

УЗАГАЛЬНЕНА МОДЕЛЬ ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ НИЗЬКОШВИДКІСНИХ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

DOI 10.36994/2788-5518-2022-01-03-09

Стрелковська І.В., д.т.н., проф. Міжнародний гуманітарний університет, Одеса, Україна.
irina7000370@gmail.com

Золотухін Р.В. ТОВ «Телекарт-Прилад», Одеса, Україна. zolutukhinrv@gmail.com

Григор'єва Т.І. к.т.н., доц. Міжнародний гуманітарний університет, Одеса, Україна.
t.gtygoryeva@mgu.edu.ua

Анотація: При проектуванні системи зв'язку для автоматизованих систем управління державного рівня в низькошвидкісних мережах зв'язку на базі ультракороткохвильових радіостанцій основною проблемою є обґрунтований вибір необхідного телекомунікаційного обладнання для побудови мереж зв'язку з необхідними функціональними характеристиками для забезпечення доступності сервісів. В роботі проводиться аналіз концепції використання протоколів JDSS та NFFI, трьохрівневої ієрархічної моделі компанії Cisco та узагальненої організаційної структури системи зв'язку підрозділу низової ланки управління. На основі проведеного аналізу запропоновано узагальнену архітектуру АСУ низової ланки управління в низькошвидкісних мережах зв'язку на базі УКХ радіостанцій, що складається з трьох основних рівнів: рівня доступу, рівня взаємодії та рівня керування. Показники трафіку в низькошвидкісних мережах зв'язку на базі УКХ радіостанцій та підвищенні вимоги до передачі інформації в АСУ тактичної ланки управління призводить до неможливості використання існуючих моделей щодо оцінки показників функціонування в низькошвидкісних мережах зв'язку АСУ. В роботі запропоновано узагальнену модель показників функціонування мережі зв'язку АСУ, обчислено ймовірності обслуговування та ймовірність відмови в обслуговуванні кожного рівня узагальненої архітектури АСУ.

Ключові слова: автоматизовані системи управління, низькошвидкісні мережі зв'язку, архітектура мережі, трьохрівнева ієрархічна модель, JDSS, NFFI, AdataP-36, узагальнена архітектура, модель, ймовірність обслуговування, ймовірність відмови в обслуговуванні.

GENERALIZED MODEL OF EVALUATION OF LOW-BANDWIDTH COMMUNICATION NETWORKS OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

Irina Strelkovska, Dr.habil.,Prof. Humanitarian University, Odesa, Ukraine.
irina7000370@gmail.com

Roman Zolotukhin. LTD «Telecard-Prilad», Odesa, Ukraine. zolutukhinrv@gmail.com

Tatjana Grygoryeva. Ph.D., Ass.Prof. Humanitarian University, Odesa, Ukraine.
t.gtygoryeva@mgu.edu.ua

Abstract: The main problem, when designing a telecommunication system for governmental automated control systems is the reasonable choice of the necessary communications equipment to build networks with the required functional characteristics to ensure the availability of services. The paper considers the governmental automated control systems of the lower level of management with the active movement of users in low-bandwidth communication networks based on UHF/VHF radio stations with high requirements for efficiency, security, reliability, survivability and scalability. Such systems are widely used in the management of enterprises, production, military, public organizations and public administration. The paper analyzes the concept of using the JDSS and NFFI protocols, the three-level hierarchical model of Cisco and the generalized organizational structure of the communication system of the lower level management unit. Proposed a generalized architecture of automated control system of the lower management level in low-bandwidth communication networks based on UHF/VHF radio stations, which consists of three main levels: access level, interaction level and control level. Atypical indicators of traffic in low-bandwidth communication networks based on UHF/VHF radio stations and increasing requirements for the transfer of information to the tactical management automated control system makes impossible to use existing models to assess performance in low-bandwidth automated control system networks. The paper proposes a generalized model of indicators of the automated control systems communication network and calculating the probability of service and the probability of failure each level of the generalized architecture. The obtained results allow determining the availability of services in low-bandwidth communication networks of automated control systems of the lower management level with active movement of users based on UHF/VHF radio stations, which will increase the efficiency of load calculations on communication channels and reduce the probability of service failures.

Key words: automated control systems, low-bandwidth communication networks, network architecture, three-level hierarchical model, JDSS, NFFI, AdataP-36, generalized architecture, model, probability of service, probability of failure.

Створення та розвиток сучасних цифрових автоматизованих систем управління (АСУ) тактичної ланки управління з активним переміщенням користувачів є однією з основних проблем в Україні починаючи з 2014 року. Дані АСУ широко використовуються при управлінні підприємствами, виробництвом, суспільними організаціями та в державному управлінні [1-3]. В даній роботі розглядаються АСУ державного рівня низової ланки управління з активним переміщенням користувачів. Клас таких систем призначено для вирішення особливо важливих задач та мають високі вимоги до оперативності, захищеності, надійності, живучості та масштабованості.

Державні служби України почали модернізацію засобів зв'язку [4-8], починаючи з 2014 року. Такі зміни призвели до використання сучасних засобів радіозв'язку, які надають засоби для передачі/прийому не тільки передачі голосу, а ще й передачі даних відповідно до стеку протоколів TCP/IP. Таким чином, управління та моніторинг державних підрозділів та Збройних Сил України отримали можливість перейти від класичної концепції управління голосовими повідомленнями до створення цифрових АСУ. Такі системи, в основному, працюють у мережах зв'язку на базі ультракоротко-хвильових (УКХ) радіостанцій. В [4] Отримано характеристики QoS, які показують, що використання стандартних протоколів для передачі даних в УКХ радіомережах неможливо через низьку швидкість та велику затримку передачі даних, великий джитер затримки передачі даних, велику ймовірність втрати даних в каналі. Для створення та використання цифрових АСУ тактичної управління ланки з активним переміщенням користувачів в низькошвидкісних мережах зв'язку на базі УКХ радіостанцій неможливо використовувати класичні методи, моделі та протоколи мереж TCP/IP [1-4].

Реалізація цифрових АСУ на базі УКХ радіостанцій не є новою проблемою для країн Організації Північноатлантичного договору НАТО. Саме тому для тактичної ланки управління було створено низку протоколів, які реалізують базові сервіси обміну даних в низькошвидкісних мережах зв'язку. Серед таких протоколів необхідно виділити протокол Joint Dismounted Soldier System (JDSS) стандарту STANAG 4677 [9] та AdatP-36. Протокол JDSS дозволяє передавати текстові повідомлення, графічні позначки об'єктів на карті, геометричні зображення (точка, лінія, полігон), цілевказівки, спеціальні повідомлення радіаційної, біологічної, хімічної обстановки та медичної евакуації тощо. Стандарт AdatP-36 [10] використовується для передачі інформації щодо позиціонування своїх підрозділів. Хоча дані стандарти в основному використовуються для взаємодії між різними країнами НАТО, вони описують їх використання в якості основного стандарту та протоколу при створенні нових цифрових АСУ.

Технології передачі інформації в АСУ низової ланки управління державного рівня з активним переміщенням користувачів повинні відповідати низці вимог [1]:

- підвищеність вимог щодо надійності;
- масштабованість системи в процесі експлуатації;
- можливість роботи в низькошвидкісних мережах зв'язку;
- захищеність та живучість.

Сучасні УКХ радіоканали підтримують можливість роботи у вузькосмугових та широкосмугових режимах роботи. На теперішній час однією з основних УКХ радіостанцій в Україні використовуються радіостанції Harris виробництва США. Відповідно до робіт [1-4] можна побачити, що показники трафіку низькошвидкісних мереж зв'язку на базі радіостанцій Harris мають параметри, вказані в табл. 1

Таблиця 1
.Результати вимірювань радіостанцій МНН-7850 Harris

	МНН-7850 Harris	
Режим роботи радіостанції	FF	ANW2C
Швидкість передачі даних	102 кбіт/с	342 кбіт/с
Джитер	126 мс	46,494 мс
Втрати в каналі	2 %	2 %
Час відповіді на ICMP повідомлення	1187 мс	318 мс

Щодо оцінки показників функціонування в мережах мобільного зв'язку широко застосовуються методи і моделі для оцінки ймовірностей у відмові в обслуговуванні та показників трафіку тощо. Показники трафіку в низькошвидкісних мережах зв'язку на базі УКХ радіостанцій та підвищенні вимоги до передачі інформації в АСУ тактичної ланки управління

призводить до неможливості використання існуючих моделей для оцінки показників функціонування в низькошвидкісних мережах зв'язку АСУ.

Мета роботи - розробити узагальнену архітектуру АСУ в низькошвидкісних мережах зв'язку на базі УКХ радіостанцій з активним переміщенням користувачів та представити узагальнену модель оцінки її показників якості функціонування. Для цього в роботі необхідно розглянути концепцію використання протоколів JDSS та NFFI щодо побудови АСУ державного рівня низової ланки управління, провести аналіз трьохрівневої ієрархічної моделі компанії Cisco та узагальненої організаційної структури системи зв'язку підрозділу низової ланки управління державного рівня. Результати роботи дозволять обчислювати показники функціонування системи зв'язку та визначати доступність сервісів в низькошвидкісних мережах зв'язку АСУ низової ланки управління з активним переміщення користувачів.

Архітектура побудови АСУ в низькошвидкісних мережах зв'язку

Концепція стандарту STANAG 4677 передбачає використання протоколу JDSS як цифрового шлюзу між існуючими АСУ військами країн НАТО, але в роботі було розглянуто концепцію, в якій протоколи JDSS та NFFI лежать в основі АСУ державного рівня низової ланки управління з активним переміщенням користувачів на базі низькошвидкісних мереж зв'язку як базові алгоритми та протоколи. Згідно концепції, протоколи JDSS та NFFI використовуються не на шлюзах між різними АСУ, а застосовуються як системоутворюючий механізм передачі інформації в АСУ з високими вимогами до оперативності, надійності, живучості та масштабованості в низькошвидкісних мережах зв'язку на базі УКХ радіостанцій. В якості базових протоколів в роботі також було запропоновано використання протоколу AdatP-36 для реалізації функції обміну даними про позиціонування користувачів АСУ. Концепцію побудови АСУ державного рівня низової ланки управління на базі протоколів JDSS та NFFI представлено на рис.1. Дана концепція описує лише базову модель побудови АСУ в низькошвидкісних мережах зв'язку з обмеженою кількістю користувачів та не враховує одночасне використання декількох радіоканалів зв'язку.

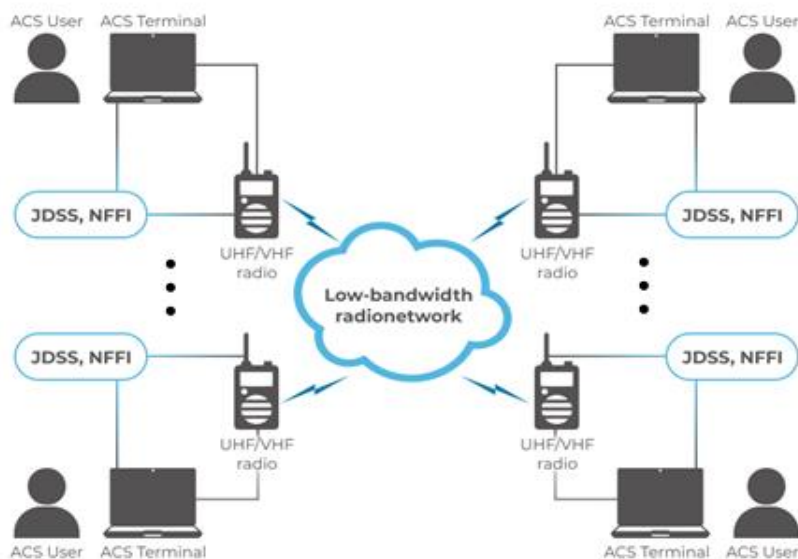


Рис. 1. Концепція використання протоколів JDSS та NFFI АСУ державного рівня низової ланки управління

Цифрові СУ тактичної ланки управління з активних переміщенням користувачів мають наступні особливості [1-3, 5-9]: наявність ієрархічних зв'язку між користувачами; наявність одночасних радіоканалів передачі даних від одного абонента до інших; необхідність у використанні додаткових протоколів передачі файлів, аудіо-, відео- трафіку тощо; наявність спеціалізованих серверів відповідно до потреб АСУ.

Типової архітектури побудови АСУ низової ланки управління державного рівня з активним переміщенням користувачів в низькошвидкісних мережах зв'язку на базі УКХ радіостанцій на сьогоднішній час не існує, але можливо представити узагальнену модель архітектури таких систем. На основі досліджень, що було проведено в [1-4], та особливостях АСУ в

низькошвидкісних мережах зв'язку в якості базової моделі розглянемо трьохрівневу ієрархічну модель компанії Cisco. В даній моделі визначено три рівні:рівень ядра (Core layer); рівень розподілу (Distribution layer); рівень доступу (Access layer). Трьохрівневу ієрархічну модель компанії Cisco зображено на рис.2.

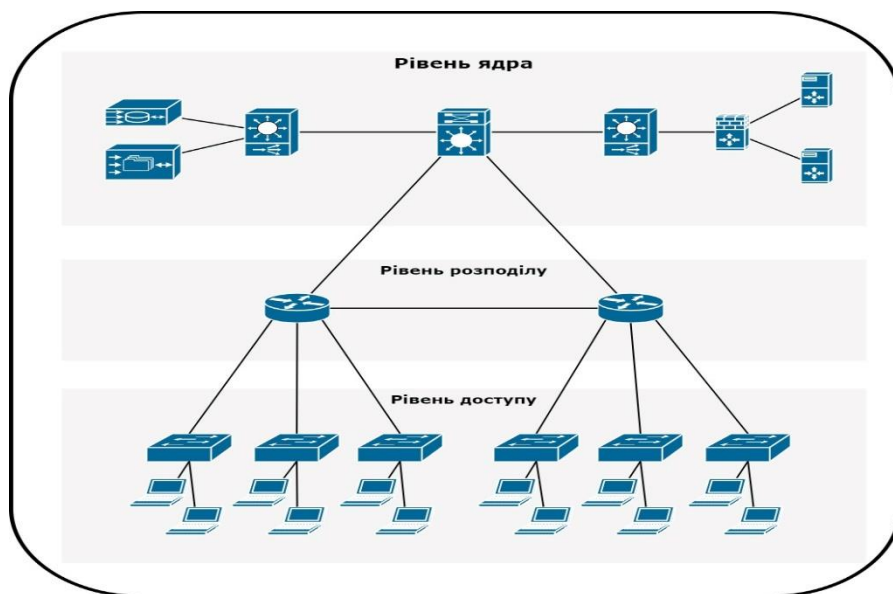


Рис. 2. Трьохрівнева ієрархічна модель компанії Cisco

Рівень ядра відповідає за надійну та швидку передачу великих обсягів даних. Трафік, який передається через ядро, є спільним для більшості користувачів. Самі дані користувача обробляються на рівні розподілу, який при необхідності пересилає запити до ядра. Для рівня ядра велике значення має його стійкість до відмови, оскільки збій на цьому рівні може призвести до втрати зв'язності мережі. На даному рівні в основному знаходяться маршрутизатори, комутатори, сервери доступу користувачів, сервери зберігання даних, логів та інших спеціалізованих серверів.

Рівень розподілу є сполучною ланкою між рівнями доступу та ядра. Залежно від способу реалізації рівень розподілу може виконувати наступні функції:

- забезпечення маршрутизації, якості обслуговування та безпеки мережі;
- агрегування каналів;
- перехід від однієї технології каналотворення до іншої.

Рівень доступу керує доступом користувачів та робочих груп до ресурсів об'єднаної мережі. Основним завданням рівня доступу є створення точок входу/виходу користувачів у мережу. Рівень виконує такі функції

- керування доступом користувачів, фільтрація трафіку, забезпечення якості обслуговування (QoS);
- сегментація даних;
- підключення робочих груп до рівня розподілу;
- використання технології комутованих локальних мереж.

Ієрархічна трьохрівнева модель описує архітектуру мережі одного суб'єкту (підприємство, виробництво, організаціями тощо) та представляє процеси взаємодії користувачів один з одним та з іншими елементами системи зв'язку. Для адаптації даної моделі до архітектури АСУ низової ланки управління державного рівня з активним переміщенням користувачів в низькошвидкісних мережах зв'язку на базі УКХ радіостанцій необхідно розглянути організаційну структуру типової цифрової АСУ. Якщо враховувати, що однією з найпоширеніших областей використання таких АСУ є військова галузь, то необхідно розглянути організаційну структуру системи зв'язку низової ланки управління військового підрозділу. На сьогоднішній час основним автономним елементом тактичної ланки управління є батальйон або батальйонні тактичні групи [5-9]. Узагальнена організаційна структура системи зв'язку підрозділу низової ланки управління показано на рис.3 [8, 11].

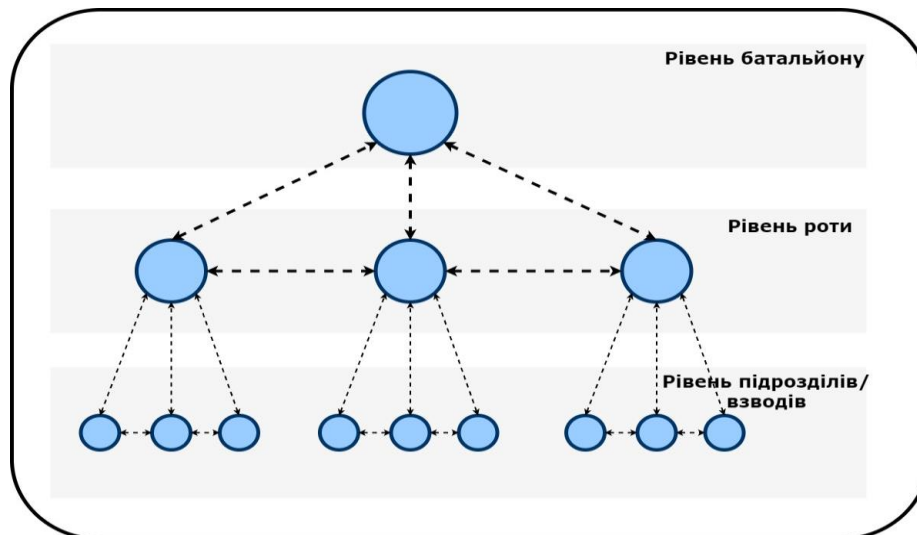


Рис. 3. Узагальнена організаційна структура системи зв'язку підрозділу низової ланки управління

До узагальненої структури автономного елемента низової ланки управління військового підрозділу можна віднести наступні рівні:

- рівень підрозділів/взводів;
- рівень роти;
- рівень батальйону.

На рівні підрозділів/взводів надається базовий доступ до системи зв'язку, організовуючи необхідний рівень QoS, сегментацію даних та комутацію каналів. На рівні роти відбувається агрегація каналів зв'язку, маршрутизація та фільтрація даних. На рівні батальйону проходить агрегація даних від нижчих рівнів та надається доступ до спеціалізованих серверів.

Неважко бачити, що ієрархічна модель мережі зв'язку компанії Cisco та узагальнена організаційна структура системи зв'язку підрозділу низової ланки управління мають аналогічні алгоритми побудови та взаємодії. Якщо використати концепцію використання протоколів JDSS та NFFI АСУ державного рівня низової ланки управління, трьохрівневу ієрархічну модель компанії Cisco, узагальнену організаційну структуру системи зв'язку підрозділу низової ланки управління та результатів робіт [1-4, 11], то можна запропонувати узагальнену архітектуру побудови АСУ в низькошвидкісних мережах зв'язку на базі УКХ радіостанцій. Дана архітектура складається з трьох рівнів:

- керівний рівень;
- рівень взаємодії;
- рівень доступу.

Кожен рівень має користувачів АСУ та використовує в якості базових механізмів обміну даними протоколи JDSS та NFFI стандарту STANAG 4677, що дозволяє кожному рівню в даній архітектурі працювати автономно. Алгоритми синхронізації повідомлень стандарту STANAG 4677 дозволяє працювати користувачам АСУ на кожному рівні окремо та при появі каналів зв'язку між ними автоматично передавати дані між рівнями.

Керівний рівень відповідає рівню батальйону в узагальненій організаційній структурі системи зв'язку підрозділу низової ланки управління та рівню ядра трьохрівневої ієрархічної моделі. На цьому рівні знаходяться термінали АСУ, комутатори, маршрутизатори, спеціалізовані сервери та бази даних для організації додаткових сервісів. Окрім цього, на даному рівні проходить агрегація та сегментація даних від нижніх рівнів, а також організуються політики доступу до інформації та додаткових сервісів. На керівному рівні для організації обміну даними з іншими рівнями використовуються УКХ радіостанції та УКХ радіомережі ядра.

Рівень взаємодії відповідає рівню роти в узагальненій організаційній структурі системи зв'язку підрозділу низової ланки управління та рівню розподілу трьохрівневої ієрархічної моделі. На цьому рівні знаходяться термінали АСУ, маршрутизатори та УКХ радіостанції. Рівень взаємодії забезпечує маршрутизацію даних між користувачами рівню доступу та керівного рівню, забезпечує агрегацію каналів зв'язку та будує додаткові УКХ радіомережі взаємодії для організації обміну даними від абонентів різних радіомереж рівня доступу.

Рівень доступу відповідає рівню підрозділів/взводів в узагальненій організаційній структурі системи зв'язку підрозділу низової ланки управління та рівню доступу трьохрівневої ієрархічної моделі. До рівня доступу відносяться термінали АСУ та УКХ радіостанції. Даний

рівень забезпечує доступ користувачів до системи зв'язку, фільтрацію трафіку та забезпечує необхідні характеристики якості обслуговування QoS.

Узагальнену архітектуру АСУ низової ланки управління в низькошвидкісних мережах зв'язку на базі УКХ радіостанцій показано на рис.4.

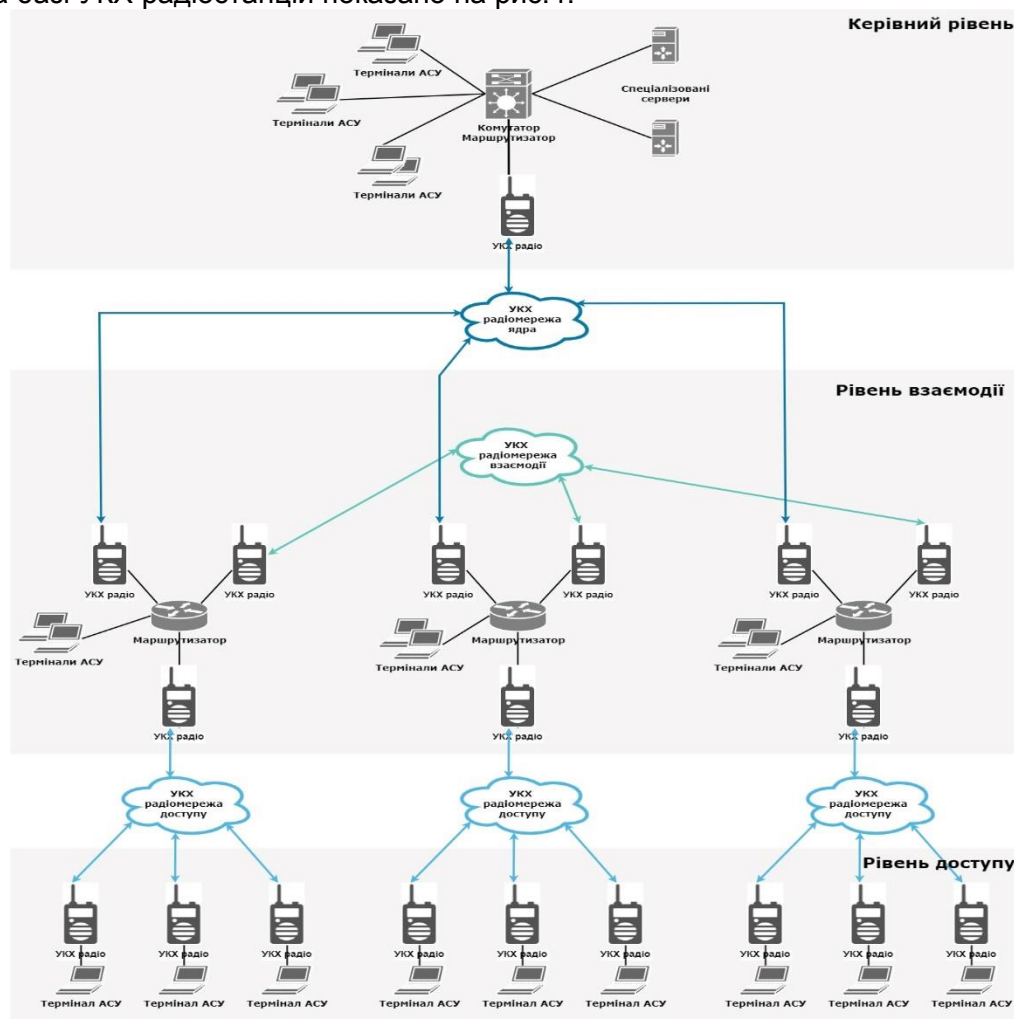


Рис. 4. Узагальнена архітектура АСУ низової ланки управління в низькошвидкісних мережах зв'язку на базі УКХ радіостанцій

Запропонована узагальнена архітектура АСУ низової ланки управління показує основні елементи системи зв'язку та їх взаємодію. Дослідження показників якості функціонування мереж зв'язку, побудованих на базі ультракороткохвильових радіостанцій [4] показує, що обмежена смуга передачі даних, великий час доставки пакетів даних, великий джитер та велика ймовірність втрат у каналі можуть призвести до збільшення ймовірності відмови в обслуговуванні користувачам АСУ. Тому при побудові АСУ в низькошвидкісних мережах зв'язку на базі УКХ радіостанцій необхідно проводити оцінку навантаження на канали зв'язку та розраховувати ймовірність відмов в обслуговуванні ще на етапі проектування системи зв'язку АСУ. Структура мережі зв'язку, що представлено на рис. 4, залишається достатньо складною і не дозволяє використовувати математичний апарат теорії надійності систем щодо обчислення необхідних показників якості обслуговування.

Узагальнена модель щодо обчислення показників якості функціонування системи зв'язку АСУ в низькошвидкісних каналах зв'язку

Спростимо узагальнену архітектуру АСУ низової ланки управління в низькошвидкісних мережах зв'язку на базі УКХ радіостанцій, залишивши ті елементи, які відображають надійність функціонування системи зв'язку. Для цього проведемо наступні кроки для переходу від реальної системи до її моделі. Розглянемо:

- сукупність терміналів та УКХ радіостанцій рівня доступу;
- сукупність терміналів, УКХ радіостанцій та маршрутизаторів рівня взаємодії;
- сукупність терміналів, УКХ радіостанцій, комутаторів та маршрутизаторів, рівня керування;

- сукупність спеціалізованих серверів рівня керування;
- сукупність УКХ радіомереж кожного рівня архітектури.

Після спрощення системи зв'язку узагальненої архітектури АСУ низової ланки управління рівень доступу буде включати в себе обладнання рівня доступу та УКХ радіомережі доступу, рівень взаємодії буде включати в себе обладнання рівня взаємодії та УКХ радіомережі взаємодії, а керівний рівень – обладнання рівня керування, УКХ радіомережі ядра та спеціалізовані сервери. Узагальнену структуру мережі зв'язку АСУ низової ланки управління показано на рис.5, а її модель показників функціонування - рис.6.

Структуру мережі представлено у вигляді трьох рівнів: доступу, взаємодії та керування (рис.5). Кожен з цих рівнів може бути описано відповідними показниками якості функціонування. На моделі показників функціонування мережі зв'язку АСУ низової ланки управління представлено наступні позначення (рис. 6):

- рівень доступу описується показником $p_{рд}$, що визначає ймовірність обслуговування в мережі зв'язку рівня доступу;
- рівень взаємодії описується показником $p_{рв}$, що визначає ймовірність обслуговування в мережі зв'язку рівня взаємодії;
- рівень керування описується показником $p_{кр}$, що визначає ймовірність обслуговування в мережі зв'язку керівного рівня.

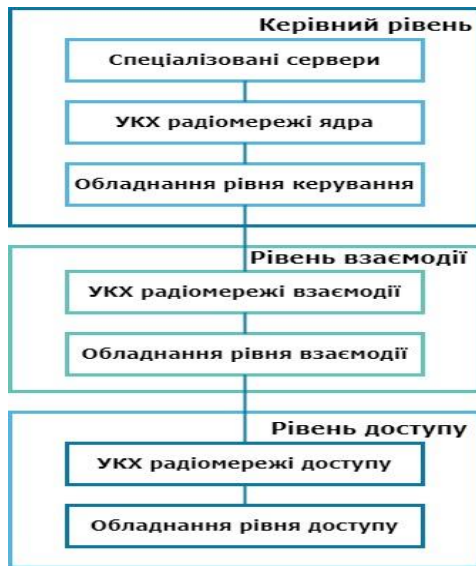


Рис. 5. Узагальнена структура мережі зв'язку АСУ низової ланки управління

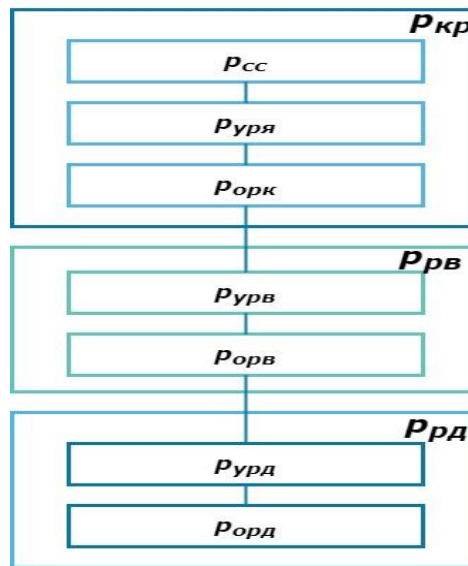


Рис. 6. Узагальнена модель показників функціонування мережі зв'язку АСУ низової ланки управління

На моделі (рис.6) показано показники функціонування мережі зв'язку АСУ низової ланки управління:

- $p_{орд}$ – ймовірність обслуговування елементом «обладнання рівня доступу»;
- $p_{урд}$ – ймовірність обслуговування елементом «УКХ радіомережі доступу»;
- $p_{орв}$ – ймовірність обслуговування елементом «обладнання рівня взаємодії»;
- $p_{урв}$ – ймовірність обслуговування елементом «УКХ радіомережі взаємодії»;
- $p_{орк}$ – ймовірність обслуговування елементом «обладнання рівня керування»;
- $p_{уря}$ – ймовірність обслуговування елементом «УКХ радіомережі ядра»;
- $p_{сс}$ – ймовірність обслуговування елементом «спеціалізовані сервери».

Ймовірність відмови в обслуговуванні можна визначити наступними показниками:

- $P_{орд} = 1 - p_{орд}$ – ймовірність відмови в обслуговуванні елементом «обладнання рівня доступу»;
- $P_{урд} = 1 - p_{урд}$ – ймовірність відмови в обслуговуванні елементом «УКХ радіомережі доступу»;
- $P_{орв} = 1 - p_{орв}$ – ймовірність відмови в обслуговуванні елементом «обладнання рівня взаємодії»;

$P_{урв} = 1 - p_{урв}$ – ймовірність відмови в обслуговуванні елементом «УКХ радіомережі взаємодії»;

$P_{орк} = 1 - p_{орк}$ – ймовірність відмови в обслуговуванні елементом «обладнання рівня керування»;

$P_{уря} = 1 - p_{уря}$ – ймовірність відмови в обслуговуванні елементом «УКХ радіомережі ядра»;

$P_{сс} = 1 - p_{сс}$ – ймовірність відмови в обслуговуванні елементом «спеціалізовані сервери».

Кожен рівень моделі має різні показники функціонування. Рівень доступу складається з двох послідовно включених елементів: обладнання рівня доступу та УКХ радіомережі доступу. Тоді ймовірність обслуговування та ймовірність відмови в обслуговуванні на рівні доступу відповідно буде:

$$p_{рд} = p_{орд} \cdot p_{урд}, \quad (1)$$

$$P_{рд} = 1 - p_{рд} = 1 - (p_{орд} \cdot p_{урд}). \quad (2)$$

Згідно до моделі показників функціонування (рис.6) аналогічно можна визначити ймовірність обслуговування та ймовірність відмови в обслуговуванні на рівнях керування та взаємодії відповідно буде:

$$p_{рв} = p_{орв} \cdot p_{урв}, \quad (3)$$

$$P_{рв} = 1 - p_{рв} = 1 - (p_{орв} \cdot p_{урв}), \quad (4)$$

$$p_{кр} = p_{орк} \cdot p_{уря} \cdot p_{сс}, \quad (5)$$

$$P_{кр} = 1 - p_{кр} = 1 - (p_{орк} \cdot p_{уря} \cdot p_{сс}). \quad (6)$$

Узагальнена модель показників функціонування мережі зв'язку АСУ низової ланки управління дозволяє оцінити показники системи зв'язку АСУ за окремими елементами, рівнями та системою в цілому. Наприклад, якщо користувачу з рівня доступу необхідно отримати сервіси на спеціалізованих серверах керівного рівня, ймовірність обслуговування користувача рівня доступу спеціалізованими серверами $p_{орд-сс}$ визначається:

$$p_{орд-сс} = p_{рд} \cdot p_{рв} \cdot p_{кр}, \quad (7)$$

тоді ймовірність відмови в обслуговуванні користувача рівня доступу спеціалізованими серверами $P_{орд-сс}$ визначається наступним чином:

$$P_{орд-сс} = 1 - p_{орд-сс} = 1 - (p_{рд} \cdot p_{рв} \cdot p_{кр}). \quad (8)$$

Висновки

1. Проведено аналіз концепції використання протоколу JDSS для побудови АСУ державного рівня низової ланки управління. Визначено, що дана концепція описує лише базову модель побудови АСУ в низькошвидкісних мережах зв'язку з обмеженою кількістю користувачів та не враховує використання одночасно декількох радіоканалів зв'язку.

2. Запропоновано узагальнену архітектуру АСУ низової ланки управління в низькошвидкісних мережах зв'язку на базі моделі трьохрівневої ієрархічної моделі компанії Cisco та організаційної структури системи зв'язку підрозділу низової ланки управління. Визначено, що архітектура АСУ складається з трьох основних рівнів: рівня доступу, рівня взаємодії та рівня керування.

3. Запропоновано узагальнену модель показників функціонування мережі зв'язку АСУ низової ланки управління. Обчислено ймовірності обслуговування та ймовірність відмови обслуговування кожного рівня узагальненої архітектури АСУ.

4. На основі отриманих результатів роботи можна визначити доступність сервісів в низькошвидкісних мережах зв'язку АСУ низової ланки управління з активним переміщенням

користувачів, що дозволить підвищити ефективність розрахунків навантаження на канали зв'язку та зменшити ймовірність відмов на обслуговування ще на етапі планування та проектування системи зв'язку.

Література

1. Strelkovskaya I.V. Modeling of telecommunication components of automated control systems in low-bandwidth radio networks / I.V. Strelkovskaya, R.V. Zolotukhin, A.O. Makoganiuk // In: P. Vorobiyenko, M. Ilchenko, I. Strelkovska. Current Trends in Communication and Information Technologies. Lecture Notes in Networks and Systems, 2021., Springer, Cham, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-76343-5_9.
2. Strelkovskaya I. Comparative analysis of file transfer protocols in low-bandwidth radionetworks / I. Strelkovskaya, R. Zolotukhin, J. Strelkovska // Proceedings of the 9rd International Conference on Applied Innovations in IT (ICAIIIT-2021), Vol. 9, Is. 1, Koethen, Germany, March, 16, 2017.– Anhalt University of Applied Sciences. – P. 27-32.
3. Strelkovskaya I.V., Zolotukhin R.V., (2022) Research of Automated Control Systems Development Based on "Publish-Subscribe" Technology Over Low-bandwidth Radio Networks (Springer, до друку).
4. Strelkovskaya I., Zolotukhin R., "Research of low-bandwidth radionetworks QoS parameters" in Information and Telecommunication Sciences, International Research Journal, Volume 11, Number 1(20), January-June 2020, DOI: <https://doi.org/10.20535/2411-2976.12020.77-81.6>.
5. Стан та перспективи застосування сучасних технологій та засобів радіозв'язку в Збройних Силах України. / О.О. Лаврут, О.К. Климович, М.Л. Тарасюк, О.Л. Антонюк // Системи озброєння та військова техніка. – 2017. – № 1 (49). – С. 42-49.
6. Бовда Є.М. Концептуальні основи синтезу автоматизованої системи управління зв'язком військового призначення/ Є.М. Бовда, Ю.А. Плуговий, В.А. Рома ВІТІ. – К.: ВІТІ, 2016. – Вип. 1. – С. 6-18.
7. Коммуникации и сети. Телеком: специальный выпуск "Военная связь. Технологии, решения, проекты". – Киев, сентябрь 2016 г. – 140 с.
8. Лаврут О.О. Перспективи розвитку автоматизованих систем управління тактичної ланки управління Сухопутних військ Збройних Сил України / О.О. Лаврут, О.К. Климович, Т.В. Лаврут // Системи обробки інформації. – Х.: ХУПС, 2014. – Вип. 5 (121). – С. 116-120.
9. STANAG 4677: 2014 Dismounted soldier systems standards and protocols for command, control, communications and computers(C4) interoperability./ NATO 2014.
10. NATO – ADATP-36: Friendly force tracking systems (FFTS) interoperability / NATO 2017
11. Masnica R., Štulrajter J. "Development of Interoperability C4IS", 7th International Scientific Conference Communication and Information Technologies, 9 – 11 Oct. 2013, Starý Smokovec, Slovakia, ISBN 978-80-8040-464-2.

References

1. Strelkovskaya I.V. Modeling of telecommunication components of automated control systems in low-bandwidth radio networks / I.V. Strelkovskaya, R.V. Zolotukhin, A.O. Makoganiuk // In: P. Vorobiyenko, M. Ilchenko, I. Strelkovska. Current Trends in Communication and Information Technologies. Lecture Notes in Networks and Systems, 2021., Springer, Cham, DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-76343-5_9.
2. Strelkovskaya I. Comparative analysis of file transfer protocols in low-bandwidth radionetworks / I. Strelkovskaya, R. Zolotukhin, J. Strelkovska // Proceedings of the 9rd International Conference on Applied Innovations in IT (ICAIIIT-2021), Vol. 9, Is. 1, Koethen, Germany, March, 16, 2017.– Anhalt University of Applied Sciences. – P. 27-32.
3. Strelkovskaya I.V., Zolotukhin R.V., (2022) Research of Automated Control Systems Development Based on "Publish-Subscribe" Technology Over Low-bandwidth Radio Networks (Springer, in publish).
4. Strelkovskaya I., Zolotukhin R., "Research of low-bandwidth radionetworks QoS parameters" in Information and Telecommunication Sciences, International Research Journal, Volume 11, Number 1(20), January-June 2020, DOI: <https://doi.org/10.20535/2411-2976.12020.77-81.6>.
5. Lavrut O.O., Status and prospects of application of modern technologies and means of radio communication in the Armed Forces of Ukraine. / O.O. Lavrut, O.K. Klimovich, M.L. Tarasyuk, O.L. Antonyuk // Weapons systems and military equipment. - 2017 - № 1 (49). - P. 42-49.
6. Bovda E.M. Conceptual bases of synthesis of the automated control system of communication of military purpose / E.M. Bovda, Yu.A. Plow, VA Roma VITI. - K. : VITI, 2016. - Issue. 1. - P. 6-18.
7. Communications and networks. Telecom: special issue "Military communication. Technologies, solutions, projects". - Kyiv, September 2016 - 140 p.
8. Lavrut O.O. Prospects for the development of automated control systems of the tactical link of the Land Forces of the Armed Forces of Ukraine / O.O. Lavrut, O.K. Klimovich, T.V. Lavrut // Information processing systems. - H. : HUPS, 2014. - Vip. 5 (121). - P. 116-120.
9. STANAG 4677: 2014 Dismounted soldier systems standards and protocols for command, control, communications and computers(C4) interoperability./ NATO 2014.
10. NATO – ADATP-36: Friendly force tracking systems (FFTS) interoperability / NATO 2017
11. Masnica R., Štulrajter J. "Development of Interoperability C4IS", 7th International Scientific Conference Communication and Information Technologies, 9 – 11 Oct. 2013, Starý Smokovec, Slovakia, ISBN 978-80-8040-464-2.