

Сапаєв Віктор ІвановичORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7978-7226>

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Аспірант кафедри радіотехніки та радіоелектронних систем

Історія статті:

Надійшла: 30.01.2026

Прийнята: 25.02.2026

Опублікована: 26.03.2026

**АРХІТЕКТУРНІ МОДЕЛІ РОЗГОРТАННЯ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ
ДЛЯ НАДАННЯ ТА ПІДТРИМКИ ТЕЛЕМЕДИЧНИХ ПОСЛУГ**

Анотація. Телемедицина набуває все більшої всесвітньої популярності як сучасна технологія надання медичних послуг, що передбачає обмін різними видами медичної інформації між віддаленими пунктами. Сучасний стан розвитку телемедицини в Україні не повною мірою відповідає викликам сьогодення через відсутність чітко визначених напрямів розвитку телемедичних технологій. Тому метою цього дослідження є систематизація та розробка архітектурних моделей розгортання телемедичних мереж із визначенням ключових компонентів, організаційних структур і мережесих технологій для ефективного надання та підтримки телемедичних послуг. Для досягнення зазначеної мети в дослідженні розглянуто вимоги до мереж телемедицини з погляду якісних показників та характеристик медичних даних для реалізації базового переліку послуг, що включає телеконсультації, телемоніторинг і теленавчання. Запропоновано варіанти використання телемедичних робочих станцій залежно від спектра послуг. З позицій інформаційно-комунікаційних технологій розроблено архітектурні моделі розгортання мереж зв'язку за централізованою та децентралізованою схемами. Досліджено різні варіанти підпорядкування компонентів телемедичної мережі, особливості організації сегментів LAN і WAN, розміщення обладнання провайдера, підходи до локалізації систем зберігання даних, а також рекомендовані мережесі технології. Науковою новизною дослідження є архітектурні моделі розгортання мереж зв'язку для надання та підтримки телемедичних послуг, які сприятимуть розвитку телемедичних технологій. Практична цінність дослідження полягає в тому, що розроблені моделі можуть бути використані для формування методик впровадження телемедичних послуг та підготовки технічного завдання при проектуванні телемедичної мережі. Перспективи подальших досліджень пов'язані з вибором варіанту оптимального розташування компонентів мережі та з розробленням інноваційних підходів до обробки медичних даних.

Ключові слова: телемедичні технології; телемедицина; архітектура телемедичної мережі; обробка медичних даних; телемедична робоча станція; мережа передачі даних; LAN-сегмент; WAN-сегмент

Актуальність дослідження

У широкому сенсі телемедицина (від грец. tele – дистанція, лат. meder – лікування) – це сучасний підхід надання медичних послуг (консультацій, діагностики, моніторингу) на відстані за допомогою сучасних інформаційно-комунікаційних та мережесих технологій. Це комплекс заходів, що включає обмін всіма видами медичної інформації між віддаленими пунктами. При цьому даний процес обміну характеризується видом переданої інформації й способом її передачі.

Опрацювання наукових джерел [1 – 4] дає змогу виокремити такі основні передумови появи телемедицини як самостійного напрямку розвитку технологій:

- високий рівень розвитку медичних та телекомунікаційних технологій;
- підвищення потреб населення у отриманні висококваліфікованої медичної допомоги у територіально віддалених районах;
- вимоги до медичних працівників у регулярному підвищенні кваліфікації та підтвердження професійного статусу;
- висока вартість проїзду до найближчих медичних закладів, які надають потрібні послуги;
- необхідність колективного прийняття рішень у складних випадках, коли потрібна участь співробітників із різних регіонів.

Сучасний стан розвитку телемедицини в Україні не відповідає потребам і викликам сьогодення через

відсутність напрямів розвитку телемедицини технологій, тому обрана тема дослідження є актуальною і потребує системного опрацювання. Згідно затвердженої Стратегії розбудови телемедицини в Україні [5], телемедицину необхідно розглядати як інструмент цілісної електронної охорони здоров'я та цифрової трансформації України. Телемедицинські технології мають слугувати ефективними інструментами для забезпечення доступу до медичної допомоги, відновлення здоров'я, реабілітації, профілактики, комунікації, науки та освіти, розширювати можливості отримання медичної допомоги за межами України [6].

Мета статті

Метою статті є систематизація та розробка архітектурних моделей розгортання телемедицини мереж із визначенням ключових компонентів, організаційних структур і мережевих технологій для ефективного надання та підтримки телемедицини послуг.

Для досягнення зазначеної мети дослідження необхідно вирішити такі завдання:

1. Визначити основні напрямки застосування телемедицини для її впровадження в мережах зв'язку.

2. Визначити типи медичних даних, які використовуються під час надання телемедицини послуг.

3. Проаналізувати рекомендації щодо створення телемедицини мереж на місцевому, регіональному та національному рівнях та на їхній основі визначити різні варіанти організаційних структур телемедицини мереж зв'язку.

4. Розробити архітектурні моделі телемедицини мереж та для кожної моделі визначити ключові компоненти, пункти надання медичних послуг, механізми обробки та зберігання медичних даних.

5. Надати опис характеристик наявних мережевих технологій на рівні LAN та WAN-сегментів для практичної реалізації запропонованих архітектурних моделей для надання та підтримки телемедицини послуг.

Виклад основного матеріалу

На основі аналізу джерел інформації [7 – 12] визначено основні напрямки застосування телемедицини для її впровадження у мережах зв'язку:

1. Медичні консультації – суть цього виду полягає в передачі інформації про стан здоров'я телекомунікаційними каналами зв'язку. Консультації можливі як у форматі «лікар-лікар», так і «лікар-пацієнт». Виділяють 2 підкатегорії залежно від формату проведення консультацій:

1.1. Відкладені телеконсультації полягають у наданні консультативних послуг без особистої присутності та без необхідності екстреного реагування на проблему. Цей метод є досить простим і маловитратним, але може бути ефективно використаний за умови правильно організації процесу.

1.2. Консультації в режимі реального часу є одним із найперспективніших варіантів використання технологій, однак, потребують високого рівня технічного забезпечення. До них належать планові та екстрені відеоконсультації, а також відеоконсилиуми, ключовою особливістю яких є безпосередня взаємодія між учасниками – як між фахівцями, так і між лікарем і пацієнтом.

2. Теленавчання – це проведення заходів із використанням телекомунікаційного обладнання, під час яких з'являється можливість інтерактивного контакту з аудиторією. Таким чином, фахівці отримали можливість безперервної освіти без відриву від основної роботи. Важливою перевагою є можливість одночасного проведення трансляцій у різних частинах світу. Теленавчання, як один із варіантів теленавчання, передбачає дистанційний контроль за проведенням лікувальних процедур більш досвідченим фахівцем у режимі реального часу. Наприклад, під час трансляції виконання медичних операцій.

3. Контроль стану здоров'я працівників підприємств є одним із напрямів застосування телемедицини технологій, що передбачає регулярний моніторинг фізіологічних показників персоналу за допомогою спеціалізованих технічних засобів. У ряді організацій впроваджуються системи дистанційного спостереження, які функціонують за умови поінформованої згоди працівників. Для цього використовуються безконтактні термометри для вимірювання температури тіла, а також методи магнітокардіографії (МКГ) і магнітоенцефалографії (МЕГ), що забезпечують реєстрацію електромагнітних сигналів, пов'язаних із функціонуванням організму. Застосування таких, а також інших сенсорних засобів, дозволяє здійснювати безперервний або періодичний контроль стану здоров'я.

4. Мобільні телемедицинські комплекси можуть реалізовуватися у вигляді портативних систем, а також на базі спеціалізованого транспорту (зокрема реанімобілів) чи інших мобільних платформ. Їх застосування є доцільним у середовищах, де відсутня стаціонарна телемедицинська інфраструктура, зокрема під час виїзних заходів із надання медичної допомоги постраждалим або у віддалених медичних закладах. З архітектурної точки зору сучасні мобільні комплекси включають високопродуктивні обчислювальні засоби, сумісні з програмним

забезпеченням підключених діагностичних пристроїв, засоби бездротового зв'язку дальньої дії, а також інтегровані рішення для організації відеоконференцзв'язку та IP-телефонії.

5. Телемоніторинг являє собою системи дистанційного біомедичного спостереження, що застосовуються для регулярного контролю стану пацієнтів із хронічними захворюваннями з метою мінімізації необхідності особистого відвідування медичних закладів, а також на промислових об'єктах для нагляду за здоров'ям персоналу. Перспективним напрямом розвитку є використання сенсорів, інтегрованих у елементи одягу, а також мобільних пристроїв, зокрема смартфонів, як невід'ємної складової сучасної телемедичної інфраструктури. Зібрані біомедичні дані передаються до телемедичних центрів, де здійснюються їх обробка, аналіз, моніторинг та формування відповідних рекомендацій.

6. Програмна складова організації зберігання та передачі медичних даних охоплює функціональні можливості щодо ведення та накопичення інформації про стан здоров'я пацієнтів, забезпечення доступу до персоналізованих електронних кабінетів, а також інтеграцію даних між різними медичними закладами. Крім того, вона передбачає реалізацію сервісів дистанційного запису на прийом до фахівців і засобів віддаленого моніторингу технічного стану діагностичного обладнання.

Базовий перелік послуг телемедицини включає телеконсультації, теленавчання та телемоніторинг. Зазначені базові типи телемедичних послуг стали основою для формування широкого переліку вузькоспеціалізованих напрямів, таких як телепатологія, телехірургія, телерентгенологія,

теледерматологія, телепсихіатрія та ін., кожна з яких використовує послуги з базового переліку з урахуванням специфічних особливостей (рис. 1). Відповідно, при проектуванні мережі слід спиратися на необхідний функціонал при виборі телемедичних компонентів.

За характером надання послуги вони поділяються на синхронні та асинхронні. Синхронні послуги надаються в режимі реального часу за участю всіх сторін в режимі онлайн або офлайн. Асинхронні послуги передбачають обмін медичними даними між сторонами процесу в різний час. Для кожної телемедичної послуги базового переліку визначено типи наборів даних [15], з якими виконується робота (табл. 1).

Таблиця 1 – Типи медичних даних, що використовуються під час надання телемедичних послуг

№	Телемедична послуга	Типи медичних даних
1	Телеконсультація	Медична картка Дані Потокове аудіо, відео
2	Телемоніторинг	Медичний запис Дані Чорно-біле або кольорове статичне 2D-зображення Тривимірні зображення (3D-моделі) Потокове аудіо, відео
3	Теленавчання	Дані Чорно-біле або кольорове статичне 2D-зображення Потокове аудіо, відео



Рисунок 1 – Типи реалізації телемедицини [13]

На основі переліку телемедичних послуг, що надаються, та типів даних, які використовуються на практиці, формуються вимоги до якості, щоб забезпечити задоволеність користувачів. Це, у свою чергу, визначається характеристиками розгорнутої мережі. Відповідно, виникає потреба запропонувати різні варіанти організації телемедичної мережі із визначенням ключових компонентів, організаційних структур і мережевих технологій для ефективного надання та підтримки телемедичних послуг на територіях з різним технічним забезпеченням і вимогами.

У 2019 р. Міжнародний союз електрозв'язку сформулював рекомендації [14] щодо створення телемедичних мереж на місцевому (окремі населені пункти), регіональному (райони, області) та національному рівнях з урахуванням особливостей країн. Для України, з урахуванням сучасного стану телемедичних технологій, доцільно визначити такі завдання для кожного рівня. На національному рівні до завдань належать:

1) Взаємодія з координаційними центрами з питань охорони здоров'я, органами управління охороною здоров'я на рівні суб'єктів, фондами обов'язкового медичного страхування, а також існуючими науковими та освітніми установами, що займаються розробками та дослідженнями в галузі медицини, з метою дистанційного обговорення існуючих проблем у сфері охорони здоров'я.

2) Інформаційна підтримка ситуації на територіях на основі моніторингу медико-демографічних показників стану здоров'я та епідеміологічних та екологічних даних.

3) Оперативне реагування та управління діями з надання медичної допомоги в надзвичайних ситуаціях.

4) Обмін інформацією з медичними службами інших міністерств та відомств.

До завдань на регіональному рівні належить забезпечення зв'язку між представниками МОЗ, органами управління охороною здоров'я на рівні суб'єктів, а також провідними науковими та освітніми організаціями з метою обговорення проблем охорони здоров'я в межах певного регіону та для вирішення повсякденних питань. Крім того, потрібно забезпечити оперативну реакцію у питаннях надання медичної допомоги в умовах надзвичайних ситуацій для прийняття управлінських рішень. На рівні суб'єктів необхідно забезпечити взаємодію місцевих організацій охорони здоров'я з МОЗ, координаційною радою з питань охорони здоров'я, органами управління охороною здоров'я, науковими та освітніми медичними закладами. На телемедичну мережу покладаються функції з управління регіональною телемедичною мережею, реагування на надзвичайні ситуації, регулярного контролю епідеміологічної ситуації та існуючих критеріїв стану здоров'я населення різних вікових категорій.

На районному рівні телемедичні системи призначені для отримання консультацій, дистанційного навчання та підвищення кваліфікації лікарів районних і дільничних лікарень. При проектуванні мережі такого рівня слід враховувати географічні особливості територій, а також інфраструктуру зв'язку суб'єктів та окремих мікрорайонів.

Аналізуючи ієрархію телемедичної мережі [15], можна виділити взаємодію віддалених телемедичних пунктів (ВТП), мобільних телемедичних пунктів (МТП) та телемедичних центрів (ТЦ), до яких із різним ступенем підпорядкування можуть бути підключені телемедичні пункти (ТП) та споживачі телемедичних послуг (рис. 2).

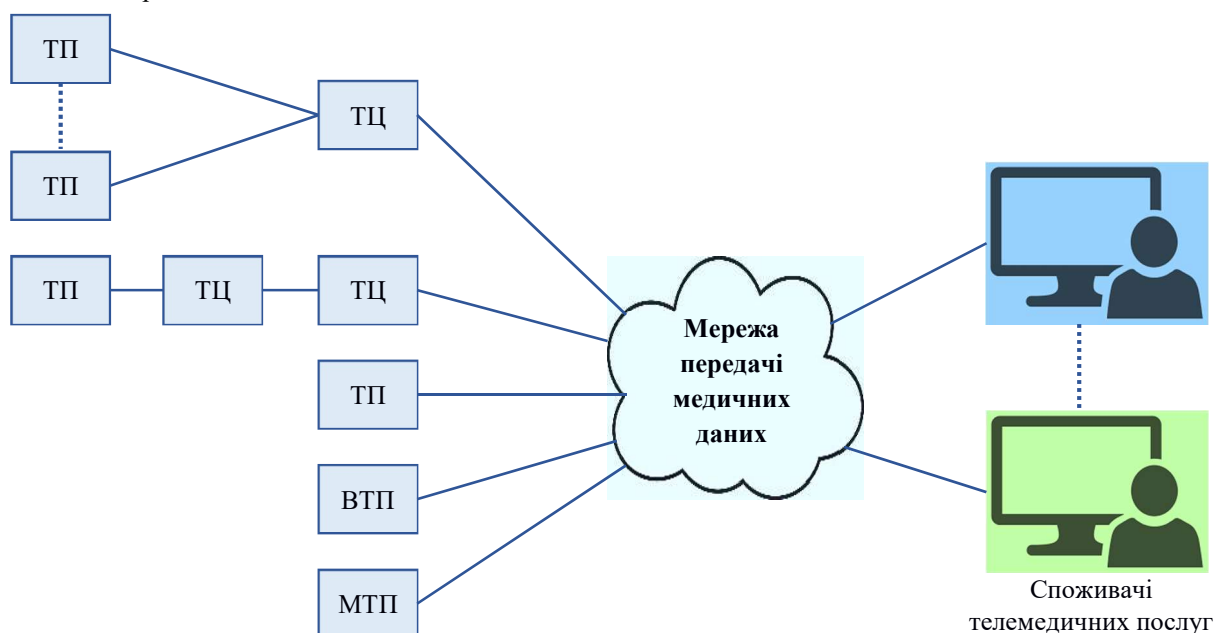


Рисунок 2 – Ієрархія компонентів телемедичної мережі

3 позиції інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) у структурі телемедичної мережі доцільно виокремити внутрішній та зовнішній сегменти, що відповідають локальній (LAN) і глобальній (WAN) мережам. LAN-сегмент забезпечує підключення робочих станцій до мережевої інфраструктури та передачу даних у межах компонента телемедицини (ТЦ, ТП, УТП, МТП). Натомість WAN-сегмент призначений для підключення зазначених складових до зовнішньої мережі передавання даних з метою забезпечення їх взаємодії з іншими компонентами телемедичної мережі.

До елементів LAN-сегмента належать телемедичні робочі станції, сервери, обладнання абонентського доступу, обладнання комутації інформаційних потоків, канали передачі даних. До ієрархії сегмента належать 2 рівні:

1. рівень абонентського доступу (підключення телемедичних робочих станцій до мережі);
2. рівень агрегації інформаційних потоків (розподіл потоків всередині мережі).

Елементами WAN-сегмента є обладнання для інтеграції з мережею провайдера, який надає послугу доступу до зовнішньої мережі передачі даних, а також канали передачі даних. Ієрархія сегмента представлена рівнем інтеграції, що забезпечує підключення сегмента LAN до зовнішньої мережі передачі даних.

Реалізація сегментів LAN і WAN може здійснюватися як із використанням однотипного обладнання, так і на базі різномірних технічних засобів. Залежно від розташування обладнання провайдера послуг доступу виокремлюють два основні варіанти:

1) розміщення обладнання провайдера безпосередньо на території об'єкта телемедичної мережі (рис. 3);

2) розміщення обладнання на стороні провайдера з підключенням до нього об'єкта телемедичної мережі (рис. 4).

В організаційній структурі телемедичних мереж виокремлюють три ієрархічні рівні:

1. рівень абонентського доступу (РАД);
2. рівень агрегації інформаційних потоків (РАІП);
3. рівень інтеграції (PI).

Перші два рівні належать до LAN-сегмента, третій – до WAN-сегмента. Рівень абонентського доступу представлено телемедичними робочими станціями (ТРС) та обладнанням абонентського доступу (ОАД). Функції рівня агрегації інформаційних потоків виконує спеціальне обладнання комутації інформаційних потоків (ОКІП). До третього рівня належить обладнання інтеграції (ОІ) та обладнання провайдера (ОП). Перераховані елементи є компонентами телемедичного пункту (ТП).

У разі розміщення обладнання на стороні провайдера рівні абонентського доступу (РАД) та агрегації інформаційних потоків (РАІП) інтегруються та функціонують у межах LAN-сегмента, тоді як рівень інтеграції (PI) відноситься до WAN-сегмента. Структура телемедичного пункту передбачає наявність телемедичних робочих станцій (ТРС), що взаємодіють з обладнанням абонентського доступу (ОАД), яке, у свою чергу, з'єднане з обладнанням інтеграції (ОІ). Останнє належить до WAN-сегмента та забезпечує обмін даними з обладнанням провайдера (ОП), розміщеним на його технічному майданчику.

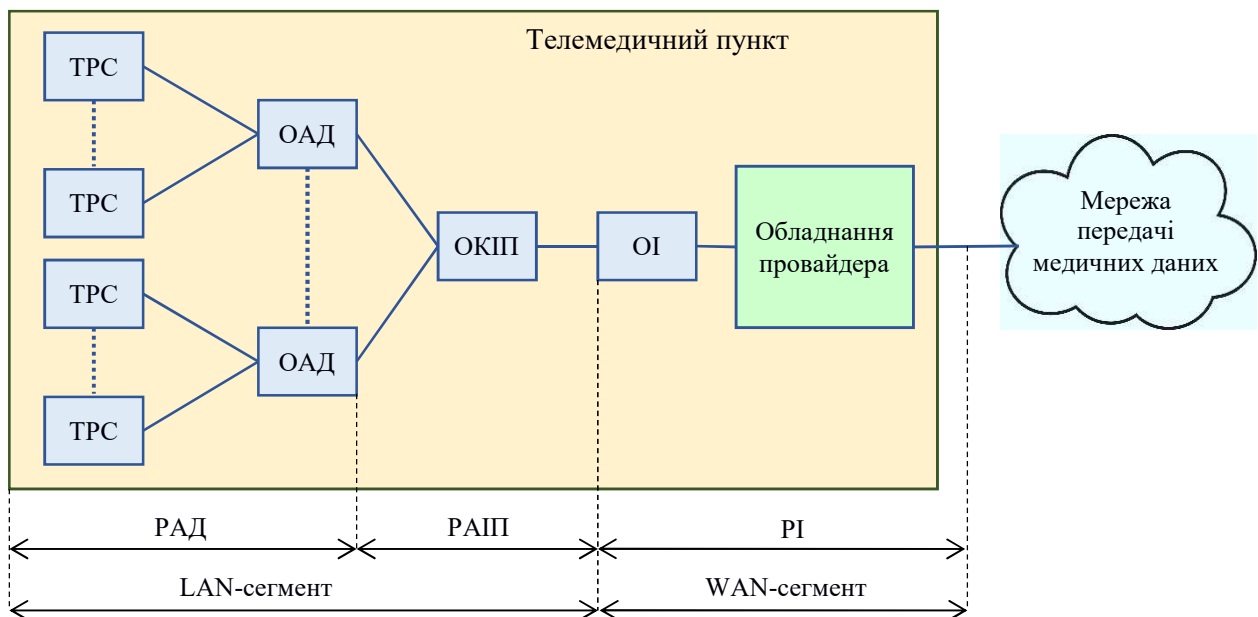


Рисунок 3 – Варіант організації WAN-сегмента при розміщенні обладнання провайдера на стороні телемедичної мережі

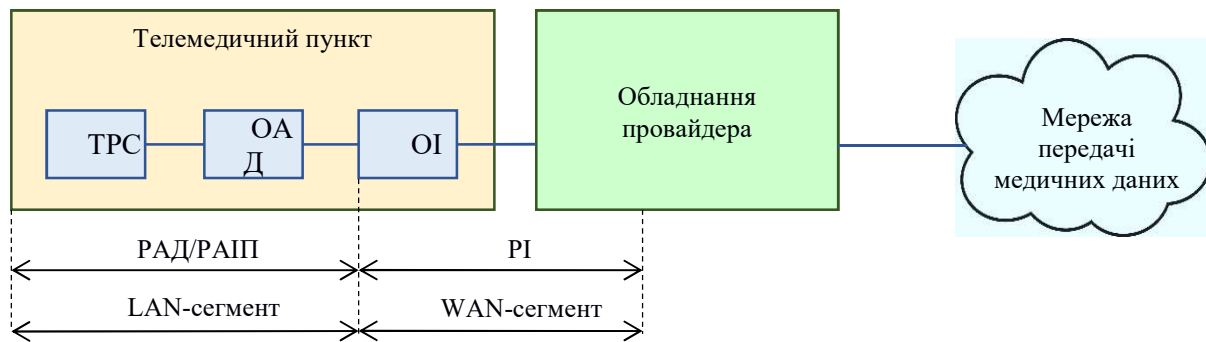


Рисунок 4 – Варіант організації WAN-сегмента при розміщенні обладнання провайдера на стороні провайдера

Результати дослідження

З точки зору підходу до зберігання даних при побудові телемедичної мережі можлива як централізована (рис. 5), так і розподілена (децентралізована) схема (рис. 6). Централізована архітектура передбачає зберігання всіх медичних даних, таких як персональні дані лікарів і пацієнтів, результати обстежень і аналізів, історія звернень до медичних закладів, графік консультацій, в єдиному організованому сховищі. Явною перевагою такого підходу є керованість мережі завдяки відсутності дублювання екземплярів однієї інформації. Водночас така система є більш вразливою до ризиків несанкціонованого доступу, потребує значних витрат на масштабування та не виключає можливості втрати даних або їх недоступності у разі виникнення апаратних чи мережевих збоїв.

Децентралізована або розподілена архітектура передбачає зберігання медичних даних на різних вузлах з тією лише відмінністю, що в розподілених мережах володіння даними та обчислювальні ресурси рівномірно розподіляються по всій мережі.

Для забезпечення надмірності створюється кілька копій фрагментів даних на локальних ресурсах телемедичної мережі або телемедичних робочих станціях фахівців, завдяки чому виключається ймовірність того, що інформація буде недоступною. Оскільки при такій організації дані шифруються, фрагментуються та зберігаються на різних вузлах, знижуються ризики несанкціонованого доступу. Крім цього, використання даного підходу дозволяє істотно скоротити час затримки за рахунок можливості отримання даних з найближчих вузлів і є економічно вигідним у разі масштабування мережі. Безпека даних забезпечується за рахунок спеціального ПЗ, що використовується на вузлах для управління доступом і дозволами, наскрізного шифрування як при зберіганні, так і при передачі.

На сучасному етапі розвитку ІКТ використовуються технології, наведені в табл. 2. Вибір мережевих технологій, що застосовуються на практиці, залежатиме від того, чи використовується в даній області якась дротове з'єднання, яким має бути охоплення та навантаження на мережу.

Таблиця 2 – Сучасні мережеві технології для реалізації телемедичних послуг

№	Мережева технологія	Швидкість, Мбіт/с	LAN-сегмент		WAN-сегмент
			Рівень абонентського доступу	Рівень агрегації інформаційних потоків	Рівень інтеграції
1.	Fast Ethernet	100	+		
	Gigabit Ethernet	1000	+	+	
	10 Gigabit Ethernet	10000		+	
2.	Wi-Fi	до 500	+		
3.	Супутникова технологія доступу	100			+
4.	4G (LTE)	30	+		+
5.	ADSL	25			+
	VDSL	50			+
6.	Пасивна оптична мережа (PON)	до 1000			+
7.	Активна оптична мережа	1000			+

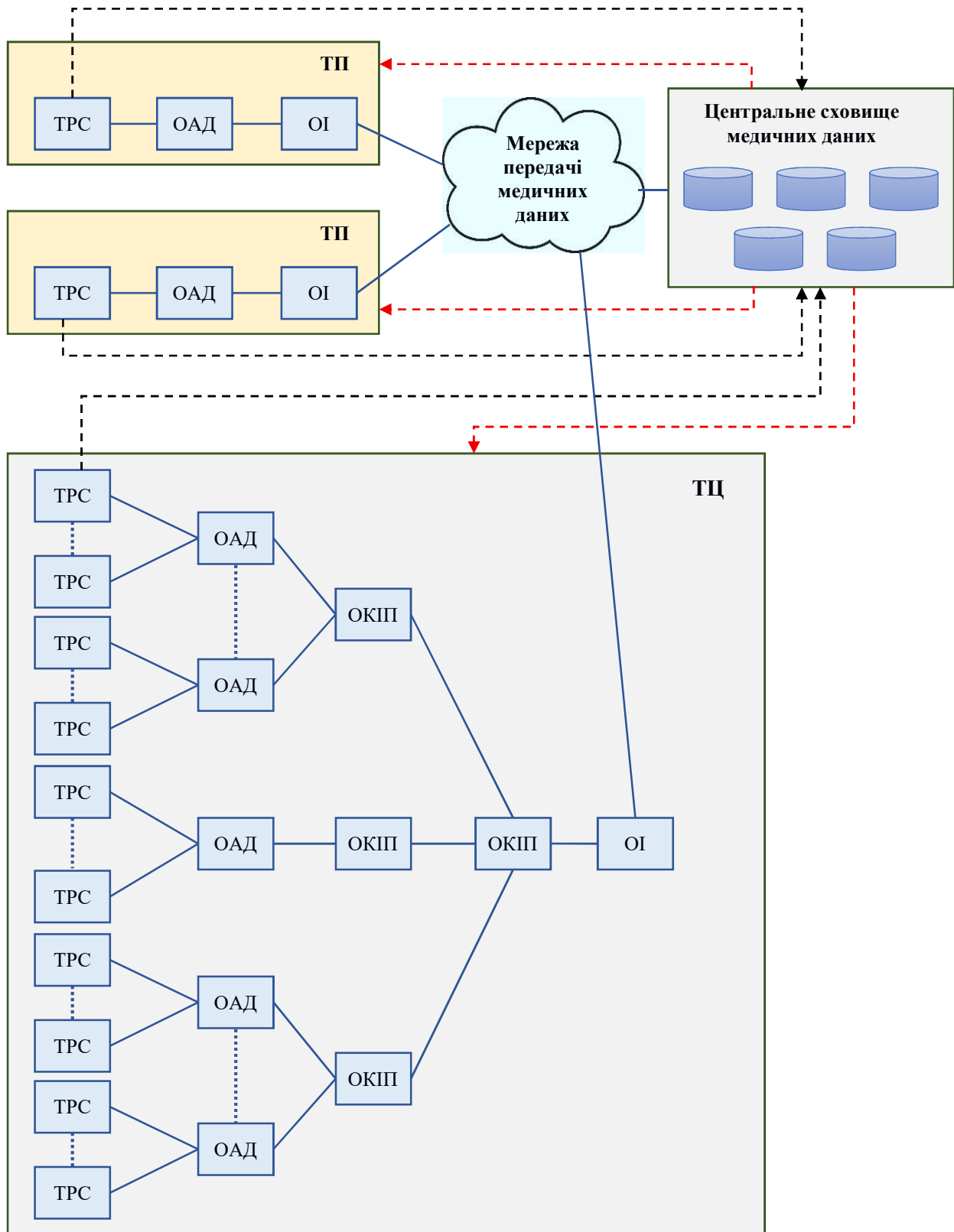


Рисунок 5 – Архітектурна модель централізованої організації телемедичної мережі

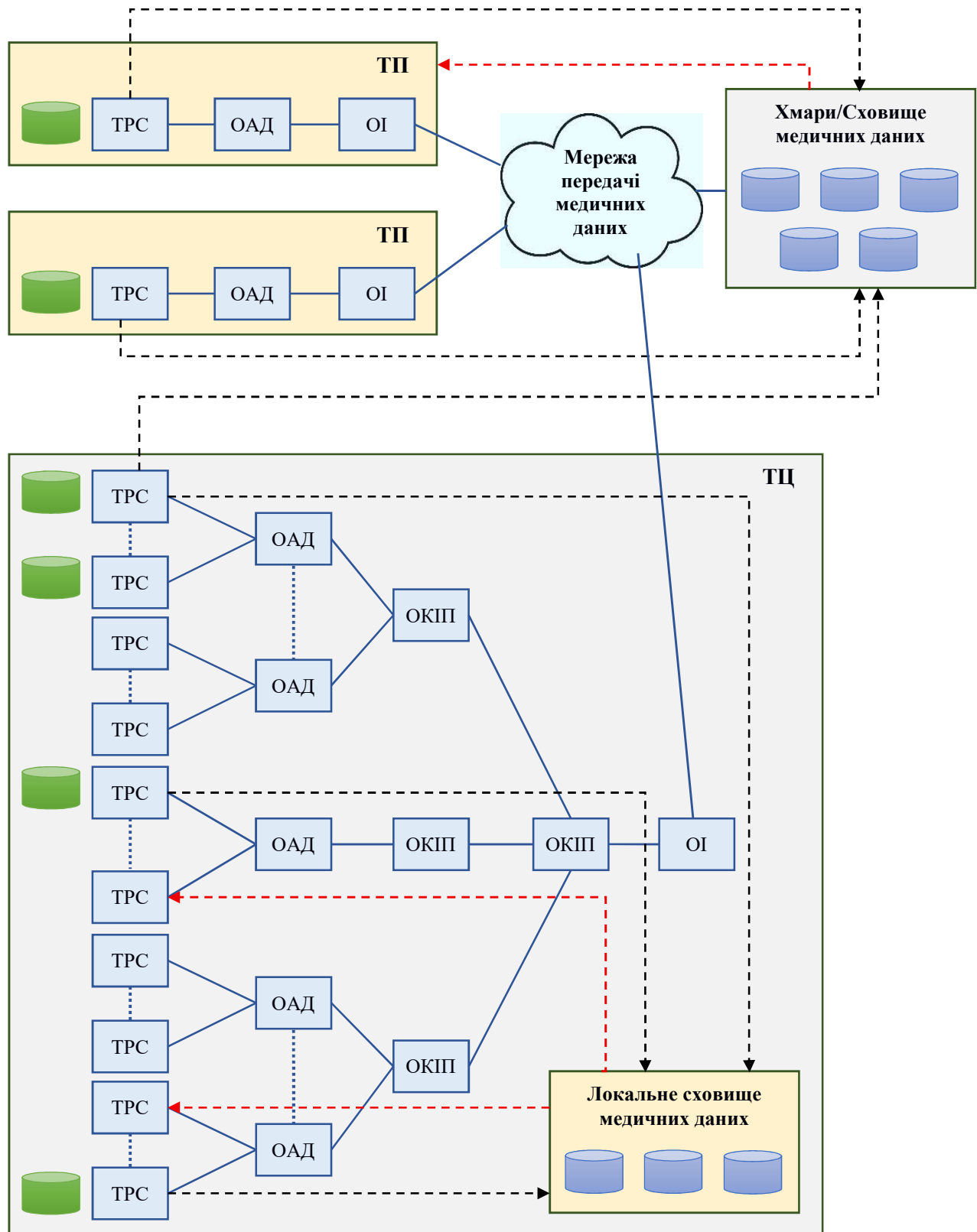


Рисунок 6 – Архітектурна модель розподіленої організації телемедичної мережі

Основними пунктами надання послуг у телемедичній мережі є телемедичні робочі станції (ТРС), які забезпечують різні послуги залежно від профілю і, отже, працюють з різними типами даних.

Класифікація типів ТРС із зазначенням даних, що обробляються, наведена в табл. 3.

Таблиця 3 – Типи медичних даних, що використовуються на різних типах ТРС

№	Тип ТРС	Типи медичних даних	Опис
1	Базова	<ul style="list-style-type: none"> – Медичний запис. – Дані. – Чорно-біле або кольорове статичне 2D-зображення. – Потоків аудіо, відео у якості SD або HD. 	ТРС здатна працювати з будь-яким типом даних, крім тривимірних зображень та відеоконференцій у якості UHD. Щодо медичних напрямків телемедичних послуг, обмеження в телерентгенології та телемамографії.
2	Діагностична	<ul style="list-style-type: none"> – Медичний запис. – Дані. – Чорно-біле або кольорове статичне 2D-зображення. – Тривимірні зображення (3D-моделі). – Потоків аудіо. 	Основне призначення ТРС цього типу полягає у проведенні діагностичних досліджень.
3	Віддалена	<ul style="list-style-type: none"> – Медичний запис. – Дані. – Чорно-біле або кольорове статичне 2D-зображення. – Потоків аудіо, відео у SD-якості. 	Цей тип ТРС підтримує передачу стандартного набору медичних даних, за винятком 3D-моделей та відеопотоку високої якості.
4	Універсальна	<ul style="list-style-type: none"> – Медичний запис – Дані. – Чорно-біле або кольорове статичне 2D-зображення. – Тривимірні зображення (3D-моделі). – Потоків аудіо, відео будь-якої якості. 	ТРС є універсальною, оскільки передбачає підтримку будь-яких типів переданих даних, що дозволяє надавати будь-які види телемедичних послуг.

Отже, результати дослідження ілюструють різні варіанти організації архітектури телемедичної мережі, зокрема її ключові компоненти, пункти надання медичних послуг, механізми обробки медичних даних та системи їх зберігання.

Висновки

У результаті проведеного дослідження було розроблено архітектурні моделі розгортання телемедичних мереж із визначенням ключових компонентів, організаційних структур і мережевих технологій для ефективного надання та підтримки телемедичних послуг. За результатами проведеного аналізу було визначено основні напрямки застосування телемедицини для її впровадження в мережах зв'язку та типи медичних даних, які використовуються для надання телемедичних послуг. Аналіз існуючих рекомендацій щодо створення телемедичних мереж на місцевому, регіональному та національному рівнях дозволив виділити ключові компоненти мережі, що забезпечують передачу медичних даних. Науковим результатом дослідження є розробка моделей централізованої та децентралізованої архітектури телемедичної мережі з урахуванням організації

зберігання даних, до складу яких включено різні типи телемедичних робочих станцій. Для практичної реалізації отриманих наукових результатів проведено аналіз та опис характеристик існуючих мережевих технологій на рівнях LAN та WAN-сегментів. Перспективи подальших досліджень пов'язані з вибором варіанту оптимального розташування компонентів телемедичної мережі та з розробленням інноваційних підходів до обробки медичних даних.

Конфлікт інтересів. Автор заявляє, що не має конфлікту інтересів щодо даного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський або будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, представлені в даній статті.

Фінансування. Дослідження було проведено без фінансової підтримки.

Доступність даних. Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті рукопису.

Використання штучного інтелекту. Автор підтверджує, що при створенні даної роботи не використовувалися інструментальні засоби штучного інтелекту.

Список використаних джерел

1. DataReportal. Digital 2022: April global statshot report. 2022. URL: <https://datareportal.com/reports/digital-2022-april-global-statshot>.
2. Bain & Company. Asia-Pacific front line of healthcare report 2022. 2022. URL: <https://www.bain.com/insights/asia-pacific-front-line-of-healthcare-report-2022>.
3. Baeldung. How to calculate packet time from latency and bandwidth. 2024. URL: <https://www.baeldung.com/cs/packet-time-latency-bandwidth>.
4. Про схвалення Стратегії розбудови телемедицини в Україні : розпорядження Кабінету Міністрів України від 14 лип. 2023 р. № 625-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/625-2023-%D1%80>.
5. Про дослідну експлуатацію засобів телемедицини в умовах воєнного стану в Україні : наказ Міністерства охорони здоров'я України від 22 січ. 2024 р. № 109. URL: <https://moz.gov.ua/uk/documents>.
6. Wójcik W., Pavlov S., Kalimoldayev M. Information technology in medical diagnostics II. London : CRC Press, Taylor & Francis Group, 2019. 336 p.
7. Владзимирський А. В. Первинна телемедична консультація «пацієнт-лікар»: перша систематизація методології. *Журнал телемедицини та електронної охорони здоров'я*. 2017. № 2. С. 109–121.
8. Ярославський Я. І., Павлов С. В., Костюк С. В., Тимчик С. В. Принципи побудови телемедичних мереж і систем на основі волоконно-оптичних каналів зв'язку у Вінницькій області. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2022. Т. 42, № 2. С. 84–95. URL: <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2021-42-2-84-95>.
9. Robotko S., Topalov A. Multi-level architecture of automatic UAVs control system for search missions using video analysis and metal detection. *Optical-Electronic Information and-Phase Technologies*. 2026. Vol. 50, no. 2. P. 114–124. URL: <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2025-50-2-114-124>.
10. Barnawi A. et al. A deep learning approach for landmines detection based on airborne magnetometry imaging and edge computing. *Computer Modeling in Engineering & Sciences*. 2024. Vol. 139, no. 2. P. 2117–2137. URL: <https://doi.org/10.32604/cmes.2023.044184>.
11. Vivoli E., Bertini M., Capineri L. Deep learning-based real-time detection of surface landmines using optical imaging. *Remote Sensing*. 2024. Vol. 16, no. 4. Art. 677. URL: <https://doi.org/10.3390/rs16040677>.
12. MAVLink Community. MAVLink developer guide – MAVLink v2 documentation. 2025. URL: <https://mavlink.io/en/>.
13. Сучасний стан розвитку телездоров'я та телемедицини в світі : вебсайт / Міністерство охорони здоров'я України. 2024. URL: <https://moz.gov.ua/uk/suchasnij-stan-rozvitku-telezdorov-ya-ta-telemedicini-v-sviti>.
14. Vocabulary for performance, quality of service and quality of experience : Recommendation ITU-T P.10/G.100. Geneva : International Telecommunication Union, 2019. 152 p.
15. Яковичен П. О., Тужанський С. Є. Аналіз методів передавання даних в телемедичних системах. *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. 2024. Т. 47, № 1. С. 222–232. URL: <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2024-47-1-222-232>.

Viktor Sapaiev

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7978-7226>

Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

PhD Student, Department of Radio Engineering and Radio-Electronic Systems

ARCHITECTURAL MODELS FOR DEPLOYING COMMUNICATION NETWORKS TO SUPPORT TELEMEDICINE SERVICES

Abstract. *Telemedicine is gaining increasing global popularity as a modern technology for providing medical services, involving the exchange of various types of medical information between remote locations. The current state of development of telemedicine in Ukraine does not fully meet today's needs and challenges due to the lack of defined directions for the development of telemedicine technologies. Therefore, the purpose of this study is to systematize and develop architectural models for the deployment of communication networks for the provision and support of telemedicine services in Ukraine. To achieve this goal, the requirements for telemedicine networks in terms of quality indicators and characteristics of medical data for the implementation of a basic list of services, including teleconsultations, telemonitoring, and tele-education, are considered. Variants of using telemedicine workstations are proposed depending on the services provided. From the perspective of information and communication technologies, architectural models for network deployment based on centralized and decentralized schemes are developed. The study considers various options for the subordination of network components, the organization of LAN and WAN segments, the placement of provider equipment, methods of localization of data storage systems, and recommended network technologies. The scientific novelty lies in the formulation of principles and architectural models for building communication networks that contribute to the development of telemedicine technologies. The practical value is the possibility of applying these models to develop methodologies for implementing telemedicine services and technical specifications for designing telemedicine networks. Prospects for further research are related to the choice of the optimal location of network components and the development of innovative approaches to medical data processing.*

Keywords: *telemedicine technologies; telemedicine; telemedicine network architecture; medical data processing; telemedicine workstation; data transmission network; LAN segment; WAN segment*

References

1. DataReportal. (2022). *Digital 2022: April global statshot report*. URL: <https://datareportal.com/reports/digital-2022-april-global-statshot>.
2. Bain & Company. (2022). *Asia-Pacific front line of healthcare report 2022*. URL: <https://www.bain.com/insights/asia-pacific-front-line-of-healthcare-report-2022>.
3. Baeldung. (2024). *How to calculate packet time from latency and bandwidth*. URL: <https://www.baeldung.com/cs/packet-time-latency-bandwidth>.
4. Cabinet of Ministers of Ukraine. (2023). *On approval of the Strategy for the development of telemedicine in Ukraine* (Order No. 625-r dated July 14, 2023). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/625-2023-%D1%80> [in Ukrainian].
5. Ministry of Health of Ukraine. (2024). *On the trial operation of telemedicine tools under martial law in Ukraine* (Decree No. 109 dated January 22, 2024). URL: <https://moz.gov.ua/uk/documents> [in Ukrainian].
6. Wójcik, W., Pavlov, S., & Kalimoldayev, M. (2019). *Information technology in medical diagnostics II*. CRC Press, Taylor & Francis Group.
7. Vladimírsky, A. V. (2017). Primary telemedicine consultation "patient-doctor": the first systematization of methodology. *Journal of Telemedicine and Electronic Health Care*, (2), 109–121. [in Ukrainian].
8. Yaroslavskyy, Y., Pavlov, S., Kostyuk, S., & Tymchyk, S. (2022). Principles of building telemedicine networks and systems based on fiber-optic communication channels in Vinnytsia region. *Optical-Electronic Information and-Phase Technologies (OEIPT)*, 42(2), 84–95. URL: <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2021-42-2-84-95> [in Ukrainian].
9. Robotko, S., & Topalov, A. (2026). Multi-level architecture of automatic UAVs control system for search missions using video analysis and metal detection. *Optical-Electronic Information and-Phase Technologies (OEIPT)*, 50(2), 114–124. URL: <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2025-50-2-114-124>.
10. Barnawi, A., Kumar, K., Kumar, N., Alzahrani, B., & Almansour, A. (2024). A deep learning approach for landmines detection based on airborne magnetometry imaging and edge computing. *Computer Modeling in Engineering & Sciences*, 139(2), 2117–2137. URL: <https://doi.org/10.32604/cmescs.2023.044184>.
11. Vivoli, E., Bertini, M., & Capineri, L. (2024). Deep learning-based real-time detection of surface landmines using optical imaging. *Remote Sensing*, 16(4), 677. URL: <https://doi.org/10.3390/rs16040677>.
12. MAVLink Community. (2025). *MAVLink developer guide – MAVLink v2 documentation*. URL: <https://mavlink.io/en/>.
13. Ministry of Health of Ukraine. (2024). *Current state of telehealth and telemedicine development in the world*. URL: <https://moz.gov.ua/uk/suchasnij-stan-rozvitku-telezdorov-ya-ta-telemedicini-v-sviti> [in Ukrainian].
14. ITU-T. (2019). *Vocabulary for performance, quality of service and quality of experience* (Recommendation ITU-T P.10/G.100). International Telecommunication Union.
15. Yakovyshen, P., & Tuzhansky, S. (2024). Analysis of data transmission methods in telemedicine systems. *Optical-Electronic Information and-Phase Technologies (OEIPT)*, 47(1), 222–232. URL: <https://doi.org/10.31649/1681-7893-2024-47-1-222-232> [in Ukrainian].

Посилання на публікацію

- APA Sapaiev, V. (2026). Architectural models for deploying communication networks to support telemedicine services. *Management of Development of Complex Systems*, 65, 227–237, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2026.65.227-237.
- ДСТУ Сапасєв В. І. Архітектурні моделі розгортання мереж зв'язку для надання та підтримки телемедичних послуг. *Управління розвитком складних систем*. Київ, 2026. № 65. С. 227 – 237, dx.doi.org\10.32347/2412-9933.2026.65.227-237.