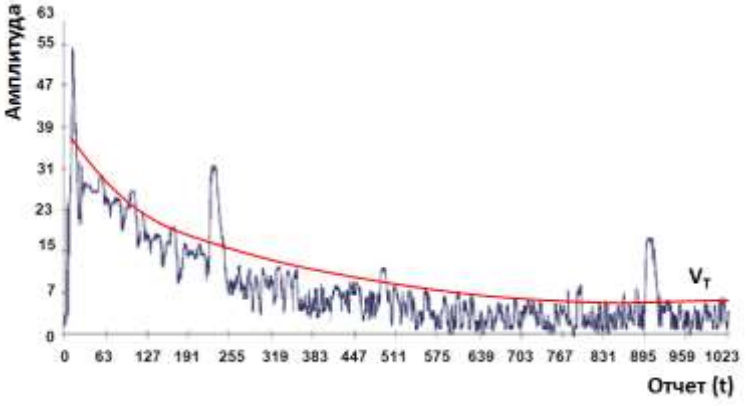
Отношението между прага на откриване $V_T$ и вероятността за лъжлива тревога $P_{FA}$ се определя с израза:

(4.74) $$V_T = \sqrt{2\psi^2 \ln\left(\frac{1}{P_{FA}}\right)},$$

където $\psi^2$ е мощността на шума.

Ако мощността на шума не се променя прагът на откриване може да остане фиксиран. В общия случай обаче мощността на шума се променя. Стратегията за

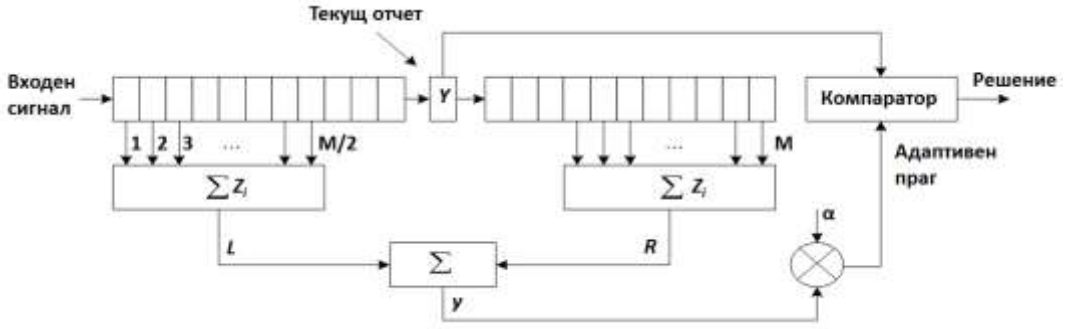
непрекъснато изменение на прага на откриване с цел поддържане на постоянна вероятност за лъжлива тревога се нарича CFAR (*Constant False Alarm Rate*). CFAR е свойство на праговата стойност, която поддържа приблизително постоянно ниво на лъжлива тревога и в случаите, когато нивата на шума се променя. Очевидно е, че CFAR – откривателят определя праговата стойност за да предостави близко до оптималното подтискане на смущенията, следвайки осреднената стойност на радиолокационния сигнал и по този начин редуцирайки смущенията до минимално-възможното ниво. В този смисъл работата на CFAR – откривателя е много подобна на принципа на адаптивното усилване (АРУ, Автоматичното регулиране на усилването), както е показано на фиг. 4.42.




Фигура 4.42. Прилагане на адаптивен праг на откриване

Правилното опоределяне на праговата стойност $V_T$ изисква познаване на характера на отраженията по цялото разстояние. Поддържането на постоянна вероятност за лъжлива тревога се получава, като информацията за прага на откриване се извлича от точките, разположени в съседство на точката, представяща текущото измерване. За да се избегне влиянието на целта върху съседните й точки, както и в случаите при протяжни цели, се предвиждат защитни интервали от няколко съседни точки, в ляв и в дясно на текущата, които не участват във формирането на прага на откриване. Блоковата схема на откривателя с постоянна вероятност за лъжлива тревога (CFAR откривател) е показана на фиг. 4.43.

Входният сигнал постъпва последователно в определен брой клетки, включващи преден и заден (или все същото – ляв и десен) прозорец, защитни интервали, както и текущия отчет. Прагът на откриване за текущия отчет, който може да бъде ограден допълнително със защитни интервали, се получава като резултатът от обработката на стойностите на отчетите, заобикалящи текущия от ляво ($L$) и от дясно ($R$), се умножи по коефицент $\alpha$. Стойността на този коефициент, както и броят на отчетите M и ширината на защитните интервали зависят от статистическите показатели на смущенията от морската повърхност.




Фигура. 4.43. Блокова схема на CFAR-Откривател

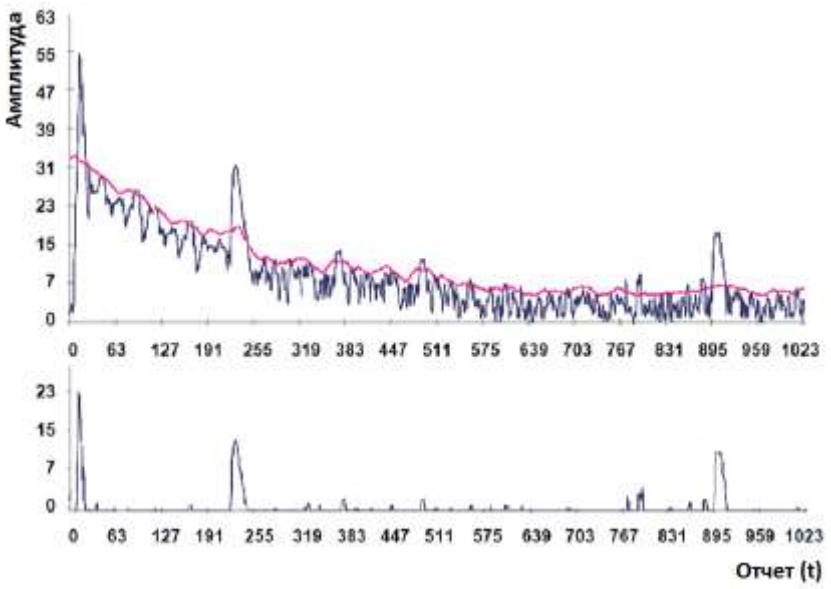
Така описаното устройсто, работещо с осреднената стойност на отчетите от съседните клетки е известно като Cell-Average Constant False Alarm Rate detector (CA–CFAR). Ефективността му е пряко зависима от дължината на филтъра и корелацията на прага и отраженията от повърхността. CA–CFAR е оптимален откривател (максимизира вероятността за откриване) при хомогенна отразяваща среда. В този случай откриването ще бъде както следва:

- Ако (Y > α.y) то решението ще е за наличие на цел и стойността (Y – α.y) ще се запише на изхода, след което всички клетки се изместват с една позиция на дясно.
- Ако (Y < α.y) то няма наличие на цел и клетките се изместват без запис.

Времедиаграмата, показана на фиг. 4.44 илюстрира резултатите от работата на CFAR откривателя върху реален сигнал.

В табл. 4.6 е показана връзката между осреднения адаптивен праг на откриване (Adaptive Detection Treshold, ADT), вероятността за лъжлива тревога $P_{FA}$, коефицентът $\alpha$ за процесор с фиксиран праг при различни стойности на M. Стойността на $M$ се избира компромисно, като целта е да се допуснат приемливи загуби при откриване. Ако например

$P_{FA} = 1.10^{-6}$, то параметри могат да бъдат $M = 16$, и $\alpha = 1{,}371$.




Фигура 4.44. Времедиаграма на адаптивен праг, формиран с помощта на CA-CFAR

Таблица 4.6

| $P_{FA}$ | Оптимален ADT | M = 8 | | M = 16 | | M = 24 | | M = 32 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $\alpha$ | ADT | $A$ | ADT | $\alpha$ | ADT | $\alpha$ | ADT |
| $1.10^{-4}$ | 9,21 | 2,162 | 17,3 | 0,778 | 12,45 | 0,468 | 11,23 | 0,334 | 10,673 |
| $1.10^{-6}$ | 13,80 | 4,623 | 37,0 | 1,371 | 21,94 | 0,778 | 18,68 | 0,540 | 17,278 |
| $1.10^{-8}$ | 18,42 | 9,000 | 62,0 | 2,162 | 34,60 | 1,154 | 27,71 | 0,778 | 24,905 |

Вероятността за правилно откриване $P_D$ нараства с нарастването на отношението „сигнал/шум“. Ако броят на клетките със силни смущения от морската повърхност се означи с $R$, то $P_D$ ще намалява с увеличаването на $R$. Критична е стойността

$R = \frac{M}{2}$, при достигането на която се наблюдава рязко влошаване на работата на CFAR детектора.

Възможно е използването и на други, различни от представения по-горе алгоритми за определяне на текущата прагова стойност в зависимост от атмосферните условия и състоянието на морската повърхност. Някои от тях са описаните с изрази от (4.75) до (4.78):

(4.75) $$E = E_0 + \frac{L+R}{2},$$

(4.76) $$E = \begin{cases} E_0 + \frac{L+R}{2}, d \geq D \\ E_0 + \max(L, R), d < D \end{cases},$$

(4.77) $$E = \begin{cases} E_0 + \min(L, R), d \geq D \\ E_0 + \frac{L+R}{2}, d < D \end{cases},$$

(4.78) $$E = \begin{cases} E_0 + \min(L, R), d \geq D \\ E_0 + \max(L, R), d < D \end{cases}.$$

В горните изрази $E_0$ е началното отместване, зададено от оператора,

$L$ – средната стойност на отчетите в левия прозорец;

$R$ – средната стойност на отчетите в десния прозорец;

$d$ – позицията на текущия отчет;

$D$ – началното разстояние.

Използването на по-голямата от двете средни стойности *max(L, R)* (*Greatest–of Mean Level*) намалява нивото на лъжлива тревога при смущения в близост до целта. При наличие на други цели в непосредствена близост обаче прагът на откриване се повишава, което води до намаляване на $P_D$.

Използват се и алгоритми, при които някои от екстремните стойности в изчислителните прозорци се изключват (*Cenzored Greatest–of CFAR*). Получените резултати обаче не винаги оправдават изчислителния ресурс, който се използва в този случай.

Съвременното технологично ниво на електронната индустрия дава добри възможности за реализация на CFAR на базата на използване на специализирани интегрални схеми FPGA. Наличните ресурси могат да бъдат използвани за създаване на допълнителни модули, като SDRAM контролер, които да работят с външни интегрални схеми и по този начин да разтоварят основния процесор от изпълнението на бързи и сравнително несложни задачи.

### 4.7.2. Автоматично разпознаване на радиолокационните цели

Радиолокацията е област от радиоелектрониката, предназначена за откриване на обекти с помощта на високочестотни електромагнитни колебания (радиовълни) и за измерване на техните координати и параметри на движение. В съвременните системи за радиолокационно наблюдение се извършват допълнителни обработки на сигналите с цел извличане на повече информация за наблюдаваните обекти, необходима за тяхното последващо разпознаване, класификация, определяне на размерите, националната им принадлежност и пр.

Както беше посочено по-горе сигналът, съдържащ информация за наблюдавания обект, който се използва в процеса на разпознаване може да включва още и различни видове смущения. Това е причината задачата по автоматично разпознаване на радиолокационните цели да се разглежда като статистико - вероятностна задача, а методите и алгоритмите, които се използват за нейното решаване, са базирани на статистическата теория за вземане на решения. Според тази теория разпознаването на радиолокационното изображение се свежда до установяване на съответствие между наблюдавания обект и някакво параметрично пространство, най-често n-мерно Евклидово пространство, $\boldsymbol{E^n}$. В този случай обектът, който трябва да бъде разпознат, се представя като точка / вектор, принадлежащ на това пространство. Класификацията на обекта в дадена група класове се извършва по разстоянието между различни точки в това пространство.

Ако разпознаването на радиолокационната цел се свежда до определяне на нейния тонажен клас и размери, това би могло да се използва за подобряване на процеса по съпровождане на целта по време на маневра. Приложено в областта на морската навигацията радиолокационното разпознаване ще позволи наблюдаваната цел да бъде разглеждана не просто като движеща се точка, а като тяло с присъщите му възможности за осъществяване на маневри. Наличието на повече информация за целта ще позволи да се предскажат нейните маневрени характеристики. Известно е например, че диаметърът на циркулация на търговските кораби се оценява приблизително на 3–4 техни дължини (дължина между перпендикулярите, LBP). По-прецизните изчисления ще изискват допълнителна информация за водоизместването, скоростта, ъгъла на перото на руля и някои други параметри на кораба, свързани с неговата конструкция. В един от най-често прилаганите модели движението на кораба се описва с израза:

$$\begin{cases} \dot{x} = v.\sin(\phi - \beta) \\ \dot{y} = v.\cos(\phi - \beta) \\ \dot{\phi} = \varpi \\ \varpi = K.\Omega \\ \dot{\Omega} = -\dfrac{v_0^2}{2pL^2}\left[\dfrac{qL}{v_0}\Omega + s_{31}\delta\right], \\ \dot{\beta} = -\dfrac{v_0}{2pL}\left[q\beta + s_{21}\delta\right] \\ v = K.v_0 \\ K = \left(1 + \dfrac{1{,}9\Omega^2 L^2}{v_0^2}\right)^{-1} \end{cases}$$

където $(x, y)$ е позицията на кораба в ортогонална координатна система,

$$\dot{x} = \frac{dx}{dt},$$

$\phi$ – курса,

$\omega$ – степен на промяната на курса,

$\Omega$ – степен на промяната на вектора на скоростта,

$\beta$ – ъгъла (посоката) на дрейф на кораба,

$\delta$ – ъгъла на перото на руля.

$v = v(\Omega)$ и $v_0 = v(0)$ са скоростите на кораба при степен на промяна на вектора на скоростта $\Omega$ и $\Omega = 0$, а $p$, $q$, $s_{21}$ и $s_{31}$ са хидродинамични константи, зависещи от геометрията на кораба и в частност, от неговата дължина $L$.

Дискретната форма на този модел при $\beta = 0$ има следния вид:

$$\begin{cases} x_{k+1} = x_k + T.v_k \sin(\phi_k) \\ y_{k+1} = y_k + T.v_k \cos(\phi_k) \\ \phi_{k+1} = \phi_k + T.v_k \left[\Omega_k + 0{,}5(\Omega_k - \Omega_0).Tv_k \tau.e^{Tv_k\tau}\right] \\ \Omega_{k+1} = \Omega_k.e^{Tv_k\tau} + \Omega_k.\left(1 - e^{Tv_k\tau}\right) \\ v_k = K.v_0 = v_0.\left(1 + 1{,}9\Omega_k^2 L^2\right)^{-1} \end{cases}$$

където $\tau = -\dfrac{\frac{p}{2} - \sqrt{\frac{p^2}{4} - q}}{L}$ е времеконстанта, която може да бъде приравнена на 0 в случай на постоянна скорост на поворота, т.е. в случай, че $\Omega_{k+1} = \Omega_k$, а $\Omega_0 = \dfrac{\Omega}{v_0}$.

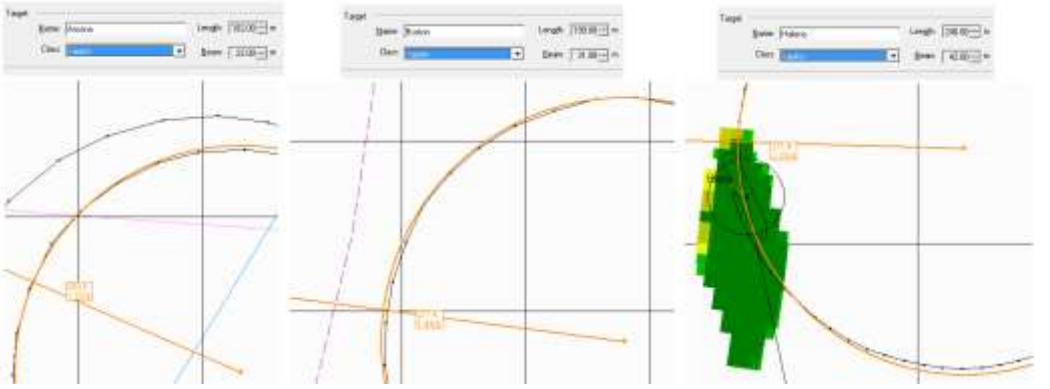
При това се елиминира влиянието на хидродинамичните константи, като остава само влиянието на дължината $L$, която се приема за известна.

Другата неизвестна величина $\Omega_\kappa$ по подразбиране приема една от следните три възможни стойности $\{0, \Omega_C, -\Omega_C\}$, представящи съответно движения по права линия, поворот на ляво и поворот надясно, наричани още „координирани повороти“. Тук $\Omega_C$ е константа с предварително-определена стойност.

Използването на средни стойности на параметрите за цел, принадлежаща на определен клас ще позволи лесно определяне на нейната кинематика, а от там и нейното поведение по време на маневра. Представено по този начин, радиолокационното разпознаване на морски обекти би могло да се разглежда като елемент на вторичната обработка на радиолокационната информация (т.е. като елемент на съпровождането). Алгоритмите, осъществяващи такъв тип съпровождане се наричат алгоритми, основаващи се на знанията (Knowledge Based Tracking, KBT).

На фиг. 4.50 е показана маневра „циркулация“ на кораби с различна дължина. Вижда се, че диаметърът на циркулация е пропорционален на дължината на кораба. На фиг. 4.50а) – кораб с дължина 182 m – диаметър 2,66 kbt (492,6 m); на

фиг. 4.50б) – кораб с дължина 199 m – диаметър 2,86 kbt (592,7 m); и на фиг. 4.50в) – кораб с дължина 246 m – диаметър 4,40 kbt (814,9 m).



а) б) в)

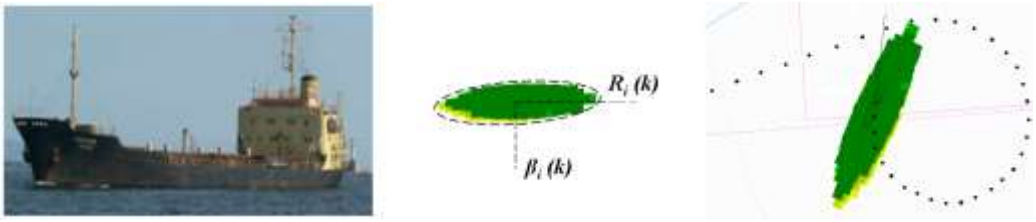
Фигура 4.50. Диаметърът на циркулация на наблюдаваната цел е пропорционален на нейната дължина

## 4.8. Алгоритми за съпровождане, основани на знанието

### 4.8.1. Общи сведения

Съвременните системи за съпровождане в радиолокацията са базирани на алгоритми, използващи голямо количество информация и наречени още алгритми, основаващи се на знанието (Knowledge – Based, KB algorithms, Knowledge – Based Tracking, KBT). Те се прилагат все по-често както в брегови системи за радиолокационно наблюдение, така и в корабни навигационни РЛС, след множество тестове и изпитания с различни видове цели (от плувци, джетове и малки надуваеми лодки (Rigid Inflatable Boats, RIBs) до големи контейнеровози и супер танкери) и при различни географски и метеорологични условия. Системите, основаващи се на знанието използват информация за състоянието на околната среда и за характеристиките на наблюдаваните цели за да подобрят работата на алгоритмите за съпровождане, особено в случаите на голям брой цели. Състоянието на околната среда се описва чрез формиране на карта на смущенията в района на наблюдение. След формиране на радиолокационното изображение (белег) целта се

идентифицира, за да се опише нейното движение със съответните параметри. След преобразуване в цифров вид отразените сигнали в приемника на РЛС се избират за формиране на белега на целта, ако тяхната амплитуда надвишава определено ниво (напр. с помощта на CFAR откривателя, описан в т. 4.7.). Всяко изображение се характеризира с мястото на неговия център на тежестта, неопределеността на неговата позиция, размерите по разстояние и по азимут и амплитудите на формиращите го отчети, както е показано на фиг. 4.51.




а) б) в)

Фигура 4.51. Съпровождане на основата на знанието: от реалната цел а) през радиолокационното изображение б) до траекторията на съпровождане върху електронната карта в)

Изброените параметри на изображенията се предават по-нататък за процеса по съпровождане. Важно е да се отбележи, че докато в корабните РЛС целите се захващат за съпровождане най-вече от оператора, т.е. ръчно, то в брегови системи за наблюдение захващането се извършва автоматично. При това изображенията се формират от всеки по-значителен видеосигнал, независимо дали той е отразен от търсените цели (лодки, кораби, буйове, самолети, хеликоптери и т.н.) или от нежелани цели (ветрогенератори, птици и т.н.), или пък представлява лъжлива тревога, предизвикана от шумоподобни смущения, като отражения от морската повърхност, от дъжда или от термален шум в приемника. Последващият процес за съпровождане се използва за отделяне на белезите на търсените цели от белезите, формирани от нежелани и лъжливи цели. За целта се формира карта на плътността на смущенията, която се използва като предпоставка в процеса на съпровождане. Картата на смущенията е адаптивна и се поддържа от съпровождащия алгоритъм. Тя се използва за да усили белега на всяка търсена цел с оценката на плътността на

смущенията, която да се използва от логиката за свързване на данните в съпровождащия алгоритъм за настройка на агресивността или консерватизма при откриване на траектория, управление на процеса по съпровождане или прекъсване на съпровождането и закриване на траекторията.

Основните цели, които се поставят за решаване пред системите за съпровождане, основаващи се на знанието са:

- намаляване на броя на лъжливите траектории (по дефиниция лъжлива траектория е следата, създадена от белези, идващи от различни видове шумове или смущения);
- ускоряване и повишаване на ефективността при инициализиране на истински траектории;
- подобряване на използването на истинските траектории.

Алгоритъмът за съпровождане постига тези цели комбинирайки информацията, която постъпва от радиолокационния сензор (отраженията от целите и различните видове смущения) с контекстуалната информация (географската карта, метеорологичната карта и картата на смущенията), както и с характеристиките на целите.

Архитектурата на системата за съпровождане трябва да вземе предвид и сценария, в който оперира радиолокационната система, който се характеризира с наличие на множество цели с различни кинематични свойства. За тази цел се използва разширен изглаждащ филтър, който позволява прилагане на различен подход за всеки тип цел, която може да се появи в зоната на наблюдение. Изборът на подходящ филтър за всяка цел обикновено се управлява от интерактивен многомоделен алгоритъм (Interactive Multi Model, IMM).

Ако например в системата за съпровождане се използват $\alpha$-$\beta$ филтри, като описаните в раздел 4.6, то при откриване на маневра коефициентите $\alpha$ и $\beta$ трябва да се променят по предварително избран алгоритъм. С прилагане на съчетание на $\alpha$-$\beta$ филтъра с IMM алгоритъма може да се предвиди използването на два филтъра: първият с малък коефициент на усилване ($\alpha 1$-$\beta 1$), който се прилага при движение на цел с отсъствие на маневра и вторият – с голям коефициент на усилване ($\alpha 2$-$\beta 2$) –

при наличие на маневра. В съвременните системи за съпровождане обикновено се използва разширен Калманов филтър (Extended Kalman Filter, EKF).

Другият важен проблем в съпровождането на наблюдаваните цели е асоциирането, т.е. присъединяването на белезите на наблюдаваните цели към траекториите. Съществуват различни подходи при реализацията на този процес, които включват най-близкия съсед (Nearest Neighbor, NN), асоцииране на базата на вероятностите (Probabilistic Data Association, PDA), съпровождане с множество хипотези (Multiple Hypothesis Tracking, MHT) и др. Алгоритъмът за най-близкия съсед се използва широко, особено при ниски изисквания към изчислителните възможности, но напоследък все по-често се прилагат и другите механизми за асоцииране.

Другата важна задача, която алгоритъмът за съпровождане изпълнява е свързана с откриването и закриването на траектории. Най-често това се осъществява чрез прилагане на т.нар. логика "*M / N*".

Съпровождането на радиолокационни цели се осъществява посредством интегриране на процесите на филриране, асоцииране и формиране на траектории с използването на наличните данни. В частност, съпровождането на радиолокационни цели, основаващо се на знанието може да осъществи тази интеграция посредством:

- използването на географски карти за да извърши измерване (или дискретно, или непрекъснато) на плътността на шума за всяка радиолокационна клетка;
- настройването на някои ключови параметри на алгоритмите за филтриране, асоцииране и формиране на траектории на базата на измерванията на плътността на смущенията;
- въвеждането на подходящи стратегии за управление на критичните зони, които всъщност са зоните с висока плътност на смущенията;
- използване на характеристиките на целите за тяхната идентификация;
- използване на идентифицирания тип на целта в процесите на филтриране и асоцииране.

В процеса на съпровождането на радиолокационни цели при всеки обзор на станцията се получава множество от белези на цели с техните полярни координати:

(4.85) $$Z(k) = \{z_i(k) = [R_i(k), \beta_i(k)]\},$$ за $k = 1, 2, \ldots m(k)$.

Системата за съпровождане използва тези измервания за решаване на следните задачи:

- филтрация – обновяване на позицията на целта и на модела на нейното движение;
- асоцииране на данните – свързване на всяко измерване с някоя от съществуващите траектории;
- инициализиране на траектория – при откриване на наличието на нова цел в зоната на радиолокационния обзор.

Филтрацията включва определяне на координатите и скоростта на целта (т.е. на нейната кинематика) и на модела на нейното движение. Както беше посочено в т. 4.6, когато моделът на движение е линеен, за целта се използват изглаждащи алгоритми / филтри, като $\alpha$-$\beta$ филтър или Калманов филтър. Когато моделът на движение е нелинеен за целта се използва разширен Калманов филтър. И в двата случая обаче филтрите ще допускат грешки при съпровождането на цели, които маневрират с високи скорости. За избягване на грешки в тези случаи се използват многомоделни филтри, които предоставят известна гъвкавост в моделирането на различните поведения на целта по време на нейното движение. В действителност многомоделният алгоритъм съдържа набор от филтри, всеки от които е основан на определен модел, приложим към едно възможно поведение на целта (равномерно праволинейно движение, координиран поворот на ляво или на дясно). В зависимост от подбора на възможните модели и от начина на взаимодействие между филтрите съществуват различни начини за реализация на многомоделни филтри: статичен (Static Multiple Model, SMM), обобщен псевдо-Бейсовски (Generalized Pseudo-Bayesian, GPB), интерактивен (Interactive Multiple Model, IMM) или интерактивен многомоделен алгоритъм с променлива структура (Variable Structure IMM, VS-IMM).

Нека $M = \{M_1, M_2, ...M_n\}$ представя множеството от модели на движение, в което всеки модел се описва с израза:

$$M_i = \begin{cases} x(k+1) = f_i(x(k)) + w_i(k) \\ z(k) = h(x(k)) + v(k) \end{cases},$$

където $x$ е текущото състояние на целта,

$z$ – измерената позиция на целта,

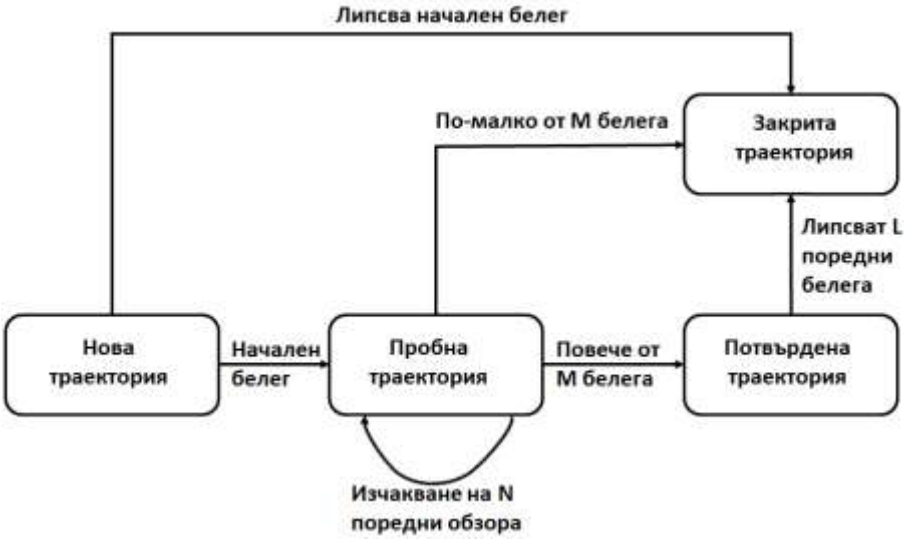
$w_i$ и $v$ – шумовете в процеса на съпровождане и в измерванията, съответно

$f_i(\,)$ и $h(\,)$ – функции, които могат да се променят се във времето.

Началното състояние на целта се описва с изрази (4.49) и (4.50) и се променя за времето на нейното съпровождане.

При използване на интерактивен многомоделен алгоритъм механизмът за преход от един модел към друг се описва с еднородна/хомоменна Марковска верига, при която вероятностите за преход от един модел $M_i$ към друг $M_j$ са постоянни и с определена стойност.

Логиката на откриване, поддържане и закриване на траектория е илюстрирана на фиг. 4.52.




Фигура 4.52. Логика M от N (M/N) за откриване, поддържане и закриване на траектория

Промяната на статуса на траекторията от нова към пробна по времето на k-тия обзор изисква две поредни измервания $z(k-1)=\left[R(k-1),\beta(k-1)\right]\in Z_{NN}(k-1)$ и $z(k)=\left[R(k),\beta(k)\right]\in Z_{NN}(k)$ да удовлетворяват условието:

(4.86) $$\left|R(k).e^{j\beta(k)} - R(k-1).e^{j\beta(k-1)}\right| \le V_{MAX}.T\ ,$$

където $V_{MAX}$ е максималната възможна скорост на целта, а

$T$ – периодът на един обзор.

В този случай за пробната траектория се инициализира съпровождащ/изглаждащ филтър, който да осигури в последващите обзори с поредни номера $i, i > k$ прогнозни (екстраполирани) позиции $z_E(i) := z_E(i \mid i-1)$, нужни за последващото асоцииране. При потвърдените траектории задължително се използва интерактивен многомоделен алгоритъм, докато при инициализация на пробна траектория може да се използва и по-простия Калманов филтър.

Към пробната траектория при всеки следващ обзор се прилага процедурата за асоцииране и се извършва обновяване на изглаждащия филтър. В процеса на асоцииране на даден белег към траекторията има две възможности: или съществува белег, който се асоциира към траекторията, или белегът липсва. За промяна на статуса на траекторията от пробна към потвърдена се прилага т.нар. „*логика M/N*" (M от N). Според тази логика пробната траектория се обявява за потвърдена, ако при $N$ поредни обзора белегът на наблюдаваната цел се появява поне $M$ пъти, където $1 \le M < N$ са положителни цели числа. Стойностите на $M$ и $N$ се определят в зависимост от вероятностите за правилно откриване $P_D$ и за лъжлива тревога $P_{FA}$ на целта. Обикновено $M$ и $N$ се подбират по такъв начин, че да удовлетворяват ограничаващото условие:

(4.87) $$k.P_{FA} \le \frac{M}{N} \le P_D\ ,$$

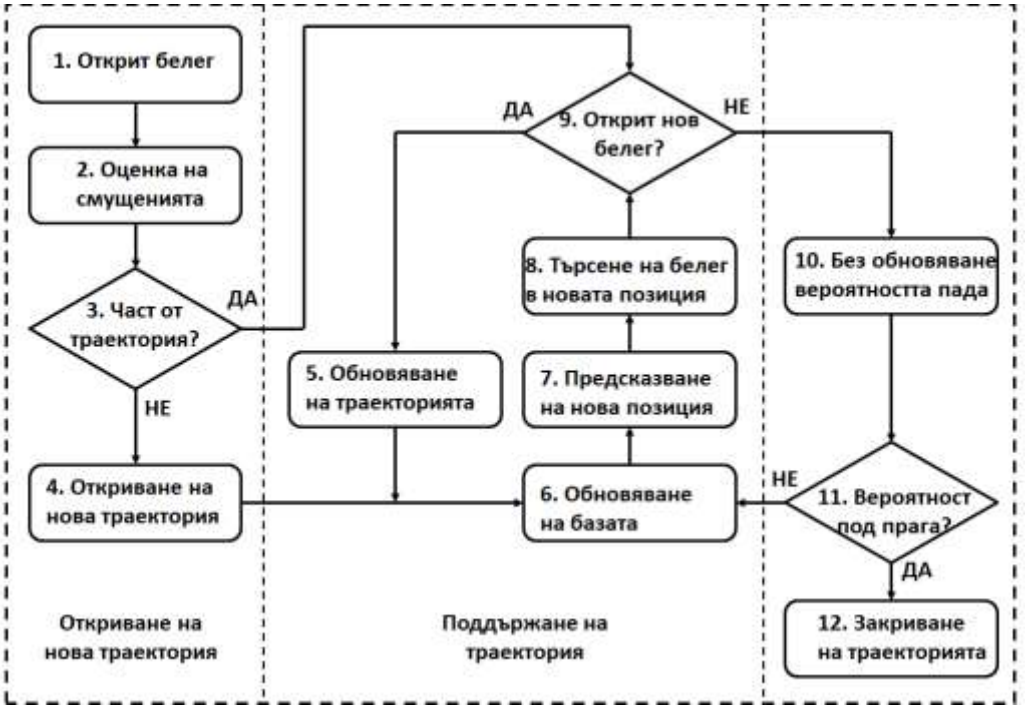
където $k$ е коефициент, зависещ от средната площ на сектора, в който се очаква появяването на целта.

Всяка нова траектория се закрива, ако не удовлетворява условието (4.86). Закриването на пробна траектория се извършва при неуспешна проверка на логиката *M/N*. Една потвърдена траектория може да бъде закрита, ако белегът на целта не се появи в продължение на $L$ поледователни обзора. Възможно е да се инициира и ръчно прекъсване на траектория. Обикновено това се прави от екрана с

графично представяне на траекторията, т.е. от дисплея за управление на РЛС или от екрана на VTS центъра.

Съществуват алгоритми, при които не се прилага логика с фиксирани стойности $M$ и $N$ за потвърждаване на траекторията. При тях $M$ и $N$ се променят пространствено (за определен район) и временно (за известно време) в зависимост от плътността на смущенията. Техните стойности нарастват в райони с висока плътност на смущенията и намаляват в райони с ниска плътност на смущенията. Алгоритъмът за съпровождане може да има и логика, която да се използва за подтискане или ускоряване на процеса по формирането на траектория за съпровождане. В случай на подтискане алгоритъмът става по-бавен в своята логика за инициализация, поддържане и прекъсване на съпровождането (т.е. по-консервативен) до такава степен, че лъжливите траектории да бъдат почти напълно избегнати. Обратно, ускоряването на процеса по формиране на траектория ще доведе до един алгоритъм с бърза инициализация на съпровождането и възможно увеличаване на нивата на лъжливите траектории (т.е. по-опортюнистичен). В допълнение алгоритъмът за съпровождане използва базата от данни (knowledge base) за статистиките на маневрените характеристики на целите, която служи за подпомагане на разграничаването на нежеланите траектории, предизвикани от смущения, от траекториите на истински цели на основата на междукадрова обработка. Това предоставя известна гъвкавост по отношение на възможността на траекторията да асоциира белезите на радиолокационните цели в районите на висока плътност на смущенията и подпомага поддържането на траекториите, преминаващи през такива райони. На фиг. 4.53 е показан алгоритъма на действие на такава система. След формиране на белега на целта (1) и на картата за оценка на смущенията (2) всеки белег се сравнява със съществуващите траектории, записани в базата данни (3, 9). Ако се установи принадлежност на белега към съществуваща траектория (8, 9), траекторията се обновява и се връща обратно в базата данни. Ако обаче се установи, че следата не принадлежи на някоя от съществуващите траектория, тя се разглежда като кандидат за иницииране на нова пробна траектория и се добавя към базата с траектории (6). Веднага щом се въведе в базата, траекторията се използва за предсказване на позицията на целта в следващия обзор

(7). Вероятността на съществуваща траектория, която не се асоциира със съществуващи белези на цели ще бъде намалена (10).

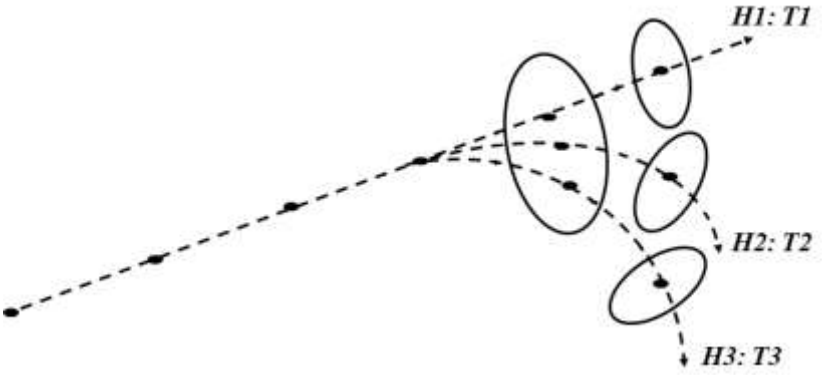



Фигура 4.53. Процедури за откриване, поддържане и закриване на траектории с използване на вероятностни модели

В зависимост от прага на вероятност за прекъсване на траекториите тя или ще бъде върната в базата, или ще бъде прекъсната и заличена. Съпровождащият алгоритъм автоматично настройва броя на обзорите, нуждаещи се от иницииране на траектория в зависимост от плътността на смущенията в района и колко добре една поредицата от белези описва възможната траектория на целта. Ако плътността на смущенията е много висока, може да са необходими няколко обзора за достигане на достатъчна увереност в правдоподобността на траекторията и за избягване на лъжливи траектории. От друга страна в райони с много ниска плътност на смущенията два – три белега ще са достатъчни за иницииране на съпровождане. Адаптирането е напълно автоматично и не изисква намеса на оператор.

Когато предсказва екстраполираната позиция на целта, съпровождащият алгоритъм използва интерактивен многомоделен (IMM) филтър в комбинация с разширени Калманови филтри. При съпровождане с множество хипотези (Multiple Hypothesis Tracking, MHT) напр. се правят няколко предсказвания на основата на различни хипотези за движението на целта (равномерно праволинейно движение с постоянен курс и скорост, координиран/съгласуван поворот на ляво или на дясно и т.н.).

На базата на вероятностите за реализация на различните хипотези се изчислява едно осреднено предсказване, с което се дефинира сектора за появяване на целта в следващия обзор. Аритъмът очаква следващия белег в изчисления район и прави асоциация между белега и траекторията, която се основава на вероятностен модел, като при това се взема предвид и плътността на местните смущения. Тракерът създава вътрешен модел на характеристиките на целта и поддържа този модел чрез актуализиране на вероятностите през времето на жизнения цикъл на траекторията. Процесът по предсказване на следата е илюстриран на фиг. 4.54.




Фигура 4.54. Предсказване на траекторията на наблюдаваната цел - три различни хипотези за три възможни траектории на съпровождане

В процеса на асоцииране на белег към траектория се вземат предвид следните условия:

- възможно е появяването на множество цели, понякога твърде близо една до друга, в района на наблюдение;

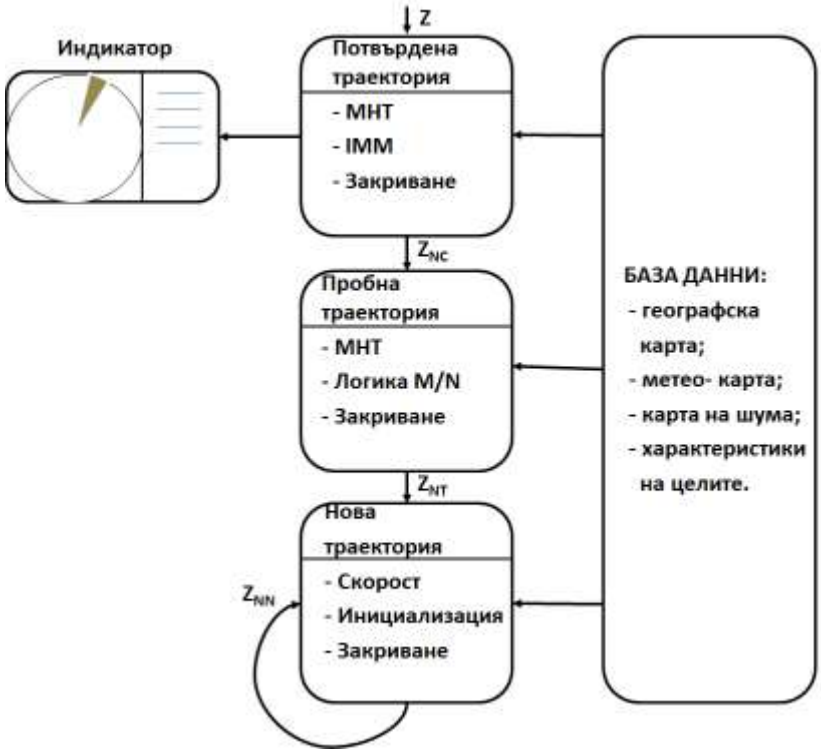
- броят на целите не е фиксиран предварително и появяването на нова цел в района на наблюдение е възможно по всяко време.

Нека $Z = \{z_1, z_2, ..., z_m\}$ е множеството измервания в един обзор на РЛС, а $T = \{\tau_1, \tau_2, ..., \tau_n\}$ е множеството от съществуващи траектории. За успешното решаване на задачата за асоцииране всяка траектория се представя с израза $\tau_j = (z_{Ej}, S_j)$, където $z_{Ej}$ е екстраполираната позиция, предсказваща следващото появяване на целта, а $S_j$ е ковариацията на грешката при екстраполация. Графически горният израз се представя с елипсата, описваща доверителния интервал, т.е. сектора, в който се очаква следващото появяване на целта. И двете величини се обновяват при всяка следваща стъпка в процеса на съпровождане. Целта на процедурата по асоцииране е да намери такова съответствие между редиците {1, 2, …, m} и {1, 2, …, n}, че всяко измерване където $z_i$ да се асоциира с най-много една траектория, както и че всяка към траектория $\tau_j$ ще бъде асоциирано най-много едно измерване.

Важно е да се отбележи, че новата, пробната и потвърдената траектории имат различни приоритети при асоциирането на белезите. Потвърдените траектории получават на всеки обзор (k) цялото множество от измервания $Z(k)$, докато пробните траектории получават само подмножеството от измервания $Z_{NC}(k)$, които са били отказани от потвърдените траектории (вж. фиг. 4.55). Новите траектории получават подмножеството от измервания $Z_{NT}(k)$, които от своя страна са подмножество на $Z_{NC}(k)$ и са били отказани от пробните. Накрая остава подмножеството от измервания $Z_{NN}(k)$, които не са асоциирани от никоя от съществуващите траектории и които ще бъдат използвани за създаване на нови траектории в следващия обзор (k+1).

Когато съпровождащият алгоритъм се основава на използване на знания (“Knowledge-Based” Tracker, KBT), в допълнение към текущото радиолокационно изображение той използва и някаква предварителна информация, отнасяща се до поведението на целта в процеса на нейното съпровождане. Примери за това са резултатите от разпознаването и определянето на принадлежността на целта към

даден клас, нейната кинематика, данните, излъчвани от AIS-транспондера на целта и др.




Фигура 4.55. Логика M от N (M/N)

Идентификацията на целта е изключително важна задача на съпровождането, основано на знания. В опростен вариант тя може да се сведе до класификация по скорост или по амплитуда на отразения сигнал. Тъй като различните цели имат различни динамични характеристики, този факт би могъл да се използва в процеса на идентификация и последващ избор на алгоритъм за съпровождане. При дефиниране на правилата за класификация в допълнение би могла да се използва и информацията от географската карта на района на наблюдение. На тази база би могло да се дефинира следното правило за класификация:

- ако скоростта на целта е под 24,0 knt и целта се намира в морето, то целта е товарен кораб;

- ако скоростта на целта е под 24,0 knt и целта се намира на сушата, то целта е хеликоптер;
- ако скоростта на целта е над 600,0 knt, то целта е самолет, независимо къде се намира.

Горното правило не изисква специално обучение на системата и памет, в която да се съхранява, но в повечето случаи не е достатъчно за правилната и еднозначна класификация. Хеликоптерът например може да бъде класифициран като кораб, ако лети над морето. По-сложните правила ще ограничат нееднозначността на идентификацията, но ще изискват обучение и памет. Добавянето на информация за амплитудата на отразените сигнали ще подпомогне значително правилната идентификация.

Както беше казано в раздел 4.7 класификацията на радиолокационните цели, приложена в навигацията на море позволява всяка наблюдавана цел да бъде разглеждана не просто като движеща се точка, а като тяло с присъщите му характеристики, определени на базата на амплитудите на отразените от него сигнали или все същото – на ефективната повърхност на разсейване (ЕПР). В този смисъл наблюдаваната цел се описва с израза $\left[R_i(k), \beta_i(k), A_i(k)\right]$, където $A_i(k)$ е характеристиката, получена на базата на нейната ЕПР. Дори и ако две цели имат едни и същи координати $\left[R_i(k), \beta_i(k)\right] = \left[R_j(k), \beta_j(k)\right]$, те може да се различават по амплитудните си харатеристики $A_i(k) \neq A_j(k)$, които зависят от размера и профила на целите, материалите, от които са изработени, както и от ъгъла на наблюдение. Съществен проблем в оценката на характеристиката $A_i(k)$ могат да предизвикат различните видове смущения. В морската радиолокация напр. отраженията от морската повърхност могат да имат амплитуди, съизмерми със сигналите, отразени от малки надводни цели. Елиминирането на измерванията, предизвикани от отраженията от морската повърхност може да се постигне с използването на откриватели с постоянна вероятност за лъжлива тревога, както беше показано в раздел 4.7. Трудностите в прилагането на този подход произтичат от факта, че ефективната повърхност на разсейване (ЕПР) на морските цели флуктуира в много широки граници под въздействието на различни фактори. Основният проблем тук е

изборът на подход за извличане на информацията за граничните стойности на тези флуктуации и нейното представяне в алгоритъма за съпровождане. Най-общо съществуват два подхода:

- оценка по време на работа на алгоритъма (on-line оценка);
- оценка извън алгоритъма и въвеждане на резултатите в последствие (off-line оценка).

On-line оценката е трудна за реализация поради произволните флуктуации на ЕПР-а и поради наличието на смущения в резултат на отраженията от морската повърхност, които биха могли по погрешка да бъдат включени в оценката. В резултат на тези ограничения ще са необходими голям брой измервания преди да се получи достатъчно надеждна оценка.

Другият подход е в алгоритъма да бъде включена оценката на ЕПР, която е била извършена off-line. Важното за този тип оценка е надеждната класификация на целите.

За преодоляване на трудностите при реализацията на двата подхода се прилага смесена стратегия, която включва:

- класификацията за определяне на типа на наблюдаваната цел да се извърши с помощта на първите няколко белега, получени в системата;
- извличане на граничните стойности на ЕПР-а за съответния клас от базата данни на системата;
- итеративно усъвършенстване на базата данни на системата с използването на on-line оценките.

След като целта бъде класифицирана, информацията за нейния тип може да бъде използвана на различни етапи в процеса на съпровождане, както следва:

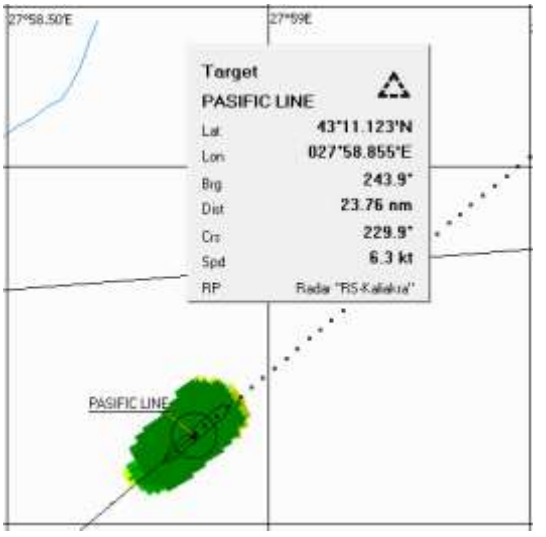
- при асоцииране на белег към траектория. Траекторията на един кораб, плаващ покрай брега, например няма да бъде обновявана с измервания, идващи от сушата;
- при изглаждане на траекторията. Информацията за типа на целта може да предизвика модифициране на моделите в интерактивния многомоделен алгоритъм, като промяна на ъгловата скорост в моделите за контролиран

поворот или промяна на множеството от модели в зависимост от типа а целта.

Оказва се, че дори и грубата класификация на наблюдаваните цели може да подпомогне борбата за елиминиране на голям брой измервания, чиито амплитуди са извън обхвата.

Алгоритъмът за съпровождане изобразява информацията на екрана за поддържане на системата и я предоставя на външни потребители. Информацията включва следните данни за всяка една от наблюдаваните цели:

- Идентификация на целта / траекторията;
- Географски координати на целта по WGS 84;
- Истински пеленг и разстояние до целта (за въздушни цели – радиално разстояние);
- Курс и скорост на целта спрямо дъното;
- Състояние на траекторията;
- Оценка на качеството на следата по STANAG 5516;
- Данни за Асоциирания белег.




Фигура 4.56. Радиолокационно изображение с информация от съпровождането

Данните за съпровождане се предоставят на потребителите в мрежата веднага след като са готови. Част от тях се изобразяват на екрана, както е показано на фиг. 4.56. Всяка траектория се докладва веднъж на обзор независимо дали е обновена или не.

4.9. Подсистема за радиолокационно наблюдение в информационната система за наблюдение на трафика на плавателните съдове VTMIS на Р. България

В подсистемата за радиолокационо наблюдение са включени две групи станции. В първата група се включват станциите, инсталирани по първи и втори етап (Фаза 1 и Фаза 2) от реализацията на проекта, а във втората – новоинсталираните станции по Трети етап (Фаза 3).

Радиолокационните станции от първата група са от тип Брегова радиолокационна станция (БРЛС) "Варна 1", производство на „Черно море АД" и са инсталирани в районите на следните обекти:

1. Район „Север":
   - Балчик 3;
   - Варна Север – местност „Траката";
   - РК Варна;
   - Пост 2 – канал „Варненско езеро";
   - Белослав 2 – пристанище за горива;
   - Галата 2 – местността „Фичоза".
2. Район „Юг":
   - Поморие;
   - РК Бургас;
   - Нефтено пристанище „Росенец".

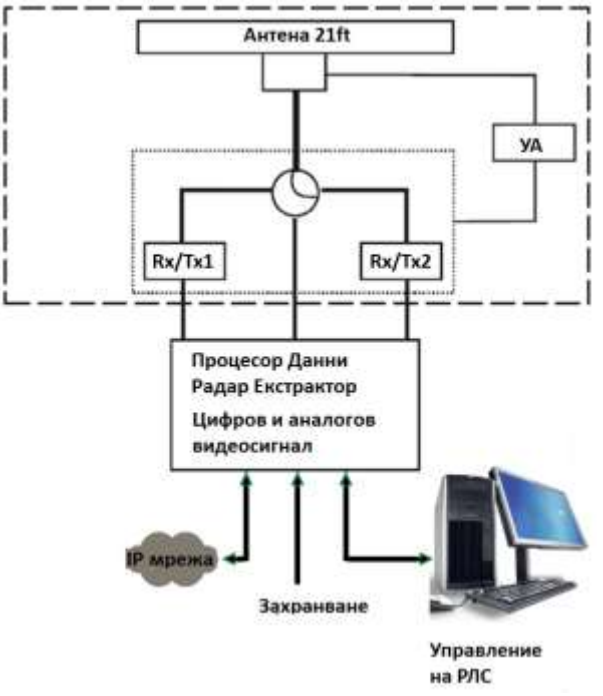
Станциите са проектирани специално за радиолокационно наблюдение на зоните с интензивно корабоплаване в морските канали и пристанища и за охрана на териториалните води и граници на р. България. Според техническото описание станциите се използват за:

- Откриване и радиолокационно наблюдение на цели върху морската повърхност;
- Автоматично съпровождане на до 200 цели;

- Предаване, наблюдение, документиране и възпроизвеждане на радиолокационна и синтетична информация за целите;
- Съвместяване с картно изображение и навигационни знаци;
- Решаване на навигационни задачи;
- Получаване и предаване на информация от и към други информационни системи.

Основните задачи, решавани от БРЛС се свеждат до:

- Търсене, откриване, идентифициране и следене на надводни цели в района под наблюдение, предаване на радарна картина и данни за целите;
- Контрол и управление на корабоплаването в териториалните води и създаване на бази данни относно целия трафик;
- Бързо и ефикасни координиране на действията при търсене и спасяване;
- Наблюдение на транзитно-преминаващите кораби през териториалните води, контрабанда, незаконен риболов и добив на прирпдни изкопаеми.




Фигура 4.57. Блокова схема на Радиолокационна станция с двоен приемопредавател

Инсталираните станции са в две разновидности – единична конфигурация (с един приемопредавател) и двойна конфигурация (с два приемопредавателя, един активен и един в готовност). Инсталираните по време на Първа фаза брегови станции са в единична конфигурация и с 18-ft антена. По време на втора фаза са инсталирани модифицирани БРЛС, наречени още „Радарни сензори“ с двойна конфигурация с 21-ft антени.

Блоковата схема на радиолокационната станция „Варна 1“ с двоен приемопредавател е показана на фиг. 4.57. Радиолокационният сензор се състои от два приемопредавателя, блок за управление на антената, наречен още „Прибор Транзисторен честотен преобразовател, ТЧП“ и 21-футова антена. Единият от приемопредавателите е свързан към антената в режим „Работен“, а другият е в режим „Готовност“.

Сигналите от сензора, включващи видеосигнали, поредици от синхроимпулси и импулсни поредици за ъгловото положение а антената се обработват от Процесор на радарни данни след подходящо преобразуване от радар-екстрактор. Връзките между отделните прибори се осъществяват от вълноводни и кабелни конфигурации. В табл. 4.8 са показани основните характеристики на станцията, инсталирана по време на първа фаза, а в табл. 4.9 – по втора фаза на реализация на проекта VTMIS.

За интеграцията на бреговите РЛС от първта група са доставени, монтирани и инсталирани девет двойни радарни процесора RPB4 със съответния софтуер. Процесорът RPB4 се свързва директно към радиолокационния приемо-предавател и притежава следните характеристики:

- обработка на видеосигнала със CFAR откривател;
- междуредова обработка (from sweep to sweep processing) за подтискане на импулсните смущения и междукадрова обработка (from scan to scan processing) за подтискане на смущенията, предизвикани от развълнуваната морска повърхност при откриване на малки отдалечени цели;
- автоматично откриване на цели в работната област на системата;
- автоматично захващане и съпровождане на до 500 цели.

Таблица 4.8

| **Основни характеристики на БРЛС „Варна 1“** | **Описание** |
|---|---|
| Честотен диапазон | 9410 MHz ±30MHz |
| **Характеристики на Предавателя** | |
| Тип | Магнетронен некохерентен импулсен |
| | |
| Мощност | (6÷ 10) kW за къс импулс<br>(10÷ 12) kW за среден и дълъг импулс |
| Честота на повторение на импулса | 2400 ± 50Hz, 2000 ± 25Hz и 1500 ± 10Hz – съответно за къс, среден, дълъг |
| Продължителност на импулса | 50ns, 100ns и 240ns – съответно за къс, среден, дълъг |
| **Характеристики на Приемника** | |
| Тип | Суперхетеродин Log, МЧ 60 MHz |
| Ширина на честотната лента | 25 ± 3MHz MHz (къс импулс)<br>4 ± 1MHz (среден и дълъг импулс) |
| Шумов фактор | По-добър от 5 dB |
| Настройка | Ръчно управление, AFC |
| **Обработка на Видеосигнала** | |
| Тип | Изцяло цифрова обработка |
| Обработка на видеосигнала | АЦП – 4 разряда, CFAR<br>Междуобзорна и междуредова обработка<br>Разширение на целите<br>Следи на подвижните цели, Tracks |
| Видео изходни данни | Към видеоекстрактор<br>RS232 към изнесено работно място |
| Видео характеристики | Логаритмично |
| **Параметри на Антената** | |
| Тип / Размер | Вълноводно-прорезна, X-диапазон / 18ft |
| Ширина на ДН в хоризонталната / вертикалната равнина | ≤ 0,45 º ± 0,03 º / ≤ 20 º ± 2 º |
| Странични листи на ДН в хоризонталната равнина | В граници до 10º : < (-25dB);<br>Над 10º : < (-30dB). |
| Поляризация | Хоризонтална |
| Коефициент на усилване | > 34 dB |

Таблица 4.9

| **Основни характеристики на радарен сензор „Черно море“** | **Описание** |
|---|---|
| Честотен диапазон | 9410 MHz ±30MHz |
| **Характеристики на Предавателя** | |
| Тип | Магнетронен некохерентен импулсен |
| | |
| Мощност | До 25kW |
| Честота на повторение на импулса | 3051 ± 2Hz, 1526 ± 2Hz и 763 ± 2Hz – съответно за къс, среден, дълъг |
| Продължителност на импулса | 50 ÷ 80ns, 200 ÷ 350ns и 600 ÷ 800ns – съответно за къс, среден, дълъг |
| Секторно излъчване | Секторно изключване в сектор с размер от 1° до 359° |
| **Характеристики на Приемника** | |
| Тип | Суперхетеродин Log, МЧ 60 MHz |
| Ширина на честотната лента | 25 ± 3MHz MHz (къс импулс)<br>4 ± 1MHz (среден и дълъг импулс) |
| Шумов фактор | По-добър от 5 dB |
| Настройка | Ръчно управление, AFC |
| **Обработка на Видеосигнала** | |
| Тип | Изцяло цифрова обработка |
| Обработка на видеосигнала | CFAR<br>Междуобзорна и междуредова обработка<br>Цифров филтър тип M от N<br>Разширение на целите<br>Следи на подвижните цели, Tracks |
| Видео изходни данни | IP / Ethernet мрежово видео |
| Видео характеристики | Логаритмично |
| **Параметри на Антената** | |
| Тип / Размер | Вълноводно-прорезна, X-диапазон / 21ft |
| Ширина на ДН в хоризонталната / вертикалната равнина | ≤ 0,36 º ± 0,002 º / ≤ 20 º ± 2 º |
| Странични листи на ДН в хоризонталната равнина | В граници до 10º : < (-28dB);<br>Над 10º : < (-35dB). |
| Поляризация | Хоризонтална |
| Коефициент на усилване | > 36 dB |

Данните от радарния процесор се предават в локална мрежа (Ethernet), след което по съществуващата комуникационна мрежа достигат до центровете за управление на трафика във Варна и Бургас. На тези обекти е монтирано и инсталирано допълнителното оборудване, включващо LAN комутатор, компютър, стойка за оборудването и др.

Радиолокационните станции от втората група са произведени от Датската фирма „Terma A/S“, която е сред лидерите в морските и военноморски радиолокационни технологии. Станциите са два типа, инсталирани на две нива в Българската информационна система за управление на трафика на плавателните съдове VTMIS и са предназначени съответно за радиолокационно наблюдение в далечната зона и в близката зона на системата.

Станциите от първо ниво, модел „Terma SCANTER 5202“ се използват за наблюдение на далечната зона на морските пространства на Република България. Станциите разполагат с по два приемо-предавателя (в двойно резервирана конфигурация) за работа в режими Активен (*Hot*) и Готовност (*Stand-by*). Антенната система на станциите е от тип HG-HP-F-38, вълноводно-прорезна антена за X-диапазона, с дължина 21ft и с хоризонтална поляризация.

За осъществяване на радиолокационно наблюдение в близките зони на Варненския и Бургаски заливи, както и района на големите пристанища са инсталирани три станции от второ ниво, модел “SCANTER 5102” в конфигурация с по един приемопредавател. Антенната система на станциите е от тип CO-HP-F-35, вълноводно-прорезна антена за X-диапазона, с дължина 18ft и с хоризонтална поляризация.

Бреговите радиолокационни станции от тип “Terma SCANTER 5102/5202” са инсталирани в районите на следните обекти:

1. Район „Север“:
   - Калиакра – 1 (“Terma SCANTER 5202”);
   - Балчик – 1 (“Terma SCANTER 5202”);
   - Нова рейдова кула – Варна (“Terma SCANTER 5102”);
   - Фериботно пристанище - Варна (“Terma SCANTER 5102”).

2. Район „Юг“:
    - Емине (“Terma SCANTER 5202”);
    - Връх „Китка“ (“Terma SCANTER 5202”);
    - Нова рейдова кула – Бургас (“Terma SCANTER 5102”).

Станциите „Terma SCANTER 5102/5202“ са проектирани специално за нуждите на системите VTMIS, за които надеждната работа, качеството на обработката на радиолокационната информация и гъвкавите възможностите за връзка с други системи са от изключителна важност. Станциите са напълно кохерентни, с ЛЧМ компресия на импулса и с твърдотелни усилватели на мощност в предавателите си (*Solid State Power Amplifiers, SSP*А). Станциите извършват наблюдение на морската повърхност с възможности за откриване на много малки цели и при неблагоприятни и сурови климатични условия при използване на съвременни алгоритми за обработка на видео сигнала.

Новите нискотемпературни предаватели с полупроводникови усилватели на мощност оптимизират изразходването на енергията на захранващия източник и осигуряват надеждна работа за много дълъг експлоатационен период. Приемниците притежават широк динамичен диапазон и осигуряват висока разрешаваща способност на всички обхвати с изчистено и ясно радиолокационно изображение независимо от метеорологичните условия.

Високочестотното аналогово-цифрово преобразуване се извършва на междинна честота и всички последващи обработки на сигнала, като филтрации, компресия на импулса, обработката за отделяне на движещите се цели на базата на Доплеровото изменение на честотата и др., се извършват по цифров път. Усъвършенстваните CFAR технологии и обработката на видео сигнала с интелигентни алгоритми за подтискане на шума осигурява висококачествени радиолокационни изображения, които не се нуждаят от по-нататъшна обработка.

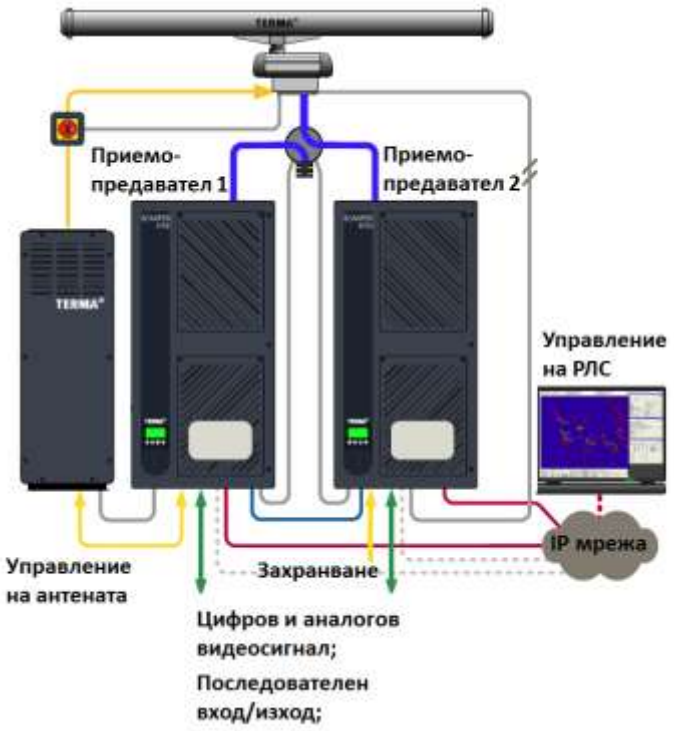
В състава на станциите може да бъде включен и интерактивен мултимоделен алгоритъм за автоматично съпровождане, който предоставя възможности за откриване и съпровождане както на малки и много подвижни цели в сурови хидро-метеорологични условия, така и на големи съдове на морската

повърхност, както и на летящи обекти. Информацията за съпровождане на целите се получава при комбиниране на стандартната обработка на сигналите от станцията с Доплеровата селекция на движещи се цели. Станцията е в състояние да съпровожда до 500 цели на морската повърхност, както и на до 100 цели, летящи на малки височини в близката зона на наблюдение.

Връзката на приемопредавателя със системата се извършва през стандартна компютърна IP мрежа (LAN или WAN), по която се предават цифровия видеосигнал, координатите на целите, информацията за тяхното съпровождане и се осъществява нужното управление на станциите.

В настройките на радиолокационните станции се допуска дефинирането на до 16 сектора чрез задаване на азимутален ъгъл за средата на сектора, ширина и максимално разстояние. Всеки сектор може да бъде забранен за излъчване, разрешен за работа с ограничена мощност или разрешен за работа с максимална мощност на излъчвания сигнал. Подтискането на сигнала се управлява в границите (0 ÷ 15dB).

Радиолокационната станция „Terma SCANTER 5202“ с двоен приемопредавател е показана на фиг. 4.58. В табл. 4.10 са показани нейните основни характеристики.




Фигура 4.58. Радиолокационна станция Terma с двоен приемопредавател

Станцията е двойно резервирана за постоянна експлоатация и поддръжка при тежки климатични и експлоатационни условия. В случай на повреда в основното приемопредавателно устройство, системата може да превключи дистанционно към резервната система. Един от двата приемопредавателни блока може да бъде напълно изключен за ремонт и поддръжка, без да се прекъсва работата на другият (активен) приемопредавател. Операторът може да проверява състоянието и всички параметри на радара. Радарната система позволява излъчване на алармен сигнал (звуков и визуален) към работната станция на оператора в случай на неизправности или ако някои параметри надвишат допустимите стойности.

Приемопредавателите са оборудвани с вградено тестово оборудване (BITE - Built-In Test Equipment). Това оборудване се използва от системата за контрол и мониторинг на радарния компютър.

Приемопредавателният модул обхваща пълен X-диапазонен предавател и приемник на радара за наблюдение в самостоятелни блокове.

Станцията има вградени температурни защити, защита от токови удари (пикове), и др. и отговаря на следните норми:

- За електромагнитна съвместимост (EMC): MIL-STD-461, EN 60945/A1;
- За паразитно излъчване извън честотната лента - ITU-R SM.1541, ITU-R SM.329-9.

Таблица 4.10

| **Основни характеристики на РЛС** | **Описание** |
|---|---|
| Честотен диапазон | 9,0 ÷ 9,2 GHz<br>9,25 ÷ 9,5 GHz |
| Честотни поддиапазони | Софтуерно определени, до 16 носещи честоти |
| Минимално разстояние | 30 м (Измерено от антената) |
| Размер на разделителната повърхност по разстояние | 3 m или 6 m (Програмируем) |
| Измервания на вградената тестово оборудване | Напълно интегрирани във всички модули |
| **Характеристики на Предавателя** | |
| Тип | Високоефективен микропроцесорен усилвател на мощност – SSPA<br>Ниско напрежение и ниска температура<br>Дълъг работен живот |
| Тип модулация | Честотна – до 45 MHz ширина на честотната лента |
| Мощност на SSPA усилвателя пикова/средна/еквивалентна | 200 W/40 W/ до 300 kW (зависи от профила) |
| Работен цикъл | До 20% |
| Продължителност на импулса | 80 ns ÷ 100 μs – къс, среден, дълъг |
| Секторно излъчване | Секторно изключване и настройваемо ниво на излъчване 0 ÷ 16 dB намаление в до 16 сектора, размер на сектора 1 - 359° |
| **Характеристики на Приемника** | |
| Тип | Двуканален – суперхетеродин<br>14 bit дискретизация на МЧ с 400 MHz |
| Общ динамичен обхват | > 140 dB |
| Профил на шума - Low Noice Front End – LNFE | 2,5 dB |
| Минимален сигнал за откриване на цел – MDS | - 130 dBm еквивалент след импулсна компресия |
| Коефициент на компресия на импулса/ усилване | 1500:1 / ~ 32 dB |
| MTI фактор | 25 до 35 dB типично (отражения на брега) |

| | |
|---|---|
| Видимост в условия на смущения | 25 dB типично |
| Мониторинг на състоянието и измервания | Мощност на излъчване, отразена мощност и профил на шума |
| **Обработка на Видеосигнала** | |
| Тип | 32-битово (Floating point) преобразуване – Изцяло цифрова обработка |
| Обработка на видеосигнала – петстепенна | Side lobe supression<br>CFAR<br>Pulse & sweep integration<br>Clutter discriminator |
| Видео изходни данни | 8 bit IP мрежово видео, 8 bit цифров LVDS сигнал, аналогов сигнал |
| Видео характеристики | Логаритмично - 8 bit ~75 dB |
| **Параметри на Антената** | |
| Тип / Размер | Вълноводно-прорезна, тип HG-HP-F-38, X-диапазон / 21ft |
| Ширина на ДН в хоризонталната / вертикалната равнина | ≤ 0.36 º / ≤ 22 º |
| Странични листи на ДН в хоризонталната равнина | В граници от 1,5º до 5º : < (-28dB);<br>В граници от 5º до 10º : < (-30dB);<br>Над 10º : < (-35dB). |
| Поляризация | Хоризонтална |
| Скорост на въртене | 10 - 40 rpm, настройваема |

Приемопредавателят на радиолокационната станция “Terma SCANTER 5102” с единичен приемопредавател е оборудван с вградено тестово оборудване (BITE - Built-In Test Equipment). Това оборудване се използва от системата за контрол и мониторинг на радарния компютър.

Станцията има вградени температурни защити, защита от токови удари (пикове), и др. и отговаря на следните норми:

- За електромагнитна съвместимост (EMC): MIL-STD-461, EN 60945/A1;
- За паразитно излъчване извън честотната лента - ITU-R SM.1541, ITU-R SM.329-9.

В табл. 4.11 са показани основните характеристики на станцията “Terma SCANTER 5102”.

Таблица 4.11

| **Основни характеристики на РЛС** | **Описание** |
|---|---|
| Честотен диапазон | 9,0 ÷ 9,2 GHz<br>9,25 ÷ 9,5 GHz |
| Честотни поддиапазони | Софтуерно определени, до 16 носещи честоти |
| Минимално разстояние | 30 м (Измерено от антената) |
| Размер на разделителната повърхност по разстояние | 3 m или 6 m (Програмируем) |
| Измервания на вграденото тестово оборудване | Напълно интегрирани във всички модули |
| **Характеристики на Предавателя** | |
| Тип | Високоефективен микропроцесорен усилвател на мощност - SSPA<br>Ниско напрежение и ниска температура<br>Дълъг работен живот |
| Тип модулация | Честотна – до 45 MHz ширина на честотната лента |
| Мощност на SSPA усилвателя пикова/средна/еквивалентна | 50 W / 10 W / до 75 kW (зависи от профила) |
| Работен цикъл | До 20% |
| Продължителност на импулса | 80 ns ÷ 100 μs – къс, среден, дълъг |
| Секторно излъчване | Секторно изключване и настройваемо ниво на излъчване 0 ÷ 16 dB намаление в до 16 сектора, размер на сектора 1 - 359° |
| **Характеристики на Приемника** | |
| Тип | Двуканален – суперхетеродин<br>14 bit дискретизация на МЧ с 400 MHz |
| Общ динамичен обхват | > 140 dB |
| Профил на шума - Low Noice Front End – LNFE | 2,5 dB |
| Минимален сигнал за откриване на цел – MDS | - 130 dBm еквивалент след импулсна компресия |
| Коефициент на компресия на импулса/ усилване | 1500:1 / ~ 32 dB |
| MTI фактор | 25 до 35 dB типично (отражения на брега) |
| Видимост в условия на смущения | 25 dB типично |
| Мониторинг на състоянието и измервания | Мощност на излъчване, отразена мощност и профил на шума |
| **Обработка на Видеосигнала** | |
| Тип | 32-битово (Floating point) преобразуване – Изцяло цифрова обработка |
| Обработка на видеосигнала – | Side lobe supression |

| | |
|---|---|
| петстепенна | CFAR<br>Pulse & sweep integration<br>Clutter discriminator |
| Видео изходни данни | 8 bit IP мрежово видео, 8 bit цифров LVDS сигнал, аналогов сигнал |
| Видео характеристики | Логаритмично - 8 bit ~75 dB |
| **Параметри на Антената** | |
| Тип / Размер | Вълноводно-прорезна, тип CO-HP-F-35, X-диапазон / 18ft |
| Ширина на ДН в хоризонталната / вертикалната равнина | ≤ 0.42 º / ≤ 32 º |
| Странични листи на ДН в хоризонталната равнина | В граници от 1,5º до 5º : < (-28dB);<br>В граници от 5º до 10º : < (-30dB);<br>Над 10º : < (-35dB). |
| Поляризация | Хоризонтална |
| Скорост на въртене | 6 - 24 rpm, настройваема |

За свързване на радиолокационните станции “Terma SCANTER 5102/5202” към системата за наблюдение VTMIS са доставени седем двойни радарни процесора ORS-3 с мрежов (LAN) интерфейс.

Радарните процесори изпълняват следните функции:

1. Въвеждане и филтриране на радиолокационните сигнали, включващо:
   - Въвеждане на радиолокационните сигнали, аналогово/цифрово преобразуване на видео сигнала;
   - Въвеждане на радиолокационните сигнали по мрежов (LAN) интерфейс (за цифрови и кохерентни /свързани/ радари като “Terma SCANTER 5202” и “SCANTER 5102”);
   - Филтриране на видео сигнал чрез настройваеми нискочестотни и високочестотни филтри;
   - Корелация на видео сигнала по съседни развивки (scan-to-scan) за подтискане на смущения;
2. Захващане и съпровождане на цели, включващо:
   - Откриване на цели чрез сравняване на отразените сигнали с адаптивен праг, с ръчно или автоматично настройване на параметрите в 29 кръгови зони, всяка разделена на 32 сегмента;

- Автоматично стабилизиране на вероятността за лъжлива тревога (CFAR обработка);
- Структурен анализ на радиолокационното изображение за определяне на позицията на геометричния център на наблюдаваната цел;
- Автоматично разпознаване и съпровождане на цели. Захващането, разпознаването и съпровождането могат да се забранят при необходимост, в рамките на области, определени с полигони;
- Определяне на параметрите на движение (курс и скорост) на наблюдаваната цел;
- Записване на момента, в който наблюдаваната цел се изгуби.

Радарният процесор ORS-3 позволява пълен дистанционен контрол от всяка от работните станции на оператора (прилага се защита с парола), който включва:

- Непрекъснато следене и изобразяване на техническите параметри на РЛС, като напр. тока на магнетрона, напрежението на модулация и др.;
- Дистанционна настройка (на честотата на приемника (Automatic Frequency Control, AFC), на усилването (Automatic Gane Control, AGC) и др);
- Дистанционно управление на станцията (изключване / изчакване / излъчване, превключване на дължината на импулса, управление на усилването и на подтискане на смущенията от дъжд и от морската повърхност).

Операторът може да извършва настройки за намаляване на нивото шума и подтискане на местните смущения, без да се загубва качеството на радиолокационния сигнал при откриване на цели със слабо ниво на отразения сигнал. Софтуерът на радарния процесор ORS-3 осигурява високотехнологични методи на обработка на сигнала, които позволяват изключително гъвкави и конкретни настройки на обработка за оптимално намаленяване на нивото на шума, подтискане на местните смущения и откриване на сигнала, като се вземат предвид специфичните условия на отразяване на радиолокационните сигнали в бреговите райони, в близост до пристанищни съоръжения и други източници на лъжливи отражения.

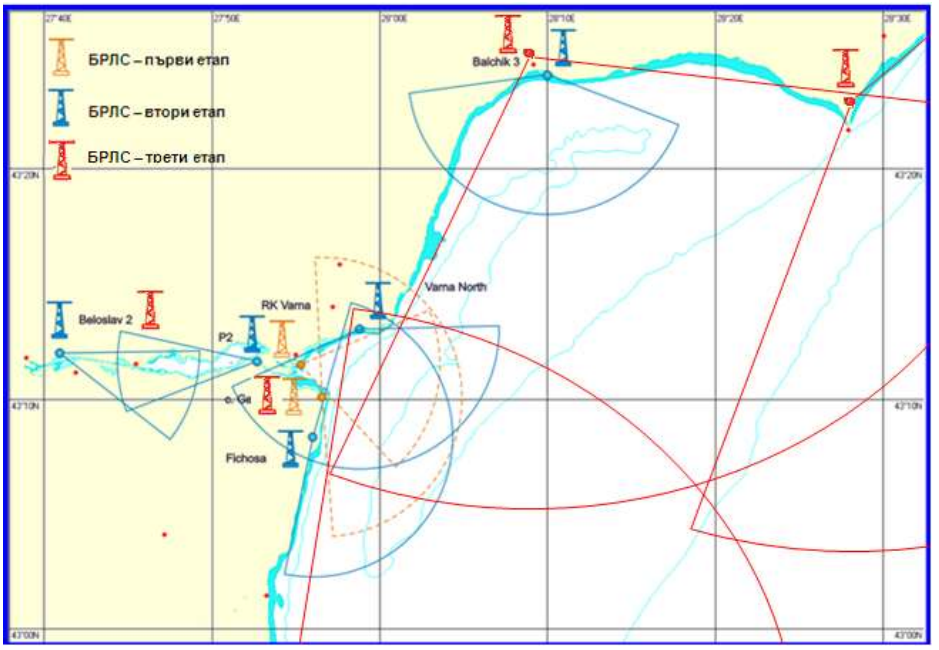
Радарният итегратор ORS-3 дава възможност за контрол и настройка на началните параметри на захващане и съпровождане, целящи минимизиране на грешните захващания за съпровождане или на пропуски на захващането на малки цели с амплитуди, близки до нивото на шума. Определянето на курса и скоростта на захванатата за съпровождане цел се извършва на базата на модифициран Калманов филтър. Неговите параметри се настройват с помощта на специализиран софтуер, собствена разработка на фирмата. Със същите параметри се управляват точността и чувствителността на откриване на целите.

Интеграторът притежава капацитет за едновременно съпровождане на 500 цели. В случай, че станцията, към която е свързан интеграторът не е част от радиолокационна система за наблюдение, а работи самостоятелно, интеграторът е в състояние да съпровожда едновременно до 500 движещи се и до 300 неподвижни цели. Всички обработки се извършват в рамките на един радиолокационен обзор при следните ограничения:

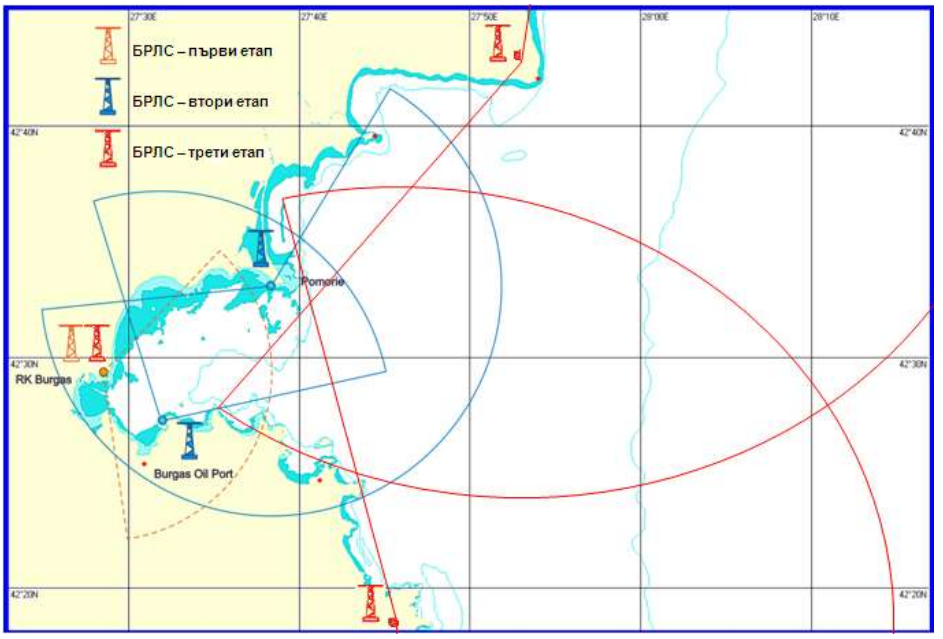
- Максимална скорост на целта – 100kn;
- Максимално ускорение – 4m/s$^2$.

Разстоянието до целта е неограничено в рамките на работната област на системата.
Интеграторът осигурява още и възможност за създаване на специфични райони (полигони), определящи области на съпровождане, маскиране на видео сигнал, извършване на автоматично захващане и съпровождане, следене „по памет“ при загуба на целта в райони със засенчване на радиолокационния сигнал и др.

На фиг. 4.59 и 4.60 са показани разположенията и работните области на бреговите РЛС, инсталирани на различните етапи на изграждане на системата VTMIS в райони „Север“ и „Юг“.




Фигура 4.59. Разположение на РЛС в район „Север“ на Българското Черноморско крайбрежие




Фигура 4.60. Разположение на РЛС в район „Юг“ на Българското Черноморско крайбрежие

# 5. РАДИОПЕЛЕНГАТОРИ

## 5.1 Предназначение

Радиопеленгаторът (англ. Radio Direction Finder, RDF) е електронно устройство, определящо посоката към излъчващ предавател или все същото – посоката на пристигащия сигнал (DOA, Direction Of Arrival). За целта се използва радиоприемник, настроен на същата честота и съоръжен с насочена антена. Критерий за определяне на посоката обикновено е екстремумът на амплитудата на приетия сигнал. Антените за приемане на ефирна или спътникова телевизия са добра илюстрация на идеята, която използва радиопеленгаторът. Всички те са ориентирани в една и съща посока – към излъчващия предавател. В примера с телевизионните приемници се търси максимума на амплитудата на приетия сигнал, което в случаите, когато се говори за радиопеленгатори, не е непременно най-доброто решение. В някои случаи е по-добре да се използва минималната, а в други случаи средната стойност на амплитудата на приетия сигнал за точно определяне на посоката.

## 5.2 Видове радиопеленгатори

### 5.2.1 Радиопеленгатор с подвижна антена

Както беше казано по-горе, за определяне на посоката към излъчващия предавател може да се използва радиоприемник, съоръжен с насочена антена. На фиг. 5.1а) е показана диаграмата на насочено действие на вертикална монополна антена. В хоризонталната равнина тази диаграма има формата на кръг, което означава, че тя не може да бъде използвана за целите на радиопеленгуването.

Комбинацията от две вертикални антени, свързани в рамка, както е показано на фиг. 5.1б) формира диаграма на насочено действие с формата на цифрата 8, която може да се използва успешно за насочено приемане.

В съответствие със закона на Фарадей при тази антена стойността на индуктираното напрежение се определя с израза:

(5.1) $$V = -j\omega\mu_0 \int \vec{H} d\vec{A}.$$

Имайки предвид, че

$$d\vec{A} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} dxdz$$

и

$$\vec{H} = \vec{H}_0 e^{jk(x\cos\alpha + y\sin\alpha)}$$

и че вертикално поляризирана вълна

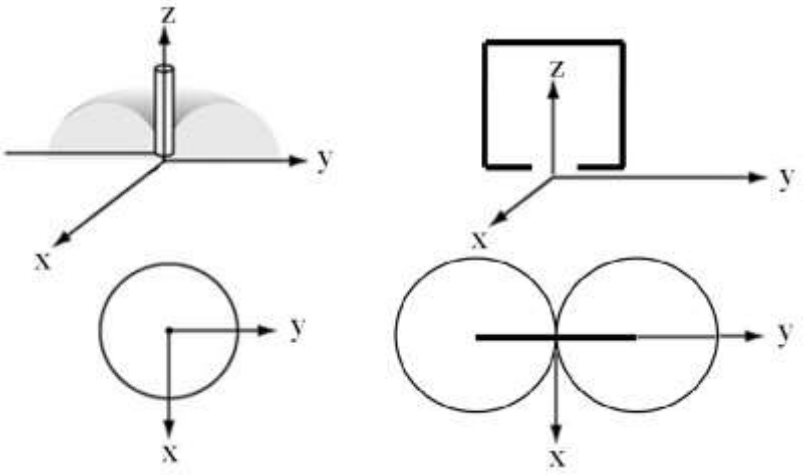
$$\vec{H}_0 = \begin{pmatrix} -H_0 \sin\alpha \\ H_0 \cos\alpha \\ 0 \end{pmatrix},$$

след заместване в израза 5.1 за индуктираното в рамката напрежение се получава:

(5.2) $$V = -j\omega\mu_0 \int_{-d/2}^{d/2} \int_{-h/2}^{h/2} -H_0 \sin\alpha . e^{jk(x\cos\alpha + y\sin\alpha)} dydz,$$

където *d* и *h* са размерите на рамката по ширина и по височина,

α – ъгълът, който антената сключва с посоката към излъчващия предавател.




а) б)

Фигура 5.1. Диаграми на насочено действие на вертикална и рамкова антена

След решаване на интеграла за индуктираното напрежение се получава израза

(5.3) $$V = 2j\frac{\omega\mu_0}{k}H_0.h.\sin\left(\frac{kd}{2}\sin\alpha\right).$$

В случай, че $\frac{kd}{2} << 1$ изразът се опростява до:

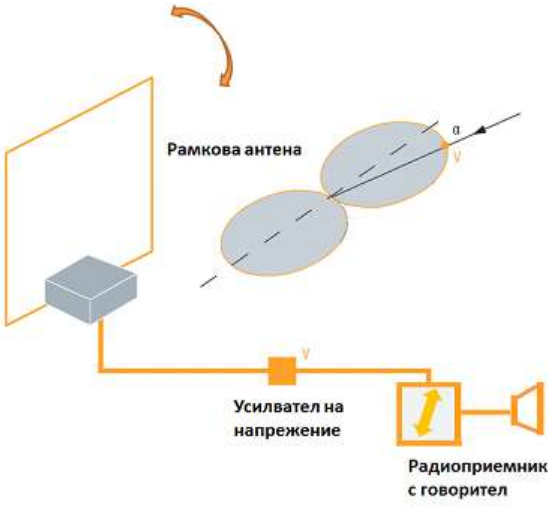
(5.4) $$V = jkd.E_0.h.\sin\alpha\,,$$

т.е. индуктираното в рамковата антена напрежение е функция на ъгъла, който тя сключва с посоката към предавателя:

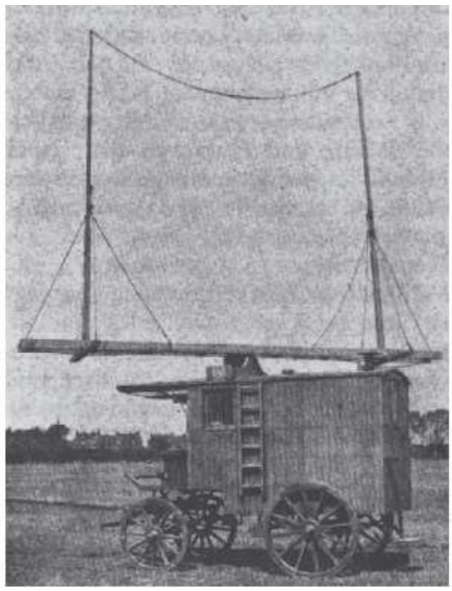
$$V = V(\alpha),$$

както е показано на фиг. 5.2а).

Въртенето на антената в една или друга посока води до промяна на напрежение *V*, а от там и на силата на сигнала в радиоприемника. При това по-удачно е да се търси минимума на сигнала, тъй като стръмността на диаграмата в тази част повишава значително чувствителността на приемника.




а)



б)

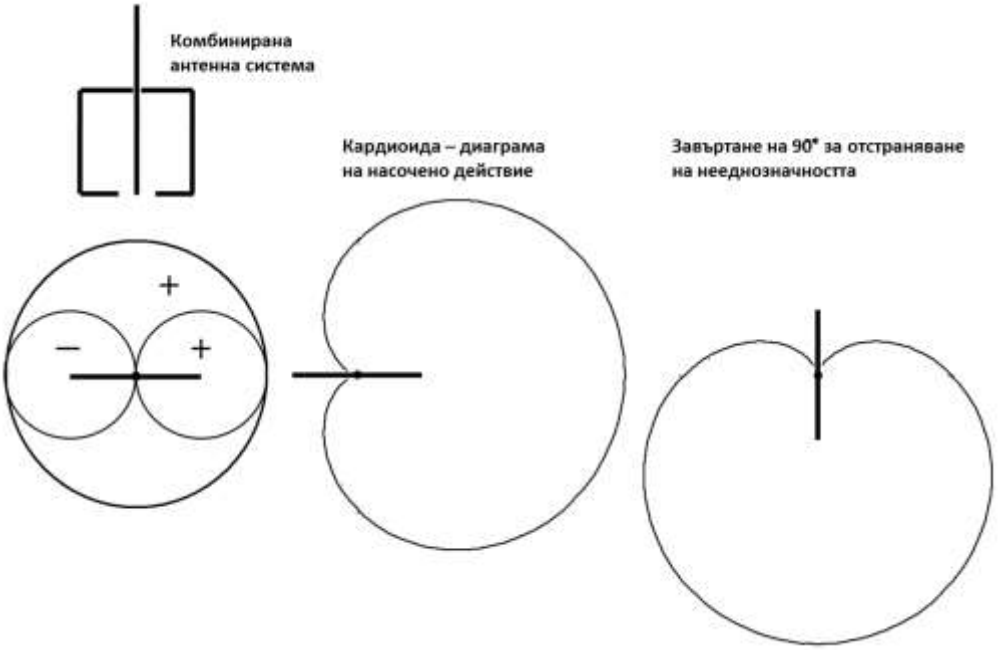
Фигура 5.2. Радиопеленгатор с подвижна рамкова антена

На фиг. 5.2б) е показана снимка на радиопеленгатор с подвижна рамкова антена, използван за военни цели по време на Първата световна война.

Основният проблем при използването на подвижната рамкова антена е свързан със симетричността на нейната диаграма на насочено действие. На фиг. 5.2а) се вижда ясно, че силата на приетия сигнал ще бъде една и съща и когато предавателят е разположен отдясно на антената, и когато е отляво, тъй като

$$V(\alpha) = V(180^\circ + \alpha).$$

С други думи използването на рамкова антена води до неоднозначност (англ. ambiguity) при определяне на посоката към излъчващия предавател. За решаване на този проблем се използва комбинация от рамкова и вертикална антена, както е показано на фиг. 5.3а).



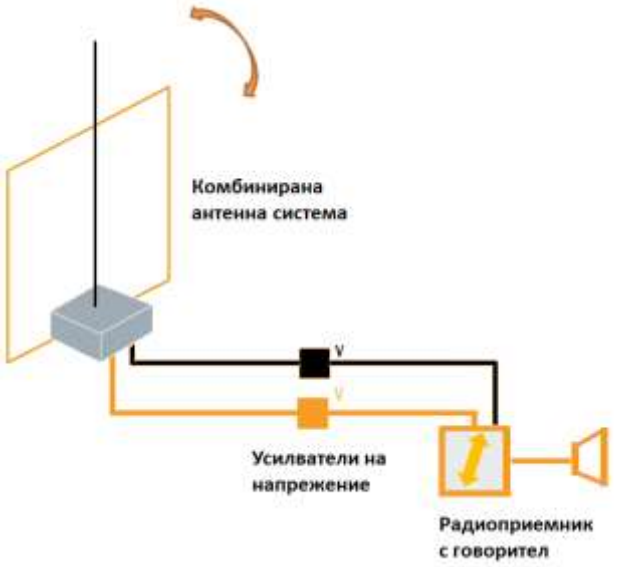

а) б) в)

Фигура 5.3

При включване на вертикалната антена сумарната диаграма на насочено действие приема формата на фигура, наречена „кардиоида“. На фигурата се вижда, че кардиоидата не е симетрична по посоката “*y*” на хоризонталната равнина и този

факт може да се използва за отстраняване на нееднозначността. За по-точно измерване на посоката се използва следния алгоритъм (вж. фиг. 5.3):

- само с помощта на рамковата антена се търси минимум на приетия сигнал;
- след включване и на вертикалната антена комбинираната антенна система се завърта на 90° по посока на часовата стрелка;
- ако при това силата на приетия сигнал намалее, предавателят се намира в права посока. Ако обаче завъртането води до усилване на сигнала, предавателят се намира в обратната посока.




Фигура 5.4. Радиопеленгатор с комбинирана антенна система за отстраняване на нееднозначността

5.2.2 Радиопеленгатор с неподвижна антена

В много от случаите на конкретни технически инсталации на радиопеленгатори механичното завъртане на антенната система не е лесно за реализиране. Причините за това могат да бъдат различни – от конструктивни до електротехнически и организационни. За отстраняването на този проблем се използват различни решения, свързани най-вече с използване на по-сложни антенни системи. На фиг. 5.5 е показана схемата на радиопеленгатор с антенна система, състояща се от две кръстосани рамки. Антенната система е неподвижна и ориентирана по посоката „Север“ (N). При това всяка рамкова антена има свой

усилвател, който усилва напрежението, индуктираното в нея от излъчващия предавател ($V_x$ от рамковата антена, разположена по посоката „Изток - Запад“, $V_y$ от рамковата антена, разположена по посоката „Север - Юг“). Ъгълът, който антенната система сключва с посоката към предавателя се определя с израза:

(5.5) $$\alpha = arctg\frac{V_x}{V_y}.$$

Ако в резултат на въздействие на различни смущения в приетите сигнали има фазова разлика, ъгълът се определя с израза:

(5.6) $$\alpha = \frac{1}{2}arctg\frac{2|V_x||V_y|\cos\delta}{|V_y|^2 - |V_x|^2},$$

където δ е фазовата разлика в двете напрежения.

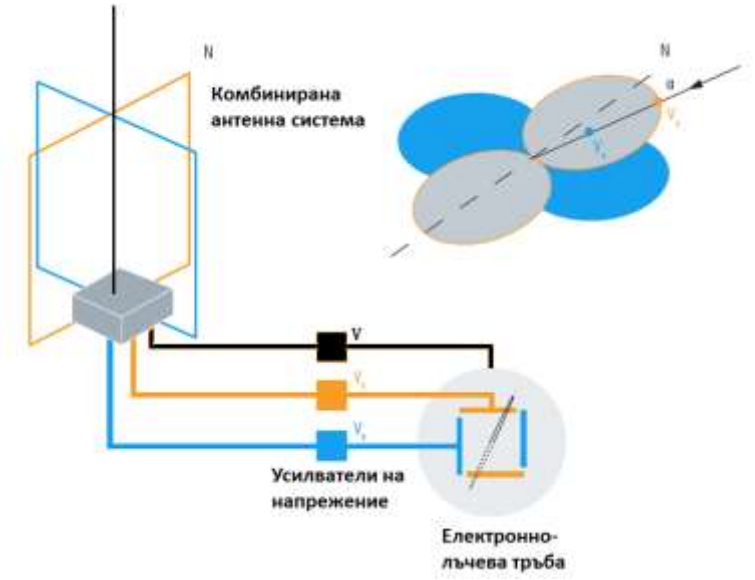



Фигура 5.5. Гониометричен радиопеленгатор

Първият радиопеленгатор, използващ подобна антенна система носи името на електрическата машина Радио-гониометър, разработена от италианските инженери Белини и Тоси (Ettore Bellini – Alessandro Tosi, B – T – Radiogoniometer) през 1907 – 1912г. Машината се състои от три бобини с форма на правоъгълни рамки, две от които неподвижни и взаимно перпендикулярни, а третата може да се

върти около оста си. Неподвижните бобини са свързани със съответните рамкови антени и пресъздават полето на насочващия сигнал във вътрешното пространство на уреда. Третата бобина се използва като рамкова антена, с чиято помощ се търси екстремума на приетия сигнал. Основното предимство на радиогониометъра е, че той може да работи с различни видове антени в широк честотен диапазон. Гониометричните радиопеленгатори са били използвани успешно до 80-те години на миналия век както за военни цели, така и в гражданското корабоплаване.

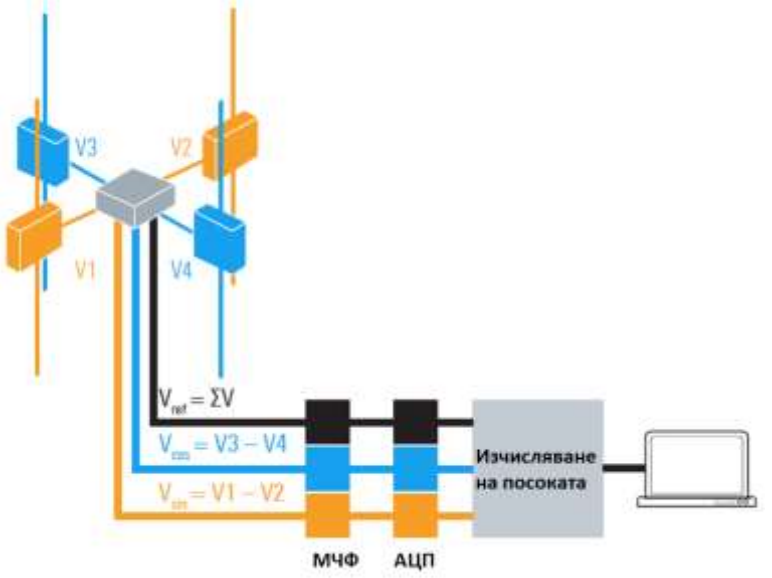
Друго решение, използващо същата неподвижна комбинирана антенна система е т.нар. «Визуален радиопеленгатор», идеята за който е била предложена от Уотсън-Ват (Watson - Watt) през 1925/26г. При него напреженията $V_x$ и $V_y$ се използват за управление на отклонителните системи на електроннолъчевата тръба на индикатора по хоризонтала и по вертикала, както е показано на фиг. 5.6. При това върху екрана се изобразява фигура на Лисажу (Lissajous), наклонена под ъгъл α спрямо посоката „Север“.




Фигура 5.6. Радиопеленгатор с комбинирана антенна система – две неподвижни кръстосани рамки за управление на отклонителните системи на индикатора и една вертикална антена за отстраняване на нееднозначността

Балансът на усилването и балансът на фазите в усилвателите на напрежение, свързани към рамките позволява промяна на формата на изображението върху екрана на електроннолъчевата тръба до фигура, близка до права линия, както е показано на фиг. 5.6. Ориентацията на линията позволява измерването на пеленга непосредствено върху екрана, а нееднозначността се отстранява с включването на вертикалната антена.

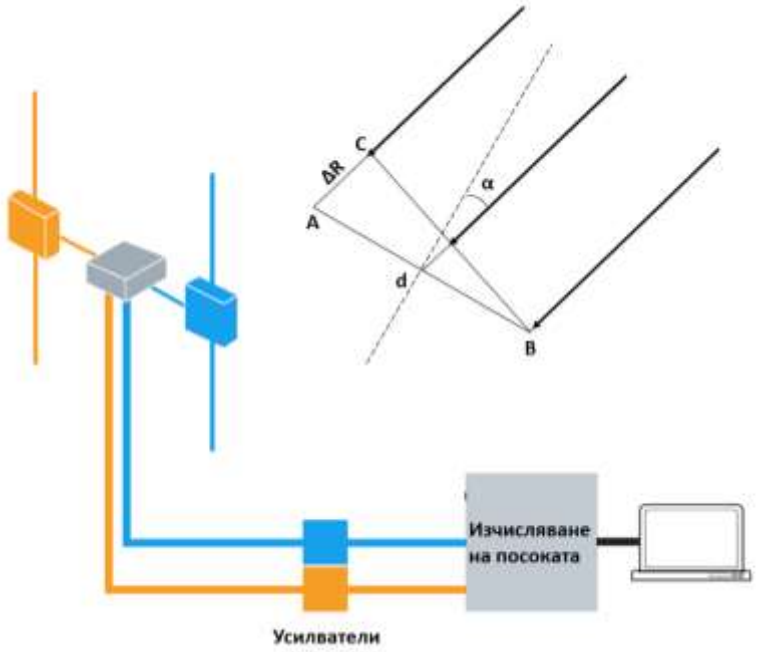
Съвременните радиопеленгатори, работещи на базата на описания по-горе принцип най-често използват т.нар. „Adcock – антени“, които представляват групи от монополни или диполни антени, показани на фиг. 5.7 и имат някои съществени предимства пред кръстосаните рамкови антени. Вместо да показват приетите от антените сигнали върху екрана на електроннолъчева тръба те прилагат цифрова обработка след аналогово-цифрово преобразуване (АЦП) на междинната честота. Нейното отделяне се осъществява посредством цифрова филтрация (МЧФ). Ъгълът към излъчващия предавател се изчислява по формула (5.6) и се изобразява на екрана на работната станция, която притежава графичен интерфейс, както и възможности за изпращане на резултата от измерването по стандартен комуникационен канал.




Фигура 5.7. Съвременен радиопеленгатор с Adcock антена

5.2.3 Фазов метод за определяне на посоката

При фазовия метод на пеленгуване се измерва разликата във фазите на сигнала, приет от две различни антени, разположени съответно в т.А и т. В на разстояние d една от друга, както е показано на фиг. 5.8.




Фигура 5.8. Фазов метод за определяне на посоката към предавателя

Ако предавателят е разположен върху линия, която сключва ъгъл $\alpha$ с отсечката АВ, разстоянията между предавателя и двете антени ще са различни и приетите сигнала ще се различават по фаза, пропорционална на разликата в разстоянията $\Delta R$:

(5.7) $$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi f.\Delta t,$$

където $\Delta t = \frac{\Delta R}{c}$,

а $c$ е скоростта на разпространение на радиовълната.

Като се има предвид още, че $f = \frac{c}{\lambda}$, след заместване в израза (5.7) за фазовата разлика между двата сигнала се получава

(5.8) $$\Delta\varphi = 2\pi.\frac{c}{\lambda}.\frac{\Delta R}{c} = \frac{2\pi.\Delta R}{\lambda}.$$

От правоъгълния триъгълник АВС на фиг. 5.71 следва, че $\Delta R = d.\sin\alpha$ и след заместване в (5.8) се вижда как фазовата разлика зависи от посоката към предавателя:

$$\Delta\varphi = 2\pi.\frac{c}{\lambda}.\frac{\Delta R}{c} = \frac{2\pi.d}{\lambda}\sin\alpha.$$

От тук

$$\sin\alpha = \frac{\Delta\varphi.\lambda}{2\pi.d}$$

или окончателно:

(5.9) $$\alpha = \arcsin\left(\frac{\Delta\varphi.\lambda}{2\pi.d}\right).$$

5.2.4 Доплеров радиопеленгатор

За определяне на посоката към излъчващия предавател при този пеленгатор се използва ефекта на Доплер (Christian Doppler), който се изразява в промяна на честотата на радиовълните, но също и на звука или друго хармонично трептение в резултат на относителното преместване на източника спрямо приемника. Ако честотата на източника е $f_0$, скоростта на разпространение на трептението – $v$, а скоростта на относителното преместване на приемника спрямо предавателя е $\Delta v$, то честотата на приетия сигнал $f$ се определя с израза:

(5.10) $$f = \left(1 + \frac{\Delta v}{v}\right).f_0.$$

При това, ако източникът и приемникът се приближават, честотата нараства и обратно.

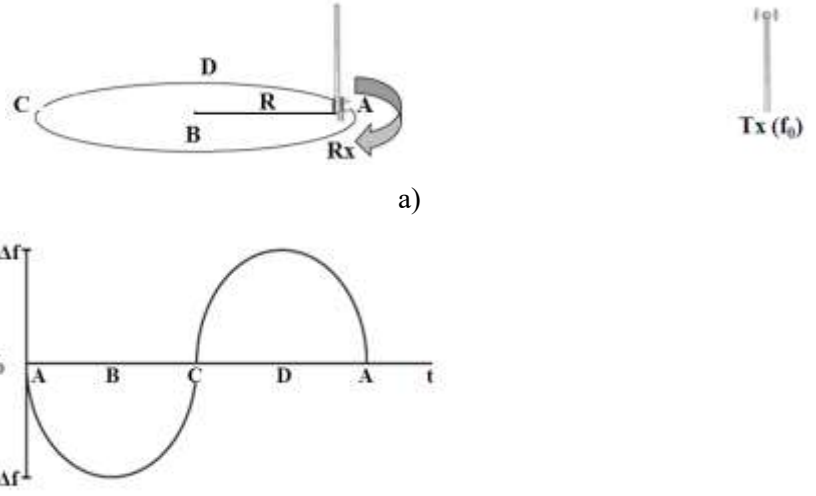
За радиовълните, които се разпространяват със скоростта на светлината, т.е. $v = c = 3.10^8 m/s$ изразът 5.1 добива вида

(5.11) $$f = \left(1 + \frac{\Delta v}{c}\right).f_0,$$

А разликата в излъчената и приетата честота на вълната

(5.12) $$\Delta f = \frac{\Delta v}{c} . f_0 = \frac{\Delta v}{\lambda_0}$$

се нарича „Доплерово отместване“ (Doppler shift).




Фигура 5.9. Изменение на честотата на приетия сигнал в резултат на ефекта на Доплер, предизвикан от въртенето на приемната антена

Доплеровото отместване на честотата на приетия сигнал може да се използва и за определяне на посоката към излъчващия предавател. Идеята за това приложение е илюстрирана на фиг. 5.9. Ако антената на приемника се монтира върху кръг с радиус $R$ и този кръг се завърти по посока на часовата стрелка, то приемната антена ще започне да извършва възвратно-постъпателно движение спрямо предавателя. В резултат на това движение ще се прояви ефектът на Доплер, което ще предизвика периодично изменение на честотата на приетия сигнал, както е показано на фиг. 5.9б). Посоката към предавателя се определя от точките, в които излъчената и приета честоти съвпадат (вж. т. А и С на фиг. 5.9б). Проблемът с нееднозначността при този тип радиопеленгатори се решава обикновено с въвеждане на времезакъснение при синхронизирането на индикатора.

При условие, че въртенето на приемната антена се извършва с кръгова скорост $\omega_R$ , то максималното отклонение от излъчената честота $f_0$ ще се определи с израза:

(5.13) $$\Delta f = \frac{\omega_R.R}{c}.f_0,$$

тъй като

$$\Delta v = \omega_R R = 2\pi f_R R,$$

където $f_R$ е честотата на въртене на приемната антена.

След заместване в израза 5.8, за Доплеровото отместване се получава

(5.14) $$\Delta f = \frac{2\pi f_R R}{c}.f_0;$$

Известно е, че при комуникации на море на ултракъси вълни се използва честотен обхват от порядъка на 150MHz. За комуникации при бедствие, спещност и безопасност напр. честотата е

$$f_0 = 156{,}8MHz;$$ (УКВ канал 16)

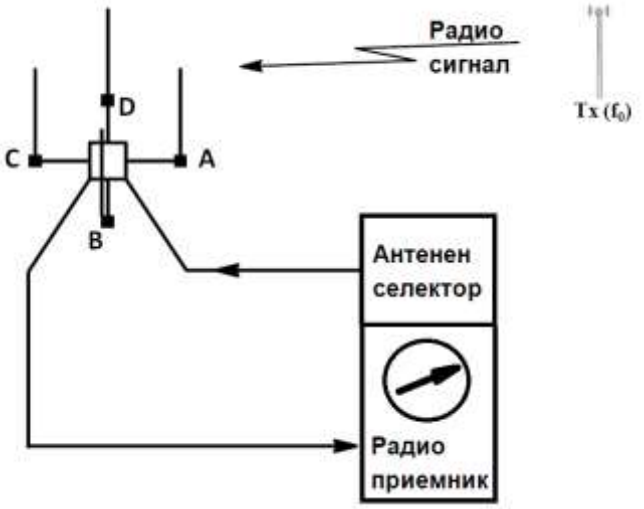
Ако радиусът на приемната антена е $R = 30cm = 0{,}3m$ ,

то след заместване в израза (5.11) се получава, че

$$\Delta f \approx f_R;$$

За да се получи чувствително отклонение от предавателната честота, което да може да бъде отчетено в приемника, очевидно е необходимо приемната антена да се върти с голяма скорост. В случаите на комуникации по търсене и спасяване, напр. честота от порядъка на 1000Hz би могла да се отчете в приемника, но въртене на антената с такава скорост не може да се реализира с механична конструкция (1000Hz = 60000rpm). В тези случаи се прилага електронно сканиране на определен брой антени, разположени в кръг, както е показано на фиг. 5.10.

Посоката към предавателя се определя от точките, в които излъчената и приета честоти съвпадат. За бреговите радиопеленгатори проблемът с нееднозначността практически не съществува, тъй като с тях се наблюдава само морската повърхност.




Фигура 5.10. Антенна система с електронно сканиране за определяне на посоката към излъчващ предавател

Съвременните радиопеленгатори, които се използват в Информационните системи за управление на трафика на плавателните съдове VTMIS могат да наблюдават до осем честоти – едновременно или с последователно сканиране. В повечето случаи освен честотите от морския УКВ диапазон, като канал 16, канал 70 за цифрово избирателно повикване и каналите на Автоматичната идентификационна система 87B и 88B могат да бъдат включени честоти от диапазона на гражданската авиация ICAO – от 118 до 137 MHz, както и честотата за бедствие на военните летателни апарати 243 MHz.

В системите VTMIS радиопеленгаторите се използват освен в изброените по-горе случаи, още и за определяне на мястото на неконвенционални съдове с малки размери, които не са оборудвани с транспондери на системата AIS и ефективна им повърхност на разсейване е твърде малка, за да се виждат достатъчно добре с радиолокационните станции. В системите VTMIS радиопеленгаторите изпълняват и една специфична и много важна функция – визуализация на кораба, с който операторът е във връзка. В районите с интензивен трафик и сложна навигация тази функция улеснява значително тяхната работа и способства за повишаване на

безопасността на корабоплаването. На фиг. 5.11 са показани последователни кадри от екраните на системата VTMIS в района на German Bight в Германия.



а) б) в)

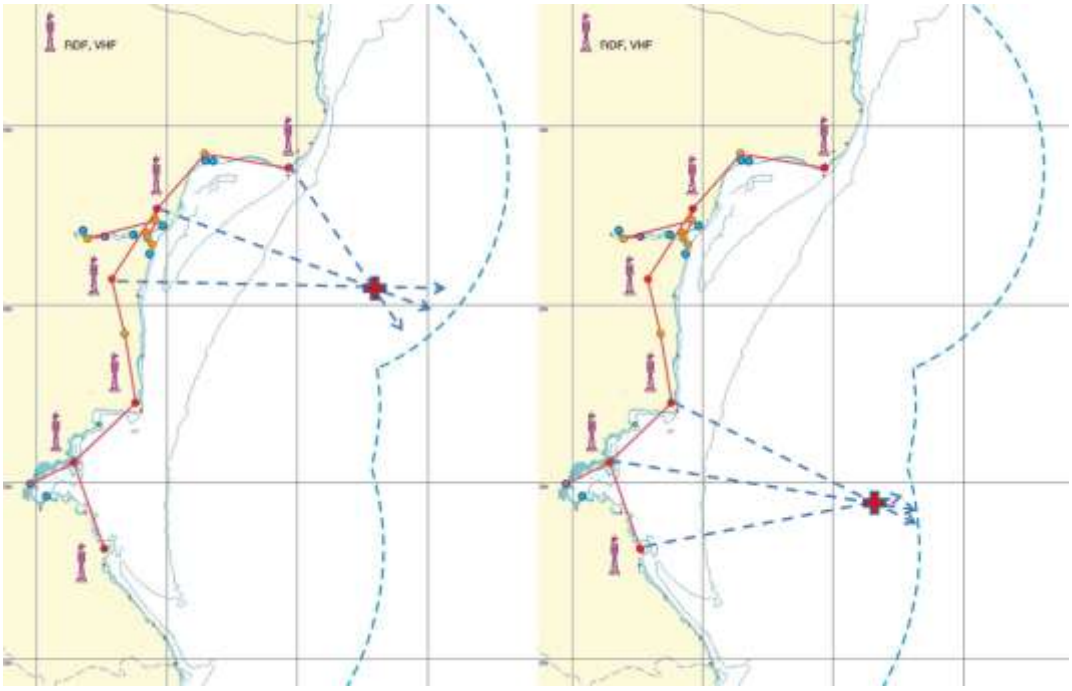
Фигура 5.11. Използване на радиопеленгатори в системата VTMIS за визуализация на кораба, с който операторът е във връзка

Подсистемата от радиопеленгатори в този район поставя отметка (във формата на червен кръст) на мястото на кораба, който излъчва своя рутинен доклад (Position Report) на работната честота на Системата за управление на трафика – УКВ канал 79 (фиг. 5.11а). След навлизане на кораба в обхвата на радиолокационната станция системата го захваща за съпровождане, обработва и изобразява информацията за неговото движение под формата на 6-минутен вектор (фиг. 5.11б). След известно време корабът отново влиза във връзка с оператора на системата VTMIS и върху неговото радиолокационно изображение отново се появява отметката от радиопеленгаторите (фиг. 5.11в). Това дава възможност на оператора да го различи от другите две цели, намиращи се в района на действие на системата.

## 5.3 Подсистема от радиопеленгатори в Българската информационна система за управление на трафика на плавателните съдове VTMIS

В процеса на изграждане на информационната система за управление на трафика на плавателните съдове VTMIS по Българското Черноморско крайбрежие бяха инсталирани няколко различни мрежи от радиопеленгатори. По време на първата фаза фирмата Transas Ltd. разположи три броя радиопеленгатори на постовете „Калиакра – 1“, „Емине“ и „Поморие“. На втората фаза фирмата Sofrelog инсталира три нови радиопеленгатора на Кичево, в с. Горица и на връх Китка. При

това не беше установена връзка между двете системи нито на радиотехническо, нито на изчислително ниво и те работеха самостоятелно. При реализирането на третата фаза от изграждането на Българската информационна система за управление на трафика на плавателните съдове VTMIS фирмата Транслинк подмени радиопеленгатора на Кичево и интегрира всичките радиопеленгатори в единна система (вж. фиг. 5.12). Крайната цел на тази схема е да се осигури наблюдение и на двата района на Българското крайбрежие – Северен (вж. фиг. 5.12а) и Южен (вж. фиг. 5.12б) с по три радиопеленгатора за надеждно определяне на мястото на излъчващия предавател.




а) б)

Фигура 5.12. Разположение на радиопеленгаторите на Информационната система за управление на трафика VTMIS по Българското Черноморско крайбрежие

В Информационната система за управление на трафика VTMIS по Българското Черноморско крайбрежие са използвани три вида радиопеленгатори.

По време на първата фаза на изграждане на системата бяха инсталирани устройства от типа ARCUS M/L, производство на Германската компания C. Plath GMBH. Радиопеленгаторите ARCUS M/L измерват посоката към излъчващия предавател на основата на оценка на амплитудата и фазата на приетия сигнал, използвайки 4-елементни Adcock антени. Обект на наблюдение са всички международни УКВ канали, използвани за комуникация на море, вкл. канал 70 за цифрово избирателно повикване и каналите на системата AIS 77B и 78B, както и честотата за бедствие, използвана от гражданската авиация 121,5 MHz.



Фигура 5.13. Радиопеленгатор ARCUS M/L

Таблица 5.1

| **Изисквания към антенното оборудване** | |
|---|---|
| Температура | -40°C до +60°C |
| Влажност | 10 - 95% |
| Сила на вятъра | 55 m/s |
| Защита от мълнии | Подобрена защита от мълнии |
| **Изисквания към оборудването в помещения** | |
| Температура | -10°C до +55°C |
| Влажност | 10 - 90% |
| **Изисквания към пеленгуването** | |
| Честотен обхват | 155.5-163.55MHz (FM)<br>121.5 MHz (AM) |
| Поляризация | Вертикална |
| Брой на наблюдавани канали | Избираем |
| Разстояние между каналите | 25kHz |
| Точност | ±1°, в лабораторни условия |
| Разрешаваща способност | 0,1° |
| Време за определяне на посоката | 0,9s на изхода на процесора |

Числената стойност на ъгъла се предава в центъра за управление на трафика, където се изобразява в цифрова и в квази-аналогова форма. В системата се използва цифрва корекция на грешките (Digital Site Error Correction, DSEC) за автоматична компенсация на грешките от вторични излъчватели, отражатели, препятствия по повърхността и др., намиращи се непосредствена близост до приемника. На фиг. 5.13 е показан радиопеленгатор ARCUS M/L, а в табл. 5.1 – изискванията към оборудването съгласно техническата спецификация.

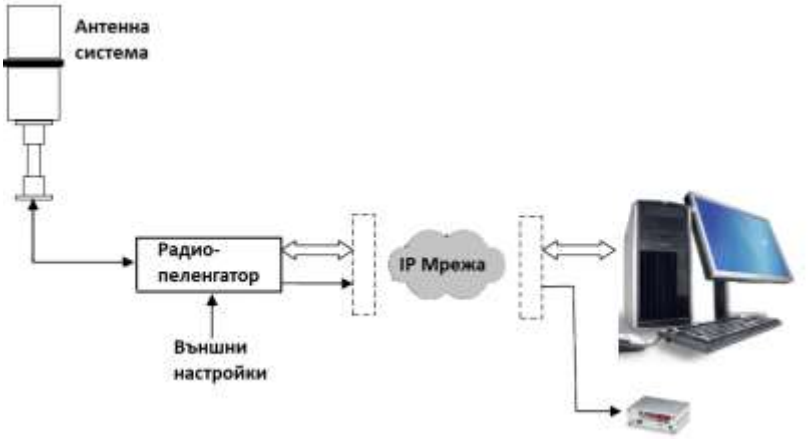


Фигура 5.14. Интегрирана станция за наблюдение на радиочестотния спектър Esmeralda

Таблица 5.2

| **Изисквания към антенното оборудване** | |
|---|---|
| Температура | -40°C до +70°C |
| Влажност | 95% |
| Защита от мълнии | Оптимална защита от мълнии |
| **Изисквания към оборудването в помещения** | |
| Температура | -10°C до +55°C,<br>-10°C до +40°C за компютрите |
| Влажност | 95% |
| **Изисквания към пеленгуването** | |
| Честотен обхват | 20 – 3000 MHz |
| Поляризация | Вертикална |
| Брой на наблюдавани канали | До 500 |
| Разстояние между каналите | 25kHz |
| Точност | ±1°, в лабораторни условия |
| Разрешаваща способност | 0,1° |
| Време за определяне на посоката | 2ms на изхода на процесора |

По време на втората фаза на изграждане на системата бяха инсталирани 3 Интегрирани станции за наблюдение на радиочестотния спектър от типа Esmeralda, производство на Европейската компания Thales. Измерването на посоката към излъчващ предавател е една от многото функции, които тези станции изпълняват. На фиг. 5.14 е показан външният им вид, а в табл. 5.2 – изискванията към оборудването съгласно техническата спецификация.




Фигура 5.15. Радиопеленгатор Rhoteta RT – 800

Таблица 5.3

| **Изисквания към антенното оборудване** | |
|---|---|
| Температура | -40°C до +60°C |
| Влажност | 95% |
| Сила на вятъра | 56 m/s |
| Защита от мълнии | Подобрена защита от мълнии |
| **Изисквания към оборудването в помещения** | |
| Температура | -10°C до +55°C |
| Влажност | 10 - 90% |
| **Изисквания към пеленгуването** | |
| Честотен обхват | 155.5-163.55MHz (FM)<br>118.0MHz, 121.5 MHz, 123.9MHz (AM)<br>240.0 – 243.0 MHz, 245.975MHz<br>400.0 – 409.750MHz |
| Поляризация | Вертикална |
| Брой на наблюдавани канали | 8 избираеми |
| Разстояние между каналите | 25kHz |
| Точност | ±2° RMS, в лабораторни условия |
| Време за определяне на посоката | 50ms на изхода на процесора |

По време на третата фаза на изграждане на системата една от станциите Esmeralda беше подменена с радиопеленгатор от типа Rhoteta RT - 800, производство на Германската компания Rhotheta Elektronik GmbH. Пеленгаторът използва принцип на Доплер с честота на сканиране на елементите на антената 3kHz. На фиг. 5.15 е показан външният му вид, а в табл. 5.3 – изискванията към оборудването съгласно техническата спецификация.

## 5.4. Точност на позициониране при радиопеленгаторите

Използването на радиопеленгатори за определяне на мястото не е най-точния способ за позициониране, както беше казано по-горе. Причината е в механизма, използван при измерванията, който изисква много тясна диаграма на насоченост на антенната система.

Върху точността на определяне на посоката към радиопредавателя оказват влияние редица фактори:

### 5.4.1. Грешки, предизвикани от условията на разпространение на електромагнитните вълни

Тези грешки се дължат на специфичните характеристики на средата, в която се разпространява наблюдавания сигнал. Най-общо електромагнитните вълни се разпространяват от антената на предавателя до мястото, на което е инсталиран радиопеленгаторът по четири различни начина в зависимост от тяхната дължина. Както беше казано по-горе, според начина на разпространение на ЕМВ те биват приземни (Ground waves), йоносферни (Ionospheric waves), пространствени (Direct space waves) и вълни, свободно преминаващи през земната атмосфера (Escape waves). В първата група влизат дългите и средни вълни (30 – 3000KHz), във втората група са късите вълни (3 – 30 MHz), а третата и четвъртата група включват ултракъсите (30 – 300MHz), дециметровите и сантиметровите вълни. Експерименталните изследвания показват, че пространствените вълни, в чийто обхват се намират работните честоти на радиопеленгаторите, се разпространяват по траектория, съвпадаща или много близка до ортодромния азимут (the great-circle bearing). При развълнувана морска повърхност отклоненията от тази траектория т.е.

грешките, предизвикани от условията на разпространение се увеличават. През горещите летни дни, когато се създават условия за т.нар. тропосферна рефракция (ducting), грешките от този тип могат да нарастнат значително.

### 5.4.2. Грешки, предизвикани от особеностите на околната среда

В районите, в които се инсталират приемните антени на радиопеленгаторите обикновено се срещат смущаващи фактори, като вторични излъчватели, отражатели, препятствия по повърхността и др., намиращи се непосредствена близост до приемника. Грешките, предизвикани в далечната зона (на разстояние по-голямо от десет дължини на вълната) не могат да се контролират, тъй като калибрационните корекции са невъзможни, а изчислителните грешки са незначителни.

### 5.4.3. Инструментални грешки

Инструменталните грешки се създават в радиопеленгаторните системи в резултат на несъвършенството на апаратурата и на механизмите, използвани при определяне на посоката. Факторите, оказващи влияние върху стойността на тези грешки са ниската стойност на отношението „Сигнал – Шум“ в приемника, дисбаланса в настройките на амплитудите и фазите на приетите сигнали, неточности в настройките по време и честота, неточности в калибрирането, както и грешки от цифровата обработка на сигналите и в алгоритмите, по които се обработват цифровите данни.

### 5.4.4. Грешки от наблюдение

Грешките от наблюдение се проявяват в интерфейса, използван от оператора и не трябва да се приемат непременно за операторски грешки. На първо място те се дължат на неспособността на индикаторите да предоставят на оператора достоверна информация. Този тип грешки се проявяват основно при представяето на информцията в аналогова форма. Представянето на данните в цифров вид предизвиква пренебрежимо малка грешка от наблюдение, освен ако не се приеме

също, че остротата на зрението на оператора е друг източник на грешка от наблюдение.

Общата грешка е кумулативна, т.е. получава се в резултат на сумиране на грешките, предизвикани от различните независимо източници. В системите VTMIS, където антените на радиопеленгаторите са фиксирани, натрупаните в продължение на много дълъг период от време статистически данни могат да помогнат при определяне на някои коригиращи параметри, с които да се подобри точността на измерване на посоката към излъчващия предавател (пеленгуване).

Точността на пеленгуване в RMS (Root Mean Square) се определя с помощта на израза

$$\Delta A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(AM_i - AT_i\right)^2}{n}}, \tag{5.15}$$

където $AM_i, i = 1-n$ е измереният азимут,

$AT_i, i = 1-n$ - истинският азимут,

$n$ – броят на измерванията.

За определяне на точността на позициониране на системата от радиопеленгатори по Българското Черноморско крайбрежие е проведен експеримент с участието на плавателни съдове на Морския спасително-координационен център МСКЦ – Варна. За база за сравнение са използвани данните от Автоматичната идентификационна система (AIS). Азимуталният ъгъл към транспондерите на спасителните кораби е измерван многократно (от 7 до 25 пъти) на различни разстояния както с помощта на радиопеленгаторите, така и с AIS. Тъй като по време на измерванията излъчващият предавател се движи, за изчисляване на числените стойности, определящи точността на пеленгаторите са използвани модифицираните изрази както следва:

- за средна стойност на разликите в измерения азимут

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(AM_i - AT_i\right)}{n}, \tag{5.16}$$

където за истински азимут $AT_i, i = 1 - n$ се приема азимута, определен с помощта на автоматичната идентификационна система (AIS);

- за точността на измерванията на азимута (RMS),

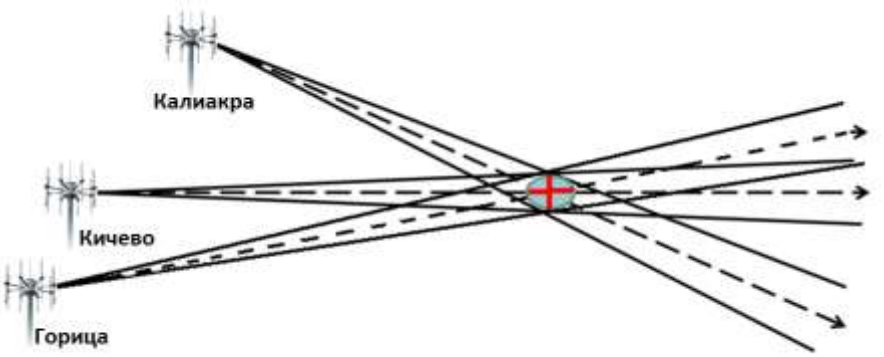
$$\Delta A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} V_i}{n}}, \tag{5.17}$$

където $V_i = \left[\left(AM_i - AT_i\right) - \mu\right]^2, i = 1 - n$ е средноквадратичното отклонение при всяко измерване (Variance).

Резултатите от измерванията за четирите пеленгатора, разположени на постове „Калиакра – 1“, „Кичево“, „Емине“ и „Поморие“ са показани в таблици 5.4.

Таблица 5.4

| **Параметър** | **Разположение на радиопеленгатора** | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Калиакра - 1 | Кичево | Емине | Поморие |
| Средна разлика | 0,62º | -0,05º | -1,12º | -0,12º |
| Точност, RMS | 1,5071º | 2,3856º | 2,0791º | 1,2106º |




Фигура 5.20. Точност на позициониране на излъчващ предавател при използване на три радиопеленгатора

Обобщените експериментални резултати показват, че точността на системата от радиопеленгатори, разположени по Българското черноморско крайбрежие за определяне на пеленга към излъчващ предавател в RMS е в границите от 1,2° до 2,4°. Точността на позициониране на предавателя при използване на три радиопеленгатора се определя от радиуса на вписаната окръжност в площта на сечението на трите лъча на определено разстояние, както е показано на фиг. 5.20.

## 5.5 Корабен радиопеленгатор

До появата на спътниковите радионавигационни системи радиопеленгаторите се използваха в корабоплаването като основно техническо средство за определяне на мястото на кораба. За целта по крайбрежието бяха инсталирани мрежи от радиопредаватели, които излъчваха на определена честота в обхвата на средните вълни (280kHz – 320kHz) и по определено разписание. По западното крайбрежие на Черно море напр. мрежата се състоеше от 5бр. радиопредаватели, два от които в Румъния и три в България – на нос Калиакра (с позивна KL), на Емине (с позивна EI) и на Маслен нос (с позивна MN). Когато корабът се намира в обхвата на тези предаватели вахтеният офицер може да използва корабния радиопеленгатор за измерване на три пеленга и по този начин да определи своето местоположение. След въвеждането на спътниковите радионавигационни системи беше преустановено излъчването на тези предаватели и по предложение на Бреговата охрана на САЩ част от тях започнаха да излъчват диференциални поправки за повишаване на точността на позициониране.

В наши дни радиопеленгатори се инсталират само на борда на специализирани съдове, напр. за търсене и спасяване (т.нар. SAR Units) или за реакция в критични случаи (т.нар. Emergency Response Vessles). Тези съдове използват радиопеленгаторите за определяне на посоката към бедстващия кораб. Сигналът, излъчван от предавателя в този случай се нарича насочващ (на англ. Homing signal) и обикновено е на някоя от честотите, определени в морската подвижна служба за комуникации при бедствие, спешност и/или безопасност. За честотния диапазон на УКВ напр. това са канал 16 и канал 70 за системата на Цифрово избирателно повикване, както и канали 87B и 88B, използвани от AIS.

Корабните радиопеленгатори за търсене и спасяване могат да приемат и сигнали с честота 121,5 MHz, които съгласно Международната конвенция IAMSAR се използват в комуникациите по търсене и спасяване с участието на авиация, както и в съвременните Аварийни радиобуйове (EPIRB) като насочващи сигнали. В списъка са включени още честотата за бедствие на военните летателни апарати 243 MHz и 406 MHz, използвана от системата COSPAS-SARSAT.




Фигура 5.21. Корабен радиопеленгатор „Rhotheta – RT – 500 M“ (от GMDSS симулатор TGS5000)

Един от най-използваните модели корабни радиопеленгатори е Rhotheta – RT – 500 M, показан на фиг. 5.21. Пеленгаторът използва принцип на Доплер с честота на сканиране на елементите на антената 3kHz. Изобразяването на резултата от измерването може да бъде представено като относителен или като истински пеленг. Точността е от порядъка на ±5˚ RMS. Устройството притежава интерфейси за свързване с други устройства на борда от типа NMEA 0183 и Ethernet LAN.

# 6. ГЛОБАЛНИ СПЪТНИКОВИ НАВИГАЦИОННИ СИСТЕМИ GNSS

## 6.1. Исторически сведения

Глобалните спътникови радионавигационни системи се изграждат основно през 60-те години на 20-ти век. Паралелно се разработват и внедряват две ситеми с военно предназначение: системата „Transit“ по заявка на ВМС на САЩ и системата „Циклон“ на СССР. Двете системи са аналогични, като и при двете се използват изкуствени навигационни спътници разположени на ниски полярни орбити с височина 1000-1100 км. над Земната повърхност. Съзвездията се състоят от 4 до 6 навигационни спътника, които извършват един оборот около Земята за приблизително 106 минути. На по-късен етап е разработена системата „Цикада“ (СССР), която е наследник на „Циклон“ и е предназначена за използване от невоенни потребители. Тези системи спадат към т.н. глобални спътникови радионавигационни системи от първо поколение. За определяне на местоположението на потребителя се използва измерването на доплеровото изменение на две кохерентни честои в УКВ честотния диапазон (150 и 400 MHz). Поради съществените недостатъци (определяне на местоположение само в дву-координатна система, лоша точност на ОМП и големият интервал между обсервациите) СРНС от първо поколение излизат от употреба, като биват заместени от по-съвременните и усъвършенствани глобални СРНС от второ поколение: NAVSTAR/GPS, GLONASS, GALILEO.

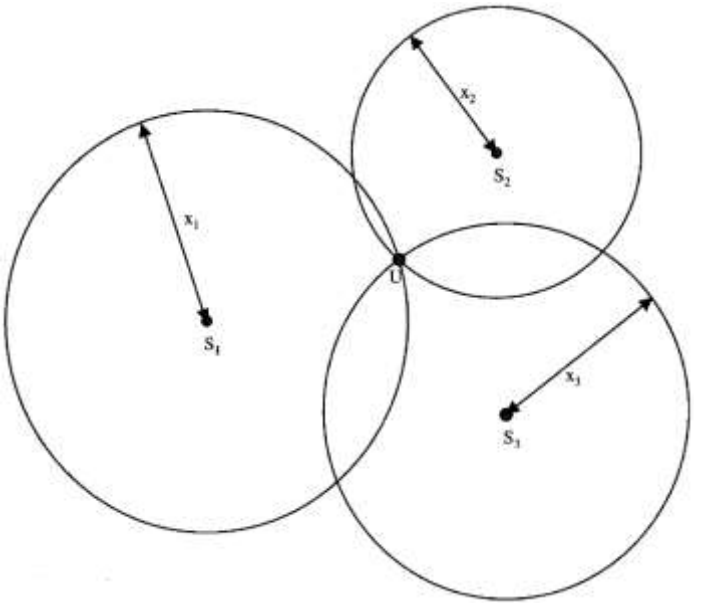
## 6.2. Глобална спътникова радионавигационна система NAVSTAR (GPS)

NAVSTAR - Navigation System using Timing And Ranging

СРНС Navstar е наследник на СРНС Transit. Основните недостатъци на СРНС Transit са два: 1. Не осигурява непрекъснато определяне на местоположението. Основният проблем са големите промеждутъци от време, в които не се приема сигнал. Първоначално един спътник е преминавал на всеки 90 секунди, потребителите е трябвало да интерполират положението си между тези преминавания. 2. Системата Transit осигурява сравнително ниска навигационна точност.

СРНС NAVSTAR, която често се нарича GPS е създадена с идеята да бъде независима от атмосферните условия, космически базирана навигационна система под управлението на Министерството на отбраната на САЩ, която удовлетворява изискванията за непрекъснато определяне на положение, скорост и време в обща референтна система, навсякъде върху или близо до заемната повърхност, както за военни така и за невоенни потребители. Подробна информация за текущото състояние на системата може да бъде намерена на интернет адрес http://www.gps.gov

Принципът се основава на идеята, че местопололожението на точка (потребител) може лесно да бъде изчислено чрез използване на разстоянията до поне три навигационни спътника (НС) с известни координати (вж. фиг. 6.1). За да се определят разстоянията до НС всеки един от тях непрекъснато излъчва в ефира високочестотни радиосигнали с навигационни съобщения, чрез които предава своето местоположение в тримерна координатна система и допълнителна информация.




Фигура 6.1 Определяне на местоположение в двумерно пространство, чрез използване на глобална спътникова радионавигационна система Navstar

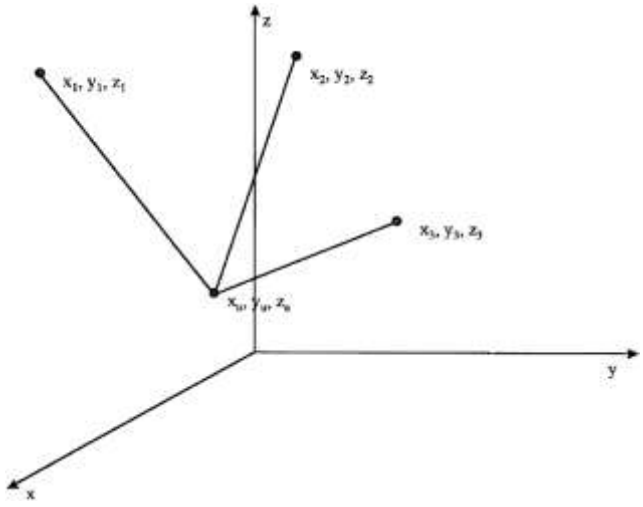
Местоположението на приемника се определя като пресечна точка на псевдоразстоянията до навигационните изкуствени спътници, чиито ефемеридни данни са приети и са използвани за изчисленията в паметта на приемника. Три псевдоразстояния служат за определянето на мястото в двумерна координатна система (x, y). Четири псевдоразстояния (от четири навигационни спътника) служат за определянето на местоположението в тримерна координатна система (x, y, z).

Изчислените координати x, y, z могат лесно да бъдат се превърнати в географска ширина и дължина или географска ширина, дължина и височина, базирайки се на параметрите на геодезичния референт-елепсоид WGS-84.

Основното уравнение за определяне на разстоянието между потребител j и навигационен спътник i е изразено с формула 1.

(6.1) $$R_j^i = \Delta t_{transit}.c$$

където, R е разстоянието между навигационния спътник и потребителя, $\Delta t_{transit}$ е времето за което навигационния сигнал преминава от навигационния спътник до потребителя (приблизително 6-7 ms), а $c$ е скоростта на светлината ($3.10^8$ m/s). Поради неоднородната среда през която преминава навигационния сигнал на практика се измерва не истинското разстояние R, а псевдо-разстоянието (pseudo-range, PR) между двата обекта.




Фигура 6.2. Геоцентрично-фиксирана земна координатна система използвана в GNSS Navstar (GPS)

С уравнение 2 се дефинира определянето на псевдо-разстоянието между потребител j и навигационен спътник i.

(6.2) $$PR_j^i = GR_j^i + \Delta_{SV} + \Delta_{ION} + \Delta_{TRO} + \Delta_{MP} + \Delta_R$$

където, $GR_j^i = \sqrt{(x^i - x_j)^2 + (y^i - y_j)^2 + (z^i - z_j)^2}$ е геометричното разстояние между двата обекта, $(x^i, y^i, z^i)$ са координатите на i-тия навигационен спътник в геоцентрично-фиксирана земна (Earth-Centered Earth-Fixed, ECEF) координатна система, а $(x_j, y_j, z_j)$ са координатите на потребителя в същата координатна система.

Този метод осигурява точност на ОМП приблизително 100 метра в хоризонтално направление, 156 m във вертикално направление, 0,3 m/s за скорост и 340 ns за времевия компонент при ниво на доверителна вероятност 95% (2drms). При ниво на доверителна вероятност 99,99% (3drms) точността намалява на 300 метра в хоризонтално направление и на 500 метра във вертикално направление. В зависимост от възможностите на оборудването на потребителя и прилагането на допълнителни режими за ОМП тези стойности могат значително да бъдат редуцирани.

Формула 6.3 представя системата уравнения, решението на които дава местоположението на потребителя в координатната система, където $\rho_i$ е разстоянието до i–тия НС, $x_i$, $y_i$, $z_i$ са координатите на i–тия НС, а xu, yu, zu са изчислените координати на потребителя.

(6.3)
$$\rho_1 = \sqrt{(x_1 - x_u)^2 + (y_1 - y_u)^2 + (z_1 - z_u)^2}$$
$$\rho_2 = \sqrt{(x_2 - x_u)^2 + (y_2 - y_u)^2 + (z_2 - z_u)^2}$$
$$\rho_3 = \sqrt{(x_3 - x_u)^2 + (y_3 - y_u)^2 + (z_3 - z_u)^2}$$

Съществува още един неизвестен параметър, който съществено влияе на точността на ОМП, а именно разсъгласовката на бордовия часовник на навигационния спътник и часовникът в приемника на потребителя.

Формула 6.4 представя пълната система от уравнения необходими за еднозначно определяне на местоположението и точно време на потребителя.

$$
\begin{aligned}
\rho_1 &= \sqrt{(x_1 - x_u)^2 + (y_1 - y_u)^2 + (z_1 - z_u)^2} + b_u \\
\rho_2 &= \sqrt{(x_2 - x_u)^2 + (y_2 - y_u)^2 + (z_2 - z_u)^2} + b_u \\
\rho_3 &= \sqrt{(x_3 - x_u)^2 + (y_3 - y_u)^2 + (z_3 - z_u)^2} + b_u \\
\rho_4 &= \sqrt{(x_4 - x_u)^2 + (y_4 - y_u)^2 + (z_4 - z_u)^2} + b_u
\end{aligned}
\tag{6.4}
$$

където, bu е грешката предизвикана от отклонението на часовника в приемника на потребителя, изразена като разстояние.

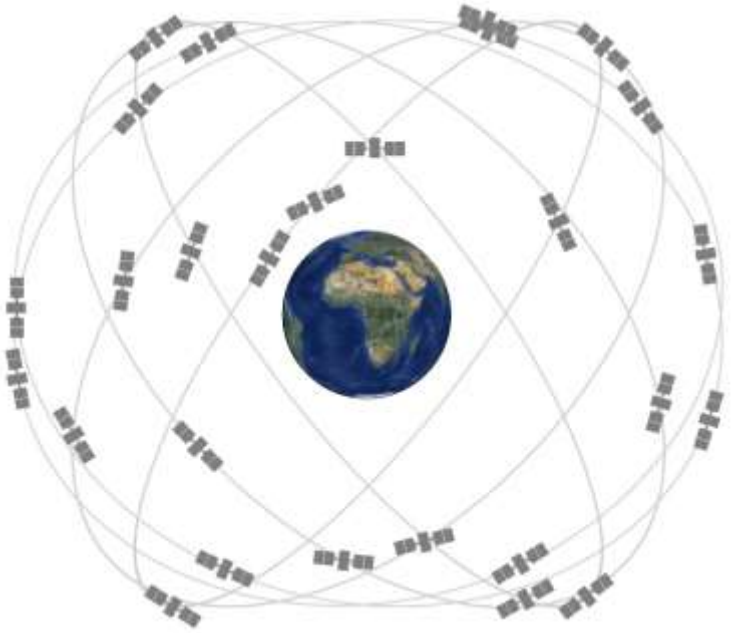
Следователно за ОМП чрез използването на СРНС е необходимо използването на минимум четири НС.

Структура на СРНС NAVSTAR: състои се от три основни сегмента:

- космическа част;
- контролна част;
- потребители.

**Космическата част** е съставена от навигационни спътници (НС) които излъчват радиосигнали с оперативна и неоперативна навигационна информация. Номиналната конфигурация е съставена от 24 активни (действащи) спътника, разположени по четири броя в шест орбитални равнини (обозначени с букви от A до F) с наклон (i)=55,0° спрямо Екватора. Предвиден е по един резервен НС за всяка равнина. Навигационните спътници имат почти кръгови орбити с височина над земната повърхност 20 200 км и период на обикаляне около Земята равен на 11 часа 57 мин 58,3 сек. В пълната си конфигурация космическата част осигурява глобално покритие с по четири до осем едновременно наблюдаеми НС с азимут над 15° над хоризонта по всяко време на денонощието. Ако азимутът се намали на 10°, е възможно да се наблюдават 10 НС, а при 5° - 12 НС. Начална оперативна готовност (НОГ или Initial Operational Capability, IOC) е достигната през месец юли 1993 г., когато функционират 24 НС (Блок I/II/IIA) и са на разположение за навигация. Официално НОГ е обявена на 8 декември 1993 г. Пълна оперативна готовност (ПОГ или Full Operation Capability, FOC) е достигната, когато 24 НС (Блок II/IIA) са

въведени в действие в техните определени орбити и конфигурацията е изпитана за оперативна военна дейност. Независимо, че 24 НС от Блок II са на разположение от Март 1994 г. ПОГ е обявена на 17 юли 1995 г.



Фигура 6.3 Съзвездие от навигационни спътници на GNSS Navstar (GPS)

В таблица 6.1 е показано текущото състояние на орбиталната групировка от наигационни спътници в орбиталните равнини и слотове.

Таблица 6.1

| Plane | Slot | SVN | PRN | Block-Type | Clock |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 1 | 65 | 24 | IIF | CS |
| A | 2 | 52 | 31 | IIR-M | RB |
| A | 3 | 64 | 30 | IIF | RB |
| A | 4 | 48 | 7 | IIR-M | RB |
| B | 1 | 56 | 16 | IIR | RB |
| B | 2 | 62 | 25 | IIF | RB |
| B | 3 | 44 | 28 | IIR | RB |
| B | 4 | 58 | 12 | IIR-M | RB |
| B | 5 | 71 | 26 | IIF | RB |
| B | 6 | 51 | 20 | IIR | RB |
| C | 1 | 57 | 29 | IIR-M | RB |
| C | 2 | 66 | 27 | IIF | RB |
| C | 3 | 72 | 8 | IIF | CS |

Таблица 6.1

| Plane | Slot | SVN | PRN | Block-Type | Clock |
|---|---|---|---|---|---|
| C | 4 | 53 | 17 | IIR-M | RB |
| C | 5 | 59 | 19 | IIR | RB |
| D | 1 | 61 | 2 | IIR | RB |
| D | 2 | 63 | 1 | IIF | RB |
| D | 3 | 45 | 21 | IIR | RB |
| D | 4 | 67 | 6 | IIF | RB |
| D | 5 | 46 | 11 | IIR | RB |
| E | 1 | 69 | 3 | IIF | RB |
| E | 2 | 73 | 10 | IIF | RB |
| E | 3 | 50 | 5 | IIR-M | RB |
| E | 4 | 54 | 18 | IIR | RB |
| E | 6 | 47 | 22 | IIR | RB |
| F | 1 | 70 | 32 | IIF | RB |
| F | 2 | 55 | 15 | IIR-M | RB |
| F | 3 | 68 | 9 | IIF | RB |
| F | 4 | 60 | 23 | IIR | RB |
| F | 5 | 41 | 14 | IIR | RB |
| F | 6 | 43 | 13 | IIR | RB |

Таблица 6.2

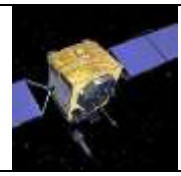
| Legacy Satellites | | Modernized Satellites | | |
|---|---|---|---|---|
|  |  |  |  |  |
| Block IIA | Block IIR | Block IIR-M | Block IIF | GPS III |
| 0<br>Оперативни | 12<br>оперативни | 7<br>оперативни | 12<br>оперативни | в процес на производство |
| • Coarse Acquisition (C/A) code on L1 frequency for civil users<br>• Precise P(Y) code on L1 & L2 frequencies for military users<br>• 7.5-year design lifespan<br>• Launched in | • C/A code on L1<br>• P(Y) code on L1 & L2<br>• On-board clock monitoring<br>• 7.5-year design lifespan<br>• Launched in 1997-2004 | • All legacy signals<br>• 2nd civil signal on L2 (L2C)<br>• New military M code signals for enhanced jam resistance<br>• Flexible power levels for military signals | • All Block IIR-M signals<br>• 3rd civil signal on L5 frequency (L5)<br>• Advanced atomic clocks<br>• Improved accuracy, signal strength, and quality<br>• 12-year design lifespan | • All Block IIF signals<br>• 4th civil signal on L1 (L1C)<br>• Enhanced signal reliability, accuracy, and integrity<br>• No Selective Availability<br>• Satellites |

Таблица 6.2

| Legacy Satellites | | Modernized Satellites | | |
|---|---|---|---|---|
| 1990-1997<br>• Last one decommissioned in 2016 | | • 7.5-year design lifespan<br>• Launched in 2005-2009 | • Launched in 2010-2016 | 11+: laser reflectors; search & rescue payload<br>• 15-year design lifespan<br>• First launch no earlier than 2018 |

**Контролна част**

Състои се от: център за управление; основни станции за наблюдение; земни контролни станции.




Фигура 6.4. Разположение на контролната част на GNSS Navstar

Центърът за управление се грижи за контрола върху спътниците и за работата на системата, като събира данните от станциите за наблюдение и

изчислява орбитите на спътниците и параметрите на часовниците. Резултатите се изпращат да една от земните контролни станции за прехвърлянето им на спътниците. Центърът се намира в обединения космически оперативен център във военно-въздушната база "Шрайвър" в Колорадо Спрингс.

Основните станции за наблюдение са оборудвани с прецизни атомни часовници и приемници, които непрекъснато измерват псевдоразстоянията до всички видими спътници през интервал 1,5 секунди и чрез използване на метеорологичните и йоносферните данни се изглаждат, получените резултати се изпращат в центъра за управление.

За изчисляването на ефемеридите се използват данните от допълнителни станции за мониторинг.



Фигура 6.5. Земни контролни станции на GNSS Navstar

Земни контролни станции. Те осигуряват комуникационната връзка с навигационните спътници. Ефемеридите на спътниците и данните от часовниците, изчислени от главната контролна станция получени чрез комуникационни канали се зареждат във всеки НС по радиоканал на честота 2227,5 MHz. Първоначално зареждането на данните се е осъществявало през 8 часа, но по-късно честотата на зареждне се свежда до един път на ден. В допълнение те имат още една главна функция - система за разпространение на двадесет и четири часов бюлетин за последните изменения и статус на системата.

В СРНС Navstar всеки НС излъчва сигнали на две кохерентни честоти, който са хармонични на една опорна честота $f_0 = 10.23MHz$. Двете носещи честоти са съответни 154 и 120 пъти по-високи от опорната честота. Честотата $f_1 = 154x10.23 = 1575.42MHz$ носи навигационно съобщение и общодостъпни кодирани сигнали. На тази честота се предават сигнали, както с P(Y) код (висока точност), така и с C/A кода (стандартна точност). Модулираната носеща честота може да се представи с уравнението:

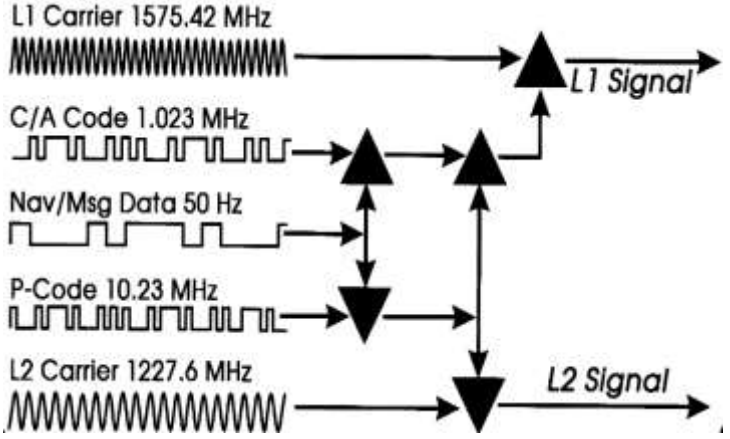
(6.5) $$L1(t) = a_1 P(t).W(t).D(t).\cos(f_1 t) + a_1 C/A(t).D(t).\sin(f_1 t)$$

Кодът C/A и P-кодът се намират във фазова квадратура.

Втората честота $f_2 = 120x10.23 = 1227.60MHz$ е само за лицензирани потребители и се използва за измерване на йоносферното закъснение на сигналите. Модулираната носеща честота L2 може да се представи с уравнението:

(6.6) $$L2(t) = a_2 P(t).W(t).D(t).\cos(f_2 t)$$

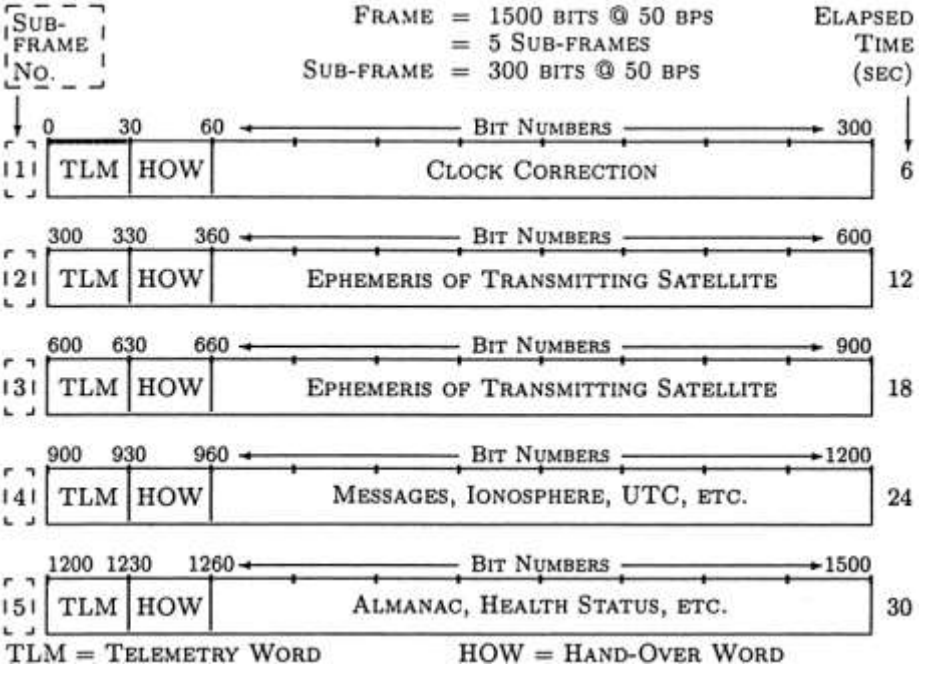
Кодовете за модулиране на сигнала са съставени от последователност, която има състояноя +1 и -1 съответстващи на двойчните стойности "0" или "1". Двуфазовата модлация се извършва с едно отместване на фазата на носещата честота с 180° винаги, когато се появи промяна в кодовото състояние. Използват се два кода C/A (Coarse/Acquisition) или код за несанкциониран достъп, и P-код или прецизен код. C/A кодът е последователност тип "псевдослучаен шумоподобен код" (Pseudo Random Noise, PRN) и има честота $f_0/10 = 1.023MHz$ и се повтаря всяка милисекунда. Прецизният (или защитеният) код има честота $f_0 = 10.23MHz$ и се повтаря на всеки 266,4 денонощия.




Фигура 6.6 Формиране на сигнали в СРНС Navstar

Трябва да се отбележи, че радиосигналите се характеризират с разпръснат спектър и са по-устойчиви на смесване.

Оперативната и неоперативната информация се предава форматирана в кадри и подкадри (вж. фиг. 6.7).




Фигура 6.7. Предаване на оперативна и неоперативна информация в СРНС Navstar

Кадрите с данни (1500 bits) се изпращат на всеки тридесет секунди. Всеки кадър се състои от пет подкадри. Данните на подкадрите (300 bits се излъчват за шест секунди) съдържат равен брой битове. Навигационни данни са параметрични данни описващи състоянието на спътниковия часовник (GPS-време); параметрични ефемеридните данни описващи спътниковите орбити. Алманаси за приблизителните параметри за орбиталните данни на всички спътници и параметри на йоносферата.

Стойностите по основните тактико-технически характеристики на СРНС Navstar са изобразени в таблица 6.3.

Таблица 6.3

| **Параметър** | **Стойност** |
|---|---|
| **характеристики на сигналите**<br>носеща честота<br><br>честотен диапазон<br><br>тип сигнал<br>структура на сигнала | <br>L1 - 1575.42 MHz<br>L2 - 1227.60 MHz<br>L1 - 1559÷1620 MHz<br>L2 - 1215÷1260 MHz<br>неравномерна псевдослучайна<br>последователност от<br>носеща честота<br>псевдослучаен шумоподобен код<br>навигационно съобщение |
| **Точност**<br>Хоризонтална<br>Вертикална<br>По време | <br>≤ 13 m;<br>≤ 22 m;<br>≤ 40 ns |
| **достъпност** | 99% |
| **покритие** | глобално |
| **надеждност** | 99,94% |
| **брой независими ОМП за единица време** | до 20 за секунда |
| **мерност на ОМП** | Тримерно + Време |
| **капацитет на системата** | Неограничен |

## 6.3. Глобална спътникова радионавигационна система ГЛОНАСС

ГЛОНАСС - ГЛОбальная НАвигационная Спутноковая Система

СРНС ГЛОНАСС се разработва с двойно предназначение: 1. за нуждите на Министерството на отбраната на Руската федерация и 2. за граждански потребители. Системата е наследник на СРНС от първо поколение „Цикада“. Нейната поддръжка и експлоатация са ангажимент на Управлението за космически

средства към Министерството на отбраната на Руската федерация. Подробна информация за системата може да се намери на интернет адрес www.glonass-iac.ru

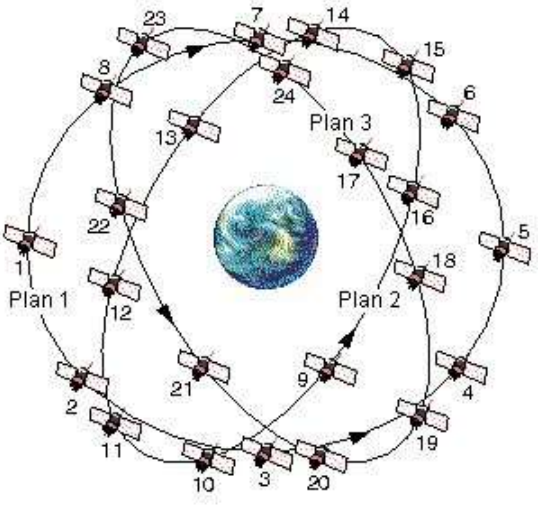
Системата се състой от три основни сегмента:

1. космическа част;
2. контролна част за управление;
3. потребители.



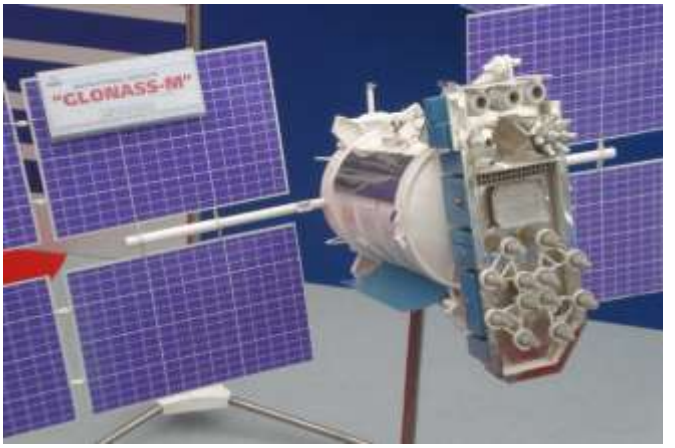

Фигура 6.8. Съзвездие от навигационни спътници на СРНС ГЛОНАСС

Космическата част е съставена от 24 НС, разпределени по осем броя в три средновисоки приблизително кръгови орбити на височина над Земната повърхност 19 100 км и наклон спрямо Екватора (i) = 64,8°. Във всяка равнина НС са равномерно разпределени през 45,0° по аргумент на ширината. Орбиталните равнини сащо са разнесени равномерно през 120,0° една от друга. Иннтервалът на повторяемост на трасето на всеки НС е 17 обиколки на Земята или 7 денонощия 23 часа 27 минути и 28 секунди. На практика НС се движат по едни и същи трасета. Това свойство осигурява високоточно определяне на орбите им и параметрите на въртене на Земята, от системата за контрол и управление.




Фигура 6.9. Орбитални равнини на СРНС ГЛОНАСС

Основа на системата ГЛОНАСС са спътниците 11Ф654 "Ураган". Към момента в експлоатация се намират два типа НС: базовият модел 11Ф654 "Ураган" наричан още "ГЛОНАСС" и модернизираният НС "ГЛОНАСС-М", първият от тази серия е изстрелян през месец Декември 2003г.




Фигура 6.10. Макет на НС "ГЛОНАСС-М"

Разликата между двата типа НС се състои в усъвършенстване на антенно-фидерният блок при модернизираният тип, увеличаване на проектният период за експлоатация и въвеждане на втора работна честота за гражданско използване.

Разработва се и следващо поколение НС "ГЛОНАСС-К", който ще притежава принципно нова конструкция базирана на несиметрична платформа. Проектният период на експлоатация е повишен на 10-12 години. Предвижда се работа на трета честота в L-диапазона за гражданско използване. В продес на разработка е тактико-техническото задание на следващият тип НС "ГЛОНАСС-КМ". В таблица 6.4 са изобразени някой характеристики на НС на СРНС ГЛОНАСС.

Таблица 6.4

| **Тип на НС** | **ГЛОНАСС** | **ГЛОНАСС-М** | **ГЛОНАСС-К** | **ГЛОНАСС-КМ** |
|---|---|---|---|---|
| първо изстрелване | 1982 | 2003 | 2007 | 2015 |
| работни честоти | 1 гражданска | 2 граждански | 3 граждански | В процес на разработване |
| очакван брой НС | 3 бр. | 12 бр. | до 27 бр. | |
| маса | 1370 кг. | | 770 кг. | |
| диаметър | 1,3 м | | | |
| ширина | 7,23 м | | | |
| точност на еталонната честота | $3\text{-}5.10^{-13}$ сек. | $1.10^{-13}$ сек. | | |
| проектен период за експл. | 3-4,5 год. | 7 год. | 10-12 год. | |

В таблица 6.5 е изобразено текущото състояние на орбиталната групировка от НС на системата за 09.10.2017г.

Таблица 6.5

| Orb. slot | Orb. pl. | RF channel | # GC | Launched | Operation begins | Life-time (months) | Satellite health status | | Comments |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | In almanac | In ephemeris (UTC) | |
| 1 | 1 | 1 | 730 | 14.12.09 | 30.01.10 | 93.9 | + | + 18:30 09.10.17 | In operation |
| 2 | 1 | -4 | 747 | 26.04.13 | 04.07.13 | 53.5 | + | + 18:30 09.10.17 | In operation |
| 3 | 1 | 5 | 744 | 04.11.11 | 08.12.11 | 71.2 | + | + 18:30 09.10.17 | In operation |
| 4 | 1 | 6 | 742 | 02.10.11 | 25.10.11 | 72.3 | + | + 18:30 09.10.17 | In operation |
| 5 | 1 | 1 | 734 | 14.12.09 | 10.01.10 | 93.9 | + | + 18:30 09.10.17 | In operation |
| 6 | 1 | -4 | 733 | 14.12.09 | 24.01.10 | 93.9 | + | + 18:30 09.10.17 | In operation |
| 7 | 1 | 5 | 745 | 04.11.11 | 18.12.11 | 71.2 | + | + 18:30 09.10.17 | In operation |
| 8 | 1 | 6 | 743 | 04.11.11 | 20.09.12 | 71.2 | + | + 18:30 09.10.17 | In operation |
| 9 | 2 | -2 | 702 | 01.12.14 | 15.02.16 | 34.3 | + | + 18:30 09.10.17 | In operation |
| 10 | 2 | -7 | 717 | 25.12.06 | 03.04.07 | 129.6 | + | + 18:30 09.10.17 | In operation |
| 11 | 2 | 0 | 753 | 29.05.16 | 27.06.16 | 16.4 | + | + 18:30 09.10.17 | In operation |
| 12 | 2 | -1 | 723 | 25.12.07 | 22.01.08 | 117.6 | + | + 18:30 09.10.17 | In operation |

Таблица 6.5

| Orb. slot | Orb. pl. | RF channel | # GC | Launched | Operation begins | Life-time (months) | Satellite health status | | Comments |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 13 | 2 | -2 | 721 | 25.12.07 | 08.02.08 | 117.6 | + | + 18:30 09.10.17 | In operation |
| 14 | 2 | -7 | 752 | 22.09.17 | | 0.6 | - | | Commissioning Phase |
| 15 | 2 | 0 | 716 | 25.12.06 | 12.10.07 | 129.6 | + | + 18:30 09.10.17 | In operation |
| 16 | 2 | -1 | 736 | 02.09.10 | 04.10.10 | 85.3 | + | + 18:30 09.10.17 | In operation |
| 17 | 3 | 4 | 751 | 07.02.16 | 28.02.16 | 20.1 | + | + 18:30 09.10.17 | In operation |
| 18 | 3 | -3 | 754 | 24.03.14 | 14.04.14 | 42.6 | + | + 18:30 09.10.17 | In operation |
| 19 | 3 | 3 | 720 | 26.10.07 | 25.11.07 | 119.5 | + | + 18:30 09.10.17 | In operation |
| 20 | 3 | 2 | 719 | 26.10.07 | 27.11.07 | 119.5 | + | + 18:30 09.10.17 | In operation |
| 21 | 3 | 4 | 755 | 14.06.14 | 03.08.14 | 39.9 | + | + 18:30 09.10.17 | In operation |
| 22 | 3 | -3 | 731 | 02.03.10 | 28.03.10 | 91.3 | + | + 18:30 09.10.17 | In operation |
| 23 | 3 | 3 | 732 | 02.03.10 | 28.03.10 | 91.3 | + | + 18:30 09.10.17 | In operation |
| 24 | 3 | 2 | 735 | 02.03.10 | 28.03.10 | 91.3 | + | + 18:30 09.10.17 | In operation |
| 20 | 3 | -5 | 701* | 26.02.11 | | 79.5 | | | Flight Tests |

**Контролната част за управление** изпълнява следните основни задачи: ефемеридно и честотно-времево осигуряване на НС; мониторинг на радионавигационното поле; радиотелеметрически мониторинг на НС; командно и програмно радио-управление на функционирането на НС. Състои се от: център за управление на системата базиран в град Голицино, Московска област и мрежа от станции за следене и управление развърнати на територията на Руската Федерация.

Първите две групи от задачи са непосредствена свързани с осигуряването на определено ниво на точност за навигационните сигнали в системата. Ефемеридното осигуряване означава определяне и прогнозиране на параметрите на движение на НС и зареждането на тази информация с ефемеридни данни в НС. Честотно-времевото осигуряване е свързано с определяне и прогнозиране на бордната скала за време спрямо времевата скала на системата, изчисляване на борда на НС на честотно-времеви поправки към бордовата система за време и излъчени в навигационните радиосигнали.

В системата ГЛОНАСС всеки НС постоянно излъчва в пространството шумоподобни непрекъснати навигационни радиосигнали в два диапазона $L_1$=1602.56÷1615.5MHz и $L_2$=1246.43÷1256.5MHz.

Шумоподобните навигационни радиосигнали излъчвани от оперативната група НС се различават по носещи честоти. При проектирането на системата е

изработено разпределение от номинални стойности на носещи честоти за двата гореспоменати честотни диапазона, $L_1 = f_{но} + k.\Delta f_н$ и $L_2 = f_{во} + k.\Delta f_в$, където:

$f_{но}$ = 1246 MHz;

$f_{во}$ = 1602 MHz;

$\Delta f_н$ = 0,4375 MHz;

$\Delta f_в$ = 0,5625 MHz, при отношение: $L_2/ L_1 = 7/9$

Разпределението на честотите е показано в таблица 6.6.

Таблица 6.6

| **№ на честота** | **номинална честота в диапазона L1, MHz** | **№ на честота** | **номинална честота в диапазона L2, MHz** |
|---|---|---|---|
| 13 | 1609,3125 | 13 | 1251,6875 |
| 12 | 1608,75 | 12 | 1251,25 |
| 11 | 1608,1875 | 11 | 1250,8125 |
| 10 | 1607,625 | 10 | 1250,375 |
| 09 | 1607,0625 | 09 | 1249,9375 |
| 08 | 1606,5 | 08 | 1249,5 |
| 07 | 1605,9375 | 07 | 1249,0625 |
| 06 | 1605,375 | 06 | 1248,625 |
| 05 | 1604,8125 | 05 | 1248,1875 |
| 04 | 1604,25 | 04 | 1274,75 |
| 03 | 1603,6875 | 03 | 1247,3125 |
| 02 | 1603,125 | 02 | 1246,875 |
| 01 | 1602,5625 | 01 | 1246,4375 |
| 00 | 1602,0 | 00 | 1246,0 |
| -01 | 1601,4375 | -01 | 1245,5625 |
| -02 | 1600,8750 | -02 | 1245,1250 |
| -03 | 1600,3125 | -03 | 1244,6875 |
| -04 | 1599,7500 | -04 | 1244,2500 |
| -05 | 1599,1875 | -05 | 1243,8125 |
| -06 | 1598,6250 | -06 | 1243,3750 |
| -07 | 1598,0625 | -07 | 1242,9375 |

От равномерно разнесените в орбиталната равнина НС следва, че два противоположно разположени НС в една орбитална равнина могат да използват еднакви носещи честоти, т.е достатъчни са 12 на брой носещи честоти.

Навигационният радиосигнал в диапазона 1600 MHz е двукомпонентен. На зададената носеща честота се наслагват в квадратура два еднакви по мощност шумоподобни фазово манипулирани навигационни радиосигнала - теснолентов и

широколентов. Теснолентовият сигнал се образува като се манипулира фазата на носещата синусоида на 180° от периодична двоична псевдослучайна последователност с честота $f_0/10 = 0.511MHz$ и период на повторение $T_0 = 1ms$ (511 такта). Този сигнал е със стандартна точност и е достъпен за всички потребители. Широколентовият сигнал се образува чрез манипулиране на фазата на носещата синусоида на 180° от периодична двоична псевдослучайна последователност с честота $f_0 = 5.11MHz$.

Служебната информация се предава чрез теснолентовия сигнал за измерване на разстояние, посредством навигационното съобщение.

Дължината на ред служебна информация е равна на 2 sec; първите 0,3 sec са предназначени като времеви репери, останалите 1,7 sec са предназначени за предаването на 85 двоични символа. Пълния кадър с навигационна информация се състои от 15 реда ( 30 sec ). Пет кадъра с навигационна информация се обединяват в супер кадър. В състава на всеки кадър се предава пълния обем цифрова информация, отнасяща се към даден спътник и част от алманаха на GLONASS. Алманахът на системата се предава напълно чрез един суперкадър.

Оперативната информация на всеки кадър на навигационния спътник съдържа:

- признак за достоверност на информацията;
- време на началото на кадрите;
- ефемеридна информация;
- честотно-времевите поправки за момента на времето във вид на относителна поправка на носещата честота на спътника и поправка към скалата на времето (кратно на 30 min от началото на денонощието), към което е превързана системата.

Алманахът на системата съдържа:

- времето към което се отнася алманаха;
- параметрите на орбитата, номер на двойките носещи честоти и поправка към скалата на времето за всеки спътник;

- поправка към скалата на времето на GLONASS, относно скалата на времето на държавите ( единна система за време ).

Стойностите по основните тактико-технически характеристики на СРНС ГЛОНАСС са изобразени в таблица 7.

Таблица 6.7

| Параметър | Стойност | |
|---|---|---|
| **характеристики на сигналите**<br>носеща честота<br><br>честотен диапазон<br><br>тип сигнал<br>структура на сигнала | <br>L1 - 1602.56 - 1615.5 MHz през 0.5625 MHz<br>L2 - 1246.43 - 1256.5 MHz през 0.4375 MHz<br>L1 - 1602.5625÷1615.5 MHz<br>L2 - 1264.3475÷1256.5 MHz<br>периодична псевдослучайна последователност носеща честота<br>псевдослучаен шумоподобен код<br>цифрова информация | |
| **точност**<br><br>Хоризонтална<br>Вертикална<br>По време | При **min** слънчева активност<br>20÷28 m;<br>40÷52 m;<br>30 ns | При **max** слънчева активност<br>36÷63 m;<br>64÷102 m;<br>30 ns |
| **достъпност** | 99,0% | |
| **покритие** | Глобално | |
| **надеждност** | 99,94% | |
| **брой независими ОМП за единица време** | до 20 за секунда | |
| **мерност на ОМП** | Тримерно + Време | |
| **капацитет на системата** | Неограничен | |

6.4. Глобална спътникова радионавигационна система GALILEO

ГАЛИЛЕО е спътникова радионавигационна система, която се изгражда от Европейския Съюз. Основен изпълнител е Европейската Космическа Агенция. Предвижда се тя да бъде алтернатива на военно-контролираните спътникови радионавигационни системи на САЩ-NAVSTAR и на Русия–ГЛОНАСС. ГАЛИЛЕО трябваше да бъде развърната и да бъде в пълна оперативна готовност през 2008 година. Към момента системата се намира на етап тестване. Успешно се приемат сигнали от спътникът “GIOVE A” изведен в орбита с височина над Земната повърхност 23 260 км. на 28 декември 2005 г. от Европейската космическа агенция.

Предназначена е да се използва изключително за граждански цели.

Системата ГАЛИЛЕО ще предлага следните услуги:

През навигационни спътници (satellite-only services):

- Услуги със свободен достъп (Open Service, OS);
- Услуги свързани с безопасността на живота (Safety of Life, SoL);
- Абонаментни услуги (Commercial Service, CS);
- Услуги за правителствени служби (Public Regulated Service, PRS);
- Услуги по търсене и спасяване (Search and Rescue service, SAR).

Допълнителни услуги, чрез използване на други системи, като например системата EGNOS. Услугите на EGNOS ще бъдат комбинирани със сателитните услуги на ГАЛИЛЕО, като по този начин ще се постигне високо ниво на интегритет на навигационна информация.

Структура на СРНС ГАЛИЛЕО

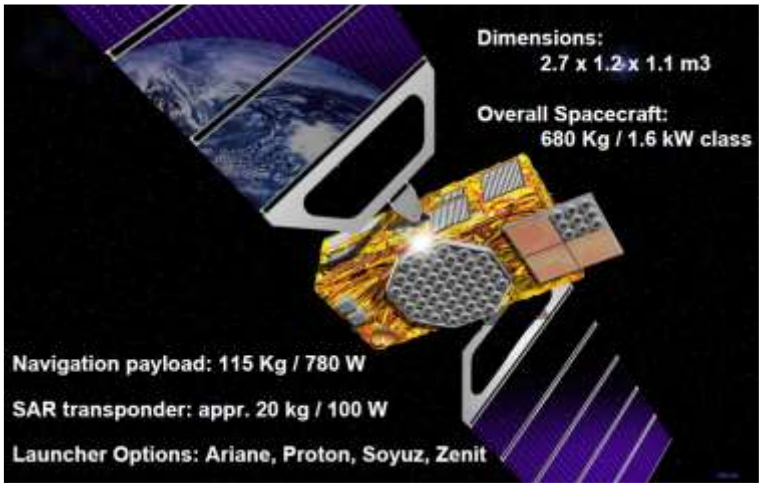
Състои се от три сегмента:

- космическа част
- контролна част
- потребители




Фигура 6.11. Орбитални равнини на СРНС ГАЛИЛЕО

Космическата част е съставена от 30 космически апарата, (27 активни + 3 резервни), разпределени по десет броя (9 активни + 1 резервен) в три средновисоки приблизително кръгови орбити с височина над земната повърхност 23 616 км и наклон спрямо Екватора (i) = 56,0°.




Фигура 6.12. Навигационен спътник от състава на СРНС ГАЛИЛЕО

Контролна част (ground segment): изпълнява две основни функции: 1. контрол на космическите апарати; 2. контрол на целостта на системата;

Състои се от: контролен център; сензорни станции; комуникационни станции;

Контролният център е отговорен за определянето на орбитите на НС и синхронизацията на бордовите скали за време, наблюдение за целостта на системата, наблюдение и контрол на НС и на услугите които те предлагат.

Сензорните станции събират навигационна информация от НС на системата, която впоследствие се предава в контролният център за обработка.

Комуникационните станции са разделени на два типа: станции за проследяване, телеметрия и контрол работещи в S честотния диапазон; станции за зареждане на данни в НС работещи в С честотния диапазон.

В системата ГАЛИЛЕО е предвидено използването на десет честоти за излъчване на навигационни сигнали и една честота за сигнал за търсене и спасяване, както следва:

- 4 честоти в честотния диапазон 1164÷1215 MHz (E5a-E5b);

- 3 честоти в честотния диапазон 1260÷1300 MHz (E6);

- 3 честоти в честотния диапазон 1559÷1591 MHz (L1);

- 1 честота в честотния диапазон 1544÷1545 MHz (SAR);

В зависимост от услугата която предоставя, всеки сигнал е кодиран със съответен код. Предвидени са три различни кода:

- код със свободен достъп (некодиран);

- код за достъп на лицензирани потребители (за кодиране на сигнали осигуряващи абонаментните услуги на системата);

- код с достъп само за правителствени служби.

Таблица 6.8

| **номер на сигнала** | **честотна лента** | **Навигационна услуга** | | | | **Характеристика на сигнала** | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **OS** | **CS** | **SoL** | **PRS** | **тип на кода** | **тип на информацията** |
| 1, 2, 3, 4, 9, 10 | E5a, E5b, L1 | x | x | x | | свободен достъп | Навигационна Интегритет Търсене и спасяване |
| 6, 7 | E6 | | x | | | лицензиран достъп | Навигационна Диференциални поправки Интегритет |
| 5, 8 | E6, L1 | | | | x | за правителствени служби | PRS |

Таблица 6.9

| **Параметър** | **Стойност** | | | |
|---|---|---|---|---|
| характеристики на сигналите<br>носеща честота<br><br><br><br>честотен диапазон<br><br><br>тип сигнал<br>структура на сигнала | E5a/L5 - 1176.450 MHz;<br>E5b - 1207.140 MHz;<br>E5(E5a+E5b) = 1191.795 MHz;<br>E6 - 1278.75 MHz;<br>E2-L1-E1 = 1575.42 MHz;<br>E5 - 1145.76÷1237.83 MHz (90x1,023 MHz);<br>E6 - 1258.59÷1299.21 MHz (40x1,023 MHz);<br>L1 - 1554.96÷1595.88 MHz (40x1.023 MHz);<br>неравномерна псевдослучайна последователност<br>носеща честота<br>псевдослучаен шумоподобен код<br>навигационно съобщение | | | |
| точност<br>Хоризонтална<br><br>Вертикална<br><br>По време | Услуга | OS и CS | SoL | PRS |
| | едночестотен сигнал<br>двучестотен сигнал | 15÷24m<br>4 m | -<br>4 m | 15÷24m<br>6.5m |
| | едночестотен сигнал<br>двучестотен сигнал | 35 m<br>8 m | -<br>8 m | 35 m<br>12 m |
| | | 30 ns | 30 ns | 30 ns |
| Достъпност | 99,5% всички услуги | | | |
| Покритие | глобално | | | |
| Надеждност | 99,5% | | | |
| брой независими ОМП за единица време | до 20 за секунда | | | |
| мерност на ОМП | Тримерно + Време | | | |
| капацитет на системата | Неограничен | | | |
| неопределеност на измерванията | Не съществува | | | |

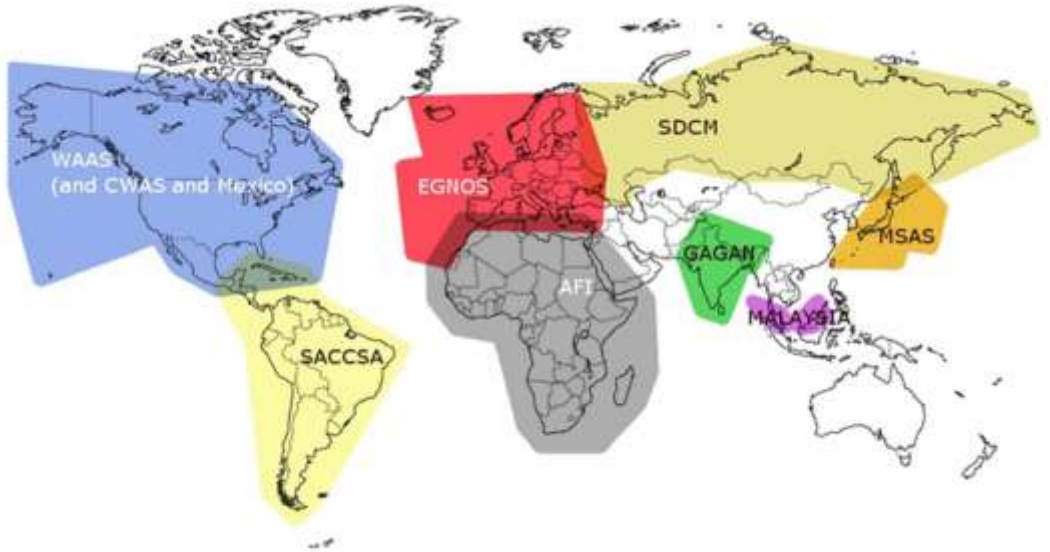
Системата е под граждански контрол, независима от военните сили на коя да е държава; Предлага многообразие от услуги, достъпни за всеки потребител; Осигурен е интегритет - време за предупреждение 6 секунди; Осигурени са голям брой работни честоти с цел повишаване на точността.

6.5 Диференциални подсистеми

Диференциалните подсистеми са допълнение към СРНС, изграждат се за тяхното усилване и представляват мрежи от диференциални станции позиционирани в точки с предварително прецизно определени координати.

Диференциалните подсистеми могат да бъдат класифицирани както следва:

- според тяхното позициониране на: земни, космически и комбинирани;
- според района на действие на: широкозонни, регионални и локални.




Фигура 6.13. Широкозонни диференциални подсистеми

6.5.1 Широкозонна диференциална подсистема с космическо базиране WAAS (Wide Area Augmentation System)

WAAS е широкозонна диференциална подсистема изградена и поддържана от Министерството на Транспорта и Федералната Авиационна Администрация на САЩ. Тя е предназначена за мониторинг на цялостта на основната за САЩ СРНС Navstar и осигуряване на въздушното движение във всички фази на полета на територията на Северно-Американския Континент и частично в Северния Атлантик. Може да се използва и от наземни обекти за високоточна морска и сухопътна навигация.

Структура: състои се от космически и наземен сегменти, космическият сегмент включва геостационарни навигационни спътници (ГНС), предназначени за предаване на навигационен GPS-подобен сигнал на основна честота 1575,42 MHz, който увеличава достъпът, точността и надеждността на навигационните данни. ГНС се използват и за ретранслиране на изработените от наземния сегмент сигнали със съобщения за цялостта на основната радионавигационна система и съответните поправки.

Наземният сегмент включва: широкозонни контролни станции (ШКС или WAAS Reference Station, WRS) за наблюдение; широкозонни главни станции (ШГС или WAAS Master Station, WMS) предназначени за обработка на данните от ШКС; наземни станции за предаване на данни (НСПД или Ground Earth Station, GES) към космическия сегмент. Тактико-техническите характеристики на системата WAAS са изобразени в таблица 6.10.

Таблица 6.10

| **Параметър** | **Стойност** |
|---|---|
| **характеристики на сигналите**<br>носеща честота<br>честотен диапазон<br>тип сигнал<br>структура на сигнала | <br>GPS L1 - 1575.42 MHz<br>1559÷1610 MHz<br>неравномерна псевдослучайна последователност<br>носеща честота<br>псевдослучаен шумоподобен код (GPS C/A PRN код)<br>навигационно съобщение |
| **точност**<br>хоризонтална | <br>2÷3 m |
| **достъпност** | 99,999 % |
| **покритие** | територията на 48 съседни щата до 30,5 км във височина, Хавайските острови,<br>остров Пуерто Рико и полуостров Аляска до 160,0°W |
| **надеждност** | 99,9 % |
| **брой независими ОМП за единица време** | системата осигурява непрекъснато ОМП |
| **мерност на ОМП** | тримерно + време |
| **капацитет на системата** | Неограничен |
| **неопределеност на измерванията** | не съществува |
| **интегритет** | осигурява - време за предупреждение - 8 секунди |

6.5.2 Широкозонна диференциална подсистема с космическо базиране EGNOS

EGNOS (European Geostationary Navigation Overlay Service)

Подобно на шорокозонната подсистема за мониторинг и контрол на САЩ - WAAS, подсистемата EGNOS е предназначена за мониторинг и увеличаване на броя на навигационните спътници на две глобални СРНС - Navstar и ГЛОНАСС. Построена е и се обслужва от Европейската Тристранна Група - Европейската Космическа Агенция (European Space Agency), Европейската Комисия (European Commission) и Евроконтрол (EUROCONTROL).

Структура: състои се от сегмент за контрол и космически сегмент.

Сегментът за контрол е предназначен за събиране на информация за навигационните спътници на Navstar и ГЛОНАСС посредством 34 станции за контрол на целостта на системите (Receiver Integrity Monitoring Stations, RIMS). Четири главни контролни центъра (Master Control Centre, MCC) обобщават информацията, изчисляват диференциалните поправки и ги предават към шест навигационни предавателни станции (НПС) (Navigation Land Earth Station, NLES). НПС осъществяват връзката между космическия и контролния сегменти. Космическият сегмент се състои от четири геостационарни навигационни спътника. Те изпълняват ролята на ретранслатори и излъчват GPS подобен сигнал в пространството на основна честота 1575,42MHz.

Стойностите по основните параметри за системата EGNOS са изобразени в таблица 6.11.

Таблица 6.11

| Параметър | Стойност |
|---|---|
| **характеристики на сигналите** | |
| носеща честота | GPS L1 = 1575.42 MHz |
| честотен диапазон | 1559÷1610 MHz |
| тип сигнал | неравномерна псевдослучайна последователност |
| структура на сигнала | носеща честота<br>псевдослучаен шумоподобен код (GPS C/A PRN код)<br>навигационно съобщение GPS подобни |
| **точност** | |
| Хоризонтална | 1÷2 m (95%) |
| Вертикална | 2÷4 m (95%) |
| Време | 10 ns |

| | |
|---|---|
| **достъпност** | 99.68% |
| **покритие** | Европа, Северна Африка, Южна Африка |
| **надеждност** | 99.9% |
| **брой независими ОМП за единица време** | системата осигурява непрекъснато ОМП |
| **Мерност на ОМП** | три позиционни + време |
| **капацитет на системата** | неограничен |
| **неопределеност на измерванията** | не съществува |
| **интегритет** | осигурява - време за предупреждение - 6 sec |

6.5.3 Широкозонна подсистема за усилване на глобалните СРНС MSAS

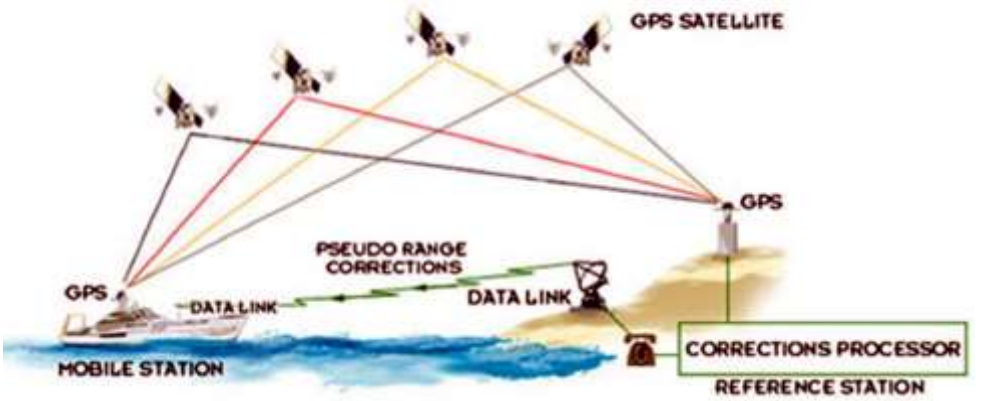
MSAS (MTSAT Satellite Augmentation System)

Японската широкозонна подсистема за усилване на глобалните СРНС MSAS е Аналогична на системите WAAS и EGNOS. Замисълът е MSAS да бъде многофункционална система, която ще се използва за метеорология, контрол на въздушното движение, навигация и комуникации. Системата се състои от три сегмента - космически, наземен и потербители.

Космическият сегмент се състои от два MTSAT (Multifunctional Transport Satellite) геостационарни спътници. Изстрелването на първия спътник - MTSAT-1, през 1999 е неуспешно. През Февруари 2005г. е изстрелян в орбита MTSAT-1R, който към момента работи само като метеорологичен спътник. През февруари 2006г. е изстрелян в орбита MTSAT-2. Системата е в процес на доразвиване.

6.5.4 Локални диференциални подсистеми

Локалните диференциални подсистеми обикновено са със земно базиране. Според типовете потребители, локалните диференциални подсистеми могат да бъдат класифицирани в три основни групи: морски; авиационни; геодезически и специални.




Фигура 6.14 Морска референтна станция

Морските локални диференциални подсистеми са изградени на базата на радиофарове (radiobeacons), които обикновено се наричат референтни станции. Оборудвани са с ненасочени антенни системи, предавател, многканален GPS и/или ГЛОНАСС приемник и процесор за изчисляване на поправките към приетите радионавигационни данни от навигационните спътници, намиращи се в зоната на видимост.

Основната функция която изпълняват диференциалните станции е да събират информация за СРНС, да изчисляват истинските разстояния до навигационните спътници в зоната на видимост, да измерват псевдоразстоянията, да калкулират стойностите на поправките (PRC) за измерените псевдоразстояния и след това да ги предават към потребителите.

(6.7) $$PRC(t) = PRC(t_0) + RRC * (t - t_0)$$

Както се вижда от формула 6.7, поправката за псевдоразстояние PRC(t) е равна на сумата от две поправки – поправката за псевдоразстояние за определен начален момент (епоха) PRC($t_0$) и поправката за скоростта на изменение на разстоянието RRC за определен интервал от време (t - $t_0$). Поправката RRC има размерност m/s и може да се прилага за коригиране на скоростта в приемника на потребителя.

Следователно диференциално коригираното псевдоразстояние PR(t) ще бъде равно на сумата от измереното псевдоразстияние PRM(t) и диференциалната му поправка PRC(t), както е показано във формула 6.8.

(6.8) $$PR(t) = PRM(t) + PRC(t)$$

Предаването на информацията с поправките може да се осъществява по радиоканали и проводни връзки, чрез използването на специален протокол за предаване на данни.

Чрез използване на диференциални системи значително се повишава точността на ОМП. В таблица 6.12 е показано влиянието на диференциалните системи върху точността на определяне на местоположение, чрез използване на спътникови радионавигационни системи.

Таблица 6.12

| № | Грешка | Приблизителна стойност на грешката | Стойност на грешката при използване на диференциална система |
|---|---|---|---|
| **Елиминирани** | | | |
| 1 | При включен избирателен достъп | 30 – 100 m | 0 m |
| 2 | Грешка в часовника на НС | 0 – 15 m | 0 m |
| **Редуцирани** | | | |
| 3 | Йоносферна рефракция | 0 – 5 m | 0 – 1 m |
| 4 | Тропосферна рефракция | 0 – 0,5 m | |
| 5 | Неверни орбити на НС | 0 – 2,5 m | 0,01 m |
| **НЕ елиминирани или редуцирани** | | | |
| 6 | Приемник (шум) | 0 – 0,3 m | 0 – 0,3 m |
| 7 | Многопътност | 0 – 0,6 m | 0 – 0,6 m |
| | **Точност** | **0,9 – 124 m** | **0,2 - 2 m** |

Тактико-техническите параметри на морските локални диференциални подсистеми са изобразени в таблица 6.13.

Таблица 6.13

| Параметър | Стойност |
|---|---|
| **характеристики на сигналите**<br>носеща честота<br>честотен диапазон<br>структура на сигнала | <br>от 285,0 до 325,0 kHz<br>285 ÷ 325 kHz<br>MSK модулация<br>формат RTCM SC-104 |
| **точност** | 2 drms ≤ 10 m |
| **достъпност** | 99,7 ÷ 99,9% |
| **покритие** | до 500 км от референтната станция |
| **надеждност** | < от 500 прекъсвания за 1 000 000 часа работа |
| **брой независими ОМП за единица време** | непрекъснат |
| **Мерност на ОМП** | една линия на положение за всеки радиофар |
| **капацитет на системата** | неограничен |
| **неопределеност на измерванията** | несъществува |
| **интегритет** | осигурява - 24 часов |

Типичната конфигурация на морска диференциална/референтна станция, включва:

- Два GPS приемника за изчисляване на поправките;

- Два GPS приемника за осигуряване на мониторинг на СРНС;

- Акумулаторна батерия (UPS), осигуряваща необходимото захранване за системата при прекъсване на мрежовото захранване;

- Система за температурен контрол и вентилация;

- Блок за контрол на техническите параметри на системата, включващ светлинна индикация и цифрови входове и изходи;

- Комуникационен блок осигуряващ връзка с контролна станция за дистанционно управление и контрол;

- Блок за мониторинг на предаваните на калкулираните поправки;

- Блок за управление и синхронизация на системата

6.6 DGPS осигуряване на информационната система за управление на трафика на плавателните съдове (VTMIS)

Информационната система за управление на трафика на плавателните съдове (VTMIS) е оборудвана с два DGPS приемника, разположени в районите на БЦ Бургас и БЦ Варна.



Фигура 6.15. Общ изглед на DGPS референтната станция

DGPS референтните станции са производство на фирма Spectra Precision модел ProFlex 800 CORS със следните технически характеристики:

- Възможност за приемане на : GPS/GLONASS/GALILEO/SBAS
- Брой канали : 120
- Работни честоти: L1/L2/L5
- Честота на обновяване: до 20 Hz
- Формат на данни: RTCM 2.3/3.1, CMR/CMR+, ATOM, DBEN, LRK, NMEA;
- Изход необработени данни: Да
- Точност в реално време - RTK режим (HRMS) : 1 cm
- Точност в реално време - DGPS режим (HRMS) : < 30 cm
- Точност в реално време - SBAS режим (HRMS) : < 50 cm
- Точност след обработка (HRMS) : 0.3 cm + 0.5 ppm
- Време до първото фиксиране: Instant-RTK, 2 sec инициализация за основни линии < 20 km
- Обхват на инициализация : > 40 km
- Комуникации: вътрешен UHF (Rx or TRx), 3.5G GSM/GPRS, BT, Ethernet, RS-232, USB

- Размери на устройството (mm/inches): 215 x 200 x 76 mm /8.46 x 7.87 x 2.99 in
- Тегло: 2.1 kg (4.6 lb)
- Дисплей: OLED
- Памет: 8 GB разширяема чрез USB или външен твърд диск
- Темературa Min (°C): -30°C / -22°F
- Темературa  Max (°C): 65°C / 149°F
- Водоустойчивост: IP67, EN60945
- Устойчивост на удар и вибрация: MIL-STD 810F
- Захранване (тип и продължителност): Li-ion battery, 32.5Wh (7.4Vx4.4Ah), работи като UPS
- Тип на антената: външна
- Firmware опции: Да.

Допълнителна информация. Входно-изходни интерфейси:

- USB 2.0 вход и устройство
- Оптически изолиран входно-изходен интерфейс (освен USB)
- 1 x RS232 / R422
- 2 x RS232
- Ethernet
- External clock reference input
- 1 x PPS изход
- Вход маркер на събитията
- 12V/0.5A (до 1A пиково) изход наличен на сериен порт A.



Фигура 6.16. Интерфейсен панел на DGPS референтната станция

Стандартни компоненти включени в комплекта на един основен блок - ProFlex 800 GNSS приемник:

- Батерия
- AC/DC комплект за захранване, състоящ се от:
    - Зарядно устройство
    - AC адаптор
    - Захранващ кабел 12V
- USB преходен кабел
- Сериен интерфейсен кабел (Fisher to DB9)
- Ethernet кабел (Fisher to RJ45)
- Bluetooth антена
- GSM/GPRS антена
- Транспортна чанта
- Разширена вградена памет 8 GB
- Вход за външен часовник за сравнение
- Антена ASH-661 (L1/L2/L5 GNSS Антена - 38dB)
- Монтажен комплект за отдалечено използване - стойка - трипод за референтната станция
- 10 метра антенен кабел (TNC-TNC)

6.7 Използване на глобалните спътникови радионавигационни системи за определяне на единно време в информационната система за управление на трафика на плавателните съдове (VTMIS).

За осигуряване на поддръжката, единното и точно време в цялата Система и правилната работа на нейните софтуерни компоненти във всички Системни компютри, е необходимо да се инсталира синхронизация по времето между всички компютри.

Максимална стабилност на Системното време се осигурява от две нива на синхронизация.

- Първото ниво е синхронизиране на системното време във всички Системни сървъри посредством устройство за GPS Времеви сървър.
- Второто ниво е синхронизиране на системното време за всички компютри от Системата посредством Системни сървъри. Такава конфигурация ще осигури работата на системата дори в случай на отказ на външния източник на време.

За първото ниво на синхронизация, се използва GPS Времеви сървър и софтуер SymmTime, което позволява наличието на единен точен формат на времето съгласно ISO 8601UTC, както е приложено в системата на Европейската агенция за морска безопастност SafeSeaNet.

Системите за оборудване за второто ниво са Master Clock и Slave Clock /Подчинен тактов генератор/ в компютрите на Системата.

Инсталирани са четири GPS времеви сървъра за осугуряване на оперативната работа на системата – 2 броя в БЦ Варна и 2 броя в БЦ Бургас.

GPS времевият сървър е Meinberg LANTIME/M300 GPS със собствена GPS антена.



Фигура 6.17. GPS Времеви сървър

Meinberg LANTIME/M300 синхронизира времето съгласно UTC /Универсално глобално време/ и използва своя собствена GPS антена. Сървърът за време Meinberg LANTIME M300 може да синхронизира NTP или SNTP системи, като използва вграден радио часовник Meinberg GPS като референтен източник за време.

Конфигурацията на GPS Времевия сървър може да бъде направена чрез използването на стандартен уеб браузър или посредством Telnet (текстово базиран). За да се поддържат системите за управление на мрежата, GPS Времевия сървър поддържа SNMP интерфейс, който може да бъде достъпен от SNMP. Това позволява следеното на всички съответни параметри на системата ( включително параметри на

операционната система, статистика за мрежовия интерфейс, подробна информация за състоянието на GPS и NTP, както и пълната конфигурация на системата).

GPS антената комбинира плоска антена и преобразувател на честотата, който транслира разширения спектъра на високочестотен, фазово модулиран сигнал на GPS системата в средна честота.

Характеристиките на GPS Времевия сървър са:

- Синхронизация на NTP и SNTP съвместими клиенти
- Уеб базирано състояние и интерфейсна конфигурация и конзолна графична служебна програма за настройка на конфигурацията.
- Поддържани мрежови протоколи: IPv4, IPv6, NTP, (S)NTP, DAYTIME, DHCP, HTTP, HTTPS, FTP, SFTP, SSH, SCP, SYSLOG, SNMP, TIME, TELNET.
- Система за сигнализация при изменение на състоянието по Имейл, WinMail, SNMP или външно свързан екран
- Пълна SNMP v1,v2,v3 поддръжка със собствен SNMP-daemon за състояние и конфигурация и SNMP Trap съобщения
- USB Порт за инсталиране на обновяване на микропрограмно обезпечение, меню за достъп за заключване на предния панел и бекъп (архивиране)/възстановяване на конфигурация и файлове за вписване.
- Антена, свързана с до 300 m стандартен коаксиален кабел RG58
- Два самостоятелни RJ-45 Ethernet интерфейса 10/100 Mbit

GPS антената е комбинира плоска/пач антена и честотен преобразувател.

# 7. АВТОМАТИЧНА ИДЕНТИФИКАЦИОННА СИСТЕМА AIS

## 7.1. Исторически сведения

Автоматичната идентификационна система (Automatic Identification System, AIS) е система за обмен на информация между корабите. Плавателните съдове, оборудвани с AIS автоматично споделят и периодично обновяват информация за позицията си, курса, скоростта, както и своята идентификация с други кораби, които притежават необходимото оборудване.

В началото на 90-те международната асоциация на фаровите служби и средства за навигация IALA (International Association of Lighthouse Authorities) инициира обсъждане на възможността за използване на корабни радиоустройства, наречени транспондери (Transponders – Transmitter-Responders) за предаване на сигнали за опознаване в УКВ диапазона.

През 1992г. по предложение на IALA международният съюз по телекомуникации (International Telecommunications Union, ITU) разработва Препоръка M.825 за използване на транспондерите в системите VTS, предлагайки за целта канал 70 от УКВ диапазона (каналът за цифроро избирателно повикване DSC). Освен идентификация за кораба, се включват данни за неговото местоположение и параметрите на движение. По-късно е предложено да се добави и информация за наличието на опасни товари.

На 63-тата сесия на Комитета по безопасност на корабоплаването (Maritime Safety Committee, MSC) през 1994г. по предложение на Германската делегация се взема решение за внедряване на система от транспондери за взаимно опознаване на корабите и за предаване на данни до брегови системи за наблюдение за повишаване на безопасността на корабоплаването.

През юли 1994, на 40-тата сесия на Комитета се обсъжда и приема предложението на Швеция (NAV 40/7/15) за въвеждане на транспондери, работещи по комуникационен протокол от типа “Множествен достъп със самоорганизирано мултиплексиране по време (времеделение)” (Self-Organized Time Division Multiple Access, SOTDMA или STDMA, IEC 62287-2:2013). С този протокол, взаимстван от

системите за въздушно наблюдение, се осигурява възможност за обмен на идентификационна и навигационна информация по един комуникационен канал.
През м. май 1998г. по предложение на Комитета по безопасност на корабоплаването се приема Резолюция MSC.74(69), която регламентира експлоатационните изисквания към корабните транспондери на Универсалната Автоматизирана Идентификационна Система (Universal AIS, UAIS);

Съгласно последната редакция на Конвенцията за опасване на човешкия живот на море SOLAS гл. V, пр. 19 след 31.12.2004 г. AIS оборудването е задължително за всички конвенционални съдове.

Работата на AIS оборудването се регламентира от стандарти, разработени съвместно от Международната морска организация IMO, Съюза по телекомуникации ITU и Международната електротехническа комисия (International Electrotechnical Commission, IEC). Стандартите се основават на изискванията на Резолюция на IMO MSC.74(69), Annex 3, Препоръки относно експлоатационните стандарти за UAIS и Препоръка на ITU-R M.1371-1, Технически характеристики за UAIS, използваща TDMA (Time Division Multiple Access) в морския обхват на мобилните комуникации. Списъкът на стандартите включва:

- 61993 – 2, Универсална корабна AIS клас А за конвенционални съдове;
- 62287, Универсална корабна AIS клас В за неконвенционални съдове;
- 62320-1, Базова (брегова) AIS;
- 61097 – 14, AIS транспондер за търсене и спасяване, AIS-SART;
- 62320-2, AIS за Средствата за навигационно осигуряване, A-to-N AIS.

7.2. Предназначение и режими на работа

Автоматичната идентификационна система AIS е въведена в корабоплаването за решаване на следните основни задачи:

- За обмен на навигационна информация между корабите за предпазване от сблъскване;
- За предаване на данни за кораба и неговия товар до бреговите служби;

- За предване на навигационна информация от кораба до бреговите системи VTMIS за по-точно и надеждно управление на трафика и на операциите по търсене и спасяване на море;
- За наблюдение и проследяване на плавателните съдове.

Според изискванията на конвенцията SOLAS (The Safety Of Life At Sea), Ch. V Reg. 19, AIS оборудване Class A е задължително за всички съдове по SOLAS след 31.12.2004:

- Всички кораби над 300 бруто-регистър тона (брт), плаващи в международни води;
- Всички товарни кораби над 500 брт, дори и да не плават в международни води;
- Всички пътнически кораби, независимо от тонажа.

Конвенцията предвижда възможности за налагане на допълнителни национални и регионални правила за използване на системата от неконвенционални съдове. В Европейския съюз напр. системата AIS е задължителна и за рибарските кораби, както и за съдовете, плаващи по вътрешните водни пътища. В Р. Турция е задължително използването на AIS клас В с максимална мощност на предавателя – 12W, а в Русия AIS оборудването трябва да е съвместимо както със спътниковата навигационна система GPS, така и с ГЛОНАСС.

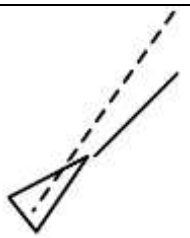
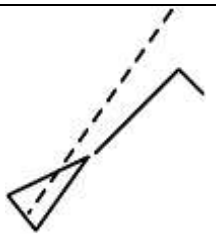
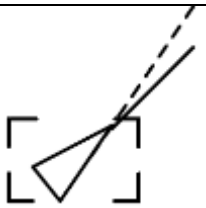
Според изискванията на конвенцията SOLAS корабното AIS оборудване трябва

- Да даде възможност на бреговите станции, на други кораби и самолети, притежаващи нужното оборудване да приемат автоматично информация, включваща идентификацията и типа на кораба, неговата позиция, курс и скорост, навигационното му състояние и друга информация, отнасяща се до безопасността на корабоплаването;
- Да приема автоматично информацията, илъчвана от другите кораби, които притежават AIS оборудване;
- Да позволява наблюдение и съпровождане на корабите;

- Да предоставя възможности за обмен на данни с бреговите служби, притежаващи нужното оборудване.

В табл. 7.1 са посочени графичните символи, използвани най-често в системата AIS.

Таблица 7.1

| **Символ** | **Описание** |
|---|---|
|  | Активна цел: векторът на скоростта спрямо дъното (Speed Over Ground / Course Over Ground, SOG/COG) е показан с прекъсната линия, започваща от средата на триъгилника. Компасният курс и скоростта спрямо водата са показани с плътна линия от върха на триъгълника |
|  | Активна маневрираща цел: скоростта на извършване на поворот е указана с флаг от плътна линия, добавен към линията на компасния курс. Ако целта се счита за опасна, триъгълникът, компасният курс и флагът на поворота трябва да са удебелени или изобразени в червено и да проблясват докато не бъдат потвърдени |
|  | Възможно е добавяне на прекъсната линия за предсказване на движението на целта по време на маневра |
|  | Избрана цел: триъгълникът е вписан в правоъгълник, очертан с прекъсната линия |
|  | AIS цел, показана с реално мащабно умалено изображение: Профилът на целта е ориентиран по компасния курс а мястото на AIS символа – по мястото на GPS антената. Трябва да се използва само при малки обхвати (т.е. в мащаб 1:10000 и по-малък) |
|  | Изгубена цел: мястото и ориентацията на символа са в съответствие с последните получени данни. Остава на екрана докато не бъде потвърдена. |

| | |
|---|---|
|  | A-to-N AIS: Средства за навигационно осигуряване (фар, буй и др., СНО), обордвани с AIS: Ромб със знак +, изобразяван на мястото на СНО. |
|  | AIS SART: Транспондер за търсене и спасяване: Кръг със знак +, изобразяван на мястото на бедстващия съд. |

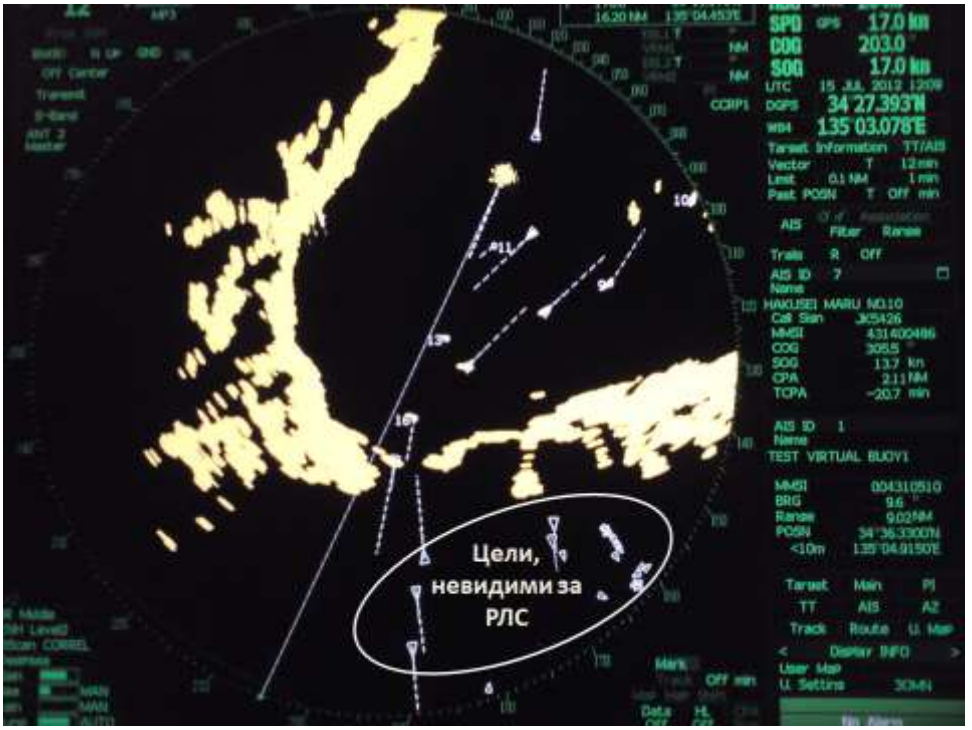
Системата AIS работи в три различни режима:

Режим „*Кораб – Кораб*“ – основен режим на системата за повишаване на безопасността на корабоплаването. В този режим всеки кораб излъчва до всички останали кораби в околността посочената по-горе информация. Обновените съобщения се излъчват през няколко секунди, за да поддържат актуалността на данните. Съществен принос на системата за повишаването на безопасността на корабоплаването е възможността на AIS показва „невидимите“ за радиолокационното наблюдение цели при развълнувана морска повърхност, силни валежи, в резултат на интерференция или други ограничения, както е показано на фиг. 7.1.

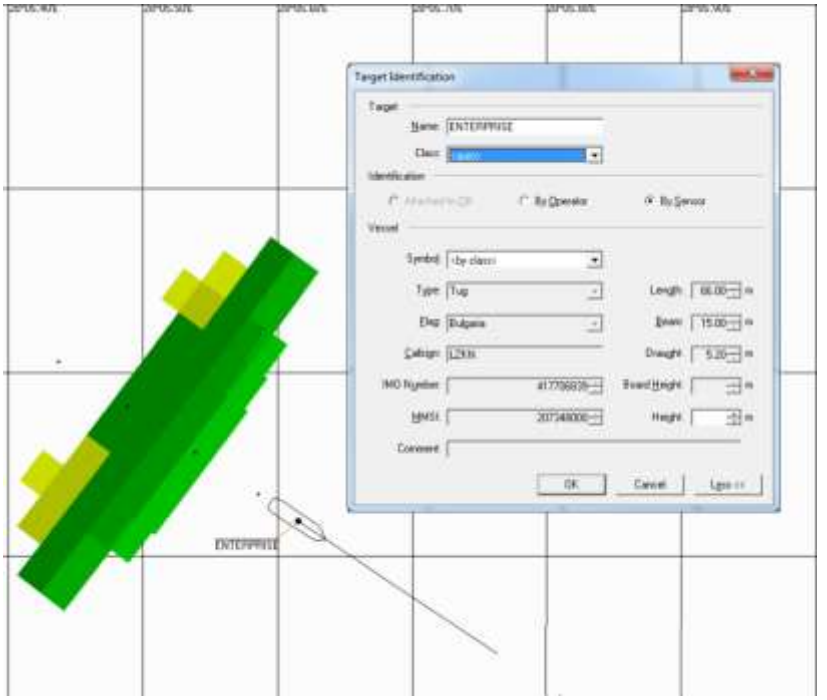
Режим „*Кораб – Бряг*“ – В териториалните води брегови служби могат да инсталират автоматични AIS станции за наблюдение на движението на кораби в района. Освен за наблюдение тези станции могат да се използват за извличане на допълнителна информация от корабите, като тип на товара, дестинация, очаквано време на пристигане ETA и др. Брегови служби използват AIS за следене на опасни товари и за контрол на промишления риболов в териториалните си води. AIS информацията може да се съхранява и да се проиграва наново при разследване на инциденти, разливи на нефтопродукти или други събития. AIS е полезна също и при организиране и провеждане на SAR операции по търсене и спасяване на море.

Режим „*В състава на системите VTMIS*” – Когато е интегрирана в информационните системи за наблюдение и управление на трафика на плавателните съдове VTMIS, системата AIS предоставя добри възможности за мониторинг и контрол / управление на корабния трафик. Автоматичната идентификационна

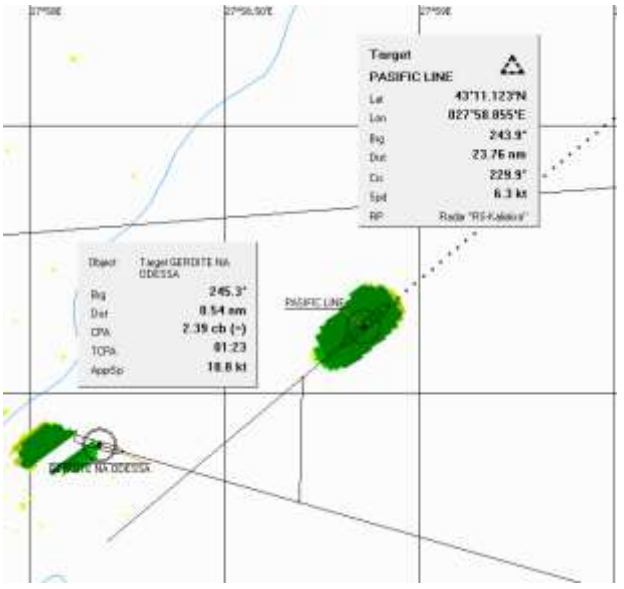
система обогатява информацията от системата за радиолокационно наблюдение предоставяйки слой от AIS информация върху картината на трафика. Системата осигурява постоянен достъп до навигационната информация в района, дори в случаите, когато по някаква причина радиолокационната картина се влоши или изчезне. В случаи, където не винаги е възможно инсталирането на брегови РЛС (като например при някои офшорни VTS), автоматичната идентификационна система може да е единственото средство за наблюдение на трафика. Комуникационните възможности на AIS могат да се използват за изпращане на текстови съобщения до корабите, които съдържат информация за пристанищата, котвените стоянки, приливи, течения, за корабните агенти, митници, пилотски станции и т.н. DGPS корекциите, както и друга информация от брега също се включва в докладите на AIS.




Фигура 7.1. С помощта на AIS се получава информация и за невидимите от радара цели




а)




б)

Фигура 7.2. Представяне на статична и динамична AIS информация (съответно а) и б) на екрана на информационна система VTMIS (от VTMIS симулатор NaviHarbour)

Обхватът на системата е ограничен от механизма за разпространение на радиовълните от обхвата на УКВ – в режим „Кораб – Кораб“ той не надвишава 20nm, а при ниска мощност на предавателя – 15nm, а в режим „Кораб – Бряг“ обхватът е до 40nm при условие, че бреговата антена е разположена на височина от 100m.

Използването на AIS от гледна точка на корабите и вахтените офицери на мостика има следните предимства:

- Възможности за подобрено представяне на конкретната ситуация;
- Елиминиране на нееднозначността при идентификация на радиолокационните цели;
- Преодоляване на проблемите, произтичащи от размяна на целите в процеса на радиолокационното съпровождане, в случаите, когато целите са разположени твърде близо на радарния екран;
- Възможността да се наблюдава зад различни съоръжения, които пречат на радиолокационното наблюдение в откриването и идентификацията на други кораби;
- Откриване на маневрата (промяната в курса и скоростта), предприемана от другите кораби в реално време, много преди системата ARPA да е приключила със своите изчисления;
- Откриване на кораби, скрити в сянката на другите кораби или от интензивните валежи и вълнение на морето;
- Информация за движението на другите кораби (ускорение или забавяне, скорост на извършване на поворот и др.) в реален мащаб на времето.

Предимствата при използването на AIS в информационните системи за наблюдение и управление на трафика на плавателните съдове VTMIS и от VTS операторите се изразяват в следното:

- Автоматична идентификация на радиолокационните цели;
- Непрекъснато наблюдение и в случаите, когато радиолокационното изображение е влошено от валежи, интерференции и др.;

- Автоматично записване на обстановката в съответните електронни регистри за данни.

Системата AIS не е лишена и от някои недостатъци по-важните от които са:

- Конвенционални ограничения – инсталирането на AIS оборудване не е задължително за кораби под 300 брт. Плавателните съдове без AIS транспондер остават невидими за системата;
- Ограничения в района на действие – системата AIS работи в обхвата на УКВ, чието покритие е ограничено до зоната на пряка видимост;
- Ограничения в достоверността и качеството на обменяната информация – в зависимост от компетентността и квалификацията на екипажа и от работоспособността на корабното оборудване както на собствения кораб, така и на всички останали съдове в района;
- За да повлияе съществено на подобряването на безопаснстта на корабоплаването корабното AIS оборудване трябва да е интегрирано към навигационната система на мостика.

7.3. Комуникационна схема

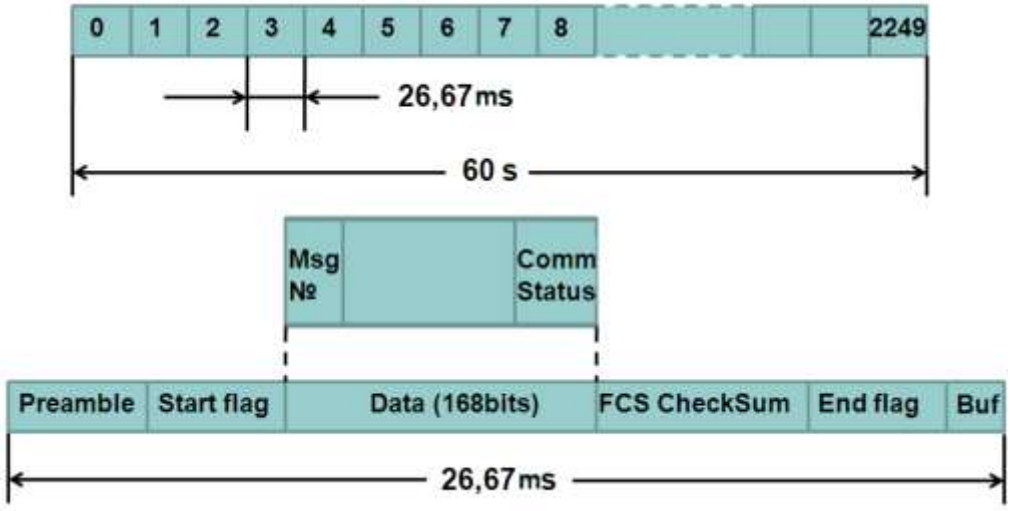
Както беше казано по-горе, корабният AIS транспондер излъчва автоматично информация, включваща идентификацията и типа на кораба, неговата позиция, курс и скорост, навигационното му състояние, както и друга информация, отнасяща се до безопасността на корабоплаването. Тъй като част от тази информация се променя по време на движението на кораба, съобщенията трябва да се актуализират и излъчват наново на всеки няколко секунди. При условие, че в района на действие на системата е възможно наличието на повече кораби, очевидно е необходимо въвеждането на някаква схема на синхронизация на излъчванията по време. В системата AIS за тази цел се използва комуникационен протокол от типа “Множествен достъп със самоорганизирано мултиплексиране по време (времеделение)” SOTDMA или STDMA. С него се осигурява възможност за обмен на информация с използване на една честота (по един комуникационен канал) между множество участници. В действителност в системата AIS се дава възможност

за алтернативно използване на два комуникационни канала в честотния обхват на УКВ, наречени AIS1 и AIS2. Каналите за AIS са включени в списъка на УКВ каналите за комуникации на море и са означени съответно с 87B и 88B. Международния съюз по телекомуникациите ITU определя две специализирани честоти за AIS:

- 161,975 MHz за морски симплексен канал 87B (AIS1);
- 162,025 MHz за морски симплексен канал 88B (AIS2).

Ширина на каналите е 25 kHz, а мощност на предавателите – 12,5 W с възможност за ограничаване (Low Power) до 2 W.

За осъществяване на комуниационния протокол SOTDMA времето се разделя на кадри (frames) с продължителност 60 s. Всеки кадър се разделя на 2250 времеви интервала (time slots) с продължителност от около 26,667 ms, както е показано на фиг. 7.3. В тези времеви интервали участниците в процеса излъчват своята информация в цифров вид. Продължителността на интервалите е подбрана по такъв начин, че при скорост на обмен от 9600 bps за времето на един интервал да бъдат излъчени 256 бита (т.е. всеки бит е с продължителност от 104 μs). От всичките 256 бита само 168 съдържат информация, а останалите 88 са допълнителни и се използват за синхронизация на информационния обмен.




Фигура 7.3. За релизиране на комуникационен протокол SOTDMA всяка минута се разделя на 2250 времеви интервала (Time Slots)

Форматът на всеки времеви интервал включва следните елементи:

- Въведение (Preamble) от 24 бита, променящи алтернативно своята стойност – 01010101...01 (24 bits);
- Стартов флаг (Start Flag) с фиксирана дължина и стойност – 01111110 (8 bits);
- Съобщение (Data), в което информацията е представена под формата на текст в 6 битов модифициран ASCII (168 bits). Първите 6 бита се използват за указване на номера (вида) на съобщението, а последните 19 – за указване на неговия комуникационен статус. Този статус играе ключова роля при реализацията на протокола SOTDMA;
- Контролна сума (Frame Check Sequence) – за защита на излъчваната информация от грешки (16 bits);
- Флаг за край на съобщението (End Flag) със същата дължна и стойност като стартовия – 01111110 (8 bits);
- Буфер (Buffer) – 24 bits.

Всяко съобщение може да заема от един до пет последователни времеви интервала, като максималният допъстим обем на едно съобщение е 1008 бита.
Всеки времеви интервал в един кадър може да има три различни състояние:

- Свободен (Free);
- Зает от друг предавател (Externely Allocated);
- Зает от собствения предавател (Internally Allocated).

Всеки транспондер изготвя карта на времевите интервали (Time Slot Map) в която се указва състоянието на всеки интервал. Преди да излъчи своята информация всяка станция си избира някой от следващите свободни времеви инервали за следващото си излъчване и променя неговото състояние от “Free” на “Internally Allocated”. В края на текущото съобщение, в полето за комуникационен статус станцията съобщава на останалите номера на избрания времеви интервал. При това в картите на останалите станции неговото състояние се променя от “Free” на “Externally Allocated”. В процеса на комуникационния обмен всяка станция

актуализира своята карта на времевите интервали за да отрази промените в техните състояния. Предвидени са специални мерки за автоматично избягване на конфликти, възникнали в случаи, когато две станции се окажат в един и същи времеви интервал. В райони на плаване с интензивен трафик например се разрешава две станции да използват един и същи времеви интервал, но само ако са достатъчно отдалечени една от друга за избягване на интерференцията.

В системата AIS се използват и времеви интервали, които са запазени предварително за някои специални видове станции. Комуникационният протокол, използван за тези случаи се нарича „Множествен фиксиран достъп с мултиплексиране по време (времеделение)" (Fixed Access Time Division Multiple Access, FATDMA или FTDMA). Протоколът FATDMA се прилага за брегови AIS базови станции, AtoN AIS и др. Номерата на фиксираните (заетите) времеви интервали се определят от компетентните власти и се обявяват от базовите станции в района на действие на системата. Базовите AIS станции, включени в състава на информационните системи за наблюдение и управление на трафика на плавателните съдове VTMIS могат да променят и работните честоти, използвани в района на действое на системаа, пренастройвайки дистанционно корабните AIS транспондери.

Най-важното условие за реализацията на протоколите за множествен достъп с времеделение е наличието на високоточен източник на единно време, който да синхронизира работата на предавателните станции за избягване на препокриване (презастъпване) на времевите им интервали. В системата AIS за целта се използва спътникова система за позициониране (GPS, ГЛОНАСС), която предоставя точно време по т.нар. „Атомен стандарт". Системите за позициониране играят ключова роля в работата на AIS, предоставяйки единно време за синхронизация, но също и данни за позицията, курса и скоростта на целта.

## 7.4. Видове информация в AIS

Информацията, обменяна в системата AIS може да бъде разделена на четири категории: статична (Static Data), динамична (Dynamic Data), информация по прехода (Voyage – related Data) и информация по безопасността на корабоплаването (Safety – related Data).

*Статичната информация* включва:

- Идентификация на кораба, представена в 4 полета, както следва:
    - Име (Name);
    - Позивна (Call Sign);
    - IMO номер;
    - Номер на кораба в морската подвижна служба (Maritime Mobile Service Identification number, MMSI)
- Размери на кораба (Length and Beam);
- Място на приемната антена на използваната навигационна система (Position-fixing Antenna);
- Тип на кораба (Vessel Type).

Форматът на номера на кораба в морската подвижна служба (MMSI) е в съответствие с Анекс 4 на ITU-R M585-5. Според това изискване идентификаторът трябва да е уникално 9-цифрово десетично число във формат:

$$M_1I_2D_3X_4X_5X_6X_7X_8X_9,$$

където: цифри от 1 до 3 представят националността на кораба в съответствие с неговата регистрация (Maritime Identification Digit, MID). За Р. България напр. MID = 207, за Р. Турция MID = 271 и т.н.;

X може да е всяка цифра от 0 до 9.

Както всички плавателни средства, оборудвани с AIS транспондер, средствата за навигационно осигуряване оборудвани с AIS транспондер (AtoN AIS) също трябва да имат свой идентификационен номер (MMSI) за достъп до комуникационната мрежа.

Форматът на MMSI за AtoN AIS трябва да е уникално 9-цифрово десетично число във формат:

$$9_19_2M_3I_4D_5X_6X_7X_8X_9,$$

където: цифри от 3 до 5 представят националността на територията, в която са инсталирани СНО (Maritime Identification Digit, MID).

X може да е всяка цифра от 0 до 9.

Форматът на MMSI за брегова станция трябва да е уникално 9-цифрово десетично число във формат:

$$0_1 0_2 M_3 I_4 D_5 X_6 X_7 X_8 X_9,$$

където: цифри от 3 до 5 представят националността на територията, в която са инсталирани СНО (Maritime Identification Digit, MID).

X може да е всяка цифра от 0 до 9.

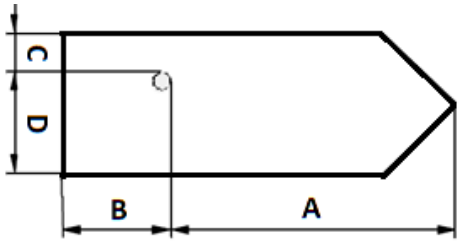
Националната администрация може да използва шестата цифра за указване на спецификата на СНО. Синтетичните СНО се идентифицират с помощта на определен флаг в командата за конфигуриране на MMSI, както е показано в табл. 7.2

Таблица 7.2

| **Тип СНО** | **MMSI (съгласно ITU-R M585-5)** | **Флаг за виртуален СНО (съгласно ITU-R M1371-4)** |
|---|---|---|
| Реален | 99MID1XXX | 0 |
| Синтетичен | 99MID1XXX | 0 |
| Виртуален | 99MID6XXX | 1 |

За ограничаване на количеството обменяна информация размерите на кораба и мястото на GPS антената се представят с помощта на четири числа A, B, C и D спрямо точката, в която е инсталирана антената на позициониращата система (т. нар. фиксирана точка), както е показано на фиг. 7.4.

Статичната информация се преизлъчва на всеки 6 минути.




Фигура 7.4. Представяне на статична информация за размера на кораба и мястото на GPS антената с четири числа (A, B, C и D)

*Динамичната информация* включва:

- Координати на кораба с указване на точността (Ship’s Position with Accuracy Indication);
- Единно системно време (Universal Time Co-ordinated, UTC);
- Курс спрямо дъното (Course Over Ground, COG);
- Скорост спрямо дъното (Speed Over Ground, SOG);
- Жирокомпасен курс (Heading);
- Навигационно състояние (Navigational Status);
- Скорост на извършване на поворот (Rate Of Turn, ROT).

Динамичната информация се обновява на различни интервали в зависимост от скоростта, с която се движи и маневрира кораба. Стойностите са показани в табл. 7.3.

Таблица 7.3

| **Режим на движение** | **Интервал** |
|---|---|
| На котва (скорост под 3 kn) | 180 s (3 min) |
| Скорост под 14 kn, постоянен курс | 10 s |
| Скорост под 14 kn, променящ се курс | 4 s |
| Скорост от 14 до 23 kn, постоянен курс | 6 s |
| Скорост от 14 до 23 kn, променящ се курс | 2 s |
| Скорост под 23 kn, постоянен курс | 3 s |
| Скорост над 23 kn, променящ се курс | 2 s |

*Информацията по прехода* включва:

- Газене на кораба (Draught);
- Опасни товари, тип (Hazardous cargo, Type);
- Пристанище на крайно местоназначение и очаквано време на пристигане (Destination and ETA);
- План на прехода (Route Plan).

Информацията по прехода се се преизлъчва на всеки 6 минути.

*Информацията по безопасността* се въвежда под формата на текстово съобщение и се излъчва еднократно по преценка на капитана на кораба. Всяко текстово съобщение може да бъде адресирано до определена станция (Addressed) или да бъде излъчено до всички станции (Broadcast), както е показано на фиг. 7.5.




а) б)

Фигура 7.5. Излъчване на текстово съобщение до определена станция (Addressed) а) или до всички станции (Broadcast) б) (от GMDSS симулатор TGS 5000)

Независимо от типа, информацията в системата AIS се обменя под формата на съобщения с определено съдържание и обем. Тъй като за номер (вид) на съобщението се използват 6 бита, теоретично е възможно използването на 64 вида съобщения. На практика се използват 24, а още три са в процес на тестване. В табл. 7.4 са посочени всички видове съобщения, които се използват в системата AIS.

Таблица 7.4

| **Номер** | **Наименование** |
|---|---|
| 1 | Position Report Class A (168 bits) |
| 2 | Position Report Class A, Assigned Schedule (168 bits) |
| 3 | Position Report Class A, Response to Interrogation (168 bits) |
| 4 | Base Station Report (168 bits) |
| 5 | Ship and Voyage Report (424 bits) |
| 6 | Addressed Binary Message (104 bits) |
| 7 | Binary Acknowledge (72 bits) |
| 8 | Binary Broadcast Message (168 bits) |
| 9 | Standard SAR Aircraft Position Report (168 bits) |
| 10 | UTC and Date Inquiry (72 bits) |

| | |
|---|---|
| 11 | UTC and Date Response (168 bits) |
| 12 | Addressed Safety Related Message (744 bits) |
| 13 | Safety Related Acknowledge (72 bits) |
| 14 | Safety Related Broadcast Message (96 bits) |
| 15 | Interrogation (88 bits) |
| 16 | Assigned Mode Command (96 bits) |
| 17 | GNSS Binary Broadcast Message (408 bits) |
| 18 | Standard Class B Equipment Position Report (168 bits) |
| 19 | Extended Class B Equipment Position Report (312 bits) |
| 20 | Data Link Management (160 bits) |
| 21 | Aid-to-Navigation Report (280 bits) |
| 22 | Channel Management (168 bits) |
| 23 | Group Assigned Command (160 bits) |
| 24 | Class B Equipment Static Data Report (160 bits) |
| 25 | Binary Message, Single Slot – unverified (8 bits) |
| 26 | Binary Message, Multiple Slot – unverified (8 bits) |
| 27 | Long Range AIS Broadcast – unverified (8 bits) |

В свое циркулярно писмо (SN / Circ. 289) Международната морска организация IMO дефинира 14 нови съобщения, разделени в две групи.

В група I попадат следните съобщения:

- Number of persons on board;
- VTS-generated/synthetic targets;
- Clearance time to enter port;
- Marine traffic signal;
- Berthing data;
- Weather observation report from ship;
- Area notice – broadcast / addressed;
- Extended ship static and voyage-related data.

В група II попадат следните съобщения:

- Dangerous cargo indication;
- Environmental;
- Route information – broadcast / addressed;
- Text description – broadcast / addressed;
- Meteorological and Hydrographic data;
- Tidal window.

В табл. 7.5 е показано обобщеното разпределение на съобщенията по видовете станции, които ги излъчват.

Таблица 7.5

| **AIS Станция** | **Наименование на съобщението** | **Номер** |
|---|---|---|
| Корабна станция Клас А | Position Report | 1, 2, 3 |
| | Static and Voyage Related Data | 6 |
| | Long Range (Satellite) new in Ed. 2 | 27 |
| Станция Клас В | Class B Position Reports, static data | 18, 19, 24 |
| SAR AIS станция | SAR Aircraft Position Report | 9 |
| AtoN AIS станция | Aids to Navigation Report | 21 |
| Всички видове AIS станции | Safety Related Message | 12, 13, 14 |
| | Binary Message | 6, 7, 8, 25, 26 |
| | UTC/Date - enquiry and response | 10, 11 |
| | Interrogation | 15 |
| Брегова базова станция | Base Station Report | 4 |
| | DGNSS Broadcast Binary Message | 17 |
| | Assignment Mode Command | 16, 23 |
| | Data Link Management Command | 22 |
| | Channel Management Command | 20 |

Съобщение номер 1 (*Position Report Class A*) е сред най-често обменяните. Обемът му е 168 бита, а съдържанието е описано подробно в табл. 7.6.

Таблица 7.6

| **Параметър** | **Брой бита** | **Описание** |
|---|---|---|
| Идентификатор | 6 | Номер на съобщението – 1 (000001) |
| Индикатор за повторение | 2 | Показва колко пъти е повторено съобщението<br>0 – подразбиране<br>3 – съобщението не се повтаря повече |
| Идентификатор | 30 | MMSI номер на източника |
| Навигационно състояние | 4 | Вж. Табл. 3.6, стойности 11 до 13 не се използват |
| Скорост на изменение на поворота (Rate Of Turn, $ROT_{AIS}$) | 8 | От 0 до +126 поворот на дясно със скорост до 708º/min.<br>От 0 до -126 поворот на ляво със скорост до 708º/min.<br>$ROT_{AIS} = 4{,}733\sqrt{ROT_{SENSOR}}$, закръглено към цяло число, където $ROT_{SENSOR}$ е показанието на датчика за скоростта. |
| Скорост спрямо дъното, (Speed Over Ground, SOG) | 10 | Скорост спрямо дъното от 0 до +1022 в 0,1kn<br>1022 – скорост от 102,2kn или по-висока;<br>1023 – невалидна стойност |
| Точност на позицията | 1 | 1 – висока точност (<10.0m), осигурена от dGPS приемник<br>0 – ниска точност (≥10.0m), осигурена от GPS приемник;<br>0 – няма данни, подр. |
| Географска дължина | 28 | Географска дължина, точност 0.0001′;<br>От –180 ˚до + 180 ˚ (Изток – положит., Запад – отрицат.);<br>181 – няма данни, подр. |
| Географска ширина | 27 | Географска ширина, точност 0.0001′;<br>От –90 ˚до + 90 ˚ (Север – положит., Юг – отрицат.);<br>91 – няма данни, подр. |
| Курс спрямо дъното, (Course Over Ground, COG) | 12 | Курс спрямо дъното от 0 до +3599 в 0,1º<br>3061 – 4095 не се иползват;<br>3600 – невалидна стойност |
| Компасен курс (True Heading) | 9 | Компасен курс от 0 до +359 в º<br>511 – няма данни, подр. |
| Отметка за времето (Time Stamp) | 6 | UTC – секундата, в която е генерирано съобщението според GPS<br>60 – невалидна стойност, подр.<br>61 – позициониращата система работи в режим на ръчно въвеждане<br>62 – позициониращата система работи в режим “Dead Reckoning”<br>63 – позициониращата система не работи |

| | | |
|---|---|---|
| Индикатор за специална маневра (Special Maneuver Indicator) | 2 | 0 – няма данни, подр.;<br>1 – не се извършва специална маневра;<br>2 – извършва се специална маневра |
| Резерв | 3 | Не се използва, стойности – 0 |
| RAIM флаг | 1 | Receiver Autonomous Integrity Monitor, RAIM флаг на GPS приемника:<br>0 – не се използва RAIM, подр.<br>1 - използва се RAIM. |
| Комуникационно състояние (Comm. State) | 19 | Използва се при планирането на следващото излъчване.<br>Подробно описание е дадено в табл. 3.7. |
| **Общо** | **168** | **Заема един времеви интервал** |

В табл. 7.7 са показани възможните навигационни състояния на кораба. Операторът трябва да избере от менюто на станцията подходящото описание, след което съответната стойност се зарежда в съобщението автоматично.

Таблица 7.7

| **Стойност** | **Описание** |
|---|---|
| 0 | Under way using engine |
| 1 | At anchor |
| 2 | Not under command |
| 3 | Restricted maneuverability |
| 4 | Constrained by her draught |
| 5 | Moored |
| 6 | Aground |
| 7 | Engaged in fishing |
| 8 | Under way sailing |
| 9 | Reserved for future amendment of navigational status for ships carrying dangerous goods (DG), harmful substances (HS) or marine pollutants (MP), or IMO hazard or pollutant category C, high speed craft (HSC) (Запазен за бъдещо разширение на навигационното състояние на кораби, превозващи опасни товари) |
| 10 | Reserved for future amendment of navigational status for ships carrying dangerous goods (DG), harmful substances (HS) or marine pollutants (MP), or IMO hazard or pollutant category A, wing in ground (WIG) (Запазен за бъдещо разширение на навигационното състояние на кораби, превозващи опасни товари) |
| 11 | Power-driven vessel towing astern (regional use) |
| 12, 13 | Запазен за бъдещо използване (Reserved for future use) |
| 14 | AIS-SART (active), MOB-AIS, EPIRB-AIS |
| 15 | Неопределено, подр. (може да се използва също за AIS-SART, MOB-AIS и EPIRB-AIS, в процес на тестове) |

В табл. 7.8 е описан подробно параметърът Comm. Status, с чиято помощ се реализира комуникационния протокол SOTDMA.

Таблица 7.8

| **Параметър** | **Брой бита** | **Описание** |
|---|---|---|
| Състояние на синхронизацията (Sync State) | 2 | 0 – синхронизация директно по UTC<br>1 – синхронизация индиректно по UTC<br>2 – синхронизация към брегова Базова станция<br>3 – синхронизация към група от станции |
| Място на времевия интервал | 14 | Отместване до следващия времеви интервал, който ще бъде използван<br>0 – няма да има следващо излъчване, подр. |
| Брой на интервалите | 2 | Брой на последователните интервали, които ще бъдат използвани<br>0 – един интервал<br>1 – два поредни интервала<br>2 – три поредни интервала<br>3 – четири поредни интервала |
| Флаг за оставане в кадър (Keep Flag) | 1 | Показва дали съобщението ще продължи да се излъчва и в следващия кадър<br>1 (TRUE) – повратя излъчването (остава) и в следващия кадър<br>0 (FALSE) – освобождава времевия слот веднага след като се излъчи |

Съобщение номер 4 (*Base Station Report*) има същия обем, като съобщения номер 1 - 168 бита. Неговото съдържание е описано подробно в табл. 7.9.

Таблица 7.9

| **Параметър** | **Брой бита** | **Описание** |
|---|---|---|
| Идентификатор (Message ID) | 6 | Номер на съобщението – 4 (000100) |
| Индикатор за повторение (Repeat Indicator) | 2 | Показва колко пъти е повторено съобщението<br>0 – подразбиране<br>3 – съобщението не се повтаря повече |
| Идентификатор (ID) | 30 | MMSI номер на източника |
| Година (UTC Year) | 14 | От 1 до 9999; 0 - неопределено, подр. |
| Месец (UTC Month) | 4 | От 1 до 12; 0 - неопределено, подр., 13-15 не се използват |
| Ден (UTC Day) | 5 | От 1 до 31; 0 - неопределено, подр. |
| Час (UTC Hour) | 5 | От 0 до 23; 24 - неопределено, подр., 25-31 не се използват |

| | | |
|---|---|---|
| Минута (UTC Minute) | 6 | От 0 до 59; 60 - неопределено, подр., 61-63 не се използват |
| Секунда (UTC Second) | 6 | От 0 до 59; 60 - неопределено, подр., 61-63 не се използват |
| Точност на позицията | 1 | 1 – висока точност (<10.0m), осигурена от dGPS приемник<br>0 – ниска точност (≥10.0m), осигурена от GPS приемник;<br>0 – няма данни, подр. |
| Географска дължина (Longitude) | 28 | Географска дължина, точност 0.0001′;<br>От –180 ˚до + 180 ˚ (Изток – положит., Запад – отрицат.);<br>181 – няма данни, подр. |
| Географска ширина (Latitude) | 27 | Географска ширина, точност 0.0001′;<br>От –90 ˚до + 90 ˚ (Север – положит., Юг – отрицат.);<br>91 – няма данни, подр. |
| Тип на позициониращата система (Type of electronic position fixing device) | 4 | 1 – GPS;<br>2 – GLONASS;<br>3 – Комбинирана GPS + GLONASS;<br>4 – Loran – C;<br>5 – Chayka;<br>6 – Интегрирана навигационна система;<br>7 – Измерена;<br>8 – Galileo;<br>9 – 14 – не се използват;<br>15 – Вътрешна позициониращa система.<br>0 – няма данни, подр. |
| Управление на излъчването за съобщение 27 (Transmission control for long-range broadcast message 27) | 1 | 0 – подр.; AIS станциите клас А в района на базовата станция спират излъчването на съобщение номер 27;<br>1 – изисква от станциите клас А в района на базовата станция да излъчват съобщение номер 27;<br>Районът на действие на базовата станция се обявява със съобщение номер 23. Ако корабната станция не приема събщение 23, тя трябва да игнорира този бит и да излъчи съобщение 27. |
| Резерв. | 9 | Не се използва, стойности – 0 |
| RAIM флаг | 1 | Receiver Autonomous Integrity Monitor, RAIM флаг на GPS приемника:<br>0 – не се използва RAIM, подр.<br>1 - използва се RAIM. |
| Комуникационно състояние (Comm. State) | 19 | Използва се при планирането на следващото излъчване.<br>Подробно описание е дадено в табл. 3.7. |
| **Общо** | **168** | **Заема един времеви интервал** |

В системата AIS е предвидена възможност за излъчване на информация не само от плавателните съдове, но и от други средства, служещи за повишаване на безопасността на корабоплаването, като средствата за навигационно осигуряване (СНО). Съобщението, предназначено за AIS СНО е с номер 21 (Aids to Navigation Report) (вж. табл. 7.10), но се допуска излъчване и на съобщения с номера 6, 7, 8, 12, 13, 14, 25 и 26.

Таблица 7.10

| **Параметър** | **Брой бита** | **Описание** |
|---|---|---|
| Идентификатор | 6 | Номер на съобщението – 21 (010101) |
| Индикатор за повторение | 2 | Показва колко пъти е повторено съобщението<br>0 – подр.<br>3 – не се повтаря повече |
| Идентификатор | 30 | MMSI номер на източника |
| Тип на СНО | 5 | Вж. Табл. 3.9, стойност 0 не се използва |
| Име на СНО | 120 | Максимум 20 символа във формат ASCII 6bit. Името може да бъде разширено с Параметър за разширение, по-долу |
| Точност на позицията | 1 | 1 – висока точност (<10.0m), осигурена от dGPS приемник<br>0 – ниска точност (≥10.0m), осигурена от GPS приемник;<br>0 – няма данни, подр. |
| Географска дължина | 28 | Географска дължина, точност 0.0001′;<br>От –180 ˚до + 180 ˚ (Изток – положит., Запад – отрицат.);<br>181 – няма данни, подр. |
| Географска ширина | 27 | Географска ширина, точност 0.0001′;<br>От –90 ˚до + 90 ˚ (Север – положит., Юг – отрицат.);<br>91 – няма данни, подр. |
| Размери на СНО / Фиксирана позиция | 30 | Фиксирана точка за докладваната позиция; Показва също и размерите на СНО, вж табл. 3.3. |
| Тип на позиционираща система | 4 | 1 – GPS;<br>2 – GLONASS;<br>3 – Комбинирана GPS + GLONASS;<br>4 – Loran – C;<br>5 – Chayka;<br>6 – Интегрирана навигационна система;<br>7 – Измерена (За неподвижни и виртуални СНО се използва позицията от картата. Точната позиция се използва за подобряване на функцията на СНО |

| | | |
|---|---|---|
| | | като радиолокационен ориентир)<br>8 – Galileo<br>9 – 14 – не се използват;<br>15 – Вътрешна позициониращa система.<br>0 – няма данни, подр. |
| Време | 6 | Секундата, в която електронната позициониращa система осигурява данните;<br>0 – 59;<br>60 – няма данни, подр. |
| Индикатор за отместване | 1 | Само за плаващи СНО:<br>0 – на позиция;<br>1 – отместен. |
| Състояние на СНО | 8 | Запазено за указване на състоянието на СНО;<br>00000000 – подр. |
| Индикатор за състоянието на приемника (RAIM) | 1 | 0 – RAIM не се използва, подр.;<br>1 – RAIM се използва. |
| Флаг за Виртуален СНО | 1 | 0 – реален СНО, на указаната позиция, подр.;<br>1 – виртуален СНО, не съществува физически. |
| Флаг за режим „Назначен” | 1 | 0 – СНО работи в автономен и непрекъснат режим, подр.;<br>1 – СНО работи в режим „Назначен”. |
| Резерв. | 1 | Не се използва, стойности – 0 |
| Разширение на името на СНО | 0, 6, 12, 18, 24, ...84 | Може да съдържа до 14 допълнителни символа във формат ASCII 6bit в добавка към параметър Име на СНО, когато там са нужни повече от 20 символа. Иначе този параметър трябва да се пропусне. |
| Резерв. | 0, 2, 4 или 6 | Използва се само при използване на Разширение на името на СНО за допълване до краен брой байтове (т.е. общият брой битове да е кратен на 8);<br>Стойности – 0 |
| **Общо** | **272 – 360** | **Заема 2 времеви интервала** |

Съобщение 21 може да се излъчи по три различни начина (в три различни режима):

- Режим А – излъчването на съобщението се извършва последователно по двата комуникационни канала ITU AIS 1 (VHF Ch. 87B) и ITU AIS 2 (VHF Ch. 88B) в рамките на един предавателен кадър от 60s. Съдържанието на съобщението се обновява при всяко излъчване;

- Режим B – съобщението се излъчва и по двата канала с кратко закъснение, в рамките на до 4s;
- Режим C – съобщението се излъчва по един от двата канала. Съдържанието се обновява при всяко излъчване.

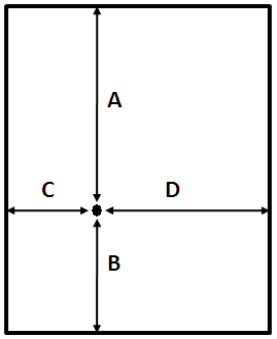
Според спецификацията на IALA видовете / типовете CHO се указват със специализиран 5 битов код, който е описан в табл. 7.11

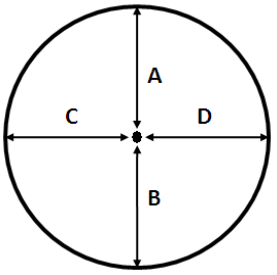
Таблица 7.11

| **Вид/Тип CHO** | **Код** | **Описание** |
|---|---|---|
| Общ вид | 0 | По подразбиране, неопределен (Default, Type of AtoN not specified) |
| | 1 | Точка (Reference point) |
| | 2 | Радиолокационен отражател (RACON) |
| | 3 | Неподвижна структура в морето (off shore), напр. нефтена платформа, ветрогенератор и др.<br>(Note: This code should identify an obstruction that is fitted with an Aid-to-Navigation AIS station.) |
| | 4 | Резервиран за бъдещо използване (Spare, Reserved for future use) |
| Неподвижни | 5 | Светлина, без сектори (Light, without sectors) |
| | 6 | Светлина, със сектори (Light, with sectors) |
| | 7 | Водеща предна светлина (Leading Light Front) |
| | 8 | Водеща задна светлина (Leading Light Rear) |
| | 9 | Маяк, посока Север (Beacon, Cardinal N) |
| | 10 | Маяк, посока Изток (Beacon, Cardinal E) |
| | 11 | Маяк, посока Юг (Beacon, Cardinal S) |
| | 12 | Маяк, посока Запад (Beacon, Cardinal W) |
| | 13 | Маяк, ляв борд (Beacon, Port hand) |
| | 14 | Маяк, десен борд (Beacon, Starboard hand) |
| | 15 | Beacon, Preferred Channel port hand |
| | 16 | Beacon, Preferred Channel starboard hand |
| | 17 | Beacon, Isolated danger |
| | 18 | Beacon, Safe water |
| | 19 | Beacon, Special mark |
| Плаващи | 20 | Cardinal Mark N |
| | 21 | Cardinal Mark E |
| | 22 | Cardinal Mark S |
| | 23 | Cardinal Mark W |
| | 24 | Port hand Mark |
| | 25 | Starboard hand Mark |
| | 26 | Preferred Channel Port hand |
| | 27 | Preferred Channel Starboard hand |
| | 28 | Изолирана опасност (Isolated danger) |
| | 29 | Безопасни води (Safe Water) |
| | 30 | Специален знак (Special Mark) |
| | 31 | Плаващ фар (Light Vessel / LANBY/Rigs) |

За указване на размерите на СНО, подобно на размерите на всяко плавателно средство, оборудвано с AIS транспондер, се използва общоприетия в системата подход с излъчване на 4 числа – A, B, C и D. В табл. 3.12 са описани особеностите на използване на този подход при различните видове СНО в зависимост от тяхното предназначение и размери.

Таблица 7.12




| | Брой битове | Позиция в поредицата | Разстояние, m |
|---|---|---|---|
| A | 9 | Битове 21 – 29 | 0 – 511<br>511 = 511m или повече |
| B | 9 | Битове 12 – 20 | 0 – 511<br>511 = 511m или повече |
| C | 6 | Битове 6 – 11 | 0 – 63<br>63 = 63m или повече |
| D | 6 | Битове 0 – 5 | 0 – 63<br>63 = 63m или повече |

Забележки:

- За неподвижни и виртуални СНО, както и за офшорни инсталации, ориентацията на размер A трябва да е по посока Истински Север;
- За плаващи СНО, по-големи от 2m X 2m размерите трябва да се задават с формата на кръг, т.е. A = B = C = D ≠ 0. Фиксираната точка в този случай е центъра на кръга;
- Стойностите A = B = C = D = 1 показват, че СНО е с размери, по-малки от 2m X 2m. Фиксираната точка в този случай също е в центъра на кръга;
- Всички плаващи офшорни структури трябва да определят размерите си по същия начин и да ги излъчват в Съобщение 21;

Когато се излъчва информация за виртиален СНО, размерите трябва да се установят в стойности A = B = C = D = 0 (подр.). По същия начин се излъчва и информацията за фиксирана позиция.

Освен за обмен на навигационни съобщения, предназначени основно за повишаване на безопасността на корабопаването системата AIS може да се използва и за обмен на друг вид информация. За целта са предвидени няколко специализирани съобщения.

Съобщение номер 6 (Addressed Binary Message) може да се използва за изпращане на информация за състоянието на СНО до компетентните органи, отговарящи за експлоатацията и поддържането на системата. В това съобщение може да се включи информация за състоянието на светлините и на акумулаторната батерия, както и стойността на зарядния ток на соларния панел. Своевременното осигуряване на тази информация ще улесни превантивната работата на компетентните органи чрез ранно предупреждение за възможни неизправности, което в крайна сметка подобрява работоспособността на системата от СНО. Информацията за експлоатационните характеристики може да се използва също и като обратна връзка в процеса на проектиране на новите системи от СНО. В в рамките на едно съобщение е възможно предаване на до 920 бита информация.

Съобщение номер 8 (Binary Broadcast Message) е описано подробно в предложение на IMO SN.1/Circ.289. Съгласно това предложение съобщението може да се използва за предаване на хидро-метеорологични данни, осигурявани с помощта на подходящи сензори и/или интерфейси. Форматът на съобщение номер 8 и на хидро-метеорологични данни, включени в него са показани в табл. 7.13.

Таблица 7.13

| **Параметър** | **Брой бита** | **Описание** |
|---|---|---|
| Идентификатор | 6 | Номер на съобщението – 8 (001000) |
| Индикатор за повторение | 2 | Показва колко пъти е повторено съобщението<br>0 – подр.<br>3 – не се повтаря повече |
| Идент. Източник | 30 | MMSI номер на източника |
| Резерв. | 2 | Не се използват, стойности – 0 |
| DAC / FI | 16 | Регионален код / Функционален идентификатор<br>DAC = 001 (International) / FI = 31 (Met/Hydrographic Data) |
| Географска дължина | 25 | Географска дължина, точност 0.001′;<br>От –180 ˚до + 180 ˚ (Изток – положит., Запад – отрицат.);<br>181 – няма данни, подр. |
| Географска ширина | 24 | Географска ширина, точност 0.001′;<br>От –90 ˚до + 90 ˚ (Север – положит., Юг – отрицат.);<br>91 – няма данни, подр. |

| | | |
|---|---|---|
| Точност на позицията | 1 | 1 – висока точност (<10.0m), осигурена от dGPS приемник<br>0 – ниска точност (≥10.0m), осигурена от GPS приемник;<br>0 – няма данни, подр. |
| Време, UTC | | Дата и час на измерените данни, UTC |
| Ден | 5 | 1 – 31;<br>0 – няма данни, подр. |
| Час | 5 | 0 – 23;<br>24 – няма данни, подр. |
| Минута | 6 | 0 – 59;<br>60 – няма данни, подр. |
| Средна скорост на вятъра | 7 | Измерва се на всеки 10 мин., стъпка 1 kn.<br>0 – 125 kn., 126 – скорост 126 kn. или повече;<br>127 – няма данни, подр. |
| Порив на вятъра | 7 | Макс. скорост през последните 10 мин., стъпка 1 kn.<br>0 – 125 kn., 126 – скорост 126 kn. или повече;<br>127 – няма данни, подр. |
| Посока на вятъра | 9 | Средна посока през последните 10 мин., стъпка 1˚.<br>0 – 359 ˚;<br>360 – няма данни, подр. |
| Посока на порива | 9 | Посока на макс. вятър през последните 10 мин., стъпка 1˚.<br>0 – 359 ˚;<br>360 – няма данни, подр. |
| Температура на въздуха | 11 | Температура, измерена в суха колба, стъпка 0.1˚C.<br>от –60˚C до +60˚C;<br>601 – 1023 запазени за бъдещо използване;<br>–1024 – няма данни, подр. |
| Относителна влажност | 7 | Относителна влажност, стъпка 1%<br>0 – 100%;<br>101 – няма данни, подр. |
| Темп. на оросяване | 10 | Температура на оросяване, стъпка 0.1˚C.<br>от –20˚C до +50˚C;<br>501 – няма данни, подр. |
| Налягане на въздуха | 9 | Налягане на въздуха към морската пов., стъпка 1hPa<br>0 = 799hPa или по-малко;<br>1 – 401 = 800 – 1200hPa;<br>402 = 1201hPa или по-високо;<br>511 – няма данни, подр. |
| Тенденция на изменение | 2 | 0 – постоянно;<br>1 – намалява;<br>2 – нараства;<br>3 – няма данни, подр. |

| | | |
|---|---|---|
| Хоризонтална видимост | 8 | Хоризонтална видимост, стъпка 0.1 nm<br>0.0 – 12.6 nm (от 00000000 до 01111110)<br>Когато се достигне макс. видимост на сензора, най-старшият бит приеме стойност 1, напр.<br>10110010 означава видимост 5.0 nm или повече;<br>01111111 – няма данни, подр. |
| Ниво на водата | 12 | Отклонение от данните по карта, стъпка 0.01m.<br>от –10m до +30m. (от 0 до 4000, с последващо – 1000)<br>4001 – няма данни, подр. |
| Посока на изменение | 2 | 0 – постоянно;<br>1 – намалява;<br>2 – нараства;<br>3 – няма данни, подр. |
| Скорост на пов. течение | 8 | Скорост на течението на повърхността, стъпка 0.1kn.<br>0.0 – 25.0kn.<br>255 – няма данни, подр. |
| Посока на пов. течение | 9 | Посока на течението на повърхността, стъпка стъпка 1˚.<br>0 – 359 ˚;<br>360 – няма данни, подр. |
| Скорост на течение | 8 | Скорост на течението на избрано ниво под повърхността, стъпка 0.1kn.<br>(Също като при пов. течение) |
| Посока на течение | 9 | Посока на течението на избрано ниво под повърхността, стъпка стъпка 1˚.<br>(Също като при пов. течение) |
| Текущо ниво на измерване | 5 | Ниво на измерване под морската повърхност, стъпка 1m.<br>0 – 30m;<br>31 – няма данни, подр. |
| Скорост на течение 2 | 8 | Скорост на течението на избрано ниво под повърхността, стъпка 0.1kn.<br>(Също като при пов. течение) |
| Посока на течение 2 | 9 | Посока на течението на избрано ниво под повърхността, стъпка стъпка 1˚.<br>(Също като при пов. течение) |
| Текущо ниво на изм. 2 | 5 | Ниво на измерване под морската повърхност, стъпка 1m.<br>0 – 30m;<br>31 – няма данни, подр. |
| Височина на вълната | 8 | Най-голяма височина на вълната, стъпка 0.1m<br>0.0 – 25.0m;<br>251 – височина 25.1m или по-голяма;<br>255 – няма данни, подр. |

| | | |
|---|---|---|
| Период на вълнението | 6 | Период на вълнението, стъпка 1s<br>0 – 60;<br>63 – няма данни, подр. |
| Посока на вълнението | 9 | Посока на вълнението, стъпка стъпка 1˚.<br>0 – 359 ˚;<br>360 – няма данни, подр. |
| Височина на ветрова вълна (swell) | 8 | Височина на ветрова вълна (swell), стъпка 0.1m<br>0.0 – 25.0m;<br>251 – височина 25.1m или по-голяма;<br>255 – няма данни, подр. |
| Период на ветрова вълна (swell) | 6 | Период на ветрова вълна (swell), стъпка 1s<br>0 – 60;<br>63 – няма данни, подр. |
| Посока на ветрова вълна (swell) | 9 | Посока на ветрова вълна (swell), стъпка 1˚.<br>0 – 359 ˚;<br>360 – няма данни, подр. |
| Състояние на морето | 4 | По скалата на Beaufort |
| Температура на водата | 10 | Температура на водата, стъпка 0.1˚C.<br>от –10˚C до +50˚C;<br>501 – няма данни, подр. |
| Валежи (вид) | 3 | Според табл. 4.201 на WMO:<br>0 – запазено;<br>1 – дъжд;<br>2 – проливен дъжд с гръмотевици;<br>3 – замръзващ дъжд;<br>4 – лед/градушка;<br>5 – сняг;<br>6 – запазено;<br>7 – няма данни, подр. |
| Соленост | 9 | Соленост на морската вода, стъпка 0.1‰<br>0.0 – 50.0‰<br>50.1 – соленост 50.1‰ или повече<br>510 – няма данни, подр.<br>511 – няма сензор. |
| Лед | 2 | 0 – няма лед;<br>1 – има лед;<br>2 – резерв.;<br>3 – няма данни, подр. |
| Резерв. | 10 | Не се използват, стойности – 0 |
| **Общо** | **360** | **Заема 2 времеви интервала** |

Съобщение номер 25 (Binary Data for Addressed or Broadcast Communication) може да се използва за изпращане на кодирана конфиденциална информация с големина до 128 символа.

Съобщение номер 26 (Binary Data for Addressed or Broadcast Communication) също може да бъде приемано, обработвано и предавано от AIS станции от тип 3. Това съобщение обаче не е включено в стандарта IEC62320-2.

За всички съобщения са валидни следните общоприети правила:

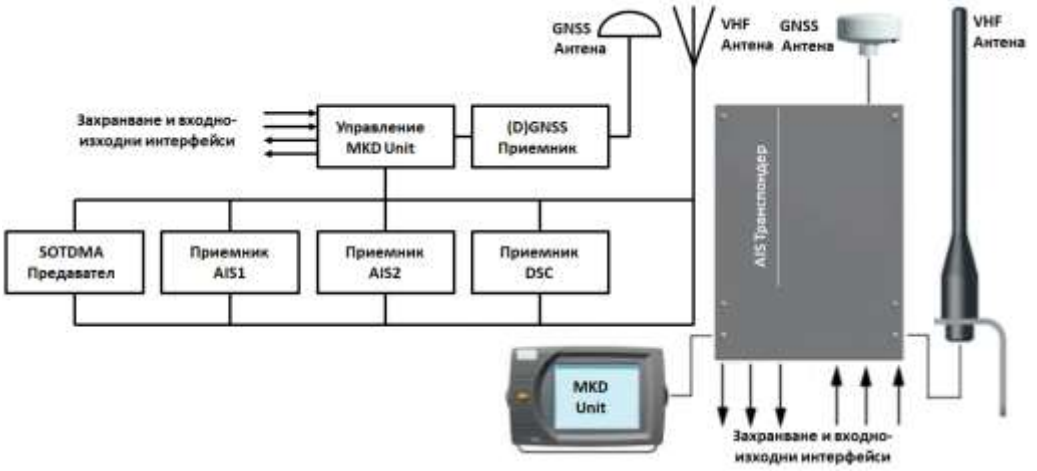
- Географските координати да са представени във формат WGS 84;
- Всички времена да са представени в координирано единно време (UTC);
- Всички посоки да са представени спрямо Истински Север.

7.5. Корабно и брегово оборудване

Както беше казано по-горе, след 31.12.2004г. всички кораби, отговарящи на дефинията на конвенцията SOLAS трябва да бъдат оборудвани с корабен AIS транспондер клас А в съответствие с изискванията на резолюцията на IMO MSC 74 (69), на препоръките на ITU-R M.1371-1 и на стандарта на IEC 61993-2. Устройството трябва да съдържа два приемника, настроени съответно на 161,975MHz (AIS1, VHF Ch. 87B) и 162,025MHz (AIS2, VHF Ch. 88B) и един предавател, който да излъчва алтернативно на един от двата AIS канала. Допуска се и добавяне на приемник на чесотата на системата за цифрово избирателно повикване DSC – 156,525MHz (DSC VHF Ch. 70) за приемане на сигнали за бедствие, спешност и безопасност. Транспондерът трябва да притежава монитор и пулт за управление (Minimum Keyboard and Display Unit, MKD Unit) и комуникационен процесор с интерфейси за връзка с външни устройства, като ECDIS, RADAR/ARPA, VDR и др. За осигуряване на високоточно време за синхронизация на комуникациите по протокол SOTDMA и на информация за позицията е нужен приемник за глобална позиционираща система GNSS. Той може да бъде вграден в AIS транспондера или да се използва външен. Блоковата схема е показана на фиг. 7.6.

За неконвенционалните съдове се препоръчва използването на AIS транспондер клас В в съответствие стс стандарта на IEC 62287. Той е подобен на клас А, но има по-ниска цена поради по-скромните изисквания към него. Транспондерът от клас В излъчва сигнал с по-малка мощност, поради което може да бъде приет само от кораби в непосредствена близост. Няма изисквания за видео

дисплай и органи за управление, поради което задължително трябва да се използва с външна навигационна система. Няма изисквания за DSC приемник и може да използва само вграден GPS приемник. Не излъчва информация за скорост на извършване на поворот, навигационно състояние, IMO номер, пристанище на крайно местоназначение и очаквано време на пристигане газене.




Фигура 7.6. Блокова схема на корабен AIS транспондер

Свързването на корабния AIS транспондер към външни системи се извършва по стандартен последователен интерфейс NMEA-0183 (National Maritime Electronic Association). Общата структура на съобщението, в съответствие със стандарт IEC 61162 – 1 има следния вид:

!AIXYZ,[VDL Data Symbols]*hh<CR><LF>,

където XYZ е код, показващ вида на съобщението;

VDL Data Symbols е текста на съобщението, представен в модифициран 6-битов ASCII с по един стартов и еди стопов бит;

hh е контрилна сума, формирана чрез побитово сумиране по модул 2 на символите на съобщението;

CR – управляващ символ за връщане на каретката;

LF – управляващ символ за нов ред.

Пример:

!AIVDM,1,1,,A,H3P8VGlpwwwwwwwj0001p5230,0*6B<CR><LF>

Съобщението от примера е с код VDM, който показва, че съобщението е прието от AIS – приемника (Vhf Data-link Message, VDM);

Първата цифра показва броят на фрагментите, на които е разделено приеманото в момента съобщение;

Втората цифра показва поредния номер на фрагмента;

Третата цифра, в примера означена с празна позиция, показва поредния номер на изречението (стринга). Използва се в по-дълги съобщения;

Четвъртият символ показва по кой AIS канал е прието съобщението. С буква A се означава канал AIS1, а с B – AIS2;

Следва информационното съдържание, което в примера е представено с 26 символа;

Последният символ показва с колко бита трябва да се допълни кодът н авсеки символ за удовлетворяване на изискванията на стандартния формат.

Контролната сума е представена в шестнадесетичен код (6Bh = 01101011b).

Бреговите базови станции в системата AIS притежават блокова схема, чиято структура е подобна на тази на корабната станция. Съществените разлики се състоят в по-високата мощност на предавателите и в управлението, което обикновено се извършва от информационните системи за управление на трафика на плавателните съдове VTMIS, в чийто състав е включена системата AIS.

Използването на функционалните възможности на автоматичната идентификационна система AIS в системата от средства за навигационно осигуряване в съответствие с изискванията на IMO, препоръката на ITU-R M.1371-1 и стандарта на IEC 62320-2 предоставя много предимства както за бреговите служби, осигуряващи безопасността на корабоплаването в крайбрежните райони и пристанищата, така и за екипажите на плавателните съдове. Системата подобрява безопасността на корабоплаването чрез повишаване на ефективността на откриване и визуализиране на СНО при всякакви метеорологични условия и в райони, скрити за радиолокационно и/или видео наблюдение. Системата AIS подобрява функциите на СНО чрез осигуряване на информация за тяхната идентификация, текущо състояние и местоположение, както и друга специфична информация, като метео- и хидрологична и др., която би подобрила безопасността на корабоплаването в

района. Съгласно изискванията на IALA AIS CHO трябва да осигуряват информация за:

- Своята идентификация при всякакви метео- и хидрологични условия;
- Добавянето на алтернативни и допълнителни функции, напр. dGPS, RACON и др.;
- Позицията си, ако са плаващи;
- Всяко отклонение от предварително зададената позиция, което да генерира сигнал за предупреждение;
- Маркиране и / или очертаване на границите на районите, които са опасни за корабоплаването и на схемите за разделно движение (TSS);
- Маркиране и / или очертаване на районите, в които се намират офшорни инсталации, като ветрогенератори, генератори, използващи енергията на морските вълни и / или приливно-отливните течения, нефтени и газови платформи и др.;
- Състоянието на морето, теченията и метеорологичната обстановка в района на действие на системата;
- Добавяне на допълнителни функционалности чрез използване на виртуални CHO на места, където инсталирането на реални такива е свързана с определени технически или иконимически затруднения;
- Техническото си състояние (светлини, токозахранване, радиокомуникации, опит за взлом и др.);
- Високоточно позициониране на неподвижните CHO, които се използват като опорни радиолокационни цели / маркери при настройване на радиолокационните станции;

Използването на AIS CHO предоставя на администрацията, отговаряща за оборудването на водните пътища някои важни предимства и улеснения, като:

- Дистанционно наблюдение на състоянието на CHO;
- Проследяване на CHO, които са се отклонили от предварително зададената позиция;

- Подпомагане на идентификацията на кораби, предизвикали сблъскване и поражения на СНО;
- Събиране на информация за техническото състояние на СНО в реално време или с минимално закъснение;
- Дистанционна промяна на някои от параметрите на СНО;
- Събиране на статистическа информация за надеждността на оборудването на СНО;
- Разширяване на района за AIS мониторинг на корабния трафик;
- Улеснения при временно маркиране на райони с новопоявили се навигационни опасности и / или временни промени в схемите за разделно движение чрез използването на виртуално СНО;
- Следене на състоянието на друго навигационно оборудване в района;
- Резервиране и установяване на непрекъсваем режим на работа на основната брегова система от базови AIS станции.

Имайки предвид тези фактори, тенденцията е всички СНО в териториалните води да се оборудват с AIS устройства и/или функционалности, както и със средства за дистанционно управление и контрол.

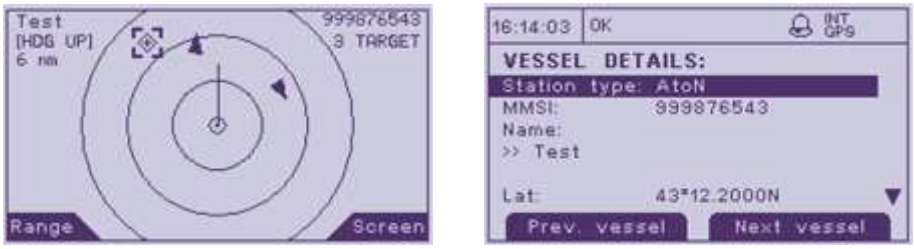
Според препоръките на IALA върху средствата за навигационно осигуряване могат да се монтират три вида AIS станции, както следва:

- Станция от тип 1 – съдържа само предавател, който излъчва в режим FATDMA. Този режим изисква предварително резервиране на времевите интервали за предаване, което се извършва от компетентните органи. Станциите от този тип трябва да се конфигурират предварително за излъчване на съобщения само в резервираните интервали;
- Станция от тип 2 – подобна на първата, но съдържа и приемник, което позволява дистанционно конфигуриране на времевите интервали за предаване. При това приемникът може да работи само на един комуникационен канал. Създава улеснения при временно маркиране на райони с новопоявили се навигационни опасности и/или временни промени

в схемите за разделно движение чрез използването на виртуално СНО. Тази станция се използва по-рядко от тип 1;

- Станция от тип 3 – съдържа два приемника, което й позволява да участва пълноценно в обмена на AIS информацията. Освен FATDMA този тип станция поддържа и комуникационен протокол от вида Random Access Time Division Multiple Access, RATDMA. Станцията от тип 3 е в състояние да функционира автономно, без предварително резервиране на времевите интервали, да приема и препредава AIS съобщения, вкл. и такива за управление и конфигуриране на своя предавател и на други AIS СНО в околността. Станцията от този тип може да се синхронизира индиректно в процеса на приемане и да генерира виртуални СНО.

Станциите AIS СНО са предназначени за излъчване на съобщение номер 21, но се допуска излъчване и на съобщения с номера 6, 7, 8, 12, 13, 14, 25 и 26. При това станциите от тип 1 и 2 не могат да излъчват съобщения 7, 13 и 26.




а) б)

Фигура 7.7. AIS СНО на екрана на корабен AIS транспондер (а) – Plotter, б) – Текстов екран (От GMDSS симулатор TGS 5000)

На 7.7а) се вижда характерния символ на AIS СНО, наред със символите на два кораба, а на 7.7б) – текстовата информация, показваща идентификациония номер и името на транспондера, както и неговите координати.

От 01.01.2010 Международната морска организация IMO допуска за целите на търсене и спасяване освен радиолокационен транспондер (Search And Rescue Radar Transponder, SART) в състава на корабното GMDSS оборудване да се използва и AIS-SART, в съответствие с препоръката на ITU-R M.1371-1 и стандарта

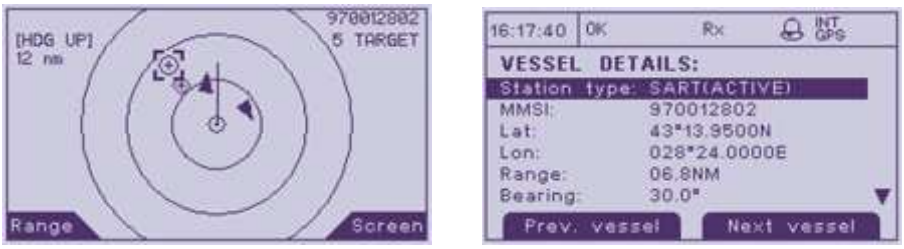
на IEC 61097-14. Работните честоти на AIS-SART са 161,975MHz (AIS1, VHF Ch. 87B) и 162,025MHz (AIS2, VHF Ch. 88B). Неговата батерия трябва да гарантира 48 часа активно излъчване при температура на околната среда между -20 и +55°C. Притежава вграден GPS премник, обикновено с 20 канала и идентификационен номер със следната структура:

AIS-SART ID – $9_1 7_2 0_3 X_4 X_5 Y_6 Y_7 Y_8 Y_9$,

където X може да е всяка цифра от 0 до 9, а XX е кодът на производителя;

Y може да е всяка цифра от 0 до 9, а YYYY е сериен номер.

На фиг. 7.8 е показан екран на корабен AIS – транспондер, изобразяващ активиран AIS-SART. На 7.8а) се вижда характерния символ на SART-а, наред със символите на два кораба и един A-to-N AIS, а на 7.8б) – текстовата информация, показваща идентификациония номер и координатите на транспондера, както и пеленга и разстоянието до него.




а) б)

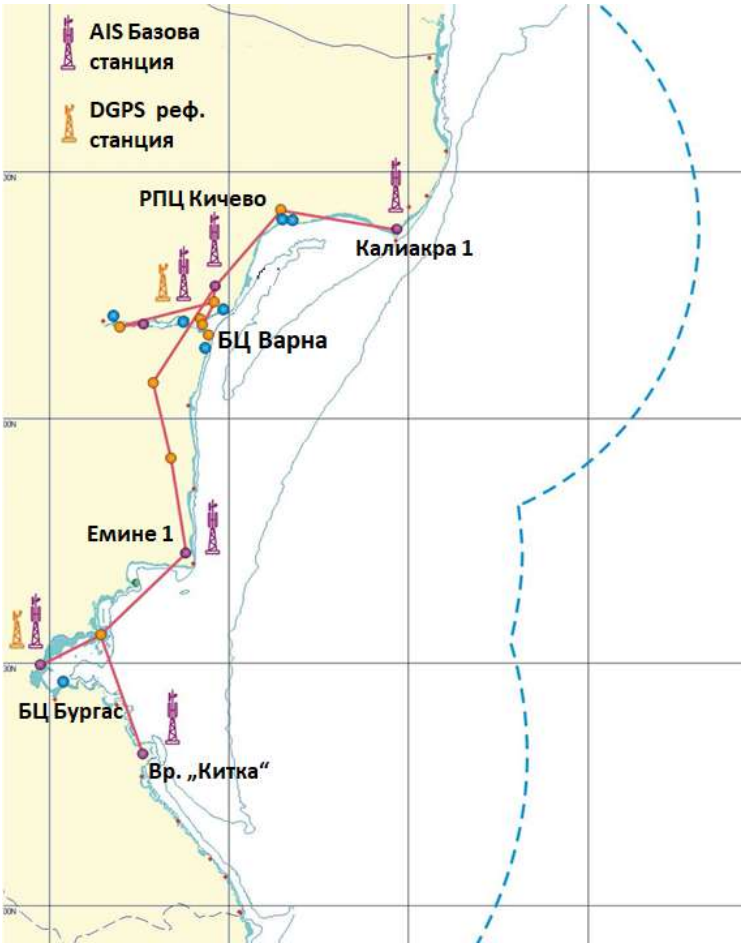
Фигура 7.8. Активиран AIS-SART на екрана на корабен AIS транспондер (а) – Plotter, б) – Текстов екран (От GMDSS симулатор TGS 5000)

7.6. Автоматичната идентификационна система AIS в информационната система за управление на трафика на плавателните съдове на Р. България

Автоматичната идентификационна система е включена в състава на VTMIS под формата на мрежа от 6 базови станции, разположени по Българското Черноморско крайбрежие в районите на следните обекти:

- Калиакра 1;
- Радиоприемен център Кичево;
- Брегови център Варна;
- Емине 1;

- Брегови център Бургас;
- Връх „Китка“.




Фигура 7.9. схема на разположение на AIS мрежата в състава на информационната система VTMIS на Р. България

Към мрежата от базови станции са добавени два AIS сървъра с инсталиран мрежов софтуер, разположени в бреговите центрове Варна и Бургас, както и две референтни станции за осигуряване на диференциалните корекции (DGNSS, DGPS) в района на действие на системата с цел повишаване на точността на позициониране. Схемата на разположение и района на действие на мрежата са показана на фиг. 7.9. За повишаване на надеждността на AIS мрежата всички

станции са резервирани. На фиг. 7.10 е показан техния състав и конфигурация, включващи две AIS станции модел „T 214“, производство на Transas с два комплекта антени и контролер за управление.




Фигура 7.10. Състав и конфигурация на оборудването на обектите с AIS базова станция в информационната система за управление на трафика VTMIS на Р. България (Транслинк, Документ № 450001-01)

Базовите станции изпълняват следните функции:

- Да приемат AIS информацията, излъчвана от корабите в района на действие на системата, която включва идентификация (име, позивна, MMSI и IMO) и тип на кораба, координати, курс и скорост, размери (дължина и ширина), позиция на GNSS антената, данни за скоростта на извършване на поворот, пристанище на крайно местоназначение и очаквано време на пристигане, план на прехода, наличие на опасни товари (при поискване);
- Да получават и предават текстови съобщения, свързани с безопасността;
- Да резервират времеви интервали за схемата за достъп до комункационните канали (VHF Data Link, VDL) по протокол FATDMA (NMEA съобщения CBR (Configure Broadcast Rates for AIS AtoN Station Message Command) и DLM (Data Link Management Slot Allocation for Base staton Command) съгласно Препоръка 14.2.2 A-124 на IALA;

- Да получават диференциални GNSS (GPS) корекции от референтна DGNSS станция и да ги предават по AIS канал;
- Да определят и задават подходящи режими за работа на корабните станции, които включват възлагане на региони, честоти, мощност на излъчване, времеви интервали и др.

Контролерът на базовата станция (AIS Base Station Controller, BSC) е специализиран компютър, служещ за изпълнение на следните задачи:

- Получаване и предаване на данните от AIS базовите станции в мрежата;
- Преобразуване на данни от сериен интерфейс „NMEA 0183" в мрежов „Ethernet TCP/IP" и обратното;
- Наблюдение и контрол на двете AIS базови станции с възможност за автоматично или ръчно превключване;
- Запис и съхранение на AIS съобщенията на локален диск за последващо възпроизвеждане в случай на загуба на връзка между контролера на базовата станция и AIS мрежата.
- Софтуер за анализ на комуникациите по радиоканалите (VHF Data Link, VDL анализ) за разрешаване на проблеми, свързани с конфликти при използване на времевите интервали.

Сървърите на AIS мрежата изпълняват следните функции:

- Комуникация и обмен на данни с всички базови станции в AIS мрежата;
- Комуникация и обмен на данни с други национални или международни AIS мрежи;
- Определяне на специални зони за излъчване от станции с виртуални MMSI, които да бъдат използвани за изпращане на съобщения за безопасност или на двоични съобщения.
- Маршрутизация на AIS данни. Сървърите в AIS мрежата маршрутизират следните видове съобщения (вж. табл. 3.4):
    - От съобщение номер 1 до номер 16;
    - Съобщения с номера 18 и 19;
    - Съобщение номер 21.

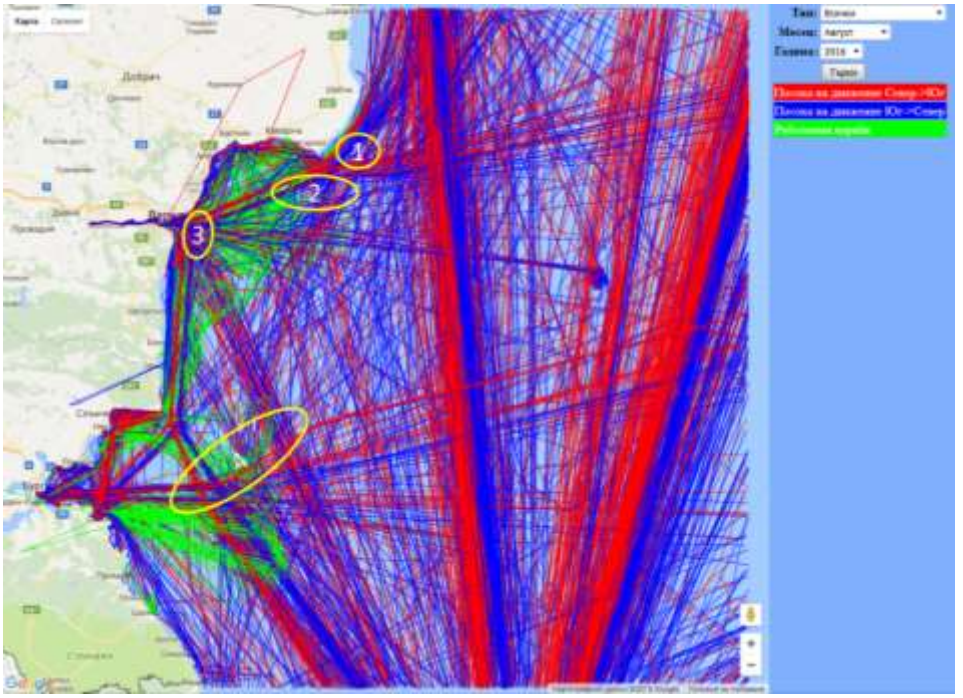
- отстраняване на дублиране.
- Предоставяне на клиентски интерфейс към AIS мрежата на системата въз основа на IEC 61993-2 приложение Б, по Интернет протокол TCP/IP. Интерфейсът е адаптиран със съответния интерфейс от препоръките на IALA за брегова AIS станция. AIS Възможно е свързване и на корабна система с електронна навигационна карта ECDIS с използване на същия протокол за изпращане и получаване на AIS информация от системата.
- Предприемане на мерки за защита на мрежата, включващи:
    - Всички клиентски връзки да изискват разрешителни процедури. Разрешителната процедура се извършва с потребителско име и парола при влизане в системата;
    - Цялата постъпваща от клиентите информация се проверява със синтаксис на AIS съобщения. В AIS мрежата се допуска обмен само на валидни AIS съобщения;
    - Възможност да се съставят списъци на коректни и некоректни клиенти ("бял списък" и "черен списък"), базирани на IP адресите на клиентите.
- Назначаване на виртуален MMSI номер на всеки клиент, който да се използва като номер на източник за изпращане на съобщение от клиента чрез AIS VDL.
- Осигуряване на свързаност на клиент към мрежата за получаване на следните AIS съобщения:
    - Съобщения с номера от 1 до 9;
    - Съобщения с номера от 11 до 14;
    - Съобщения с номера от 18 до 19;
    - Съобщение номер 21.
- Осигуряване на свързаност на клиентите към мрежата за изпращане до корабите на AIS съобщения с номера 6, 8, 10, 12, 14, 15 и 16;
- Филтриране, свързано с клиент. Могат да бъдат определени правила за филтриране за всеки клиент самостоятелно или за предварително

определени групи клиенти (потребителски профили). Могат да бъдат приложени следните правила за филтриране за клиент:

- Определяне на необходимата честота на обновяване на данни.
- Организиране на корабните MMSI номера в групи с цел тези групи да се използват за филтриране. Групата на корабите може да бъде определена като произволен списък от MMSI номера или като MMSI маска (диапазон от MMSI номера).
- Осигуряване на AIS данни само за предварително дефинирани групи от кораби (например за корабите под Български флаг).
- Спиране на изпращане на AIS данни от предварително зададени кораби или група от кораби.
- Осигуряване на AIS данни само за корабите в определен географски регион.
- Изпращане само на определени съобщения към клиента. Видът и номерът на съобщенията могат да се настройват за цялата гама от AIS съобщения. Това включва възможността за филтриране на произволни комбинации от AIS съобщения с номера от 1 до 6, 8 и 9, 12, от 14 до 16, 18, 19 и 21.
- Получаване само на определени съобщения от клиента. Видът и номерът на съобщенията могат да се настройват за цялата гама от AIS съобщения. Това включва възможността за филтриране на произволни комбинации от AIS съобщения с номера 6, 8, 12, 14, 15 и 16. Допуска се и пълна забрана за получаване на съобщения от клиента.
- Получаване само на актуализация на позицията, когато скоростта и/или курса се променят.
- Изпращане само на AIS данни от определени източници – от собствената AIS мрежа или от външна AIS мрежа (по идентификационен номер).
- Изпращане само на AIS данни за корабите, плавщи до определено пристанище \ пристанища на крайно местоназначение.

- Насочване на съобщенията от корабите, адресирани до клиент на брега с виртуален MMSI.
- Възможност за клиентите да изпращат съобщения, свързани с безопасността и двоични съобщения до определени групи от базови станции или зони на излъчване;
- Изпращане на потвърждение за предаване на адресираното съобщение, ако получателят в момента е свързан към системата.

Сървърите на системата AIS са разположени в брегови центрове за управление на трафика във Варна и Бургас и също са резервирани. Данните от тези сървъри се записват и съхраняват в базата от данни на системата за определен период от време. Базата от данни може да се използва за разследване на произшествия в района на действие на системата. Данните могат да се използват и за анализ на трафика, както е показано на фиг. 7.11.




Фигура 7.11. Анализ на трафика за определяне на конфликтните зони по отношение на безопасността на корабоплаването на базата на архив на AIS сървър за 2016г. (Проект Система за разделно движение на Р. България)

## 8. СИСТЕМА ЗА ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЕ

8.1. Общи сведения

Системата за видео наблюдение е интегрирана във VTS Системата, за да предостави на оператора оценка в реално време на ситуацията във VTS района на отговорност.

Инсталирани са девет комбинирани високочувствителни видео сензорни системи (цветни, с дневно и нощно наблюдение във видимия диапазон, с термовизионен режим) за обекти: БЦ Варна, БЦ Бургас, Калиакра 1, Пост 2, Белослав 2, Пристанище Росенец, РК Варна, Фериботен комплекс и Пост 3.

Системата е резервирана с един напълно оборудван резервен комплект с термовизионна камера.



Фигура 8.1. Комбинирани високочувствителни видео сензорни системи за видеонаблюдение

Видео системата, посредством графичния потребителски интерфейс (Graphical user interface, GUI) на оператора, дава възможност за:

- Ръчно фокусиране върху целта;
- Автоматичен контрол на камерата посредством GUI с показване на линия към целта и зрителен ъгъл върху картна подложка;

- Възможност за автоматично фокусиране върху целта (радар, AIS) и географска точка от картната подложка;
- Възможността за автоматично следване на целта (проследяване с радар, AIS);
- Възможност за следене на конкретна цел от множество камери;
- Възможност за автоматично позициониране и фокусиране на най-близката цел с възможност за активиране на аларма;
- Прецизно автоматично фокусиране;
- Възможност за автоматично фокусиране на предварително зададена географска точка (10 предварително зададени точки по подразбиране);
- Възможност на оператора правилно да класифицира типа на плавателния съд с минимална дължина 100 м в диапазон от най-малко 10 морски мили (nm) при условия на добра видимост;
- Възможност на оператора правилно да класифицира типа на плавателния съд с минимална дължина от 8 м и височина на борда 2 м в диапазон от най-малко 5 морски мили при условия на добра видимост;
- Възможност на оператора да разчете име и други отличителни белези с големина на шрифта от 15 инча върху плавателни съдове в диапазон от най-малко 2,5 морски мили при условия на добра видимост.

Видео изображението (чрез стабилизатор на изображението) и контролните сигнали от всяка комбинирана видеосистема, свързана чрез LAN към контролните центрове, предоставя възможност за контрол над всички камери (посредством Navi-Harbour GUI) както и посредством H.264 видео/IP кодек за лесно представяне на видео картина от всяка камера за всеки оператор. Видеото сигналът от всички камери ще се записва за бъдещ анализ и повторение.

Устройствата за завъртане и наклон на камерата се контролират от софтуер посредством серийна RS422 линия. Интерфейсът за контрол на завъртане/наклон на камерата предоставя като част от софтуера на дисплея на VTS оператора:

- Прецизно фокусиране на камерата върху всеки обект чрез показания за позицията;

- Пълен дистанционен контрол върху камерата от програма Navi-Harbour, ръчно чрез специален панел върху екрана с традиционен ергономичен контрол;
- Възможност за фокусиране на камерата върху всеки обект или област чрез кликване върху електронната карта;
- Възможност да се назначи избрана камера да следва дадена цел, проследявана от радар/AIS;
- Показване на текущата посока на снимане на камерата и размера на ъгловата рамка върху електронната карта, помагайки на системния оператор при използването на повече от една камера.

8.2. Техническо описание.

8.2.1. Стандартната хардуерна конфигурация на системата за видеонаблюдение се състои от следните основни части и елементи:

Камера

Таблица 8.1

| **Компонент** | **Единица мярка** | **Стойност** |
|---|---|---|
| Цветно/черно-бяло автоматично или ръчно превключване | | |
| Резолюция | TVL | 540 |
| Минимална цветна чувствителност (f 1.2, 50IRE) | Lux | 0.31 |
| Минимална цветова чувствителност (f 1.2, 50IRE) sens up 10x | Lux | 0.031 |
| Минимална B/W чувствителност (f 1.2, 50IRE) | Lux | 0.121 |
| Минимална B/W чувствителност (f 1.2, 50IRE) sens up 10x | Lux | 0.0121 |
| Размер на CCD Сензора | inch | 1/2 |

Лещи

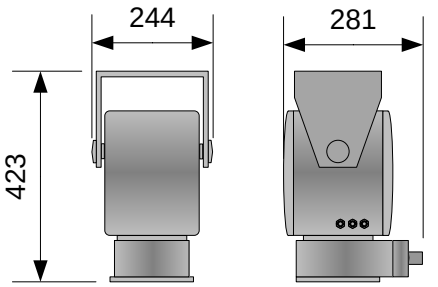
Таблица 8.2

| Компонент | Единица мярка | Стойност |
|---|---|---|
| Моторизирани с потенциометър за предварителна настройка | | |
| Auto-Iris, Iris диапазон | | F1.5 – 560 |
| Размер на изображението | inch | ½ |
| Фокусна дължина | mm | 10-330 |
| Оптическо увеличение | | 33x |
| Ширина на зрителния ъгъл (диагонал) - wide | Arc Dg | 43 |
| Ширина на зрителния ъгъл (диагонал) – telephoto | Arc Dg | 1.4 |

Управление на завъртане и наклон

Таблица 8.3

| Компонент | Мерна единица | Стойност |
|---|---|---|
| Ъгъл на завъртане | Arc Dg | 0-360 |
| Ъгъл на наклон нагоре | Arc Dg | 30 |
| Ъгъл на наклон надолу | Arc Dg | 90 |
| Скорост на завъртане | Arc Dg per sec | 0.1- 60 |
| Скорост на накланяне | Arc Dg per sec | 0.1- 30 |
| Точност | Arc Dg | 0.1 |
| Диапазон на околната температура | Dg C | -40 ÷ + 60 |
| Устойчивост на околната среда | | IP68 |




Фигура 8.2. Модул за управление на завъртене и наклон

8.2.2. Термовизионна камера.

Термовизионната камера е най-доброто решение за пълна видимост през деня и нощта при всякакви метеорологични условия, независимо дали времето е дъждовно или мъгливо, на близки и далечни разстояния.

FLIR SR-606 е високонадеждна термовизионна камера за наблюдение през деня и нощта и следене на чувствителни локации. Ключова характеристика на SR-606 е нейният стабилен дизайн – системата е в състояние да устои на най-суровите метеорологични и околни условия, включително дъжд, пряка слънчева светлина, висока влажност и прах. FLIR SR-606 е специално проектирана за използване от граждански служби, гранична и брегова охрана, с приложения за засичане и защита. Системата позволява нощно наблюдаване на периметъра от чувствителни места и области, включително националните граници, граници на летища, магистрали, тръбопроводи, терминали за горива, електрически централи, комуникационни предаватели и затвори.



Фигура 8.3. FLIR SR-606

Таблица 8.4

| Характеристики | Описание |
|---|---|
| Матрица | FPA |
| Спектрален диапазон | 7.5-13 μm |
| Брой пиксели (CCIR) | 640x480 |
| Размер на пикселите | 17 μm |
| Диапазон на засичане на цел по стандарт NATO (2.3m x 2.3m) 100mm лещи | 3nm |
| Диапазон на разпознаване на цел по стандарт NATO (2.3mx2.3m) 100mm лещи | 1nm |
| Работно напрежение | 14V ÷ 32 VDC |
| NETD | <50°mk |
| Температурен диапазон | -40°C ÷ +55°C |
| Дистанционен контрол | RS485 |
| Устойчивост на околната среда | IP66 |

8.3. Стандартният комплект на системата за видео наблюдение включва:

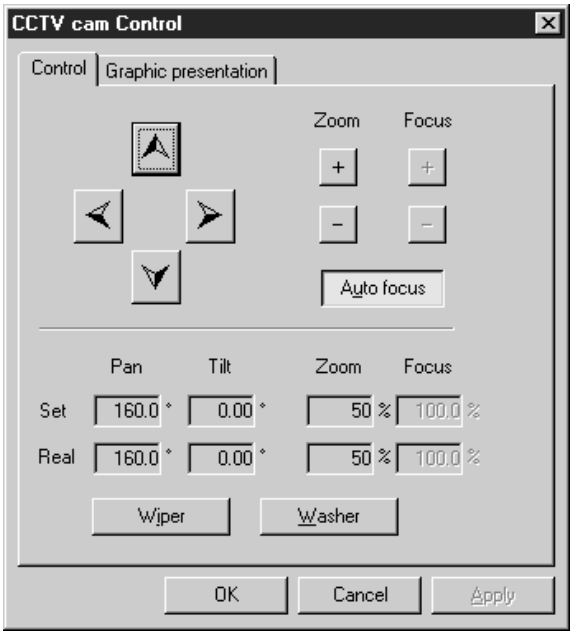
1. Устройство за позициониране (завъртане/накланяне);
2. CCTV камера Bosch LTC630;
3. Моторизирани увеличаващи лещи (1/2”, F 10-330 mm);
4. Корпус със стъклочистачка и допълнителни елементи за монтаж за камера, лещи и CCTV контролер;
5. Flir SR606 термална камера (IP-66);
6. Кутия (IP-66) със захранващ блок 100–240V AC / 24V DC, защита от пренапрежение;
7. Комплект кабели.

8.4. Управление и контрол на сензорите за видео наблюдение

8.4.1. Контрол на CCTV камерите.

Контролът на CCTV камерите се осъществява чрез софтуера на Navi-Harbour. Контролът на CCTV изисква права за достъп за “Общ Сензорен контрол”.

Избира се от менюто Sensor\CCTV Camera\<name>: екранът показва диалога на CCTV камера, показан на фиг. 8.4.




Фигура 8.4. Контролен панел за управление на камери

Полетата “Set” съдържат стойности на параметрите, които могат или ще бъдат изпратени към камерата, докато полетата “Real” показват текущите настроики на избраната камера.

Когато курсорът на мишката е поставен върху бутоните и полетата за завъртане, се показват изскачащи отметки, съдържащи стъпката за изменение или допустими граници на стойностите на избрания параметър.

За да контрол на CCTV камерата, се използва табулацията ‘Control’:

- Чрез бутоните със стрелки ‘Ляво’ и ‘Дясно’ или клавиши ‘←’ и ‘→’ върху клавиатурата се контролира азимута на камерата;
- Чрез бутони със стрелки ‘Нагоре’ и ‘надолу’ или клавиши ‘↑’ и ‘↓’ върху клавиатурата контролира ъгълът на наклон на камерата;
- Чрез бутони “+” и “-” от “Zoom” групата, или клавиши ‘PgUp’ и ‘PgDown’ върху клавиатурата се изменя степента на увеличаване на изображението. С немаркирана отметка ”Show Zoom in %“ в диалоговия прозорец на CCTV свойствата, натискането на “+”/“-” или ‘PgUp’/‘PgDown’ увеличава/намалява увеличаването с 16. Зададените параметри за увеличаване се дели на 16 и е в

рамките на диапазона, установен от параметрите “Zoom control from /Контролирано увеличение от/” и “до”. Ако отметката “Show Zoom in %” е избрана, натискането на “+”/“-” или ‘PgUp’/‘PgDown’ увеличава параметъра на увеличаване с 10 процента. Диапазона на увеличаване и изменението на фокусиращия параметър е от 0 до 100 процента.

- Ако се изисква ръчно контролиране на фокусирането, първо се натиска бутона ‘Auto focus’ за да се изключи режима на автоматично фокусиране (режима на автоматично фокусиране се включва по подразбиране със стартиране на програмата), след това се използват бутони “+” и “-” във “Focus” групата, за да се упралява фокуса;
- Посредством бутони ‘Wiper’ и ’Washer’ се включват съответните уреди;
- За смяна на графичното представяне на позицията на камерата в картната подложка се избира подменю ‘Graphic Presentation’;
- Изберете/отменете ‘Show bearing line’, за да покажете/скриете дисплея с текущата линия на посоката на снимане;
- Изберете/отменете ‘Show angle of view lines’, за да покажете/скриете текущите линии на зрителния ъгъл на CCTV;
- Изберете/отменете ‘Show limit lines’, за да покажете/скриете границите на областта, в която е възможно завъртане на камерата.
- Всички гореспоменати линии създават графично представяне на камерата и са показани в прозореца с картата, при условие, че:
    - Този диалогов прозорец за контрол на CCTV камера е активен или
    - Режимът за Следене на целта е ВКЛЮЧЕН (вижте раздел 0) или
    - Камерата се движи или
    - Избран е инструмента за “CCTV Фокусиране”.

### 8.4.2. Фокусиране на CCTV камера върху целта

По време на работата на оператора със CCTV камера, той може да контролира зрителния ъгъл на камерата, т.е. да фокусира камерата върху целта, представляваща интерес, или върху дадена географска точка. За да се извърши тази операция се изискват права за достъп “Sensor Control – general”.

Целта може да бъде избрана по нейното име посредством менюто, чрез използване на инструмент от електронната карта, или посредством контекстното меню.

За да се избере дадена цел от менюто се използва следната процедура:

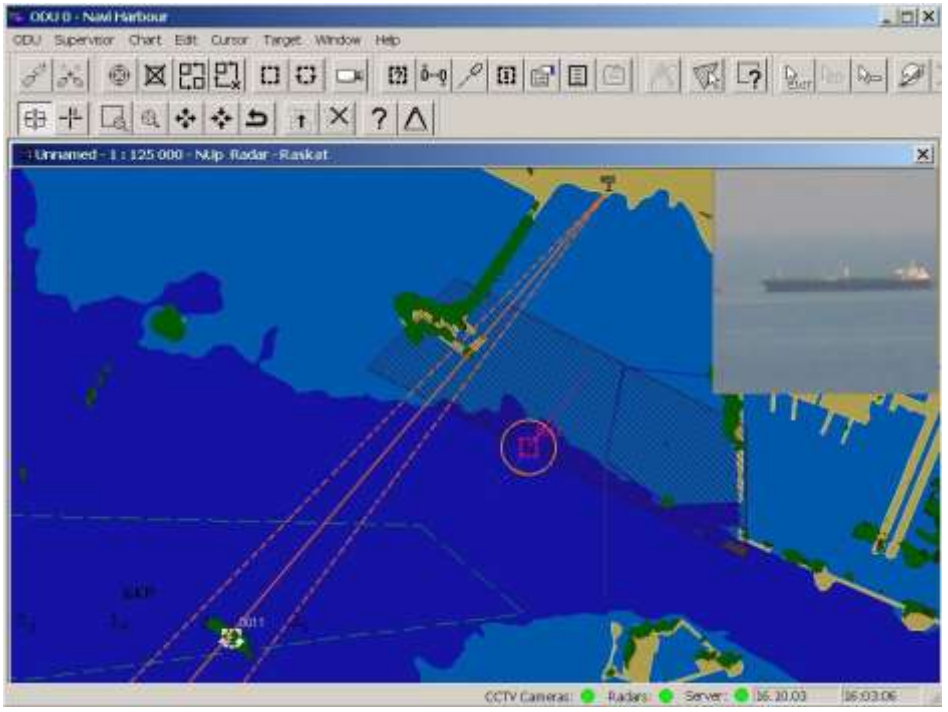
Избира се менюто Target\Target by name\CCTV Focus, отваря се диалогов прозорец “Target Selection”, където трябва да се избере търсената цел или може да се отвори контекстното меню на целта, като се използва таблицата на целите или прозореца със съобщение, където трябва да се избере CCTV Focus;

За свързана цел се избира менюто Target\Reference\CCTV Focus.

Избера се инструмент за фокусиране на камерата върху целта като се използва една от следните процедури:

- Избира се менюто Cursor\Target\CCTV Focus или
- Се натиска бутон ‘Focus CCTV on target or point’’

Избера се целта върху картата като се кликва с левия бутон на мишката върху нейния графичен символ.




Фигура 8.5. Графичен потребителски интерфейс Navi-Harbour

Контролирането на CCTV камера също включва възможност да се следва дадена цел. В режим на следене, целта е постоянно върху екрана на CCTV камерата. Командата за проследване може да бъде активирана от всеки оператор чрез използване на някоя от следните процедури:

- Използване на бутона от лентата с инструменти, показан по-горе позволява за обект на фокусиране да бъдат избрани не само цел, а също и географска точка;
- Докато CCTV се фокусира върху географска точка, камерата се обръща така, че избраната точка да е в центъра на екрана (докато това се случва се изменят ъглите на завъртане и наклон на камерата);
- Когато CCTV камерата се фокусира върху дадена цел може да се наложи да се увеличи ъгъла на завъртане, така че изискваната цел да попадне в екрана на камерата.

CCTV камерата може да се контролира от клавиатурата:

- Избира се инструмент за фокусиране на CCTV камера;
- Използват се клавишите със стрелките '←' и '→' върху клавиатурата, за да смените азимутния ъгъл на камерата;
- Използват се клавишите със стрелките '↑' и '↓' върху клавиатурата, за да смените ъгъла за наклон на камерата;
- Използват се клавиши PageUp и PageDown, за да се регулира степента на увеличаване.

8.4.3. Следене на цел от CCTV камера

Избира се менюто Cursor\Target\CCTV Follow, курсорът се променя, след това с него се избира цел върху картата; или се избира точка от менюто Target\Target by name\CCTV Follow. На екранът ще се покаже диалогов прозорец "Target selection" където трябва да се избере желаната цел или за свързана цел де се избере менюто Target\Reference\CCTV Follow; или може да се отвори контекстно

меню на целта, като се използва таблицата на целите или прозореца със съобщения, където трябва да се избере „CCTV Follow“.

Ако режимът за следене на камерата е включен, заглавието на този диалог за контрол на камерата съдържа индикация ’Follow’.

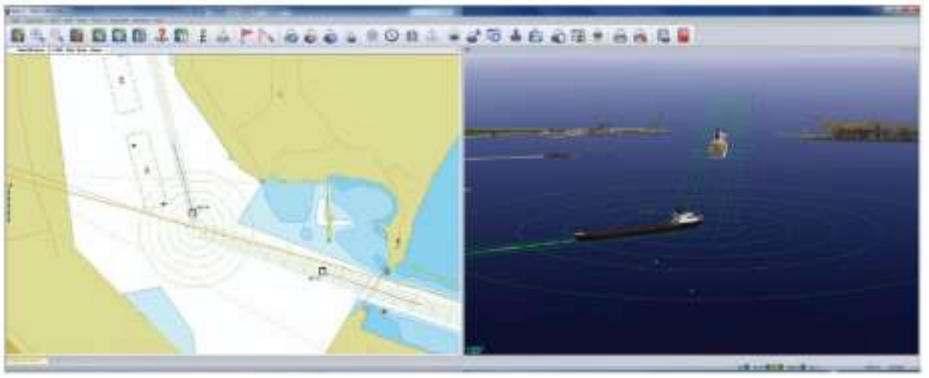
Режимът за следене се изключва в следните случаи:

- Командата за следене е активирана във връзка с цел, която вече е проследена от дадена камера;
- някой оператор е дал команда за фокусиране на камерата върху цел или географска точка;
- дадена е команда за изменение на ъгъла на въртене и/или наклон на камерата от контролен панел на CCTV камера;
- няма мрежова връзка между работната станция, от която е дадена командата за следене и VTS сървъра;
- Целта е изпусната или загубена.

8.5 Триизмерна (3D) визуализация

Модулът за триизмерна визуализация е вграден в софтуера Navi-Harbour и позволява изпълнението на следните функции:

- осигуряване на триизмерно изображение на навигационната ситуация в районите на наблюдение на VTS центрове във Варна и Бургас;
- осигуряване на изображение чрез използване на изгледа от кораба.



Фигура 8.6. Дву и триизмерен изглед на работното място на оператора (от www.transas.com)

3D модулът осигурява изобразяването на:

- различни видове обекти от зоната на визуализация като бряг, инфраструктура и др.;
- име на кораба и вектор на скоростта;
- обекти от навигационни карти.

Триизмерната картината се базира на реални данни от VTS, като имена на цели, скорост, курс и др., както и на AIS информация за вида и размерите на плавателния съд.

Операторът може да изпълнява следните функции:

- избор на гледна точка и посока на изгледа;
- промяна на височината, мащабирането и наклона на триизмерната картина;
- "Привързване" на камерата към кораба за изглед от неговия мостик;
- режим „Птичи поглед“: гледната точка може да се движи и завърта във всички посоки;
- посоката на камерата, ъгъла на виждане и позицията се изобразяват на екрана на оператора.

3D модулът предоставя следните визуални ефекти:

- времеви интервал от денонощието - може да се настрои за промяна на времето (дневно, нощно, здрач) автоматично според "актуална позиция на слънцето" или ръчно;
- метеорологични условия (облаци, валежи, видимост, вълни, приливи и отливи) ръчно или автоматично от реална метеорологична станция;
- състоянието на морето (височина на вълните и честота).

## 9. СИСТЕМА ЗА СБОР НА ХИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧНИ ДАННИ

9.1. Общи сведения.

Системата за сбор на хидрометеорологична информация на информационната система за управление на трафика на плавателните съдове (VTMIS) е изградена посредством четиринадесет пункта за наблюдение, оборудвани с дистанционно контролируеми комплекти с метеорологични сензори. Данните от метеорологичните сензори се предават по радиоканал към сензорните сървъри за разпространение и въвеждане на метеорологични данни за използване от VTS операторите и потребителите посредством web-базиран програмен интерфейс (вж. фиг. 9.1).



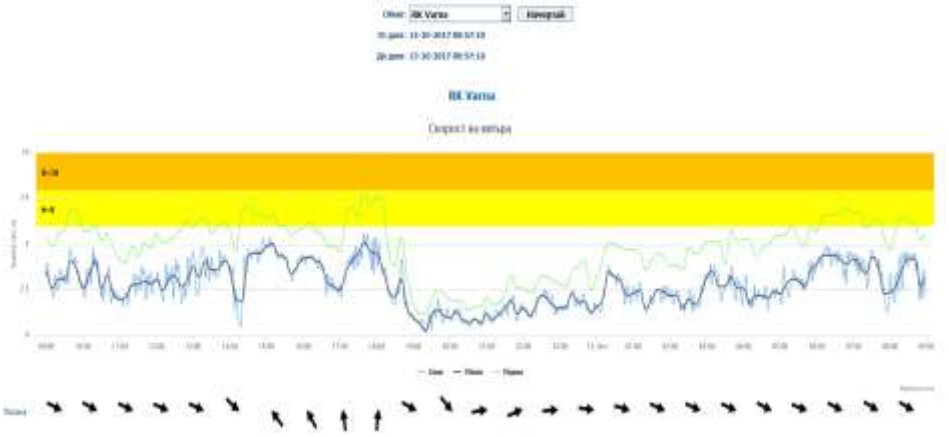

| Пункт | Вятър | Порив | Посока | Температура | Налягане | Последно обновяване |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Калиакра | 4.1 | 5 | 302.9 | 14.4 | 997.0 | 13/10/2017 08:47:54 |
| Балчик | 2.3 | 2.9 | 239.8 | 16.4 | 1014.7 | 13/10/2017 08:47:54 |
| РК Варна | 3.2 | 5.2 | 291.6 | 11.1 | 1019.6 | 13/10/2017 08:47:54 |
| БЦ Варна | 4.8 | 5.8 | 298.7 | 11.0 | 1018.2 | 13/10/2017 08:47:54 |
| КРЗ Одесос 2 | 1.9 | 3.1 | 248.4 | 9.9 | 0.0 | 13/10/2017 08:47:54 |
| Пост 2 | 2.5 | 4.1 | 257.3 | 10.9 | 1018.8 | 13/10/2017 08:47:54 |
| МТГ Делфин | 4.0 | 4.9 | 282.2 | 10.6 | 1019.0 | 13/10/2017 08:47:24 |
| Пост 3 | 5.5 | 6.6 | 285.2 | 10.2 | 1018.1 | 13/10/2017 08:47:54 |
| Фериботен комплекс | 4.6 | 5.6 | 275.5 | 10.1 | 1019.0 | 13/10/2017 08:47:54 |
| Гориа | 1.2 | 2.3 | 293.7 | 16.6 | 995.6 | 13/10/2017 08:47:54 |
| Емине | 3.1 | 4.6 | 355.2 | 18.2 | 990.9 | 13/10/2017 08:47:54 |
| БЦ Бургас | 2.6 | 3.8 | 260.0 | 11.9 | 1019.0 | 13/10/2017 08:47:54 |
| Росенец | 2.2 | 3.6 | 205.9 | 12.2 | 1020.9 | 13/10/2017 08:47:54 |
| вр. Китка | 1.3 | 2.9 | 295.6 | 15.6 | 995.4 | 13/10/2017 08:47:54 |

Фигура 9.1. Web-базиран интерфейс на системата за сбор на хидрометеорологична информация

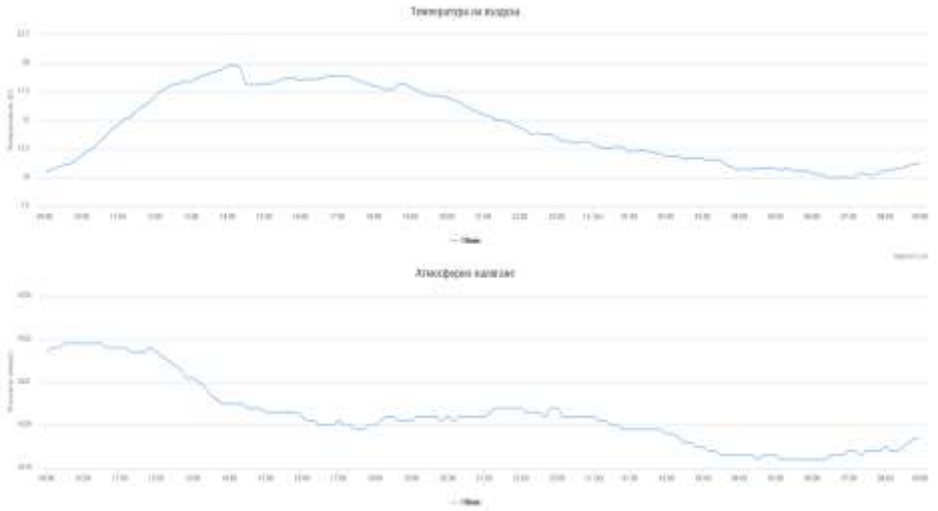
Системата позволява използването на XML формат на данни, което от своя страна дава възможност за интегриране на данните към други web-базирани информационни системи, като например Google Maps и Google Earth, тяхната обработка и изобразяване в режим на исторически преглед и усреднени данни (вж. фиг. 9.2, фиг. 9.3 и фиг. 9.4).



Фигура 9.2. Интегриране на метеорологичните данни с други web-базирани информационни системи (от www.vtmis.bg)



Фигура 9.3. Данни за скоростта на вятъра измерени на пост рейдова кула – Варна (от www.vtmis.bg)



Фигура 9.4. Данни за температурата на въздуха и атмосферното налягане измерени на пост рейдова кула – Варна (от www.vtmis.bg)

9.2. Техническо описание.

Метеорологичното оборудване напълно съответства на изискванията на IALA V-128 и включва сензори за измерване на следните параметри:

- Скорост на вятъра;
- Посока на вятъра;
- Порив на вятъра;
- Температура на въздуха;
- Влажност;
- Видимост.

Всеки комплект от метеорологични сензори включва метеорологичен трансмитер Vaisala VXT520 със следните основни характеристики:

- Скорост на вятъра: 0 ÷ 60 m/s, точност: ±3%
- Посока на вятъра: 0 ÷ 360°, точност: ±3°
- Температура на въздуха: -52 ÷ +60°C ; точност: ±0.3°C
- Относителна влажност: 0 ÷ 100% RH; точност: ±3% RH
- Барометрично налягане: 600 ÷ 1100 hPa; точност: ±1 hPa



Фигура 9.5. Vaisala Weather Transmitter WXT520

В таблица 9.1 са показани възможностите на метеорологичният сензор за комуникация с други устройства посредством стандартен сериен интерфейс и стандартизирани формати на данни.

Таблица 9.1

| Serial Interface | Communication Protocols Available |
|---|---|
| RS-232 | ASCII automatic and polled<br>NMEA 0183 v3.0 automatic and query<br>SDI-12 v1.3 and SDI-12 v1.3 continuous measurement |
| RS-485 | ASCII automatic and polled<br>NMEA 0183 v3.0 automatic and query<br>SDI-12 v1.3 and SDI-12 v1.3 continuous measurement |
| RS-422 | ASCII automatic and polled<br>NMEA 0183 v3.0 automatic and query<br>SDI-12 v1.3 and SDI-12 v1.3 continuous measurement |
| SDI-12 | SDI-12 v1.3 and SDI-12 v1.3 continuous measurement |

Всеки комплект от метеорологични сензори включва също сензор за видимост Vaisala PWD20 със следните основни параметри:

- Оперативен принцип: Измерване в право направление;
- Обсег на измерване (MOR): 10 ÷ 20 000 m;

- Точност: ±10%.



Фигура 9.6. Сензор за видимост Vaisala PWD20

За захранване на системите се използва външна електрическа мрежа (230V AC, 50Hz), която е инсталирана съгласно приетите норми и без да води до интерференция с някое друго оборудване.

Системата разполага с два резервни комплекта метеорологични сензори, със съответните модули за захранване и комуникация. Всички захранващи, комуникационни и сензорни конектори и модули са инсталирани в кутия с клас на устойчивост IP-65, което включва следните елементи:

- Заземяване на цялото оборудване;
- Пълна защита срещу пренапрежение и разряд;
- Всички свързващи конектори на сензорите, комуникационните и захранващи модули са леснодостъпни и ясно обозначени;
- Всички свързващи конектори на сензорите, комуникационните и захранващи модули са защитени от корозия;
- Всички кабели и кабелни входове са ясно обозначени за лесна идентификация.

## 10. WEB – БАЗИРАНИ СИСТЕМИ ЗА НАБЛЮДЕНИЕ НА ТРАФИКА НА ПЛАВАТЕЛНИТЕ СЪДОВЕ

### 10.1. Предназначение, особености и ограничения

Web - базираните системи служат за събиране, обработване и изобразяване на информация за корабния трафик, получена от AIS транспондерите на плавателните съдове и от други източници. Средата за разпространение на тази информация е Интернет. Изобразяването на данните може да се извършва през стандартен браузер или с помощта на специализирано клиентско приложение.

Поради спецификата на комуникационния протокол, използван в Интернет web – базираните системи не предоставят информацията в реален мащаб на времето, което ги прави неприложими за управление на трафика.




Фигура 10.1. Обща функционална схема на web – базираните системи за наблюдение на трафика на плавателните съдове (от Astra Paging Ltd.)

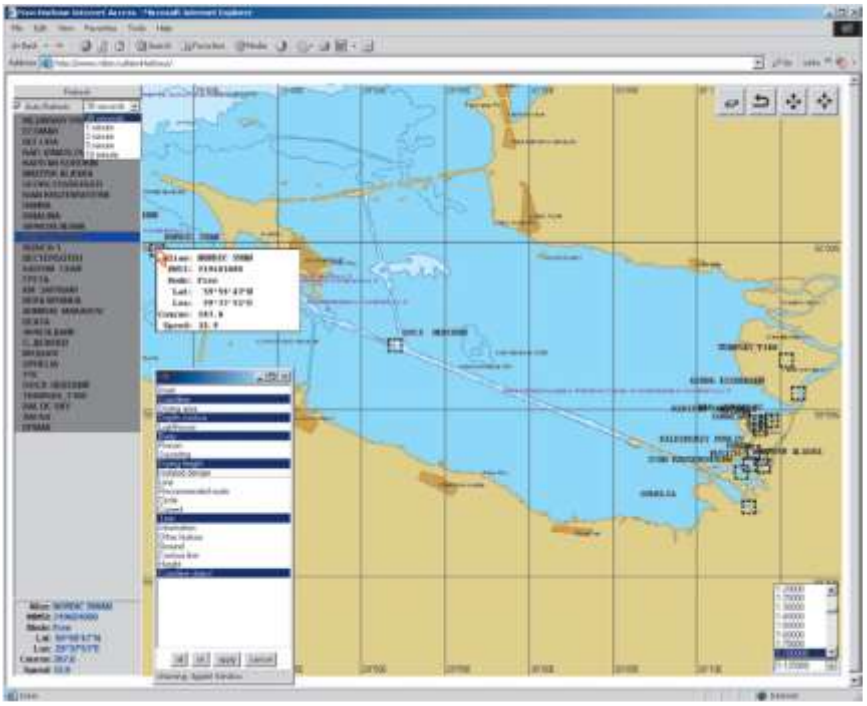
Общата функционална схема на web – базираните системи за наблюдение на трафика е оказана на фиг. 10.1. Основен източник на данни в нея е мрежата от брегови / базови AIS станции, разположени в определен район на наблюдение. Данните от тези станции се събират в сървъра на системата, допълват се с информация от съществуващата база от данни и през диспечер се предоставят на потребителите. В базата от данни администраторите на системата събират допълнителна информация за корабите, като името на компанията – собственик, на

агентската и/или на мениджърската компания, статистика за пристанищата, посещавани от кораба за определен период от време, технически данни за кораба и др. Достъпът до системата може да бъде свободен или ограничен, като ограниченията обикновено се налагат от комерсиални съображения или от съображения за сигурност.

10.2. Web-базиран достъп до информационната система за управление на трафика на плавателните съдове VTMIS на Р. България (www.vtmis.bg)

В информационната система за управление на трафика на плавателните съдове VTMIS е предвиден web-достъпът с помощта на специализиран софтуерен модул, наречен "Navi-Harbour Internet Server".

Сървърът е предназначен за осигуряване на отдалечен потребителски достъп до VTS-данните за проследяване на корабите през стандартен интернет браузър. Този достъп позволява наблюдение на целите в графичен вид (разположени върху електронната карта на района) или в табличен вид.



Фигура 10.2. Потребителски интерфейс на web-базираната система Navi-Harbour

На фиг. 10.2. е показан графичния вид на потребителския интерфейс. Интернет сървърът Navi-Harbour предоставя възможност за избор на периода на актуализиране на данните от 0,5 до 15 мин. и за филтриране на общия поток на информацията, получени от базовите AIS станции на системата. Видът и броят на филтрите се задават от потребителя и се определят от неговия потребителски профил. Филтрите позволяват избор на източник, на географски район и на тип на наблюдаваните обекти (AIS цели от клас A, от клас B, SAR хеликоптери, AIS базови станции или AtoN AIS). Разпределението на данните за наблюдаваните обекти, представени в табличен вид има подобна структура. Интерфейсът позволява търсене на цел на картата или в таблицата.

Основните функции на Централния обработващ софтуер на VTS се осъществяват от Navi-Harbour Server. Приложенията за потребителите включват:

- Събиране на информация от радиолокационните станции и другите сензори;
- Създаване и разпределение на видео изображението от всички РЛС;
- Интегриране на множество следени цели и навигационни средства;
    - Интегриране на цели, наблюдавани от няколко РЛС;
    - Филтриране и интегриране на AIS данни;
    - Интегриране на цели от различни сензори (РЛС и AIS);
    - Формиране на стандартни таблици с проследените цели;
    - Възможност за обработка на повече от 1000 цели със скорост до 70 knt.
- Наблюдение на целите и навигационните средства съгласно критерии за предупреждение;
- Синхронизиране на системата по време;
- Синхронизиран по време запис на данни, включващи:
    - Следени цели;
    - Цифрово радиолокационно видео изображение;
    - CCTV/ термовизионни видео изображения;
    - Данни от радиопеленгаторите;
    - Гласови комуникации;

- Действията на операторите на VTS, свързани с контрола на целите и радиолокационните станции;
- Текстови AIS съобщения.

Приложният софтуер осигурява изпълнението на всички функции, които се изискват при работа в системата VTS, като в това число са включени и интегриране на данните от Европейската информационна система за морска безопасност SafeSeaNet и от други бази данни (като информация за товарните кораби, къде ще акостират корабите, име на агента, снимки на съда и т.н.) с данни от системата AIS. При това се използват различни символи за изобразяване на специфични видове кораби – съдове с опасен товар на борда, еднокорпусни танкери, съдове, с които е имало инциденти и други, използвайки информацията от SafeSeaNet.

Системата Navi-Harbour Server събира информация за корабите, намиращи се в района на нейното действие от бреговите РЛС и от базовите AIS станции и осъществява интегрирането с помощта на специално разработени алгоритми за филтриране и сравняване. Резултатът се представя в табличен вид, който се предоставя на операторите и на архивиращите компоненти. Таблицата с целите съдържа следните информационни полета:

- Вътрешна (Системна) идентификация;
- Състояние на съпровождането (захваната, съпровождана, предсказана, изгубена, закрита);
- Навигационно състояние (движеща се цел, на котва, акостирала, насочвана);
- Източник на данни (БРЛС, AIS или БРЛС и AIS);
- Координати;
- Курс;
- Скорост;
- Точност на навигационните параметри;
- Размери;
- Маркер за системно време.

Когато дадена цел е наблюдавана от повече от един източник, интеграцията осигурява обобщаване на информацията за нея преди изобразяването ѝ на работната

станция на оператора. Целта се проследява докато информация за нея се осигурява поне от един източник (или БРЛС, или AIS). В противен случай се закрива.

Интегрирането на данните за целта, получени от различните източници се извършва от специално разработени алгоритми. В системата за съпровождане информацията от различните източници е синхронизирана по време за регулиране на времевите разлики между тях. За интегриране на прецизната AIS информация със съответните радиолокационни цели, които по правило са асинхронни се използва специализирана процедура за синхронизация. Статичната AIS информация се свързва с интегрираната цел в таблицата с целите. Средствата за навигационно осигуряване се интегрират по същия начин както подвижните цели. Повече за интегриране на навигационната информация от различни източници може да се прочете в последния раздел на книгата.

Системният софтуер следи всяка една от съпровожданите цели и средства за навигационно осигуряване за съответствие с група от предварително зададени критерии. Ако някой от тези критерии е нарушен, на работната станция на оператора се изобразява съответното предупреждение. Системата е гъвкава и позволява добавяне на допълнителни критерии. В допълнение операторът може да присъедини към предварително-дефинирана грура цели (една отделна цел, група цели или всички цели) специфични режими на генериране на предупреждения. Целите или средствата за навигационно осигуряване, които са обект на предупреждение се изобразяват на екрана на оператора със специфичен символ и цвят.

## 10.3. VT Explorer (www.vtexplorer.com)

VT Explorer е система за събиране, обработване и изобразяване на информация за корабния трафик, получена от AIS транспондерите на плавателните съдове. Системата е предназначена за фирми и организации в морския бизнес, нуждаещи се от проследяване на корабите. Използва се от корабособственици, корабни агенти, чартьори, снабдители, застрахователни агенти и др. Модифицирани варианти на софтуера са въведени в експлоатация и в ежедневните дейности на много държавни институции, като ИА "Морска администрация", Военноморски сили, Гранична

полиция. VT Explorer е прилаган многократно и за координиране на съвместните действия между Военноморските сили, Гранична полиция и ИА"Морска администрация".

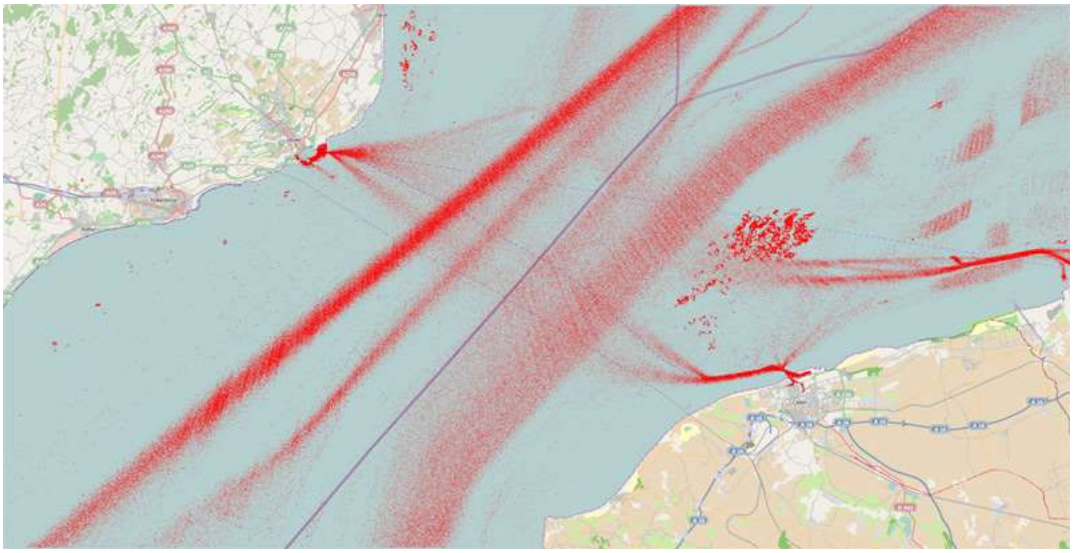
VT Explorer оперира най-голямата AIS мрежа в южна Европа и осигурява покритие в рамките на комуникациите по VHF (в границите на GMDSS.A1) на Европейския континент, Северна Америка, Далечния изток, Австралия и Нова Зеландия. За наблюдение на кораби извън район А1 се предлага спътников AIS (Satellite AIS, S-AIS), който е базиран на използването на комуникационната система Iridium (Iridium BlueTraker®, вж. www.bluetraker.com).




Фигура 10.3. VT Explorer - Меню-команди

На фиг. 10.3 е показано менюто с команди на приложението. Командата Charts позволява избор на картата на Световния океан или на р. Дунав. Командата Tools дава възможност за търсене на отделен съд по негово име, позивна или номер в Морската подвижна служба. През тази команда се предоставя достъп до информация за корабите, намиращи се в избрано пристанище и за анализ на корабния трафик в определен район, напр. в Английския канал, както е показано на фиг. 10.4. Командата Configure позволява настройка на потребителските данни и на мрежовите параметри за осигуряване на регламентиран достъп до системата. Тук може да се направи и избор на цветовата палитра за изобразяване на различна по вид информация. Командата Help предоставя помощна информация и инструкции за

ползвне на приложението в различна форма. Тази команда предоставя достъп и до web-сайта на приложението, където е публикувана и подробна инструкция за работа на Български и на Английски език.



Фигура 10.4. Графично изобразяване на плътността на трафика (от Astra Paging Ltd.)

## 10.4. Web-приложения на Европейската агенция за морска безопасност EMSA (www.emsa.europa.eu)

След огромните щети, предизвикани в резултат на потъването на танкера „Ерика“ край бреговете на Франция през 1999г. и на танкера „Престиж“ край испанските брегове през 2002г. Европейският съюз прие няколко директиви за предодвратяване на катастрофи и замърсявания в европейските териториални води. В резултат на тези събития през 2003г. беше създадена Европейската агенция за морска безопасност (European Maritime Safety Agency, EMSA), чиято основна задача е да намали риска от морски катастрофи, замърсявания на морската повърхност и загуби на човешки живот на море, причинени в резултат на интензивното корабоплаване. За подпомагане на разрешаването на тази задача през последните години EMSA разработи три web-базирани приложение за наблюдение на трафика на плавателните съдове – SafeSeaNet, CleanSeaNet и EU lRIT DC. Формалната причина за тези

разработки е силния политически натиск от страна на Европейския парламент („***How is it possible that we do not know what is sailing in front of our coastline!*** (Как е възможно да не знаем какво плава покрай нашите брегове!“), а общата законова база – Директива 2002/59 за наблюдение на трафика.

SafeSeaNet представлява мрежа от брегови (базови) AIS станции, разположени по Европейското крайбрежие. В състава на мрежата са включени 727 станции, разпределени в три региона – в районите на Балтийско, Северно и Средиземно море. SafeSeaNet събира, обработва и предоставя на потребителите информация, идваща от:

- Корабните AIS транспондери, намиращи се в районите на покритие;
- Системата за докладване на инциденти и за превоз на опасни товари (HazMat and Incident reporting System);
- Системите за докладване от корабите (Ship Reporting Systems, SRS);
- Компетентните органи на страните – членки (National Competent Authorities, NCA).

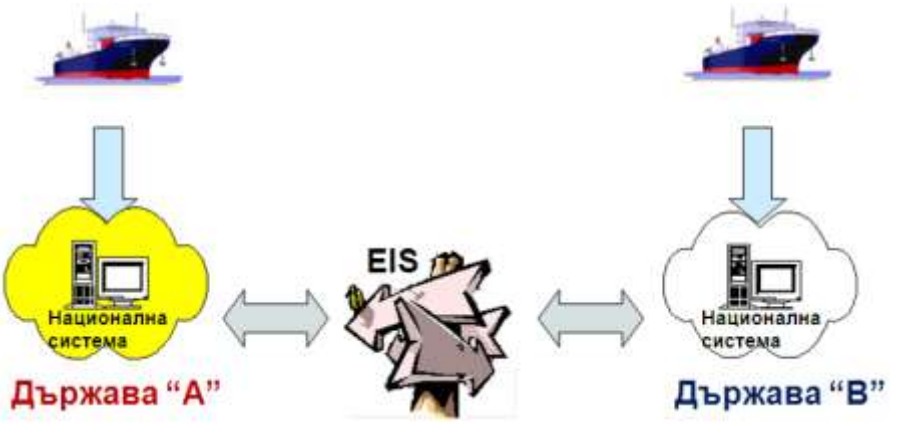
Системата влиза в действие от 01.01.2009 в резултат на изискването на Директива 2002/59 за наблюдение на трафика, изменена и допълнена от Директива 2009/17/ЕС. В системата SafeSeaNet се въвежда следните информация:

- Позициониращa AIS информация – от корабните AIS трансподери;
- Информация, съдържаща се в известията от пристанищата за превоз на опасни товари – от капитани на кораби, корабособственици и агенти;
- Всяка друга информация от местни служби, като VTS ценровете, Морските спасително-координационни центрове, националните администрации, гранични / брегови охрани, военноморски сили, служби за опазване на околната среда, пристанищни администрации и др.;
- Всяко известие има обща част (идентификация на съда, включваща име, позивна, IMO номер и номер в морската подвижна служба) и допълнителна информация, според изискванията на директивата.

Европейското законодателство, налагащо задължения по докладване на различна по вид информация включва следните директиви:

- Директива 2002/59/EC “Traffic Monitoring“;
- Директива 2009/16/EC “Port State Control“;
- Директива 2000/59/EC “Port Reception Facilities“;
- Директива 2010/65 “Reporting Formalities“;

Обменът на събраната информация в рамките на съюза се осъществява през т.нар. Европейски Индекс Сървър (European Index Server, EIS), свързващ националните системи на страните-членки, както е показано на фиг. 10.5.




Фигура 10.5. Схема на обмен на информация в състава на SafeSeaNet (от Werner Brunet, Traffic Technologies Center, Германия)

В системата се обменят четири различни видове съобщения:

- Известие (Notification) – изпраща се от Държава-членка, когато тя има някаква информация за уведомяване на SafeSeaNet – European Central System (SSN – ECS);
- Заявка (Request) – изпраща се от Държава-членка до SSN – ECS, когато държавата се нуждае от някаква информация;
- Потвърждение (Receipt) – Разписка, изпратена от SSN-ECS след получаване на заявената информация;
- Отговор (Response) – изпраща се от Държава-членка, която е помолена да отговори на дадена заявка до други Държави-членки посредством SSN – ECS.

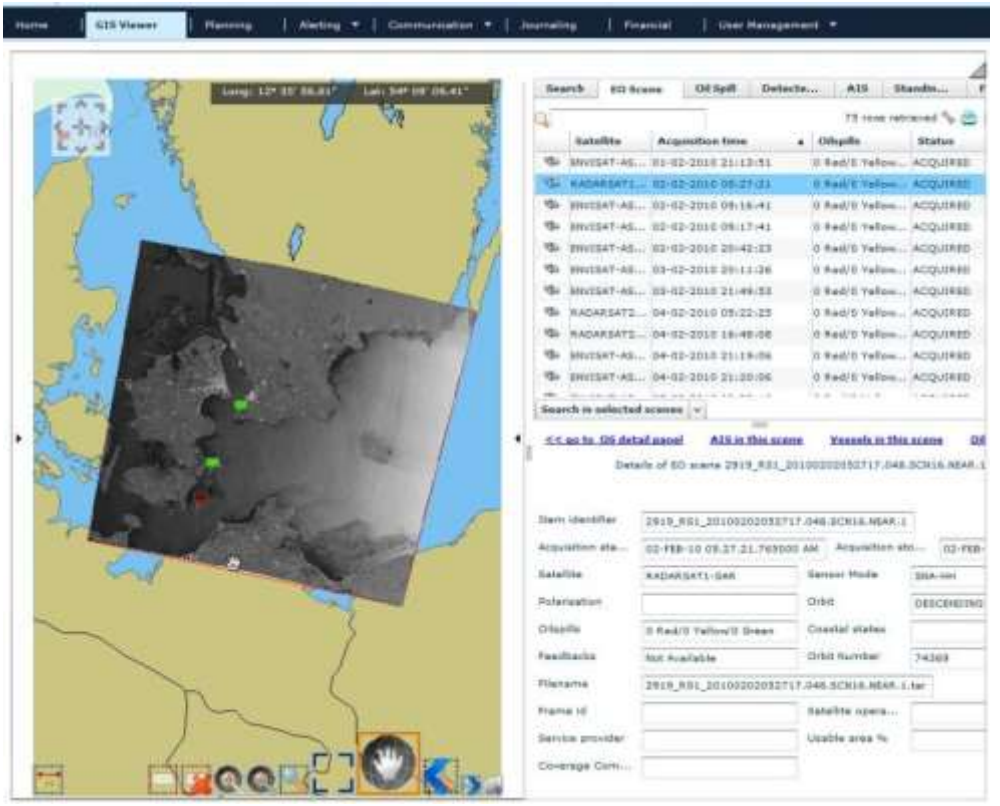
Достъпът до SafeSeaNet е ограничен и защитен с потребителско име и парола от съображения за сигурност. Общият изглед на графичния интерфейс на потребителя е показан на фиг. 10.6.




Фигура 10.6. Общ изглед на графичния интерфейс на SafeSeaNet (от www.emsa.europa.eu)

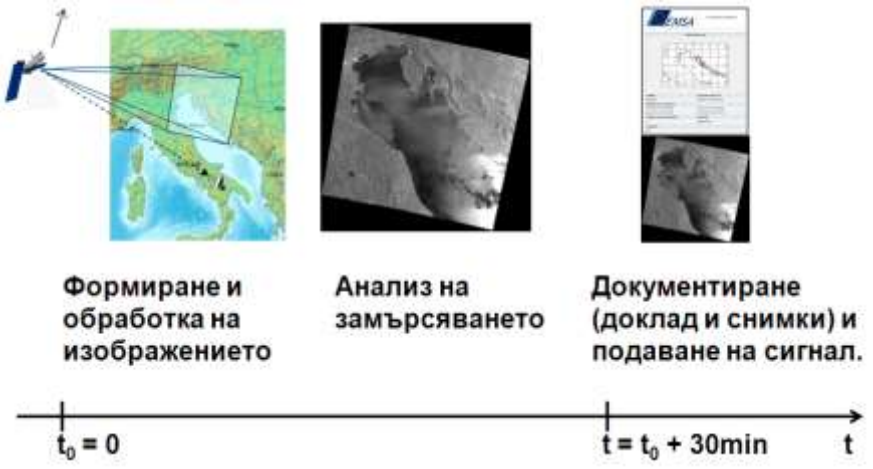
Системата CleanSeaNet е предназначена за мониторинг на Европейските териториални води с цел предпазване от замърсяване. Системата е базирана на изискване и получаване на спътникови радиолокационни изображения на земната (морската) повърхност по технология „Радиолокация със синтезирана апертура“ (Synthetic Aperture Radar, SAR Images) от ENVISat, RadarSat-1 и RadarSat-2, а за в бъдеще се планира и от Sentinel-1, последвано от сравняване с информация от системите AIS и/или LRIT. Законова база за изграждане на системата е Директива 2005/35/EC за предпазване от замърсявания, предизвикани от корабоплаването (Directive 2005/35/EC „Ship-Sourced Pollutions“). Ядрото на системата е нейният

информационният център (CleanSeaNet Data Center, CSN DC), който служи за приемане, обработка, доставка и визуализация на цялата информация, отнасяща се до замърсяванията на морската повърхност. Информацията включва изображения на нефтени разливи и на кораби в непосредствена близост до тях, електронна карта и допълнителни информационни слоеве за потребителите. Графичният интерфейс на CSN DC предоставя на потребителя web-базиран интерфейс за обмен на изображения и анализ, както и за комуникация между потребителите, позволяваща допълнителен обмен на информация. Интерфейсът позволява търсене не само на спътникови изображения, но също и на потенциални разливи, докладвани от кораби в определен времеви интервал и район. Резултатите се предоставят както под формата на изображения, така и в табличен вид, както е показано на фиг. 10.7.



Фигура 10.7. Потребителски интерфейс на CSN DC, представящ информацията в графичен и табличен вид (от www.emsa.europa.eu)

При получаване на информация за замърсяване на морската повърхност в даден район системата CleanSeaNet изисква снимка от намиращия се в момента над района сателит. Снимката се изпраща за анализ в териториалния център на системата и ако резултатът е положителен се изготвя съответния доклад и се подава сигнал за тревога (вж. фиг. 10.8).



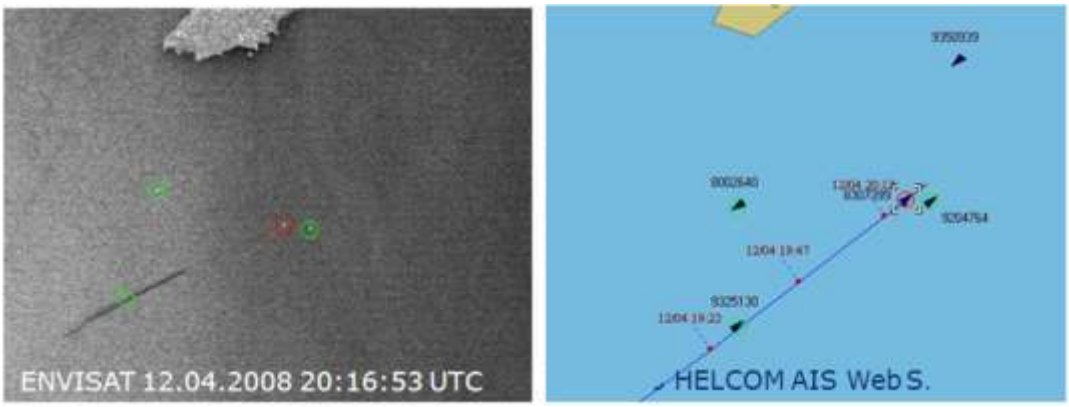

Фигура 10.8. механизъм на формиране на сигнал за тревога при нефтено замърсяване

Процесът от формиране на изображението до подаването на сигнал за тревога отнема до 30 min., което позволява откриване на кораба-замърсител. За целта се извършва съпоставяне на SAR изображението от спътника със записаната информация от AIS сървър, намиращ се в района, както е показано на фиг. 10.9 или от други източници.

За елиминиране на последствията от нефтени разливи EMSA изгради мрежа от намиращи се в готовност кораби за реакция по договори с оператори на специализирани съдове. Финансирането, предоставено по тези договори е предназначено за оборудване на корабите с цел приспособяването им към специфичните дейности по елиминиране на последствията. В случай на разлив на нефтопродукти съответният кораб преустановява нормалните си дейности, подготвя необходимото оборудване и остава на разположение на EMSA. Съгласно договора подготовката на оборудването не трябва да отнеме повече от 24 часа. Към момента

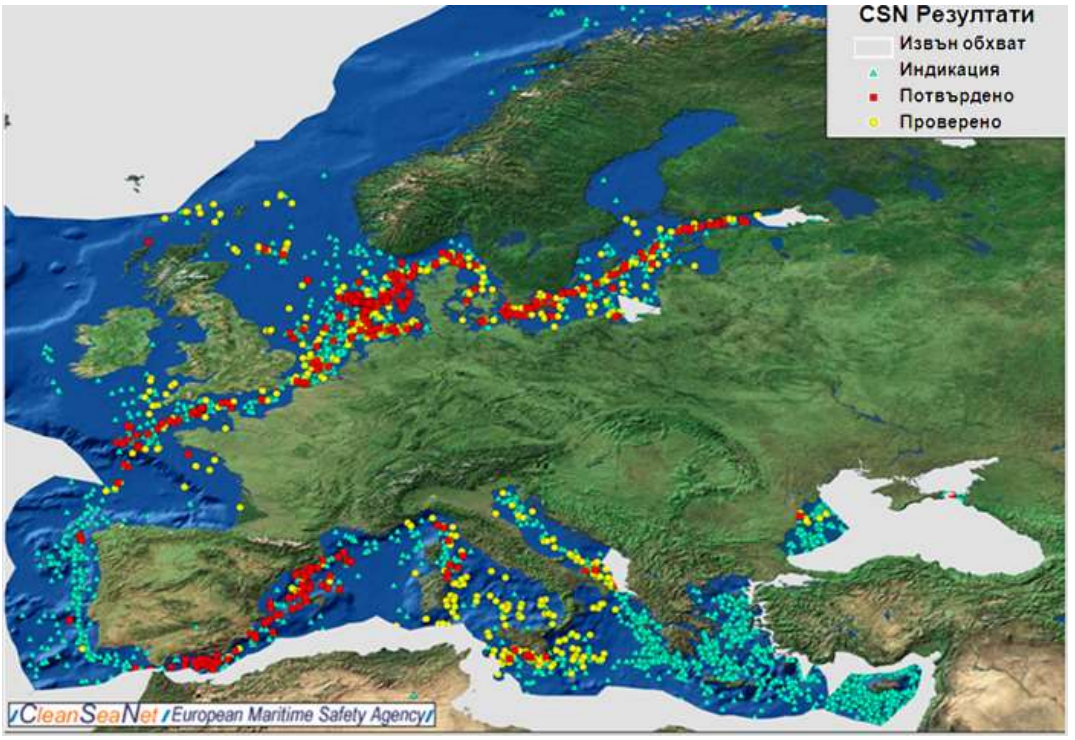
EMSA поддържа 17 напълно оборудвани кораба в готовност за реакция при нефтени разливи по Европейското крайбрежие.

Корабите за реакция могат да бъдат различни типове – танкери, бункировачи, осигуряващи или драгажни съдове и др. Независимо от търговското си приложение обаче те могат да бъдат мобилизирани за реакция при нефтен разлив по цялото Европейско крайбрежие.




Фигура 10.9. Откриване на кораб-замърсител по SAR изображение от спътник и съпоставяне със записаната информация от AIS сървър

Анализът от работата на CleanSeaNet показва, че за период от една година в системата се получават около 3000 сигнала за замърсяване на европейските крайбрежни води с нефтопродукти. От тях се проверяват до около 25%, т.е. около 700 случая. Извършените проверки дават потвърждение на до 30% или около 210 случая. Окончателнно може да се изчисли, че в системата се потвърждават до около 8% от всички сигнали, както е показано на фиг. 10.10. Резултатите от анализа показват, че CleanSeaNet е по-скоро превантивна система, налагаща спазване на правилата за опазване на чистотата на морето, отколкото за отстраняване на последствията от тяхното нарушаване.




Фигура 10.10. Резултати от работата на CleanSeaNet

Системата за далечно проследяване и идентификация на корабите (Long Range Identification and Tracking System, LRIT) е международна/световна система за събиране на информация за позицията на корабите през мрежа от комуникационни спътници. Корабите се свързват с информационния център на LRIT (LRIT Data Centre) на всеки 6 часа, където изпращат съответната информация. Законова база на системата е конвенцията SOLAS, гл. V, пр. 19-1, Директива 2009/17/ЕС, както и две Резолюции на Съюза съответно от 02.10. 2007г. и от 09.12.2008г.

Системата е въведена от Международната морска организация IMO с цел повишаване на сигурността, безопасността на корабоплаването, опазването на околната среда и подпомагане на операциите по търсене и спасяване. За целта в конвенцията за опазване на човекия живот на море SOLAS е въведено правило 19-1 в глава V Безопасност на корабоплаването. Конвенцията изисква от всяка държава да изгради свой или да се присъедини към регионален или кооперативен информационен център, който да предоставя информация за корабите, както следва:

- За своите кораби, където и да се намират по света;
- За чуждите – в район до 1000 nm от брега.

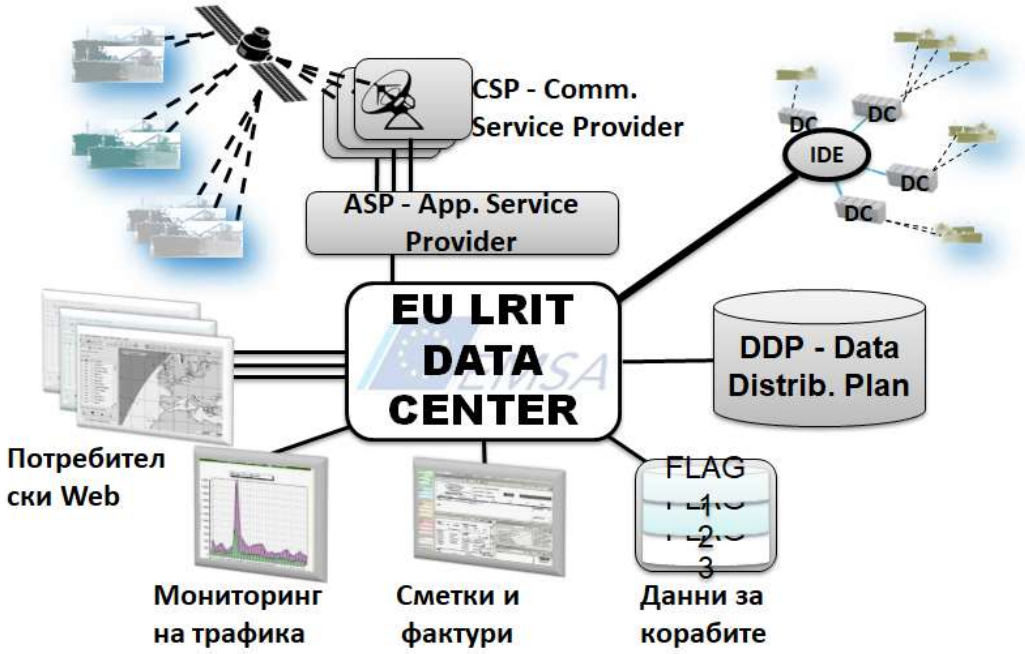
Информацията за корабите включва идентификация, позиция, курс и скорост и се обновява на всеки 6 часа (4 пъти в денонощието). По изключение интервалът може да се намали до четвърт час (96 пъти в денонощието). Предназначена е за четири групи от потребители:

- Администрацията на флага (Flag State) – по 4 съобщения на ден от всички кораби на флага по целия свят;
- Бреговите служби (Coastal State) – съобщения от всички кораби, намиращи се на 1000 nm от брега;
- Пристанищните администрации (Port State) – съобщения от всички кораби, пристигащи в пристанищата;
- Координационно спасителните центрове (MRCC) – информация за корабите, подпомагаща операциите по търсене и спасяване в техния отговорен район.

Европейският съюз изгради свой информационен център, в който са включени също и задокеанските територии, както и страните от EFTA – Норвегия и Исландия. Информацията допълва данните от бреговата AIS мрежа, наричана още Short Range Identification and Tracking System, SRIT.

Функционалната схема на Европейския информационен център на системата LRIT е показана на фиг. 10.11. Центърът се намира в сградата на EMSA в Лисабон, Португалия. Информацията от корабите достига до центъра през посредници, наречени „Доставчик на комуникационна услуга“ (Communication Service Provider, CSP) и „Доставчик на приложна услуга“ (Application Service Provider, ASP). Доставчик на комуникационната услуга е телекомуникационна компания с достъп до спътникова система за комуникация. EU LRIT DC използа за целта компании с достъп до Inmatrsat и Iridium. Доставчикът на приложна услуга е IT компания, която може да гарантира сигурност на предаване на информацията по Интернет от доставчика на комуникационната услуга до информационния център на системата. С помощта на специализиран интерфейс за достъп до интернет информацията достига до потребителите под формата на електронна карта, статистически данни за мониторинг на трафика, сметки и фактури и база от данни за корабите. През

международната информационна централа (International Data Exchange, IDE) Европейският LRIT център обменя информация с други центрове в съответствие с плана за информационен обмен (Data Distribution Plan, DDP), разработен от IMO.




Фигура 10.11. Обща схема на взаимодействие в Европейския информационен център на система LRIT (EU LRIT DC) (от www.emsa.europa.eu)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изграждането и въвеждането в експлоатация на Информационната система за управление на трафика на плавателните съдове VTMIS подобри в значителна степен условията за безопасно корабоплаване в териториалните води на Р. България и направи Българското крайбрежие и двете големи пристанища Варна и Бургас едни от най-автоматизираните и модерно оборудвани райони в Европа. В състава на системата бяха включени мрежовата комуникационна инфраструктура и оперативен център за управление на системата, два центъра за управление на трафика, както и голям брой обекти по крайбрежието, оборудвани с радиолокациони станции, базови станции на автоматичната идентификационна система AIS, радиопленгатори, мрежа от брегови УКВ радиостанции, метеостанции и камери за видеонаблюдение. Преминавайки през три етапа на изграждане, системата беше окончателно завършена и пусната в експлоатация през 2015г.

Интегрирането на информацията от различните технически средства за наблюдение подобрява значително прецизността на цялостната картина на трафика, като компенсира недостатъците на всяко една от тях с предимствата на другите. Наред с очевидните предимства интегрирането на навигационна информация от различни източници може да предизвика и проблеми, произтичащи най-вече от различията в стойностите на едни и същи параметри – в случая координатите, курса и скоростта на наблюдаваната цел. Основният проблем, който стои за разрешаване в този случай е как да се избегне неедноznачността, т.е. случаите, при които една и съща физическа цел ще бъде изобразена на екрана на VTS оператора с два или повече различни символа.

Проблемите, свързани с интегрирането на информацията от различни източници са дискутирани в комитета за морска безопасност MSC през 2004г. и са публикувани в резолюция MSC.192(79). Резолюцията за първи път поставя изискването към радиолокационните станции да могат да изобразяват на екраните си AIS информация за наблюдаваните цели в комбинация с радиолокационната картина. В тази връзка IMO въвежда понятието „Асоцииране на радиолокационни и AIS цели (RADAR and AIS Target Association)“. Основната цел е да се избегне

нееднозначността при представянето на информацията и по този начин да бъде намерена т. нар. „Асоциирана цел“ сред многото радиолокационни и AIS цели. Резолюцията не предлага алгоритми за решаване на задачата, но от текста става ясно, че асоциирането трябва да се основава на намирането на някакво сходство между данните, което да докаже категорично, че различните системи предоставят информация за един и същи физически обект. Близостта на координатите е логичния, но не единствения и непременно най-добрия критерий. Възможно е разликите в стойностите да се дължат на външни или систематични грешки на различните системи, като позициониране и ориентация на БРЛС или използване на различни геодезични картни системи и т. н. Други възможни критерии за асоцииране могат да бъдат векторите на скоростта и траекториите на движението на наблюдаваните обекти.

Общото условие за асоцииране може да се опише с израза:

$$\left|C_{RADAR} - C_{AIS}\right| \leq \delta ,$$

където C е конкретната стойност на съответния критерий (позиция, курс, скорост, поредица от координати, представящи историята на движение на целта);

δ – граничната стойност на разликата в съответните критерии.

Определянето на граничните стойности за всеки критерий е свързано с преодоляването на редица проблеми, произтичащи от особеностите на различните системи. По-съществените проблеми при определяне на граничната стойност за позицията са:

- Работата на различните системи не е синхронизирана във времето. БРЛС осигурява информацията след обработката на всеки кадър, т.е. периодично, докато обновяването на AIS информацията зависи от скоростта на движение на целта и може да се променя в широки граници – от 2s до 180s. На практика е трудно да се намери съвпадение на показанията във времето и за някои бързодвижещи се цели разликите в позициите могат да се окажат съществени;
- Различните системи представят данните за позицията на наблюдаваната цел в различни координатни системи - БРЛС в полярни (Азимут и разстояние), а

AIS в ортогонални (Географски координати). Преминаването от една координатна система в друга е свързано с въвеждането на грешки;

- При преминаване от полярни в ортогонални координати грешките са по-големи на големи разстояние, а при преминаване от ортогонални в полярни – на по-малки разстояния. При това при работа с полярни координати водещата информация от радиолокационната станция трябва да е дистанцията, тъй като неточността на ъгловата координата е по-голяма. Освен от ширината на диаграмата на насоченост в хоризоналната равнина грешките могат да възникнат и в резултат на наличието на странични листи;
- Точността на AIS информацията може да се приеме за постоянна в района на наблюдение, но зависи от работата на външна система (GPS, ГЛОНАСС);
- Точността на радиолокационната информация зависи от точните данни за позицията на радиолокационния сензор (т.е. на антената), както и прецизното съгласуване на сензора с посоката „Север“. Важна роля тук играят и нейната разделителна способност и разстоянието до целта. Според изискванията на IALA стойността на грешката при определяне на разстоянието на дистанция от 6 nm трябва да е в границите на ±30 m, като с увеличаване на разстоянието това изискване достига ±100 m. При условие, че при наличие на диференциална корекция точността на AIS достига границите от ±10 m, може да се окаже, че няколко AIS цели ще се асоциират с една радиолокационна цел.

Векторът на скоростта обикновено се разглежда като допълнителен критерий, който подпомага асоциирането при използване на критерия за позиция. При определяне на неговата гранична стойност по-съществените проблеми са:

- При корабните РЛС стабилизацията на вектора на скоростта обикновено е спрямо водата (Course / Speed Toward Waters), докато при AIS е винаги спрямо дъното (Course / Speed Over Ground). При наличие на силни течения векторите могат да се различават съществено. За БРЛС този проблем не би трябвало да съществува, тъй като брегови радари стабилизират векторите на наблюдаваните цели спрямо сушата/дъното. Остава обаче проблемът с

точните данни за позицията на радиолокационния сензор, както и прецизното му съгласуване с посоката „Север“;

- Различията в точностите при определяне на вектора на скоростта за различните системи. Изискванията за точността, с която БРЛС определят курса и скоростта са съответно 7º и 0,9knt, докато за AIS те са 2º и 0,4knt.

Критериите позиция и вектор на скоростта дават възможности за асоцииране в определен момент от времето, докато асоциирането по траектория позволява проверка на първите два критерия в продължение на определен период от време. Проследяването на историята на движение на целта е последната стъпка в процеса за асоцииране, която наподобява работата на алгоритъма за съпровождане в радиолокацията. И тук, както при съпровождането обикновено се използва критерий N / M, който потвърждава асоциацията при N съвпадения, наблюдавани в M последователни обзора. При нормални условия на наблюдение обичайните стойности са 3 / 5, но в случаите, при които някоя от информациите се изгуби, условието се променя на 5 / 10. Основният проблем тук е свързан също с липсата на синхронизация в работата на различните системи във времето. Той може да се преодолее в някаква степен с налагане на ограничението да се прилага само ако целта да се движи със скорост над 2 knt.

В по-сложните алгоритми за асоцииране към описаните по-горе критерии могат да се добавят и няколко допълнителни, като размерите на наблюдавания обект и динамиката и стабилността (т.е. устойчивостта) на неговото движение. Автоматичната идентификационна система AIS предоставя пълна и точна информация за тези критерии. Размерите на кораба са включени в статичната AIS информация, а в допълнение към пристанището на крайно местоназначение може да се добави и план на прехода. Обявяването на състояния, като ограничени възможности за маневриране, както и скоростта на извършване на поворот също могат да улеснят предсказването на поведението на целта при проследяване на динамиката на нейното движение. От друга страна радиолокационното разпознаване би могло да се използва за определяне на тонажния клас на наблюдаваната цел, а от там и за нейните приблизителни размери. Интерактивните

многомоделни алгоритми за съпровождане дават достатъчно информация за динамиката на движението. И тук основните проблеми произтичат от ограниченията, които различните технически средства за наблюдение налагат. В резолюция А.917 (22) на IMO се споменава, че "AIS е допълнително средство за навигационна информация. То не е предназначено да измества, а само да потвърждава информацията от радиолокационното наблюдение и съпровождане и от VTS. Потребителят не трябва да се доверява напълно и единствено на информацията от AIS, а трябва да използва всичката налична информация, свързана с безопасността на корабоплаването". Основните причини за това се дължат на някои ограничения в работата на AIS, по-важните от които са:

- AIS е система, изискваща подходяща инсталация и правилна експлоатация и поддръжка от страна на наблюдавания кораб, докато радиолокационното наблюдение не изисква някакви специални действия, за да се осъществи откриване, определяне на координатите и параметрите на движение на наблюдавания обект;
- Техническите неизправности в AIS оборудването на излъчващия кораб биха попречили на изобразяването на информацията за него на екрана на наблюдателя;
- AIS не позволява на наблюдателя да извърши проверка на достоверността на информацията, предоставена от излъчващия кораб, докато радиолокационните данни са формирани с използването на информация, чиято точност може да бъде проверена. Точността на AIS зависи от работата на подсистеми, като GPS и средствата за комуникация в диапазона на УКВ, които не са достъпни и не могат да бъдат управлявани от наблюдателя. Несъвместимостта на сензорите също може да окаже влияние на точността, а интерференцията с други радиостанции, излъчващи в обхвата на УКВ може да доведе до затихване на AIS сигнала;
- Ръчно въведените данни, записани еднократно при инсталирането на корабното оборудване или променяни периодично от членовете на екипажа могат да предизвикат излъчване на погрешна или подвеждаща информация. От наблюдения върху предходни действия със системата AIS, проведени в

района на Черно и Средиземно море става ясно, че информацията за пристанищата на крайно назначение, количеството и вида на товарите е с най-висок дял на грешките от този вид. Освен това има индикации за разлики в качеството на приемане при различните AIS устройства, в зависимост от производителя. Степента, в която тези проблеми ще продължат да влияят и в бъдеще трябва да бъде изучавана и анализирана в следващите години;

- Действащите AIS системи имат ограничен брой от времеви слотове. Поради тази причина и особено в райони с интензивен трафик може да се наложи избирателно да се съкратят някои съобщения;
- Не всички съдове са длъжни да се оборудват с AIS, поради което ще остават „невидими“ за системата. Бедстващи кораби, които имат проблеми с управлението или не се управляват въобще може също да не излъчват AIS сигнал, както и изоставените съдове, различни отломки от тях или други плаващи предмети и също ще останат невидими за AIS.

Възможностите на радиолокационните станции да извличат допълнителна информация за наблюдаваната цел са ограничени в сравнение с информационните възможности на AIS. Изследванията, извършени в тази област в последните години обаче показват, че радиолокационното разпознаване може да подпомогне в значителна степен решаването на този проблем. Ако разпознаването на радиолокационната цел се сведе до определяне на нейния тонажен клас и размери, това би могло да се използва за подобряване на процеса по съпровождане на целта по време на маневра, а от там и за подпомагане на процеса по асоцииране. Приложено в областта на морската навигацията радиолокационното разпознаване ще позволи наблюдаваната цел да бъде разглеждана не просто като движеща се точка, а като тяло с присъщите му размери, конструкция и възможности за осъществяване на маневри. Наличието на повече информация за целта ще позволи да се предскажат нейните маневрени характеристики.

Работата на интерактивните многомоделни алгоритми за съпровождане от една страна изискват допълнителна информация за съпровожданата цел, а от друга –

предоставят информация за успешната асоциация на информацията от различни източници. Очевидно интеграцията на информацията от различни навигационни източници от една страна и интеграцията на процесите по откриване, измерване на координатите, съпровождане, разпознаване и асоцииране на наблюдваните цели ще са основните проблеми, за които ще се търсят решения в следващите години. Усилията на изследователите трябва да бъдат насочено главно в посока към усъвършенстване на алгоритмите за обработка на сигнали, измерване на параметри, разпознаване, съпровождане и асоцииране на наблюдаваните обекти и използването на резултатите от тяхната реализация в системите за подпомагане на вземането на навигационни решения с основна цел повишаване на безопасността на корабоплаването, опазването на околната среда и повишаване на ефективността на корабоплаването.

## i. СПИСЪК НА ИЗПОЛЗВАНИТЕ СЪКРАЩЕНИЯ

| | | |
|---|---|---|
| **AIS** | Automatic Identification System | Автоматична система за идентификация |
| **ALRS** | Admiralty List of Radio Signals | Адмиралтейски списък на радиосигналите |
| **ARPA** | Automatic Radar Plotting Aids | Система за автоматична радиоликационна прокладка |
| **ATA** | Actual Time of Arrival | Фактическо време на пристигане |
| **ATD** | Actual Time at port of Departure | Фактическо време на отплаване от пристанището |
| **BITE** | Built-In Test Equipment | Вградена система за тестване |
| **CA** | Collision Avoidance | Избягване на сблъскване |
| **CAM** | Collision Avoidance Maneuvre | Маневриране за избягване на сблъскване |
| **CCTV** | Closed Circuit TeleVision | Телевизия, Камера |
| **CDMA** | Code Division Multiple Accsess | Множествен достъп с кодово разделение |
| **COG** | Course Over Ground | Курс спрямо дъното |
| **COLREG** | International REGulation for preventing COLlisions at sea | Международни правила за предпазване от сблъскване на море |
| **COSPAS – SARSAT** | Search And Rescue SATellite system | Спътникова система за търсене и спасяване |
| **C/S** | Call Sign | Позивна |
| **DAC** | Designated Area Code | Код на район / Държава |
| **DC** | Direct Current | Постоянен ток / течение |

| | | |
|---|---|---|
| **DF** | Direction Finder | Пеленгатор |
| **DG** | Dangerous Goods | Опасни товари |
| **DGPS** | Differential GPS | Диференциална GPS |
| **DOF** | Degree Of Freedom | Степени на свобода |
| **DSC** | Digital Selective Calling | Цифрово избирателно повикване, ЦИП |
| **DSL, ADSL** | Digital Subscriber Line, Asymmetric DSL | Цифрова абонатна линия, Асиметрична |
| **DWT** | DeadWeight Tonnage | Дедуейт |
| **ECDIS** | Electronic Chart Display and Information System | Информационна система за изобразяване на електронни карти |
| **ELT** | Emergency Locator Transmitter | Електронна система за определяне на мястото |
| **EKF** | Extended Kalman Filter | Разширен Калманов филтър |
| **EPFS** | Electronic Position Fixing System | Електронна система за определяне на мястото |
| **ETA** | Estimated Time of Arrival | Очаквано време на пристигане |
| **ETD** | Estimated Time of Departure | Очаквано време на отплаване |
| **ETIS** | Environment and Traffic Information System | Информационна система за околната среда и трафика |
| **FAR** | False Alarm Ratio | Степен на лъжлива тревога |
| **FI** | Function Identifier | Функционален идентификатор |
| **FIS** | Fairway Information System | Информационна система за плавателния път |
| **FIXE** | Navigational FIX Error | Навигационна грешка |
| **GCPA** | Geographical position to CPA | Глобална система за |

| | | |
|---|---|---|
| | | определяне на мястото |
| **GLONASS** | GLObalnaya NAvigatsionnaya Sputnikovaya Systema | Глобална система за определяне на мястото |
| **GMDSS** | Global Maritime Distress and Safety System | Глобална / Световна Морска Система за Бедствия и Безопасност, СМСББ |
| **GMT** | Greenwich Mean Time | Време по Гринуич |
| **GNSS** | Global Navigational Satellite System | Глобална навигационна спътникова система |
| **GPS** | Global Position System | Глобална система за определяне на мястото |
| **GPRS** | General Pocket Radio Services | Услуга за пакетен обмен на данни |
| **GRT** | Gross Registered Tonnage | Бруто-регистър-тонаж |
| **GSM** | Global System for Mobile communication | Глобална система за мобилна комуникация |
| **GUI** | Graphic User Interface | Графичен потребителски интерфейс |
| | | |
| **IALA** | International Association of Marine for Aids to Navigation Light Houses Authorities | Международна асоциация на службите за средствата за навигационно осигуряване и фаровете служби |
| **IEC** | International Electrotechnical Commission | Международна електротехническа комисия |
| **IMO** | International Maritime Organization | Международна морска Организация |
| **ISDN** | Integrated Services Digital Network | Цифрова мрежа с интеграция на услугите |
| **ITU** | International Telecommunication Union | Международен съюз по Далекосъобщения |

| | | |
|---|---|---|
| **LAN** | Local Area Network | Локална мрежа |
| **LANBY** | Large Automated Navigational Buoy | Голям автоматизиран навигационен буй |
| **MPDS** | Mobile Packet Data Services | Мобилни услуги за обмен на пакети от данни |
| **MRCC** | Maritime Rescue Coordination Centre | Морски спасително-координационен център |
| **MSC** | Maritime Safety Committee of the IMO | Комитет по морска безопасност |
| **OEM** | Original Equipment Manufacturer | Производител на оборудване за вграждане |
| **RADAR** | Radio Detection And Ranging | Радиолокация, Радиолокационна станция |
| **RACON** | Radar Beacon | Радиолокационен транспондер |
| **RAIM** | Receiver Autonomous Integrity Monitor | Индикатор за състоянието на приемника |
| **RDF** | Radio Direction Finder | Радиопеленгатор |
| **SAR** | Search and Rescue | Търсене и спасяване |
| **SNR** | Signal to Noise Ratio | Отношение „Сигнал/Шум“ |
| **SOLAS** | International Convention for the Safety of Life at Sea | Международна конвенцията за опазване на човешкия живот на море |
| **TC** | Traffic Center | Център за управление на трафика |
| **TCPA** | Time to Closest Point of | Време до точката на |

| | | |
|---|---|---|
| | Approach | максимално сближаване |
| **TCP / IP** | Transmission Control Protocol / Internet Protocol suite | Мрежов протокол за обмен на данни / семейство Интернет протоколи |
| **TDMA** | Time Division Multiple Access | Множествен достъп с времеделение |
| **FATDMA** | Fixed Access Time Division Multiple Access | Множествен достъп с времеделение в определени/ фиксирани моменти от време |
| **RATDMA** | Random Access Time Division Multiple Access | Множествен достъп с времеделение в случайни моменти от време |
| **SOTDMA** | Self Organized Time Division Multiple Access | Самоорганизиращ се множествен достъп с времеделение |
| **UTC** | Coordinated Universal Time | Универсално координирано време |
| **VHF** | Very High Frequency | УКВ |
| **VDL** | VHF Data Link | УКВ Мрежа |
| **VPN** | Virtual Private Network | Виртуална Частна Мрежа |
| **VTMS** | Vessel Traffic Management Solutions | Решения по управление на трафика на плавателните съдове |
| **VTMIS** | Vessel Traffic Management Information System | Информационна система за управление трафика на плавателните съдове |
| **VTS** | Vessel Traffic Services | Услуги по управление на трафика на плавателните съдове |

| | | |
|---|---|---|
| **WAN** | Wide Area Network | Географски разпределена компютърна мрежа |
| **WGS 84** | World Geodetic System 84 | Световна геодезическа система 84 |
| **АЧХ** | Амплитудно-честотна характеристика | |
| **БРТ** | | Бруто-регистър-тон |
| **ДМА** | | Дирекция „Морска администрация” |
| **ДППИ** | | Държавно предприятие „Пристанищна инфраструктура“ |
| **ИАМА** | | Изпълнителна агенция „Морска администрация” |
| **МСКЦ** | | Морски спасително-координационен център |
| **СМСББ** | | Световна морска система за бедствия и безопасност |

## СПИСЪК НА ИЗПОЛЗВАНАТА ЛИТЕРАТУРА


[1] Афанасиев Б. В., ред., Подготовка операторов СУДС, Учебное пособие, Государственая морская академия имени адмирала С. О. Макарова, Санкт Петербург, 2006

[2] БАКУЛЕВ, П.А., Сопровождение маневрирующей цели с помощью интерактивного многомодельного алгоритма, Журнал „Труды МАИ“, Выпуск №9, 2002

[3] Белоцерковский, Г. М., Основы радиолокации и радиолокационные устройства, Москва, Радио и связь,

[4] БРЛС „Варна 1“ – Инструкциа по експлоатация, „Черно море“ АД – Варна, 2004

[5] Биков В. В., *Цифровое моделирование в статистической радиотехнике*, Москва, Советское Радио, 1987г.

[6] Велков В., Сл. Славов, Систематизиране на критерии, признаци и параметри, прилагани за класификация на целите в системите за наблюдение, разузнаване и противодействие, 7-ма научна конференция SES 2011, София, 2011г.

[7] Иванов К. Ив., *Радиолокация и радиолокационни системи*, изд. на ВВМУ „Н. Й. Вапцаров“ – Варна, 2010г.

[8] Христофоров А. В., Согласованная фильтрация сигнала устройствами на ПАВ, Казань, 2004

[9] Документ № 450001 – 01 Техническо описание за разширяване и обновяване на VTMIS, ИТ, НЦЕДМТ, РРЛ, GMDSS системи. BL-VTS-010, Транслинк, 2013

[10] Документация по проект „Изграждане на лаборатория по Информационни системи за управление на трафика на плавателните съдове VTMS“, ВВМУ „Н. Й. Вапцаров”, 2012-2013, [online] http://www.naval-acad.bg/about-us-bg/organization-bg/faculty-navigation/electronics-department-bg/projects-electronics-dep-bg

[11] ПЕНКОВ Тр., Ред., Радиотехника, учебник, изд. на ВВМУ “Н. Й. Вапцаров”, Варна 2008

[12] Alexandrov Ch., Chr. Panchev, “An application of Neural Networks in Automatic Target Recognition at Sea”, JMTE, Vol. I, 2008

[13] Alexandrov Ch., N. Kolev, A. Draganov, An Application of Automatic Target Recognition in Marine Navigation, IEEE Radar 95 Conference

[14] Bhanu B. and T. Jones “Image Understanding Research for Automatic Target Recognition”, IEEE AES System Magazine, Oct.1993, pp.15 – 23

[15] Borkowski P., The Ship Movement Trajectory Prediction Algorithm Using Navigational Data Fusion, *Sensors 2017*, Vol. 17, 1432, Jun. 2017 online: www.mdpi.com/journal/sensors

[16] ETMAN E. I., The Role of Automatic Identification System (AIS) in Enhansing Vessel Traffic Management, *IAMU AGA Int. Conference*,

[17] IALA Recommendation V-128 On Operational and Technical Performance Requirements for VTS Equipment, Ed. 3m IALA, 2007

[18] IMO Resolution MSC.192(79), Adoption of the revised performance standards for radar equipment, IMO 2005

[19] IMO Resolution A.917 (22), Guidelines for the Onboard Use of Shipborne AIS, IMO, Nov. 2001

[20] Kazimierski W., Target Association in the Process of Tracking Radar and AIS Integration, Scientific Journal, Maritime University of Szczecin, Vol. 22(99) 2010, pp. 18 - 22

[21] LIN B., C. Huang, Comparison Between ARPA Radar and AIS Characteristics for Vessel Traffic Services, *Journal of Marine Schoence and Technology*, Vol. 14, No. 3, pp. 182 0 189, 2006

[22] ROBSON J. K., 2006, *Overview of Collision Detection in the UKCS*, AEA Technology PLC, Crown 2006

[23] STATECZNI A., W. Kazimierski, The Process of RADAR Tracking by Means of GRNN Artificial Neural Network with Dynamically Adapted Teaching Sequence Length in Algorithmic Depiction, Int. Journal of Marine Navigation and Safety of Sea Transport TransNav, Vol. 2, No. 1, 2008

[24] SOTIROV Sv., Ch. Alexandrov, Improving AIS Data Reliability, *IAMU AGA 18-th Int. Conference*, Varna, Bulgaria, Oct. 2017 (to be published)

[25] Alexandrov Ch., Bulgarian Vessel Traffic Management and Information System and Education and Training of VTS Personnel, IAMU AGA 2015, Rieka, 2015

[26] Alexandrov Ch., Ts. Tsanev, Gr. Grozev, On integration of Web-based Applications into Maritime Education and Training, *XII-th Int. Conference “Black Sea 2014”*, Varna, Bulgaria, Sept. 2014, pp. 314-344.

[27] BG0012.01 Technical Specifications of VTMIS in Bulgaria, *PHARE Program*

*BG0012.01*, Ministry of Transport, June, 2002.

[28] BG2003/004-937.04.01 VTMIS Phase 2, *PHARE Program BG2003/004-937.04.01 Project Fiche*, 2003.

[29] Bin L., Ch. Huang, Comparison Between ARPA RADAR and AIS Characteristics for Vessel Traffic Services, Journal of Maritime Science and Technology, Vol. 14, No. 3, 2006, pp. 182 – 189

[30] Dehmel Tom, Benefits of VTS Simulator Training, *IALA Seminar on Simulation in VTS Training*, Wageningen, Netherland, September 2013.

[31] Directive 2002/59 EC of the European Parliament and of the Council, June, 2002.

[32] IALA: Resolution V.103 *Recommendation on Standards for Training and Certification of VTS Personnel.* May 1998.

[33] IALA: *Guidelines on Designing and Implementing Simulation in VTS Training at Training Instituties and VTS Centers*. June 2002.

[34] IALA *Vessel Traffic Services Manual, Ed. 5.* May 2012.

[35] IALA, IALA Recommendation V-128 – On Operational and Technical Performance Requirements for VTS Equipment, Ed. 3.0, 2007

[36] IMO Resolution A.857(20) – Guidelines for Vessel Traffic Services, IMO, Nov. 1997

[37] IMO Resolution A.917 (22) – Guidelines for the Onboard Operational Use of Shipborne AIS, IMO, Nov. 2001

[38] IMO Resolution MSC.192(79), Adoption of the revised performance standards for radar equipment, 2005

[39] IMO Resolution MSC.112 (73)-The Revised Performance Standards for Ship-borne GPS Receiver Equipment, IMO, Dec. 2000

[40] Kazimierski W., Target Association in the Process of Tracking Radar and AIS Integration, *Scientific Journal, Maritime University of Szczecin*, vol. 22(94), 2010, pp. 18-22

[41] Maritime and Coastguard Agency, SAR Graphs & Tables, Second ed., MCA March 2006

[42] Todorov Milen, Substance, Structure and Performance of the Vessel Traffic System in the Territorial Waters and the Responsible Areas of Republic of Bulgaria, *20-th*

*International Scientific Conference*, Stara Zagora, Bulgaria, May 2010, Volume V, Nautical and Environmental Studies, pp. 71 - 77.

[43] Transas Ltd., *VTMIS Technical Description*, Doc. No 044308 - 02, 2002.

[44] Vessel Traffic Management and Information Services Concerted Action, *Contract № WA – 96 – CA 8103 (THECHNISEC) – Final Report*. IFN, December 2000.

[45] http://www.worldvtsguide.org/Bulgaria/

[46] SOLAS CHAPTER V, Safety of Navigation, IMO International Convention for the Safety of Live at Sea, 1/7/02

[47] STIFF I. P. A., 2004, AIS and Collision Avoidance – A Sense of Déjà Vu, *Journal of Navigation*, Vol. 57, pp. 167-180

[48] ROBSON J. K., 2006, *Overview of Collision Detection in the UKCS*, AEA Technology PLC, 2006

[49] IEC Universal Shipborne Automatic Idntification System (AIS), IEC Future Publication, IEC 61993 – 2, 1999

[50] IALA Technical Clarification on Recommendation ITU – R M.1371 – 1, Edition 1.5

[51] IALA Aids to Navigation Guide (NAVGUIDE), Ed. 4, Dec. 2001

[52] IALA Recommendation A-126 on the Use of AIS in Marine Aids to Navigation Service, Ed. 1.5, June 2011

[53] IALA Guidelines No. 1062 on the establishment of AIS as an Aid to Navigation, Ed. 1, December 2008

[54] IALA Guidelines No. 1098 on the Application of AIS Aids to Navigation (AIS A-to-N) on Buoys, Ed. 1, May 2013

[55] IMO SN.1/Circ.243 - December 2004, Guidelines for the Presentation of Navigation-related Symbols, Terms and Abbreviations

[56] ITU-R Recommendation M.1371-1.

[57] ITU Manual for Use by Maritime Mobile Services and Maritime Mobile satellite Services, ITU

[58] IMO SN.1/Circ.289 - June 2010, Guidelines of the Use of AIS Application-specific Messages

[59] IMO Guidelines for the presentation and display of AIS Targets, Circ. 217 / 11.07.2001

[60] AROYO J., 2007, *Providing Navigation safety for America's waterways*, USCG

[61] BOBER S., AIS Next Generation – the Development of the VHF Data Exchange System (VDES) for Marine and Inland Navigation, *Smart River Conference*, Argentina, September 2015, pp. 42

[62] READ T., AIS Binary Message Updates, *US Hydro Conference*, Tampa, 2011, pp. 1 - 9

[63] SCHEDIN J., 2011, *AIS Compliance*, Seawork, 2011

[64] TETLEY L., D. CALCUT, 2001, *Electronic Navigation Systems*, 3-rd ed., Butterworth and Heinemann

[65] LEE A.L., NMEA 0183 Advancements, USCG R&D Center

[66] ALY S. M., R. E. FOULY, H. BARAKA, Extended Kalman Filtering and Interacting Multiple Model for Tracking Maneuvering Targets in Sensor Netwotrks, *13-th Int. Conference on Aerospace Science and Aviation Technology ASAT-13*, 2009

[67] Bar Shalom Y., 1990, *Multitarget Multisensor Tracking: Advanced Applications. Vol. I*. Norwood, MA: Artech House

[68] Bar Shalom Y., X.R. Li, T. Kirubarajan, 2001, *Estimation with Applications to Tracking and Navigation*, New York: John Wiley & Sons

[69] BAR SHALOM Y., X.R. Li, 1995, *Multitarget Multisensor Tracking: Principles and Techniques,* Storrs, CT: YBS Publishing

[70] BARTON D. and S. Leonov, Radar Technology Encyclopedia, Artech House, 1998

[71] Basic Radar Systems, Federation of American Scientists, FAS, 1998

[72] Bhanu B. and T. Jones "Image Understanding Research for Automatic Target Recognition", IEEE AES System Magazine, Oct.1993, pp.15 – 23.

[73] BOLE, Alan, B. Dimniley and A. Wall, *Radar and ARPA Manual*, Elsevier Butterworth-Heinemann Publishing, 2005.

[74] BORKOWSKI P., The Ship Movement Trajectory Prediction Algorithm Using Navoigational Data Fusion, Maritime University of Szczecin, 2017

[75] Borrion H., H. D. Griffits, P. Tait, D. Money and C. J. Baker, Scattering Center Extraction for Extended Targets, IEEE 0-7803-8882-8/05, 2005

[76] Burger W. RADAR Observation Handbook for Merchant Navy Officers, Brown, Son & Ferguson Ltd., Glasgow, Ed. 8 Revised, 1995

[77] C. Ray Smith and P. M. Goggans, "Radar Target Identification", IEEE AP Magazine, Vol35, 1993, pp 27 – 37

[78] CARPET, TNO (Toegepast Natuurkundig Onderzoek) Physics and Electronics Laboratory, P.O.Box 96864, 2509 JG The Hague, Netherlands, http://www.tno.nl

[79] Castella F.R, Sliding window detection probabilities, *IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems* 1976, Vol.12, pp. 815-819

[80] CHEN K., "Efficient Parallel Algorithms for the Computation of two-dimensional Image Moments", Pattern Recognition, Vol. 23, 1990, pp. 109 - 119

[81] De Maio A., A. Farina, G. Foglia, Knowledge Based Recursive Least Squares techniques for heterogeneous clutter suppression, *IEE Proc. Radar and Sonar Nav*. 2007, Vol.1, pp. 106-115

[82] Design and Implementation of a CFAR Processor for Target Detection. [Online]. Available: http://ccc.inaoep.mx

[83] Dudgeon R. and R. Mersereau, *Multidimensional Digital Signal Processing*, Prentice-Hall Signal Processing Series, 1983

[84] FARINA A., F. A. STUDER, 1995, *Radar Data Processing, Volume 1 - Introduction and Tracking*, Research Studies Press.

[85] GINI F., M. RANGASWAMY, 2007, *Knowledge-Based Radar Detection, Tracking and Classification*, Wiley

[86] Garvanov Iv., Methods and Algorithms for Targets Detection, BAS, 2014

[87] Ghasemi A. et all, Propagation Engineering in Wireless Communications, Springer Science and Business Media, 2011

[88] Han S.K. et all, "Efficient Radar Target Recognition Using a combination of Range Profile and Time-frequency Analyzis", Progress in Electromagnetic Research, Vol. 108, pp 131-140, 2010

[89] Haykin S. Adaptive Radar Signal Processing, John Willey ans Sons, 2006

[90] HOFELE F.X., A New Philosophy in CFAR Target Detection, *International Radar Symposium* IRS 2003.

[91] IMO Resolution "A.477(XII) Performance Standards for Radar"

[92] IMO Resolution "A.422(XI) Performance Standards for Automatic Radar Plotting Aids (ARPA)"

[93] Ings M. R. and A. D. Robinson "Neural Approaches to Ship Target Recognition", The Record of RADAR'95, Washington DC, May, 1995, pp. 386 - 391

[94] Integrated Maritime Policy for the EU. Maritime Surveillance Systems, European Commision, 2008.

[95] JILKOV V. P., D. S. ANGELOVA, T. SEMERDJIEV, Design and Comparison of mode-set adaptive IMM algorithms for Maneuvering Target Tracking, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 1999

[96] Kalman R. E., A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems, Transaction of the ASME – Journal of Basic Engineering, p. 35-45, 1960

[97] Kostadinov K., M. Tsvetkov, Ch. Alexandrov, Application of TCP/IP Based Radar-Computer Interface, XVI-th International Symposium on Electrical Aparatus and Technoologies SIELA 2009, 4-6 June, Bourgas, pp149-156 ISBN 978-954-323-560-5

[98] LI X. R., V. JILKOV, Survey of Maneuvering Target Tracking, *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 39, No4, Oct. 2003

[99] LIVINGSTON D.C., *The Phisics of Microwave Propagation*, New Jersey, Prentice-Hall, 1970

[100] MAHAFAZA Bassem R., *Radar Systems Analyzis and Design using MATLAB*, Chapman & Hall/CRC, May 2000

[101] Macmillian N. A., C. Douglas Creelman, Detection Theory: A User's Guide, Lawrence Erlbaum Publisher, 2005

[102] Marine Safety Directorate, Standards for Navigating Appliances and Equipment, Canada, 1983

[103] Microchip dsPIC 33FJXXXMCX06/X08/X10 Motor Control Family Data Sheet No. 70287A.

[104] Milanov P., Ch. Alexandrov, "FPGA Implementations of Constant False Alarm Rate Detectors (CFAR)", Journal of Maritime Technology and Environment (JMTE), Vol. I, 2010, pp 191-198, ISSN 1844-6116

[105] Nebabin G., V. V. Sergeev and D. K. Barton, Methods and Techniques of Radar Recognition, Artech House 1995

[106] O'Donnel R.M., Detection of Signals in Noise, Radar Systems Course 1 - Radar Systems Engineering, IEEE AES Society, 2010

[107] O'Donnel R. M., Radar System Engineering. Detection on signal in noise, IEEE AES Society, IEEE New Hampshire section, 2010

[108] Radar Performance Calculations, Radar Sensor System VTMIS Bulgaria, Terma A/S. DK, Jan. 2013

[109] Radar Sensor "Tcherno more" – Operation and Maintenance Manual, "Tcherno more" – Varna

[110] Rao D. V. et all, "Implementation and Evaluation of Image Processing Algorithms on Reconfigurable Architecture using C-Based Hardware Descriptive Language", International Journal of Theoretical and Applied Sciences, Vol 1 Number 1, 2006

[111] Remm J.-F., F. Alexandre and L. Savy, "Automatic Radar Target Identification Using Neural Networks",

[112] Resolution A.464Amedments to the International Regulation for Preventing Collisions at Sea, Adopted 19 Nov. 1981

[113] Scolnik M., Introduction to Radar Systems, McGraw-Hill Book Company, 11-th reprinting, 1988

[114] SCANTER 5102 VTS & CSS Radar, Product Specification, Terma A/S, 2012

[115] SEMERDJIEV E., L. MIHAYLOVA, T. SEMERDJIEV, V. BOGDANOVA, Interacting Multiple Model Algorithm for Maneuvering Ship Tracking Based on New Ship Models, *Information and Security, Int. Journal*, Vol. 2, 1999, pp. 122-137

[116] SEMERDJIEV E., L. MIHAYLOVA, T. SEMERDJIEV, Interacting Multiple Model Algorithm for Maneuvering Ship Tracking, *Information and Security, Int. Journal*, Vol. 2, 1998, pp. 122-137

[117] SEMERDJIEV E., L. Mihaylova, Tz. Semerdjiev, Manoevring Ship Model Identification and IMM Tracking Algorithm Design, *Proc of the 1st International Conf. on Information Fusion*, Las Vegas, Nevada, USA, Vol. 2, pp. 968-973, July 6-9, 1998

[118] Sofrelog Sytar. CPRB Digitising Unit – User's Manual, 2004

[119] Tait P., Introduction to Radar Target Recognition, The institution of Engineering and Technology, 2009

[120] Transas Marine Ltd., Radar Processor ORS-3, Technical Description, Transas 2004

[121] Knot Eu., J. F. Shaefer, M. Tuley, Radar Cross Section, Second Ed., Artech House, 1993

[122] Rosenfeld A., A. Kak, Digital Picture Processing, Second Ed., Vol. 2, Accademic Press, 1982

[123] Urkowitz H., Decision and Detection Theory, Lecture notes, Lockheed Martin Co., 1999

[124] Valtr P., P. Pechac, Tropospheric Refraction Modeling Using Ray-Tracing and Parabolic Equation, Radioengineering, Vol. 14, No. 4, 2005

[125] Van Trees H., Detection, Estimation and Modulation Theory, Wiley, New York, 2001

[126] Ward K. D., C.J. Baker and S. Watts, "Maritime surveillance radar I. Radar Scattering from the Ocean Surface" Radar and Signal Processing, IEE Proceedings F, Vol 137, 2002.

[127] Welch G. and G. Bishop, an Introduction to the Kalman Filter, SIGGRAPH 2001, ACM, Inc. 2001

[128] www.radartutorial.eu

[129] Balanis C. A., Antenna Theory, John Wiley and Sons, Inc. 1997

[130] BURGER W. RADAR Observation Handbook for Merchant Navy Officers, Brown, Son & Ferguson Ltd., Glasgow, Ed. 8 Revised, 1995

[131] C.PLATH GMBH, Traffic Control & Navigation CSS & VTS Systems, VHF RDF ARCUS M/L, www.plath.de

[132] Direction Finders – Introduction into Theory of Direction Finding, Rohde & Schwarz 2012

[133] Emiroglu B., Achievements in Turkish Aids to Navigation System with AIS Applications – Actual and Planned AIS Functions for Enhanced Maritime Safety, N. Vaptsarov Naval Academy Conference, Varna, June 2011, pp. 121 - 129

[134] Grabau, R., Pfaff, K.: Funkpeiltechnik. Franckh'sche Verlagshandlung, Stuttgart 1989

[135] IALA Aids to Navigation Guide (NAVGUIDE), Ed. 4, Dec. 2001

[136] IALA Recommendation A-126 on the Use of AIS in Marine Aids to Navigation Service, Ed. 1.5, June 2011

[137] IALA Guidelines No. 1062 on the establishment of AIS as an Aid to Navigation, Ed. 1, December 2008

[138] IALA Guidelines No. 1098 on the Application of AIS Aids to Navigation (AIS A-to-N) on Buoys, Ed. 1, May 2013

[139] IMO SN.1/Circ.243 - December 2004, Guidelines for the Presentation of Navigation-related Symbols, Terms and Abbreviations

[140] IMO SN.1/Circ.289 - June 2010, Guidelines of the Use of AIS Application-specific Messages

[141] IMO IAMSAR Manual Vol. III, 2013 edition, IMO, London 2013

[142] KEEN R., Direction and Position Finding by Wireless, The wireless press Ltd., London 1922

[143] Kossor Mike, A Doppler Radio Direction Finder, QST, May 1999

[144] Read T., AIS Binary Message Updates, US Hydro Conference, Tampa, 2011, pp. 1 - 9

[145] RHODE & SCHWARZ, Introduction into Theory of Direction Finding, Radiomonitoring and Radiolocation, 2001 – 2012

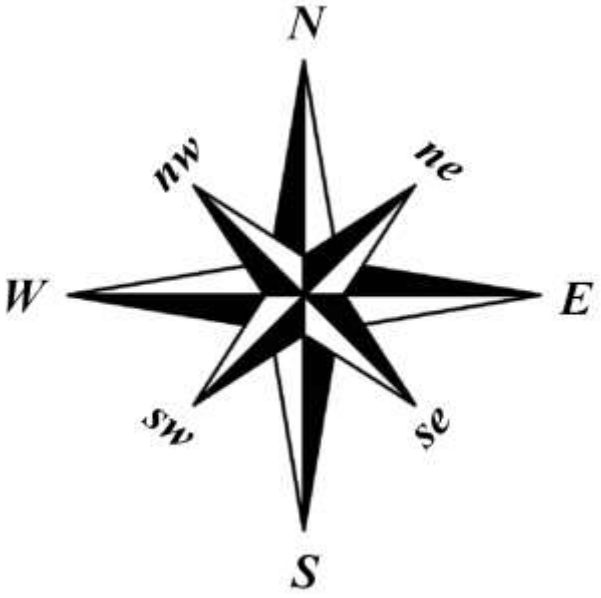
[146] RHOTHETA ELEKTRONIK GMBH, RT – 800 VHF RDF system for Maritime Traffic and Coast Surveillance, Ver. 1.0.01

[147] THALES, Esmeralda Integrated Station for Spectrum Monitoring, www.thalesgroup.com

[148] Uysal M. C., Achievements of AIS Aids to Navigation in Turkey, 17-th IALA Conference, Cape Town 2010, pp. 14-24

[149] VTS Guide Germany, 2012

[150] Wekker Bernd, VHF Direction Finding in the age of AIS, Plath GmbH, Hamburg, Germany, www.porttechnology.org




# ИНФОРМАЦИОННИ СИСТЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА ТРАФИКА НА ПЛАВАТЕЛНИТЕ СЪДОВЕ VTMIS

Чавдар Илиев Александров, автор
Мирослав Йорданов Цветков, автор
Доц. д-р инж. Анчо Герасимов Драганов, рецензент
Доц. д-р инж. Николай Желев Колев, рецензент

**ISBN 978-619-7428-02-5**