

UOT 621.37/39:001.12.18

**GLOBAL DƏNİZDƏ FƏLAKƏT ZAMANI ƏMNIYYƏTLİ RABİTƏ SİSTEMİNDƏ
(QDFƏRS) RADİOSİQNALLARIN MANEƏLƏRƏ DAVAMLILIĞI:
MÖVCUD TEXNOLOGİYALAR VƏ PERSPEKTİVLƏR**

Qafarov A.V.

*“Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası” PHŞ
Az1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18
E-mail: aydinqafarov1979@mail.ru*

***Xülasə.** Məqalədə Qlobal Dəniz Fəlakət və Əmniyyətli Rabitə Sistemində (QDFƏRS) istifadə olunan radiosiqnalların maneələrə davamlılığının təmin edilməsi üçün tətbiq olunan fundamental texnologiyaları və 2025-ci il perspektivindəki inkişaf trendlərindən bəhs olunur. Məqalədə tezlik manipulyasiyası kimi möhkəm modulyasiya növləri, irəli Səhv Düzəltmə (FEC) kodlaşdırma alqoritmləri və Rəqəmsal Signal Emalı (RSE) kimi ənənəvi üsulların QDFƏRS-in etibarlılığındakı rolu araşdırılır. Bununla yanaşı, QDFƏRS -in modernizasiyası çərçivəsində VHF Data Mübadilə*

Sistemi (VDMS), Proqramla Müəyyən Edilən Radio (SDR) texnologiyaları, IRIDIUM kimi yeni nəsil peyk xidmətlərinin integrasiyası və kiber-təhlükəsizlik kimi yeni çağırışlar müzakirə edilir. Təhlil göstərir ki, gələcək QDFƏRS sistemləri təkcə təbii və texnogen maneələrə deyil, həm də artan məlumat həcmi və qəsdli müdaxilələrə qarşı dayanıqlı olmaq üçün daha adaptiv və kompleks həllərə ehtiyac duyacaqdır.

Abstract. This article analyzes the fundamental technologies applied to ensure the noise immunity of radio signals in the Global Maritime Distress and Safety System (GMDSS), as well as the development trends from the perspective of 2025. The paper examines the role of traditional methods such as robust modulation types like Frequency Shift Keying (FSK), Forward Error Correction (FEC) coding algorithms, and Digital Signal Processing (DSP) in ensuring GMDSS reliability. In addition, it discusses new challenges and developments within the GMDSS modernization framework, including the VHF Data Exchange System (VDES), Software-Defined Radio (SDR) technologies, the integration of next-generation satellite services like IRIDIUM, and emerging cybersecurity threats. The analysis indicates that future GMDSS systems will require more adaptive and complex solutions to be resilient not only against natural and man-made interference but also against increasing data volumes and intentional disruptions.

Аннотация. В данной статье анализируются фундаментальные технологии, применяемые для обеспечения помехоустойчивости радиосигналов в Глобальной морской системе связи при бедствии и для обеспечения безопасности (ГМССБ), а также тенденции развития в перспективе до 2025 года. В статье исследуется роль традиционных методов, таких как устойчивые виды модуляции (частотная манипуляция - FSK), алгоритмы упреждающего исправления ошибок (FEC) и цифровая обработка сигналов (DSP) в обеспечении надежности ГМССБ. Наряду с этим, обсуждаются новые вызовы и разработки в рамках модернизации ГМССБ, включая Систему обмена данными в диапазоне УКВ (VDES), программно-определяемые радиосистемы (SDR), интеграцию спутниковых служб нового поколения, таких как IRIDIUM, и новые угрозы кибербезопасности. Анализ показывает, что будущие системы ГМССБ потребуют более адаптивных и комплексных решений для обеспечения устойчивости не только к естественным и техногенным помехам, но и к растущим объемам данных и преднамеренным вмешательствам.

Açar sözlər: GMDSS, maneələrə davamlılıq, FSK, FEC, DSP, QDFƏRS modernizasiyası, VDMS, SDR, Iridium GMDSS, kiber-təhlükəsizlik

Ключевые слова: ГМССБ, помехоустойчивость, FSK, FEC, DSP, модернизация ГМССБ, VDES, SDR, иридиум ГМССБ, кибербезопасность

Key words: GMDSS, noise immunity, FSK, FEC, DSP, GMDSS modernization, VDES, SDR, iridium GMDSS, cybersecurity

Giriş. Qlobal Dəniz Fəlakət və Təhlükəsizlik Sistemi (QDFƏRS) Beynəlxalq Dəniz Təşkilatının (BDT) Dənizdə İnsan Həyatının Mühafizəsi üzrə Beynəlxalq Konvensiyası (SOLAS) çərçivəsində dənizdə təhlükəsizliyin təmin edilməsi üçün yaradılmış qlobal bir rabitə infrastrukturudur. Sistemin əsas məqsədi fəlakət siqnallarının dərhal ötürülməsini və axtarış-xilas etmə əməliyyatlarının effektiv koordinasiyasını təmin etməkdir. Bu məqsədə çatmaq üçün GMDSS siqnallarının ötürülməsi və qəbulu ən çətin şəraitdə belə fasiləsiz və etibarlı olmalıdır.

Dəniz mühiti radio siqnallarının yayılması üçün olduqca düşmən mühitdir. Atmosfer səs-küyü, ionosfer qatındakı dəyişikliklər, digər radio stansiyaların yaratdığı interferensiya və gəminin öz daxili avadanlıqlarından qaynaqlanan texnogen maneələr Siqnal/Maneə Nisbətini (Signal-to-Noise Ratio - SNR) kəskin şəkildə azaldır. Zəif SNR isə məlumatın ötürülməsi zamanı yüksək Bit Xəta Səviyyəsinə (Bit Error Rate - BER) səbəb olur ki, bu da fəlakət mesajlarındakı həyati vacib məlumatların (məsələn, gəminin kimliyi və koordinatları) itirilməsi və ya təhrif olunması deməkdir [1,2,3,4,5].

Bu məqalənin məqsədi, QDFƏRS -in etibarlılığını təmin edən klassik texnoloji həlləri sistemli şəkildə təhlil etmək və 2025-ci ilin reallıqları fonunda sistemin qarşılaşdığı yeni çağırışları və bu çağırışlara cavab verən texnoloji trendləri araşdırmaqdır.

QDFƏRS mühitində maneələrin təsnifatı və xarakteristikası. QDFƏRS siqnallarına təsir edən maneələri iki əsas kateqoriyaya ayırmaq olar:

1. Təbii (atmosfer) maneələr: Bu maneələr təbiət hadisələri nəticəsində yaranır.

- **Atmosfer səs-küyü:** Əsasən ildırım çaxması nəticəsində yaranan genişzolaqlı elektromaqnit səs-küyüdür. Bu, xüsusilə orta dalğa (MF) və qısa dalğa (HF) diapazonlarında rabitəyə ciddi təsir göstərir.
- **Qalaktik səs-küy:** Kosmosdakı radio mənbələrindən gələn və əsasən VHF və daha yüksək tezliklərdə təsirli olan səs-küy.
- **İonosferin təsiri:** Günəş aktivliyindən asılı olaraq ionosferin vəziyyətinin dəyişməsi HF siqnallarının sönməsinə və təhrifinə səbəb olur.

2. Texnogen (insan tərəfindən yaradılan) maneələr:

- **İnterferensiya:** Eyni və ya qonşu tezlik kanallarında işləyən digər radio ötürücülərin yaratdığı maneələr.
- **Sənaye səs-küyü:** Gəminin özündəki elektrik mühərrikləri, generatorlar, kommutasiya avadanlıqları və digər elektron cihazların yaratdığı elektromaqnit şüalanması.
- **Qəsdli maneələr (Jamming):** Hərbi və ya pirat fəaliyyətləri nəticəsində rabitə kanallarının qəsdən boğulması. Bu, gələcəkdə daha ciddi bir təhdidə çevrilə bilər.

Bu maneələrin ümumi təsiri, qəbuledicinin faydalı siqnalı səs-küy fonundan ayırmasını çətinləşdirir və məlumatların səhsiz dəşifrə olunmasını təhlükə altına alır [1,3,5].

QDFƏRS-də tətbiq edilən ənənəvi maneəyə davamlılıq texnologiyaları. QDFƏRS-in yüksək etibarlılığı, bir-birini tamamlayan bir neçə texnoloji qatın tətbiqi ilə əldə edilir.

Möhkəm rəqəmsal modulyasiya: tezlik manipulyasiyası (Frequency Shift Keying-FSK). QDFƏRS-in əsas rəqəmsal alt sistemləri olan Rəqəmsal Seçmə Çağırış (RSC) və NAVTEX-də məlumatların ötürülməsi üçün ikili Tezlik Manipulyasiyası (Frequency Shift Keying - FSK) istifadə olunur. Bu metodda "1" və "0" bitləri iki fərqli, lakin bir-birinə yaxın tezliklə ("mark" və "space") kodlaşdırılır.

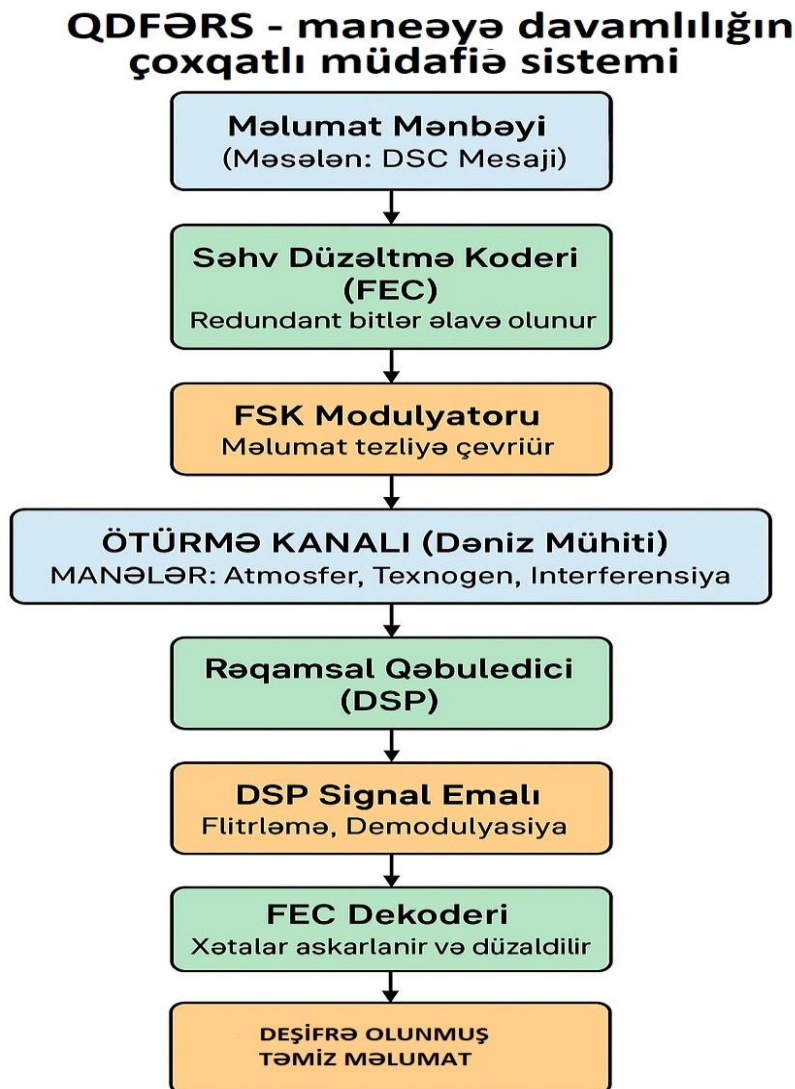
- **Üstünlüyü:** Amplitud dəyişikliklərinə əsaslanan maneələr və siqnal sönmələri FSK siqnalına minimal təsir göstərir, çünki faydalı məlumat siqnalın tezliyində saxlanılır. Qəbuledici yalnız bu iki tezliyin mövcudluğunu aşkarladığı üçün sistem olduqca dayanıqlı olur. RSC üçün MF/HF diapazonunda bu tezliklər arasındakı fərq (frequency shift) 170 Hz təşkil edir ki, bu da dar zolaqda etibarlı rabitəni təmin edir.
- **Səhvlərin aşkarlanması və düzəldilməsi: (FEC - ARQ.** Ötürmə kanallarında xətalara yaranması qaçılmazdır. Bu xətalara mübarizə üçün QDFƏRS-də güclü kodlaşdırma alqoritmləri tətbiq edilir.
- **İrəli səhv düzəltmə (Forward Error Correction - FEC):** Bu metodda ötürülən məlumata əlavə redundant (artıq) bitlər əlavə edilir. Bu bitlər, qəbuledicinin təkrar sorğu göndərmədən müəyyən sayda xətalı bitləri müstəqil şəkildə bərpa etməsinə imkan verir. NAVTEX və Radioteleks Darzolaqlı Hərfləndirici Qurğu - Narrow-Band Direct-Printing (NBDP) sistemlərində istifadə olunan SITOR-B protokolu FEC-in klassik nümunəsidir. EPIRB fəlakət bikenlərinin 406 MHz siqnalları da peykə çox zəif çatdığı üçün olduqca güclü FEC kodlaşdırmasından istifadə edir.
- **Avtomatik təkrar sorğu (Automatic Repeat reQuest - ARQ):** İkitərəfli rabitədə istifadə olunan bu metodda (məsələn, SITOR-A) qəbuledici məlumat blokunda xəta aşkarladıqda, ötürücüdən həmin blokun təkrar göndərilməsini tələb edir [1,2,3,6,7].

Rəqəmsal siqnal emalı (Digital Signal Processing - DSP). Müasir QDFƏRS avadanlıqları güclü DSP prosessorları ilə təchiz olunur. DSP, analoq siqnalı rəqəmsal formata çevirdikdən sonra

riyazi alqoritmlər vasitəsilə emal edərək siqnalın keyfiyyətini əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşdırır. Əsas DSP funksiyaları:

- **Darzolaqlı filtrləmə:** Faydalı siqnalın yerləşdiyi çox dar tezlik zolağını seçərək kənar səs-küyləri və interferensiyanı kəskin şəkildə azaldır.
- **Adaptiv ekvalizasiya:** Siqnalın kanalda məruz qaldığı təhrifləri kompensasiya edir.

Effektiv demodulyasiya: Mürəkkəb alqoritmlər vasitəsilə zəif FSK siqnallarını səs-küy fonunda daha dəqiq deşifrə edir. Şəkil 1-də QDFƏRS siqnalının ötürücüdən qəbulediciyə qədər keçdiyi yolu və hər mərhələdə maneələrə qarşı tətbiq olunan müdafiə mexanizmləri göstərilmişdir.



Şəkil 1. QDFƏRS-də maneəyə davamlılığın çoxqatlı müdafiə sxemi

QDFƏRS – də yeni trendlər və çağırışlar. QDFƏRS sistemi statik deyil və texnoloji inkişaflara paralel olaraq təkamül edir. IMO tərəfindən həyata keçirilən QDFƏRS – modernizasiyası proqramı bir sıra mühüm yenilikləri nəzərdə tutur ki, bu da maneələrə davamlılıq konsepsiyasına yeni tələblər qoyur [1,2,3,4].

VHF data mübadilə sistemi (VHF Data Exchange System - VDES) VDES, gələcəkdə ənənəvi VHF DSC və AIS (**Avtomatik İdentifikasiya Sistemi**) sistemlərini birləşdirərək və genişləndirərək daha yüksək sürətli data mübadiləsini təmin edəcək. VDES, gəmi-sahil, gəmi-gəmi

və gəmi-peyk arasında rəqəmsal məlumatların (məsələn, dəniz təhlükəsizlik məlumatları, meteoroloji xəbərdarlıqlar, elektron naviqasiya dataları) ötürülməsini nəzərdə tutur.

- **Yeni çağırış:** Daha yüksək data ötürmə sürəti (məsələn, 32 kbps-ə qədər) daha geniş zolaq və daha mürəkkəb modulyasiya növlərinin (məsələn, QPSK, 16-QAM) istifadəsini tələb edir. Bu modulyasiya növləri FSK-ya nisbətən səs-küyə daha həssasdır.
- **Həll yolları:** VDES standartlarında bu həssaslığı kompensasiya etmək üçün daha güclü və adaptiv FEC alqoritmləri (məsələn, Turbo və ya LDPC kodları) və çoxsaylı ötürmə kanallarından istifadə edən qabaqcıl signal emalı texnikaları tətbiq ediləcəkdir. Şəkil 1-də QDFƏRS -də maneəyə davamlılığın çoxqatlı müdafiə sxemi göstərilmişdir [3,4,6,7].

Proqramla müəyyən edilən radio (Software-Defined Radio - SDR). SDR, radio avadanlıqlarının funksionallığının (modulyasiya, filtrləmə, dekodlaşdırma) əsasən proqram təminatı ilə idarə olunduğu bir texnologiyadır.

- **Gələcək üçün əhəmiyyəti:** SDR, QDFƏRS avadanlıqlarına misilsiz çeviklik verir. Gələcəkdə yeni protokollar və ya daha effektiv maneəyə davamlı alqoritmlər yarandıqda, gəmidəki avadanlığı dəyişdirmədən, sadəcə proqram təminatını yeniləməklə sistemi təkmilləşdirmək mümkün olacaq. SDR, həmçinin real vaxt rejimində radioefir şəraitini analiz edərək ən optimal rabitə parametrlərini (tezlik, modulyasiya növü) avtomatik seçə bilən "koqnitiv radio" sistemlərinin tətbiqi üçün zəmin yaradır.

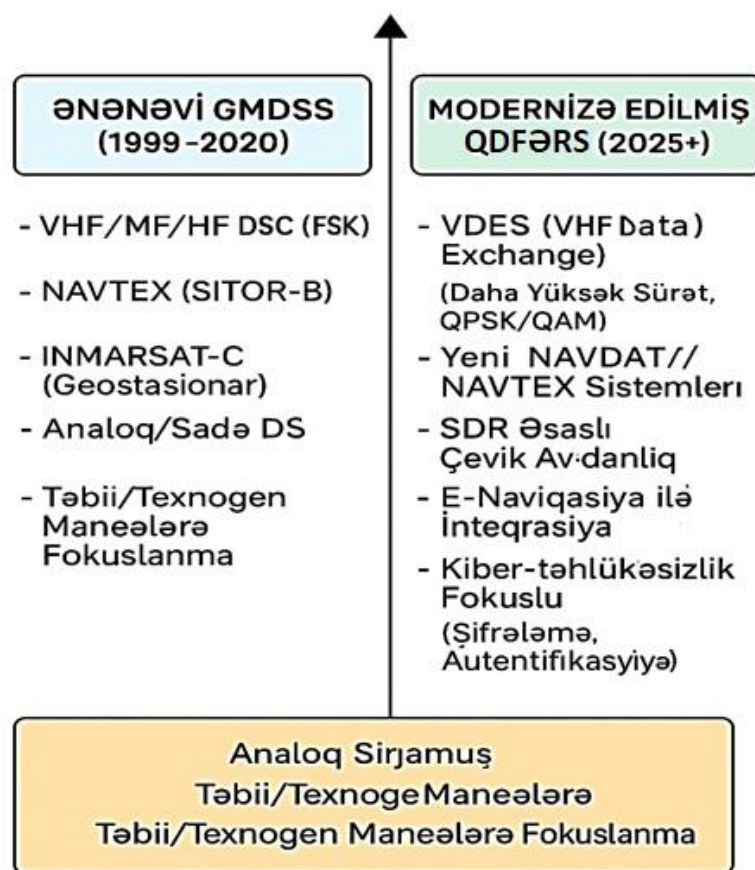
Yeni nəsil peyk xidmətlərinin integrasiyası. Ənənəvi olaraq QDFƏRS peyk rabitəsi geostasionar orbitdəki INMARSAT peyklərinə əsaslanırdı. 2020-ci ildən etibarən, aşağı yer orbitində (LEO) yerləşən Iridium peyk şəbəkəsi də QDFƏRS xidmətləri üçün təsdiqlənmişdir.

- **Üstünlükləri:** Iridium, qütb bölgələri də daxil olmaqla, həqiqi qlobal əhatə dairəsi təmin edir. LEO peykləri yerə daha yaxın olduğundan signalın gecikməsi (latency) daha azdır və ötürücülər daha az enerji tələb edir.
- **Texnoloji tələblər:** LEO peyklərinin sürətli hərəkəti Doppler sürüşməsi kimi yeni texniki problemlər yaradır. Bu problemlərin həlli üçün peyk terminallarında signalın tezliyini və fazasını daimi izləyən və korreksiya edən mürəkkəb DSP alqoritmləri tətbiq olunur.

Kiber-təhlükəsizlik: yeni nəsil "maneə". Rəqəmsallaşma və şəbəkəyə integrasiya artdıqca, GMDSS sistemləri yeni növ təhdidlərlə üzləşir: qəsdli kiber-hücumlar.

- **GPS spoofing:** Gəminin mövqeyini təyin edən GPS signalının saxtalaşdırılması. Fəlakət signalında yanlış koordinatların ötürülməsi xilasetmə əməliyyatlarının tamamilə iflasa uğramasına səbəb ola bilər.
- **AIS spoofing:** Gəmilərin kimlik və mövqe məlumatlarının saxtalaşdırılması ilə toqquşma riski yaratmaq.
- **Jamming:** Rabitə kanallarının qəsdli şəkildə güclü maneə signalı ilə boğulması [1,2,3,4,7].

Müdafiə yolları. Gələcək QDFƏRS protokollarına məlumatların autentifikasiyası (ötürülən məlumatın mənbəsinin təsdiqlənməsi) və şifrələnməsi (encryption) kimi kiber-müdafiə mexanizmlərinin integrasiyası zəruridir. Bu, təkcə təbii səs-küyə deyil, həm də "ağıllı" və qəsdli maneələrə qarşı davamlılığı təmin edəcəkdir. Şəkil 2-də QDFƏRS-in təkamülü və modernizasiyası verilmişdir. Bu sxem QDFƏRS-in keçdiyi təkamül yolunu, ənənəvi sistemin fokuslandığı problemlərdən modernizə edilmiş sistemin qarşılaşdığı daha kompleks və çoxşaxəli çağırışlara keçidi vizual olaraq əks etdirir. Şəkil 2 – də QDFƏRS – in təkamülü və modernizasiyası əks :olunmuşdur:



Şəkil 2. QDFƏRS-in təkamülü və modernizasiyası

Nəticə. Aparılmış təhlillərdən məlum olmuşdur ki, QDFƏRS rabitə sistemlərində maneələrə davamlılıq konsepsiyası sadəcə siqnalın fiziki bütövlüyünü qorumaqdan çıxaraq, məlumatın məxfiliyini, təmliğini və mənbəsinin doğruluğunu təmin edən hərtərəfli bir təhlükəsizlik çərçivəsinə çevrilir. Bu təkamül, QDFƏRS – in növbəti onilliklərdə də dənizdə təhlükəsizliyin qızıl standartı olaraq qalmasını təmin edəcəkdir.

Ədəbiyyat

1. International Maritime Organization (IMO). (2019). *GMDSS Manual*. London: IMO Publishing. (ISBN: 978-92-801-1719-2).
2. International Telecommunication Union (ITU). (2020). *Radio Regulations, Edition of 2020*. Geneva: ITU.
3. IMO Model Course 1.25. (2015). *General Operator's Certificate for the GMDSS*. London: IMO Publishing.
4. IMO Model Course 1.26. (2015). *Restricted Operator's Certificate for the GMDSS*. London: IMO Publishing.
5. Iridium Communications Inc. (2020). *Iridium GMDSS User Manual*. McLean, VA: Iridium.
6. Johnson, R. C., & J. R. Norris. (2021). "Performance Analysis of VDES R-Mode under Realistic Maritime Interference Conditions". *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 46(3), pp. 789-802.
7. Resolution MSC.496(105). (2022). *Amendments to the International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974*. International Maritime Organization (IMO).

*Məqalə qəbul olunub: 30.10.25
 Təvsiyə edib: dos. Sultanov E.F.*