

## АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ АВТОМАТИЧНОГО ВСТАНОВЛЕННЯ РАДІОЗВ'ЯЗКУ У ДКМХ-ДІАПАЗОНІ ЧАСТОТ

**Ільченко О. О.**

*старший помічник начальника навчального відділу  
Інституте Військово-Морських Сил Національного університету «Одеська морська академія»  
ORCID ID: 0000-0001-5585-5020*

**Бондаренко Л. О.**

*старший науковий співробітник  
Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут  
ORCID ID: 0000-0003-1850-0508*

**Бондаренко Т. В.**

*старший науковий співробітник  
Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут  
ORCID ID: 0000-0002-2879-2041*

**Масесов М. О.**

*начальник наукового центру зв'язку та інформатизації  
Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут  
ORCID ID: 0000-0003-4537-4295*

**Руденко В. І.**

*старший науковий співробітник  
Військового інституту телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут  
ORCID ID: 0000-0003-3563-548X*

**Анотація.** *Необхідність постійного вдосконалення засобів радіозв'язку впливає зі зростаючої потреби передачі голосу і даних із високою живучістю і пропускнуою спроможністю каналів у радіолініях, що забезпечують обмін інформацією між органами військового управління, військовими частинами, підрозділами і системами озброєнь.*

*Проблема підвищення ефективності функціонування складних систем, до яких належать і адаптивні системи радіозв'язку (АСР), тісно пов'язана із забезпеченням заданого рівня їхніх якісних показників в умовах впливу чинників, що дестабілізують, навмисних і ненавмисних завад. Дослідження питань, пов'язаних із завданнями управління якістю функціонування адаптивних систем, має низку методологічних особливостей, побудованих на парадигмах теорії систем та теорії управління.*

*Технологія ДКМХ-радіозв'язку зробила величезний крок уперед із прийняттям стандарту радіозв'язку MIL-STD-188-141B (1999 р.), що є модернізацією стандарту MIL-STD-188-141A (1988 р.), відомого як стандарт ALE. STANAG 4538 (2009 р.), та Додаток С до стандарту MIL-STD-188-141B (2011 р.), що визначає уніфікований синхронний протокол 3-го покоління для обміну даними у ДКМХ-діапазоні, що передбачає використання одноканальної блокової сигнальної послідовності для організації та функціонування ДКМХ-з'єднання, а також застосування механізмів збільшення швидкості обміну даними. Стандартизація цього протоколу Агентством НАТО зі стандартизації та Міністерством оборони США свідчить про намір широкого його застосування для організації мереж ДКМХ-радіозв'язку військового призначення, оскільки автоматичне встановлення ДКМХ-зв'язку за технологією третього покоління (3G-ALE) досягає значних покращень показників функціонування радіолінії порівняно з технологією другого покоління (2G-ALE) у швидкості з'єднання, розмірі мережі та пропускнуою спроможністю каналів.*

*Стаття містить огляд адаптивних систем радіозв'язку 2-го (2G ALE) та 3-го (3G ALE) поколінь. Наведено огляд методів автоматичного складання ДКМХ-радіоканалів (ALE), що використовуються за кордоном. Розглянуто процедури ALE відповідно до MIL-STD-188-141A, ARINC 635, MIL-STD-188-141B, STANAG 4538. Приведено загальний аналіз системних характеристик цих технологій. Наведено теоретичні та експериментальні результати, що відображають переваги та обмеження адаптивної обробки сигналів.*

**Ключові слова:** *адаптивні системи радіозв'язку, технологія ДКМХ-радіозв'язку, процедури ALE.*

**Ichenko O. O., Bondarenko L. O., Bondarenko T. V., Masesov M. O., Rudenko V. I.**  
**ANALYSIS OF TECHNOLOGIES OF AUTOMATIC ESTABLISHMENT**  
**OF RADIO COMMUNICATION IN THE DKMH FREQUENCY RANGE**

**Abstract.** *The need for constant improvement of radio communication means arises from the growing need for voice and data transmission with high survivability and bandwidth of channels in radio lines, which ensure the exchange of information between military control bodies, military units, units and weapons systems.*

*The problem of increasing the efficiency of the functioning of complex systems, which includes adaptive radio communication systems (ASR), is closely related to ensuring a given level of their quality indicators under the influence of destabilizing factors, intentional and unintentional interference. The study of issues related to the tasks of managing the quality of the functioning of adaptive systems has a number of methodological features built on the paradigms of systems theory and management theory.*

*DKM radio communication technology has taken a huge step forward with the adoption of the MIL-STD-188-141B (1999) radio communication standard, which is an upgrade of the MIL-STD-188-141A (1988) standard, better known as the ALE standard. STANAG 4538 (2009) and Appendix C of the MIL-STD-188-141B standard (2011) define a unified 3rd generation synchronous protocol for data exchange in the DKMH range, which involves the use of a single-channel block signaling sequence for the organization and the functioning of the DKMH connection, as well as the use of mechanisms for increasing the speed of data exchange. The standardization of this protocol by the NATO Agency for Standardization and the US Department of Defense indicates the intention of its widespread use for the organization of DKMH radio communication networks for military purposes, since the automatic establishment of DKMH communication using the third generation technology (3G-ALE) achieves significant improvements in performance indicators radio lines compared to the technology of the second generation (2G-ALE) in connection speed, network size and channel capacity.*

*The task of this study is to analyze automatic connection establishment (ALE) technologies, taking into account the published research materials. The analysis carried out should contribute to the in-depth study of modern radio systems of the DKMH wave range for the purpose of qualitative planning of their use.*

*The purpose of the article is to analyze the technical parameters of adaptive radio communication systems with automatic connection establishment (ALE).*

*The article is published as a reference material for those who study modern radio technologies, investigate the peculiarities of the operation of DKMH radio lines of the wave range, plan and make decisions regarding the deployment of adaptive DKMH radio lines for special purposes.*

*The article contains an overview of adaptive radio communication systems of the 2nd (2G ALE) and 3rd (3G ALE) generations. An overview of the methods of automatic assembly of DKMH radio channels (ALE) used abroad is given. Considered ALE procedures in accordance with MIL-STD-188-141A, ARINC 635, MIL-STD-188-141B, STANAG 4538. A general analysis of the system characteristics of these technologies is provided. Theoretical and experimental results reflecting the advantages and limitations of adaptive signal processing are presented.*

**Key words:** *adaptive radio communication systems, DKMH radio communication technology, ALE procedures.*

## **Вступ**

**Постановка проблеми.** Стан радіозв'язку в ДКМХ-діапазоні хвиль суттєво залежить від години доби, пори року, а також етапу 11-річного циклу сонячної активності. Ба більше, іоносферні бурі, зумовлені спалахами на сонці, можуть викликати значні швидкі зміни частот, доступних до роботи. Найважливішим моментом в організації ліній адаптивного ДКМХ-зв'язку є автоматизація процедур автоматичного встановлення з'єднання (ALE) на базі автоматичного вибору робочих частот з оцінкою якості каналу зв'язку.

Технологія автоматичного встановлення з'єднання передбачає наявність уніфікованих правил, процедур та протоколів організації каналу зв'язку та надання його користувачеві. Ці правила можуть бути узаконені на користь

якоїсь однієї мережі зв'язку, у рамках конкретної системи мереж і систем зв'язку або як національний стандарт. В Україні немає національного стандарту на цю технологію. Існує кілька варіантів її реалізації у радіосистемах зарубіжного виробництва. Кожен із цих варіантів має свої позитивні особливості та передбачає перерозподіл функцій організації зв'язку між оператором та радіосистемою. Відсутність вітчизняного стандарту ускладнює вивчення сучасних радіотехнологій, дослідження особливостей роботи радіоліній ДКМХ-діапазону хвиль, планування та прийняття рішень на розгортання адаптивних ДКМХ-радіоліній спеціального призначення.

Завданням цього дослідження є аналіз технологій автоматичного встановлення з'єднань (ALE) з урахуванням опублікованих

матеріалів досліджень. Аналіз, що проводиться, повинен сприяти поглибленому вивченню сучасних радіосистем ДКМХ-діапазону хвиль із метою якісного планування їх застосування.

**Актуальність викладеного матеріалу** полягає у тому, що технологія 2G-ALE, що визначена стандартом MIL-STD-188-141A [1], забезпечила досить стійку, надійну та функціонально сумісну технологію встановлення зв'язку, що призвело до відродження інтересу до ДКМХ-радіо. У подальшому технологія 2G-ALE була доопрацьована для підтримки програм передачі даних на ДКМХ. Однак згодом зростання кількості ДКМХ-мереж виявило потребу в розгортанні великих мереж в існуючому діапазоні хвиль за рахунок зменшення службового трафіка.

Спільні зусилля урядів країн НАТО з розвитку технологій ДКМХ-радіозв'язку, промисловості та наукових кіл призвели до створення та впровадження технологій 3G-ALE, які були стандартизовані у Додатку С стандарту США MIL STD-188-141B [2] та запропоновані стандартом НАТО STANAG 4538 [3].

Однією із цілей розроблення технології 3G-ALE була ефективна підтримка передачі даних за IP-протоколом в однорангових мережах зі значною (понад 1 тис) кількістю станцій.

Прийняття на постачання ЗС України радіостанцій виробництва компаній Harris та Aselsan, які створені на базі стандартів НАТО, вимагає від фахівців радіозв'язку поглиблення розуміння суті автоматизації ДКМХ-радіозв'язку, перспектив його розвитку, нових підходів під час вивчення, планування та експлуатації сучасних радіосистем.

**Аналіз останніх джерел та публікацій.** У публікаціях, наприклад [2–8], розглядаються та аналізуються технології автоматизації ДКМХ-радіозв'язку, які рекомендують можливі сьгодні поліпшення показників якості послуг за рахунок застосування недорогих технологій обробки сигналу в модемі.

Публікації [1–3] є нормативними документами уряду США (стандартами), які визначають напрями сучасного розвитку засобів ДКМХ-радіозв'язку із застосуванням технологій автоматизації з метою ефективної підтримки

передавання мультисервісного трафіку в однорангових мережах із великою кількістю станцій.

Стандарт на процедуру автоматичного встановлення радіозв'язку MIL-STD-188-141A [1] та його цивільна версія FED-STD-1045 розроблено у США в 1988 р. Стандарт визначає протоколи автоматичного ведення зв'язку з автовибором оптимальної частоти в радіолінії. Він описує процедури сканування приймача, селективного виклику із зондуванням та без нього, оцінки якості каналу в реальному масштабі часу.

Стандарт MIL-STD-188-141B [2] прийнято у 1998 р. і є модернізацією стандарту MIL-STD-188-141A. Додаток С стандарту MIL-STD-188-141B визначає уніфікований синхронний протокол 3-го покоління для обміну даними в ДКМХ-діапазоні, що передбачає використання одноканальної блокової сигнальної послідовності для організації та функціонування ДКМХ-з'єднання, а також застосування механізмів збільшення швидкості обміну даними. Уніфікований протокол третього покоління, далі іменованій як 3G-HF, призначений для використання в мережах із високою густиною трафіку (як голосового, так і трафіку цифрових даних).

Стандарт НАТО STANAG 4538 [3] є аналогом стандарту MIL-STD-188-141B, Додаток С [2], і використовується лише у військових мобільних системах. Ці два стандарти являють собою майже ідентичні протоколи за винятком того, що MIL 188-141B виключає режим FLSU (FastLinkSetUp) і є застосуванням 8-тонових сигналів послідовного тонального модему, де також підтримується зворотна сумісність з 2G ALE.

Довідник МСЕ 2002 «Частотно-адаптивні системи та мережі зв'язку в СЧ/ВЧ смугах частот» [4] містить:

загальні відомості про сучасні технології, що дають змогу вирішувати проблеми забезпечення відповідності характеристик систем СЧ/ВЧ мінливості іоносферного каналу, а також технічний опис деяких діючих систем;

опис функціональних складників радіосистем із використанням еталонної моделі взаємодії відкритих систем (OSI);

відомості про аспекти поширення радіосигналу в іоносфері в режимі відбитої хвилі як

однієї з головних причин застосування адаптивних технологій;

застосування методів іоносферного зондування та оцінки якості каналу як одного із загальних методів оцінки якості, що дає змогу провести контроль зайнятості/завантаження та оцінки якості каналу;

відомості про управління, включаючи автоматичне встановлення з'єднання (ALE) та автоматичне утримання каналу зв'язку (ALM), які будуються на стандартизованих процедурах, визначених у нормативних документах [1–3];

опис моделі, яка хоча і не є універсальною, проте дає змогу користувачеві системи уникнути необхідності вникати в подробиці сервісу розповсюдження.

Основною метою публікації [4] є розширення використання адаптивних технологій у радіозв'язку цивільного застосування, підкреслюючи можливі на сьогоднішній момент покращення показників за рахунок застосування недорогих технологій обробки сигналу в модемі.

У публікації [5] описано та задокументовано дослідження Норвезького інституту оборонних досліджень (FFIProject 822 SIGVATHF), що виконане в 2005–2007 рр., у якій опубліковано два супутніх звіти: «Стандарти НАТО для ВЧ-зв'язку – огляд та технічний опис» та «Тестування продуктивності STANAG 4406 (обмін військовими повідомленнями) з використанням IP на ВЧ».

У матеріалах міжнародної конференції MILCOM 1999 [6] Ерік Джонсон надає результати моделювання встановлення з'єднання (ALE) та автоматичного утримання каналу зв'язку (ALM) ДКМХ-ліній зв'язку 3-го покоління (3G-ALE). Розглядаються два сценарії організації мережі зв'язку: сценарій «Повітря – Земля» та сценарій «Земля – Земля». Аналізуються результати моделювання і робиться висновок, що третє покоління технології автоматизації ДКМХ-зв'язку досягло поліпшень у плані розмірів мережі, пропускної спроможності мережі, необхідного відношення «сигнал/перешкода» порівняно з другим поколінням цієї технології.

У публікації [7] проводиться огляд багаторівневої архітектури технології автоматизації

ДКМХ-радіозв'язку. Потім слідує короткий огляд форм сигналів, що становлять фізичний рівень, і огляд рівня каналу передачі даних (DLL). Огляд рівня каналу передачі даних включає описи протоколів установки з'єднання (CSU) та налаштування трафіку (TSU), протоколів каналу передачі даних із високою та низькою швидкістю, а також протоколу каналу. Нарешті, у документі обговорюється структура моделювання всієї системи обміну повідомленнями HF.

У публікації, яка вміщена в матеріалах міжнародної конференції MILCOM 1999 [8], описується набір методів, які були розроблені та застосовані для моделювання великих мереж стаціонарних та мобільних радіостанцій. У статті обговорюється точність прогнозів, а також вимоги до пам'яті аналізаторів іоносфери та час роботи нових методів прогнозування поширення ДКМХ-радіохвиль.

У публікації MIL-STD-187/721C [9] проводиться опис технічних параметрів адаптивного ДКМХ-радіо, які більш досконалі, ніж ті, що описані в MIL-STD-188-141. Цей документ структурований за сегментами, і кожен сегмент додавався у міру його розроблення. Водночас ці сегменти визначатимуть планування військової технології адаптивної ДКМХ-радіомережі у XXI ст. Щоб повністю зрозуміти та використати цей документ, необхідно звернутися до частин MIL-STD-188-141 для основних критеріїв автоматичного встановлення з'єднання (ALE).

**Мета статті** – аналіз технічних параметрів систем адаптивного радіозв'язку з автоматичним установленням з'єднання (ALE).

Стаття публікується як рекомендаційний матеріал для тих, хто вивчає сучасні радіотехнології, досліджує особливості роботи радіоліній ДКМХ-діапазону хвиль, планує та приймає рішення щодо розгортання адаптивних ДКМХ-радіоліній спеціального призначення.

Виклад основного матеріалу

Створенню адаптивних систем радіозв'язку передувала низка теоретичних розробок, які умовно можна розділити на два напрями:

**перший напрям** являє собою статистичну теорію прийняття рішення і оцінку потенційної завадостійкості, що націлена на розроблення оптимальних методів прийому



та обробки переданих сигналів на тлі флуктуаційного шуму, взаємних і навмисних завад;

**другий напрям** ґрунтується на понятті ентропії кількості інформації, що дає змогу проводити кількісний опис процесів передачі інформації, встановити загальні закономірності і визначити пропускну спроможність каналу. Даний підхід, головним чином, зосереджений на кодуванні і декодуванні, розглядуваних із найбільш загальних позицій.

Адаптивна ДКМХ-система – це система, яка автоматично (тобто без утручання радіооператора) виконує функції зі створення ліній радіозв'язку та оптимального обміну інформацією, незважаючи на мінливість умов та високу ймовірність завад, які властиві для іоносферного поширення сигналу [4]. Окрім того, адаптивні системи здатні вести регулярний моніторинг завантаженості спектру і вибирати робочі частоти так, щоб не створювати завад іншим користувачам, набагато більш ефективно, ніж багато хто з неадаптивних систем, що використовуються сьогодні [4].

ALE виникла зі старої технології вибіркового виклику ДКМХ-радіо. Вона об'єднала концепції вибіркового виклику зі скануванням каналів та мікропроцесорами, що дають змогу проводити попереджувальну корекцію помилок (FEC), приймати рішення щодо оцінки якості каналу (LQA), пакетною передачею (мінімізуючи міжканальні завади) та транспортуванням (забезпечуючи автоматичну роботу та сигналізацію вхідного трафіку). Спільні зусилля виробників та уряду США призвели до другого покоління 2G-ALE, яке включало функції систем першого покоління й одночасно покращувало продуктивність. Перший стандарт на процедуру автоматичного складання каналу MIL-STD-188-141A [1] та його цивільну версію FED-STD-1045 розроблено у США в 1988 р. Стандарт визначає протоколи автоматичного ведення зв'язку з автовибором оптимальної частоти в одному радіонапрямі та в мережі. Він описує процедури сканування приймача, селективного виклику із зондуванням та без нього, оцінки якості каналу в реальному масштабі часу.

Наприкінці 1990-х років з'явилася нова версія стандарту автоматичного складання ДКМХ-радіоканалу третього покоління

3G-ALE зі значно покращеними можливостями та продуктивністю.

Автоматичне встановлення з'єднання (ALE) є ефективним інструментом визначення кращого каналу з числа присвоєних для встановлення зв'язку та передачі трафіку між кореспондентами.

Підвищення ефективності роботи систем ДКМХ-радіозв'язку з автоматичним установленням з'єднання має досягатися за рахунок застосування [1–4; 9]:

автоматизації аналізу якості присвоєних радіочастотних каналів (LQA), формування, структуризації та зберігання характеристик, що аналізуються;

методів автоматичного вибору каналу (ACS) та автоматизації встановлення з'єднання (ALE);

автоматичного вибору оптимального каналу (ACS) відповідно до результатів LQA для встановлення і ведення зв'язку;

використання одних і тих самих каналів різними мережами шляхом скорочення часу зайняття каналу і зменшуючи ймовірність створення міжканальних завад;

оптимізації випромінювань у результаті використання складних сигнально-кодових конструкцій;

протидії ефектам багатопроменевого поширення радіохвиль методом адаптивного вирівнювання посилення в смузі пропускання приймальних пристроїв;

мінімізації потужності передавачів, необхідної для кожної передачі сигналів;

використання новітніх технологій цифрових модемів (пряме виправлення помилок, адаптивне вирівнювання й адаптація приймача по відношенню до прийнятих сигналів) разом із ALE і ACS;

захисту адресації;

захисту від імітації з'єднання або незаконного з'єднання (антиспуфінг).

Система ALE повинна включати основні експлуатаційні правила, що перераховані в табл. 1 [1–5; 9].

Підхід, який використовується у цьому дослідженні, полягає у тому, щоб описати аудіотехнологію ALE у поняттях рівнів еталонної моделі взаємодії відкритих систем (OSI), взаємозв'язок яких показано на рис. 1.

Таблиця 1

## Експлуатаційні правила ALE

Експлуатаційні правила ALE	Примітка
Можливість незалежного прийому ALE (паралельно з іншими модемами і з імпульсними аудіоприймачами)	Критично
Завжди слухати (для сигналів ALE)	Критично
Обов'язкова відповідь	Якщо немає навмисної заборони
Постійне сканування	Якщо не використовується інакше
Невтручання в активний канал під час передачі виявленого трафіку відповідно до встановлених параметрів радіосистеми	Якщо тільки ця функція прослуховування не скасована іншим оператором або контролером
Постійний обмін LQA з іншими станціями за запитом і систематичне вимірювання якості сигналу інших станцій	Якщо не заборонено
Відповіді у відповідному часовому інтервалі на виклики, що вимагають інтервальних відповідей	Критично
Систематичний пошук і відстеження зв'язків з іншими радіостанціями	Якщо не заборонено
Використання найвищого рівня взаємних можливостей радіосистем під час встановлення з'єднання в режимі ALE	Критично
Мінімізація часу передачі і прийому на каналі	Критично
Автоматична оптимізація потужності передавача під час встановлення з'єднання і передачі трафіку	Якщо це можливо

Найнижчий рівень – фізичний, який відповідає за фізичне переміщення повідомлення з одного пункту до іншого. Над цим рівнем знаходиться каналний рівень, на якому зазвичай реалізується принцип ALE. Ще вище лежить мережевий рівень, який відповідає за з'єднання кількох радіосистем у єдину мережу. Найвищий рівень – це оператор або системні функції високого рівня, що відповідають за створення та отримання повідомлень або даних. Використовуючи таку систему рівнів, простіше зрозуміти основи того, як до звичайного радіозв'язку додаються функції автоматизації та адаптивності.

2G-ALE – це технологія асинхронного автоматичного встановлення з'єднання, суть якої полягає у тому, що контролер модему 2GALE

постійно здійснює сканування заздалегідь сформованого списку каналів, виконує зондування, накопичуючи статистику якості проходження радіосигналу, відповідає на виклики, що приймаються з інших радіостанцій

Реалізація радіотехнології 2G-ALE полягає у виконанні стандартизованих процедур адаптивного зв'язку, що перелічені в [1], а саме:

**«виклик»** – установка основного каналу, яка виконується за рахунок триразового обміну даними між сторонами, які зв'язуються, шляхом обміну сигналами: «виклик», «відгук», отримання «відгуку»;

**«скануючи виклики»** – сканування виділеного пулу частот станціями (станцією) мережі, які необхідно викликати, шляхом прослуховування послідовності каналів, на предмет виявлення скануючого сигналу;

**«завершення роботи каналу»** – активне роз'єднання каналу шляхом передачі певного типу сигналу на роз'єднання каналу з переводом станції в режим сканування;

**«сервісні команди»** – виконання функцій управління каналами і пакетами даних, для передачі яких використовуються секції повідомлень кадру ALE:

а) команда «автоматично відобразити повідомлення» (AMD);

б) команда «аналіз якості каналу» (LQA);

в) необов'язкові режими передачі тестових повідомлень даних (DTM) і блоків даних (DBM) забезпечують роботу радіостанції в режимі ARQ.

Таким чином, виконання процедур асинхронного автоматичного встановлення з'єднання призводить до збільшення тривалості часу пошуку необхідної станції, яка не синхронізована в мережі, що займає від кількох секунд до хвилини. Однак переважна більшість систем ALE, що використовуються сьогодні у світі, належать до 2G-ALE.

Для роботи в мережах із високою інтенсивністю трафіку розроблено уніфікований протокол третього покоління, іменованій як

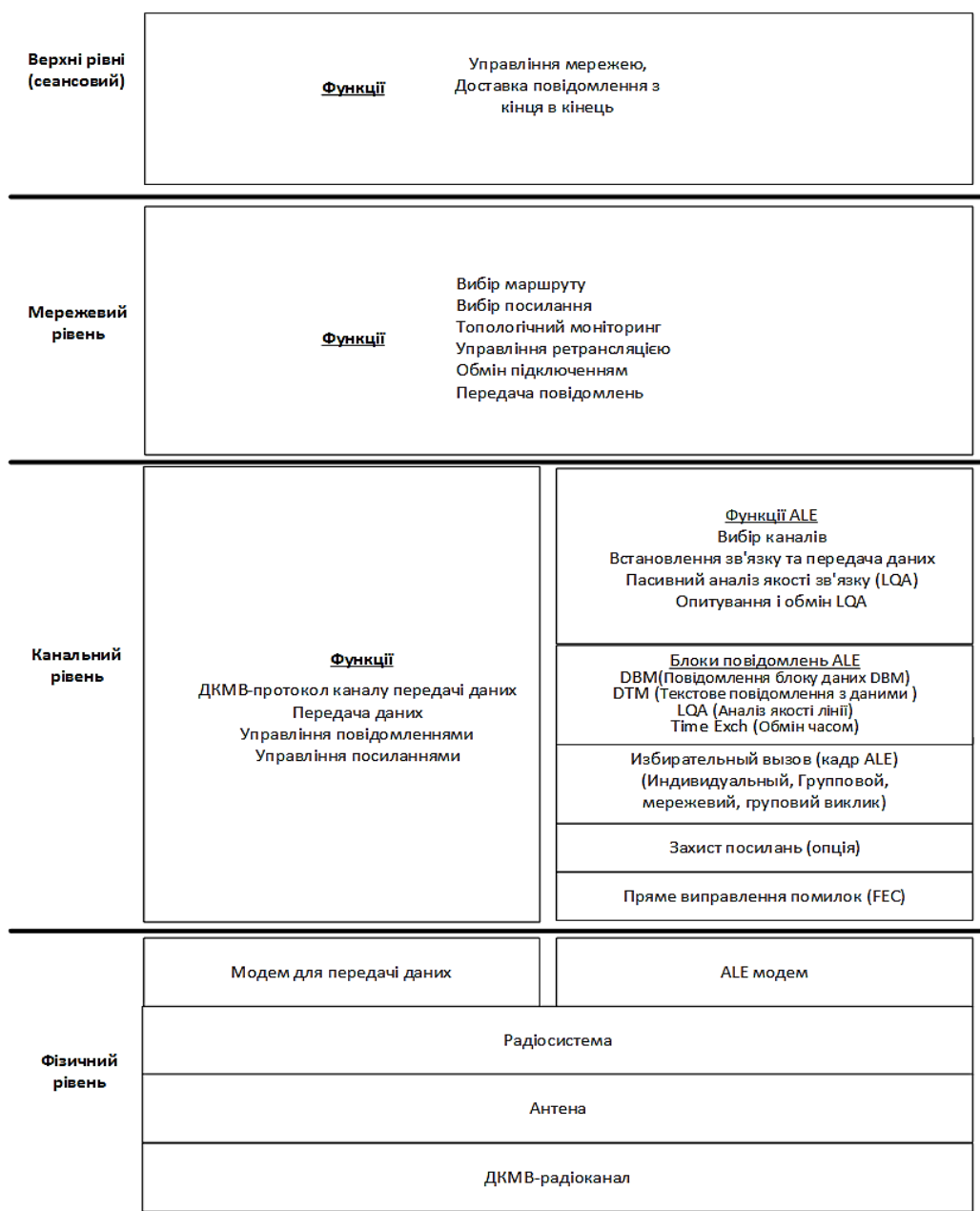


Рис. 1. Адаптивна радіосистема у поняттях рівнів еталонної моделі взаємодії відкритих систем (OSI)

3G-ALE, який передбачає використання одно-канальної блокової сигнальної послідовності для організації та функціонування ДКМХ-з'єднання, а також застосування механізмів збільшення швидкості обміну даними.

Протоколи 3G-ALE стандартизовані у вигляді документа MIL-STD-188-141B [2], Додаток С та STANAG 4538 [3]. Ці два стандарти є майже ідентичними протоколами за винятком того, що MIL 188-141B виключає режим FLSU (англ. Fast Link Set Upprotocol)

і є застосуванням 8-пакетних сигналів послідовного тонального модему, де також підтримується зворотна сумісність із 2G. Обидва стандарти 3G-ALE вимагають взаємодії з 2G-ALE.

3G-ALE визначає концепцію автоматичної радіосистеми (ARCS) для ДКМХ-ліній військового зв'язку, що підтримує інтерфейс Інтернет-протоколу (IP).

Концепція ARCS складається з трьох основних функцій:

автоматичний вибір каналу (ACS);  
 автоматичне встановлення каналу (ALE);  
 автоматичне обслуговування каналу (ALM).  
 3G-ALE – це синхронний<sup>1</sup> режим роботи радіосистеми, призначений для швидкого й ефективного встановлення зв'язку в радіоолініях. Він підтримує роботу в транковому режимі (окремі канали виклику і трафіку), а також спільне використання будь-якого піднабору частотного пулу між викликом і трафіком. Він використовує протокол множинного доступу з контролем несучої (CSMA).

Технологія 3G-ALE використовує поділ абонентів мережі на групи (кластеризація абонентів мережі), які контролюють різні канали в кожній точці сканування. Виклики, що спрямовані на станції-абоненти мережі, розподіляються за частотою та/або часом. Кластеризація значно знижує можливість переваження каналів виклику 3G-ALE в умовах високого навантаження. Набір станцій, які контролюють одні і ті ж канали в один і той самий час, називається групою затримки.

Реалізація технології 3G-ALE полягає у виконанні стандартизованих процедур адаптивного зв'язку, а саме [2; 3]:

**автоматичний вибір каналу (ACS)** шляхом вибору частот (із набору присвоєних), що задовольняють критеріям обміну інформацією з використанням комбінації даних про прогнозі поширення та результатів вимірювань за допомогою ALE;

**сканування частот** (зі списку призначених каналів виклику), прослуховуючи виклики 2G або 3G у синхронному режимі за групами сканування, розділених за часом і/або частоті для зменшення ймовірності колізій серед викликів 3G-ALE.

**синхронний огляд викликів** із метою пошуку потрібного каналу, що задовольняє вимогам передачі, для передачі трафіку із зазначенням його типу.

Структура синхронного інтервалу сканування показана на рис. 2;

**селективний виклик** станцій, які не беруть участі в сеансі зв'язку з використанням призначених адрес (позивних);

**керування каналом виклику** (за динамічного призначення каналів до списку сканування) за допомогою протоколів керування мережею (HNMP або SNMP), що програмним способом оптимізує список для сканування частот за прогнозами умов розповсюдження радіохвиль;

**зондування**, що здійснюється в асинхронних мережах 3G-ALE. У звичайних умовах у системах 3G-ALE зондування не потрібне;

**адресація** як функція переведення адрес вищого рівня (IP-адрес) у такі, які відповідали б схемі адресації локальної мережі;

**установлення з'єднання** як процедура забезпечення зв'язку приймачів, що прослуховують ефір, із передавачами, які налаштовані на певний канал із метою передачі трафіка. Посилка виклику і встановлення з'єднання аналогічні системі 2G-ALE;

**виклик у радіомережі** (точка – багаточка) із використанням одного з протоколів: радіомовного (для всіх станцій мережі) та багатоадресної передачі (для заздалегідь організованих груп станцій мережі);

**багатоадресні виклики** з використанням PDU<sup>2</sup>-виклику (у режимі «точка – багаточка») під час установлення типу виклику «багатоадресний циркулярний». Станція, яка викликає, передає PDU-з'єднання, що містить

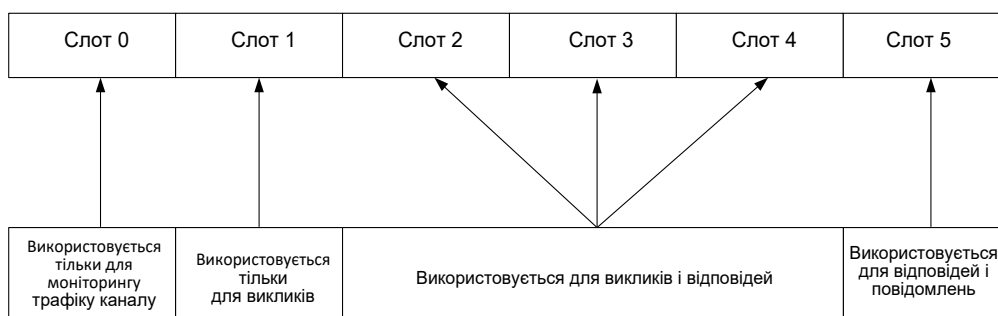


Рис. 2. Структура синхронного інтервалу сканування



команду «Почати передачу трафіка» і вказує канал, який буде використаний для передачі трафіка;

**радіомовні виклики.** Радіомовний PDU-виклик спрямовує усі станції, які взяли його, у конкретний канал трафіка, де буде використаний інший протокол (можливо, передачі мови).

**PDU-сповіщення** використовується у разі:

а) сповіщення інших станцій мережі про відхід із каналу передачі трафіка і повернення до сканування після завершення передачі трафіка (передається по одному або декількох каналах із прогнозованим задовільним поширенням сигналу);

б) переходу станції в режим радіомовчання (або EMCON) або відключення від мережі з метою зменшення витрат протоколів вищого рівня на спроби встановлення зміни стану станцій мережі;

в) PDU-сповіщення передаються в завершальному слоті інтервалу.

Порівняно з протоколом 2G-ALE протокол 3G-ALE має такі відмінності:

синхронне сканування каналів;

замість повідомлень AMD<sup>3</sup> використовуються повідомлення SMS;

відсутні асоційовані власні адреси;

відсутні 1–3 символні власної адреси;

відсутні виклики ALL та ANY;

відсутня максимальна кількість каналів, що скануються;

3G вимагає синхронізації часу із сервером TOD чи GPS;

3G має функцію LDV (LastDitchVoice) – це функція, яка дає змогу радіостанції передавати цифровий голос по каналу, який у нормальних умовах не придатний для цього;

3G використовує широкопasmовий адаптивний режим WBHF (Adaptive Wide Band High Frequency) для збільшення швидкості передачі.

У 3G STI/VoIP телефонія дає змогу здійснювати телефонні дзвінки через радіоканал та з IP-телефонів.

Режим 3G+ дає змогу радіостанції приймати та здійснювати виклики ALE, знаходячись у режимі 3G.

У публікації [6] представлено результати дослідження внеску кожної із цих процедур,

спрямованих на поліпшення характеристик ДКМХ-мереж 3G-ALE.

Дослідження проводилося методом імітаційного моделювання з використанням симулятора NetSim і двох мережевих сценаріїв: «повітря – повітря» і «земля – земля», реалізуючи архітектуру моделювання мережі зв'язку з дискретними подіями. У кожному зі сценаріїв було досліджено по два субсценарії: передача голосового трафіку та передача даних із різною інтенсивністю в мережах різного розміру. Критерієм оцінки технології 3G-ALE вибрано частку всіх повідомлень, для яких було встановлено придатний для використання зв'язок протягом заданого часу (30 сек.).

Результати моделювання для чотирьох сценаріїв та восьми протоколів описують внесок кожного основного фактору (функцій протоколу 3G) і кожної взаємодії у зміну загальної продуктивності, а також напрям, у якому використання цієї функції підвищило продуктивність мережі. У кожному з досліджених сценаріїв найважливішим фактором для максимізації кількості з'єднань, установлених протягом 30 секунд, було використано багатослотові протоколи. Наприклад, у сценарії передачі голосового трафіка використання багатослотових протоколів зробило позитивний внесок у продуктивність, яка становила 74 % від загальної варіації продуктивності зв'язування серед восьми вивчених протоколів.

Середній вплив як груп затримок, що тісно взаємодіють із багатослотовими затримками та транкінговими операціями, окремо було мінімальним. Протоколи з кількома слотами, особливо у поєднанні з групами затримок, на порядок зменшили навантаження каналу виклику, що призвело до меншої кількості відкладених викликів. Використання груп затримки зменшило кількість сторонніх викликів, що прослуховуються однослотовими станціями, що усунуло багато випадкових викликів та знизило ймовірність успіху першого дзвінка.

Відсутність виділеного слота для моніторингу каналів трафіку знижувала продуктивність транкінгової роботи в однослотовому режимі. Додавання транкінгу до протоколу з декількома слотами було важливим для підтримки найвищого навантаження трафіку

(5-хвилинні голосові виклики в повному сценарії «повітря – земля»), але менш важливе за більш легкого навантаження.

У [5] опубліковано результати досліджень, проведених Норвезьким інститутом оборонних досліджень. Основними цілями досліджень були:

перевірити ефективність протоколів 3G-ALE та порівняти їх із протоколами 2G-ALE;

вивчення проблем, що пов'язані з конфігурацією та оптимізацією мереж.

Дослідження проводилися методом натурних випробувань радіосистем 3G-ALE, а основним показником було вибрано пропускну здатність мережі.

Дослідження [5] показали таке:

застосування протоколів передачі HDL<sup>4</sup> забезпечує досягнення 45 % успіху передачі за пропускну спроможності приблизно 600 біт/с, а протокол LDL<sup>5</sup> – 80 % успіху передачі за пропускну здатності 125 біт/с (для найбільш сприятливого напрямку);

зв'язок із застосуванням протоколів FLSU (Fas tLink Set Upprotocol), що встановлені у STANAG 4538, дуже надійний – 85 % спроб з'єднання були успішними. Застосування протоколу швидкого встановлення з'єднання FLSU може забезпечувати з'єднання каналами з відношенням сигнал-шум до -7 дБ;

комбінація протоколів швидкого з'єднання FLSU/xDL здатна швидко адаптуватися до федингуючого ДКМХ-каналу на відміну від комбінації 2G сигналів ALE, Fed-Std 1052 та Mil-Std 188-110A. Також спостерігається значне збільшення пропускну спроможності під час використання FLSU/xDL порівняно з 2G;

підвищення пропускну спроможності залежить від розміру файлу та стану каналу. Перевагами FLSU/xDL є стійкі сигнали та використання комбінування кодів;

низьке відношення «сигнал/шум» на каналах було чинником, що обмежує продуктивність у досліджуваному наборі даних: ефект Доплера та розкид затримок здавалися менш шкідливими;

у середніх широтах протоколи технології 2G краще, ніж протокол LDL, для невеликих розмірів файлів та хороших умов каналу завдяки початковому налаштуванню швидкості передачі даних. Однак для найгірших умов

каналу, таких як низька SNR, протокол LDL забезпечує кращу пропускну здатність;

в умовах низького SNR xDL забезпечує більш високу середню пропускну здатність, аніж 2G, завдяки надійній технології формування сигналу;

в умовах каналу із завадами, коли SNR коливається, більша пропускну здатність також досягається під час використання xDL замість 2G. Протокол xDL може швидше адаптуватися до умов каналу, що змінюються;

сімейство протоколів HDL однаково надійне, оскільки вони використовують однакову форму хвилі. Те саме стосується сімейства протоколів LDL. Однак на пропускну здатність впливає розмір повідомлення, що передається, порівняно з розміром кадру протоколу.

### Висновки

ALE – це всесвітній стандарт для цифрового ДКМХ-радіозв'язку, мета якого полягає у тому, щоб надати надійний швидкий метод виклику та з'єднання під час постійного федингу іоносферного поширення, мінімізувати вплив завад на прийомі сигналів та використанні загального спектра зайнятих або переважаних каналів ДКМХ.

Технологія ALE – це функція у системі радіоприймача, яка дає змогу радіостанції встановлювати радіозв'язок із радіостанцією або мережею станцій ДКМХ.

Переважна більшість систем ALE, що використовуються сьогодні у світі, належить до 2G-ALE.

3G-ALE-технологія призначена для ефективно підтримки великих мережевих ресурсів з інтенсивним використанням трафіка даних.

Перевагами режиму 3G-ALE є:

швидке встановлення зв'язку;

встановлення з'єднання за більш низького відношення «сигнал/завада» (SNR);

підвищена ефективність використання радіоспектра;

використання різних каналних планів для безпеки частот і врахування специфіки розповсюдження радіохвиль;

робота в транковому режимі (окремі канали виклику і трафіку), а також спільне використання будь-якого піднабору частотного пулу між викликом і трафіком;

підвищення пропускну спроможності для пакетів даних різної довжини;

поліпшення підтримки Інтернет-протоколів і додатків;

синхронне сканування каналів, що викликаються;

поділ станцій на групи користування;

багатоканальний доступ до каналу з використанням пріоритетів викликів;

використання процедури множинного доступу за технологією CSMA/CA.

Таким чином, використання режиму 3G-ALE більш доцільне для каналів із низьким відношенням «сигнал/шум».

Напрямами подальшого наукового дослідження повинні бути:

1) Обґрунтування показників сигнально-кодових конструкцій, розроблення вдосконаленого алгоритму прийому сигналу, що враховує режим функціонування радіолінії ДКМХ за умов навмисних завад.

2) Розроблення вдосконаленого алгоритму передачі сигналу, що дає змогу радіолінії ДКМХ здійснювати функціонування в умовах радіоелектронного придушення та формувати умови для вибору робочого режиму.

#### Література:

1. MIL-STD-188-141A, Interoperability and performance standards for medium and high frequency radio systems, 1988. P. 190. URL: [http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0100-0299/MIL-STD-188-141A\\_24838/](http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0100-0299/MIL-STD-188-141A_24838/)
2. MIL-STD-188-141B. Interoperability and performance standards for medium and high frequency radio systems. DOD interface standard, 1999. P. 579. URL: [http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0100-0299/MIL-STD-188-141B\\_1703/](http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0100-0299/MIL-STD-188-141B_1703/).
3. STANAG 4538, Technical standards for an automatic radio control system (ARCS) for HF communication links (Edition 1), NATO, 2009. P. 281. URL: <http://nsa.nato.int>.
4. TESTING OF STANAG 4538 (3G HF) IMPLEMENTED IN HARRIS RF-5800H. URL: <https://www.ffi.no/en/publications-archive/testing-of-stanag-4538-3g-hf-implemented-in-harris-rf-5800h>.
5. Eric E. Johnson. Third-generation technologies for HF radio networking. URL: [http://tracebase.nmsu.edu/hf/papers/3g\\_ale.pdf](http://tracebase.nmsu.edu/hf/papers/3g_ale.pdf).
6. Johnson T. Kenney, M. Chamberlain, W. Furman, E. Koski, E. Leiby, M. Wadsworth. S. MIL-STD-188-141B Appendix C – a unified 3rd generation HF messaging protocol E. Harris Corporation, RF Communications Division 1680 University Avenue, Rochester, New York, 14610 U.S.A. URL: [https://www.researchgate.net/publication/2633084\\_Us\\_Mil-Std-188-141b\\_Appendix\\_C\\_-\\_A\\_Unified\\_3rd\\_Generation\\_Hf\\_Messaging\\_Protocol](https://www.researchgate.net/publication/2633084_Us_Mil-Std-188-141b_Appendix_C_-_A_Unified_3rd_Generation_Hf_Messaging_Protocol).
7. Johnson E. Fast propagations for HF network simulations. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Fast-propagation-predictions-for-HF-Johnson/b23bf9aa578c1c7a15853e82f5a3c65cdb09d506>.
8. MIL-STD-187-721C. Interface and Performance Standard for Automated Control Applique for HF Radio. URL: [http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0100-0299/MIL-STD-187721C\\_16206/](http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0100-0299/MIL-STD-187721C_16206/).

#### References:

1. EverySpec (1988). MIL-STD-188-141A, Interoperability and performance standards for medium and high frequency radio systems, pp. 190. URL: [http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0100-0299/MIL-STD-188-141A\\_24838/](http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0100-0299/MIL-STD-188-141A_24838/).
2. EverySpec (1999). MIL-STD-188-141B, Interoperability and performance standards for medium and high frequency radio systems. DOD interface standard. 579 p. URL: [http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0100-0299/MIL-STD-188-141B\\_1703/](http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0100-0299/MIL-STD-188-141B_1703/).
3. STANAG (2009). 4538 – Technical standards for an automatic radio control system (ARCS) for HF communication links (Edition 1), NATO. 281 p. URL: <http://nsa.nato.int>.
4. Vivianne Jodalen, Ove Grønnerud (2005). TESTING OF STANAG 4538 (3G HF) IMPLEMENTED IN HARRIS RF-5800H. URL: <https://www.ffi.no/en/publications-archive/testing-of-stanag-4538-3g-hf-implemented-in-harris-rf-5800h>.
5. Eric E. Johnson. Third-generation technologies for HF radio networking. URL: [http://tracebase.nmsu.edu/hf/papers/3g\\_ale.pdf](http://tracebase.nmsu.edu/hf/papers/3g_ale.pdf).
6. Johnson T. Kenney, M. Chamberlain, W. Furman, E. Koski, E. Leiby, M. Wadsworth (1998). MIL-STD-188-141B Appendix C – a unified 3rd generation HF messaging protocol E. Harris Corporation, RF Communications Division 1680 University Avenue, Rochester, New York, 14610 U.S.A. URL: [https://www.researchgate.net/publication/2633084\\_Us\\_Mil-Std-188-141b\\_Appendix\\_C\\_-\\_A\\_Unified\\_3rd\\_Generation\\_Hf\\_Messaging\\_Protocol](https://www.researchgate.net/publication/2633084_Us_Mil-Std-188-141b_Appendix_C_-_A_Unified_3rd_Generation_Hf_Messaging_Protocol).
7. Johnson E. (1997). Fast propagations for HF network simulations. URL: <https://www.semanticscholar.org/paper/Fast-propagation-predictions-for-HF-network-Johnson/b23bf9aa578c1c7a15853e82f5a3c65cdb09d506>.
8. EverySpec MIL-STD-187-721C. Interface and Performance Standard for Automated Control Applique for HF Radio. URL: [http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0100-0299/MIL-STD-187-721C\\_16206/](http://everyspec.com/MIL-STD/MIL-STD-0100-0299/MIL-STD-187-721C_16206/).