

Informatics and Information Technologies

DOI: <https://doi.org/10.15407/kvt204.02.005>

UDC: 007.330.341

ГРИЦЕНКО В.І., член-кореспондент НАН України,
директор Міжнародного науково-навчального центру
інформаційних технологій та систем
НАН України та МОН України
ORCID: 0000-0003-4813-6153
e-mail: vig@irtc.org.ua

БАБАК О.В., канд. техн. наук,
старш. наук. співроб. відд. екологічних цифрових систем
ORCID: 0000-0002-7451-3314
e-mail: dep175@irtc.org.ua

СУРОВЦЕВ І.В., д-р. техн. наук, старш. наук. співроб.,
зав. відд. екологічних цифрових систем
ORCID: 0000-0003-1133-6207
e-mail: dep175@irtc.org.ua; igorsur52@gmail.com
Міжнародний науково-навчальний центр
інформаційних технологій та систем
НАН України та МОН України,
пр. Акад. Глушкова 40, м. Київ, 03187, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ВЗАЄМОЗВ'ЯЗКУ МЕРЕЖ 5G, 6G З ВЕЛИКИМИ ДАНИМИ, ІНТЕРНЕТОМ РЕЧЕЙ ТА ШТУЧНИМ ІНТЕЛЕКТОМ

***Вступ.** Технології мобільного зв'язку 5G, 6G, які активно розвиваються у світі, та Інтернет речей, великі дані, штучний інтелект тісно переплітаються. Важливо розуміти особливості взаємозв'язку, щоб ефективно використовувати їх у нових інтелектуальних інформаційних технологіях.*

***Мета статті** — виділення найважливіших особливостей взаємозв'язку, які визначаються на основі досвіду впровадження технологій 5G та 6G.*

***Результати.** Технології інтернету речей застосовують мережі 5G, 6G, а також хмарні, туманні та граничні обчислення для високошвидкісного зв'язку з пристроями. Для аналізу великих даних використовують методи машинного навчання, нейронні мережі та імітаційне моделювання. Алгоритми штучного інтелекту є невід'ємною частиною всіх технологій, вони дають змогу здійснити інтелектуальне підключення та керування мережами зв'язку 5G/6G, інтернетом речей та великими даними. Основними тенденціями розвитку 5G/6G будуть конвергенція комунікацій, застосування 3D-мереж, терагерцевого спектру, квантових технологій, штучного інтелекту та глибокого навчання.*

© ГРИЦЕНКО В.І., БАБАК О.В., СУРОВЦЕВ І.В., 2021

ISSN 2663-2586 (Online), ISSN 2663-2578 (Print). *Cyb. and Comp. Eng.* 2021. № 2 (204)

Висновки. Використання мереж швидкісного зв'язку 5G та 6G, технологій інтернету речей, хмарних обчислень, аналізу великих даних та штучного інтелекту є необхідною умовою для подальшого розвитку цифрової економіки, автоматизації виробництва, розумної охорони здоров'я та побудови розумного міста.

Ключові слова: мережі зв'язку, великі дані, інтернет речей, штучний інтелект, машинне навчання.

ВСТУП

За останні 40 років кожне десятиріччя змінюються покоління мереж мобільного зв'язку 1G–4G. Однак, якщо стільникові мережі 1G вже зникли, то мережі 2G–4G досі продовжують функціонувати. Водночас частина інфраструктури мережі 3G, 4G поступово увійде до складу мобільних мереж нового п'ятого покоління 5G, технічні характеристики яких досить докладно наведено в [1]. Технології 1G–4G надали можливість здійснити зв'язок з Інтернетом, тому спостерігається єдність та спадкоємність взаємозв'язку 5G з попередніми поколіннями зв'язку. Цілком закономірно, що мережі 5G стануть фундаментом цифрової економіки та відкриють дорогу наступному поколінню 6G, широке впровадження якого може розпочатись, мабуть, вже в 2030 році [2, 3].

Необхідність переходу до 5G пов'язана не тільки зі збільшенням внаслідок технічного прогресу потоків інформації, тобто Великими даними (BD — Big Data), а й економічними причинами. Справа в тому, що витрати на пропускання підвищеного трафіку в мережах зв'язку станом на 2020 рік не покриваються доходами від традиційних послуг, а пошуки нових послуг не дають очікуваних результатів. Відмічено, що основне зростання трафіку та доходів спостерігається не в секторі пристроїв, що їх використовують люди, а в секторі пристроїв інтернету речей (IoT — Internet of Things), особливо у його складнику — Промисловому інтернеті речей (IIoT — Industrial Internet of Things). Саме ця обставина й визначила мету створення та призначення мереж 5G, функційними особливостями яких є [4]:

- широкосмуговий мобільний зв'язок (eMBB — Extreme Mobile Broadband);
- наднадійні комунікації з малою затримкою (ULLRC — Ultra Low Latency Reliable Communication);
- масова міжмашинна комунікація (mMTC — Massive Machine Type Communication), підтримка IoT, IIoT (ультра вузькополосний зв'язок).

На основі цих трьох особливостей будуватиметься все різноманіття послуг та можливостей мереж 5G, найхарактерніші з яких наведено в запропонованій роботі.

Стан впровадження мереж 5G у 2020 році у країнах світу дуже різноманітний: так, у Китаї встановлено 700 тис. базових станцій 5G, що відповідає 70% від їхньої загальної кількості у світі; у США компанії Venson, Ericson та Qualcomm Technologies вперше в світі досягнули швидкості 5G-з'єднання понад 5 Гбіт/с, Федеральна комісія США почала проводити аукціони з продажу частот 5G; в Росії затверджено дорожню карту розвитку 5G та почалося будівництво першої корпоративної 5G-мережі; в Україні для мереж 5G почали звільняти зайняті телебаченням частоти 790–862 МГц та 694–790 МГц.

Разом з цим, Фінляндія та Китай ще у 2018 році почали досліджувати технології, пов'язані з новим поколінням зв'язку — 6G, що працює в терагерцевому діапазоні частот, а в 2019 році США прийняли рішення про відкриття спектру «ТГц-хвиля» для 6G. Однак сьогодні мовиться в основному лише про концепцію технології 6G та передбачувані тренди її розвитку. Проте, у 2020 році у світі почалася активна робота й у цьому напрямку [4], зокрема: у ЄС розроблено проєкт розвитку 6G-мереж; Китай запустив перший у світі супутник для 6G зв'язку, компанія Хіаомі почала тестувати мережу 6G; LG Electronics (Південна Корея) почала розробляти технології для мереж 6G; Росія повідомила про старт робіт над 6G-мережами в Російській Федерації.

Отже, можна зробити такі висновки:

- мережі 5G разом з технологіями інтернету речей (IoT) та великих даних (BD) є основою цифрової економіки, рушійною силою якої повинен стати штучний інтелект (AI — Artificial Intelligence);
- наступником мереж 5G стануть мережі 6G.

Цілком очевидно, що між поколіннями зв'язку 5G, 6G та новими технологіями, в основу яких покладено передавання, оброблення та інтелектуальний аналіз великих масивів даних, є глибокий взаємозв'язок, особливості якого розглянуто у цій статті.

Незавершеність практичного впровадження мереж 5G та тільки концептуальне бачення майбутніх мереж 6G не дає змогу вказати конкретні властивості такого взаємозв'язку.

Метою дослідження є виділення, на наш погляд, найважливіших особливостей взаємозв'язку, які проглядаються на основі невеликого досвіду впровадження мереж 5G та 6G. Це визначило структуру статті, тобто послідовний розгляд розділів, пов'язаних з IoT, BD та AI.

Отже, почнемо з інтернету речей.

МЕРЕЖІ 5G, 6G ТА ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ

Генератором потоків BD в мережах 5G є інтернет речей (IoT). За означенням компанії Garther (США) [4], IoT — це мережа фізичних об'єктів, що мають вбудовані технології, які дають змогу здійснювати взаємодію з навколишнім середовищем, передавати відомості про свій стан та приймати зовнішні дані. Складником IoT є промисловий інтернет речей (IIoT) — розмаїття промислових пристроїв та датчиків, підключених до мережі.

Президент Всесвітнього економічного форуму в Давосі (2016 р.) Клаус Шваб увів в масове використання термін «Індустрія 4.0», який став синонімом четвертої промислової революції. «Індустрія 4.0» змінює не тільки виробництво, але й економіку, а також взаємодію між людьми. Водночас, AI та роботизація, IoT та 3D друк, віртуальна та доповнена реальність, біо- та нейротехнології стають частиною нашого повсякдення. Характерною рисою «Індустрії 4.0» є повністю автоматизоване виробництво, яке працює у режимі реального часу. Експерти виділяють чотири базові технології: IoT та IIoT, цифрові екосистеми, аналітику BD, складні кібернетичні системи (цифрові платформи).

Засобами вимірювання в IoT можуть бути як окремі давачі, так і складні комплекси. Причому для передачі даних може бути використано

будь-яку з наявних технологій бездротових та дротових мереж зв'язку. У компанії Microsoft (США) вважають, що головна частина IoT — це не давачі та засоби передачі даних, а хмарні обчислення (Cloud computing), які забезпечують високу пропускну спроможність. Допмагають впоратись з величезними потоками інформації туманні обчислення (Fog computing), а також граничні обчислення (Edge computing). Як виконавчі, використовують пристрої, здатні перетворювати цифрові електричні сигнали, що надходять від інформаційних мереж, на конкретні дії. Часто їх конструктивно об'єднують з давачами. Передбачається, що в осяжному майбутті IoT застосовуватимуть у самих різних сферах: промислові об'єкти, транспорт (автомобілі), охорона здоров'я (пристрої визначення стану здоров'я людини), аграрний сектор (давачі моніторингу доквілля), комунальні служби (давачі зниження втрат води, електроенергії, тепла), «розумний» будинок тощо. До цього обов'язково слід додати широке застосування в торгівлі, логістиці, готельному бізнесі, банківській сфері, будівництві та в збройних силах.

Але основним джерелом великих даних (за деякими підрахунками до 70%) в мережах 5G є промисловий інтернет речей (IIoT). Тому на його особливостях слід зупинитися детальніше.

IIoT — це система об'єднаних комп'ютерних мереж і підключених до них промислових об'єктів з вбудованими давачами та програмними засобами для збирання та обміну даними з можливістю віддаленого контролю та керування в автоматизованому режимі [5]. На першому етапі впровадження IIoT на промислове обладнання встановлюють давачі, виконавчі механізми, контролери та людино-машинні інтерфейси. Отже, стає можливим збирання інформації, що дає можливість керівництву отримувати такі об'єктивні та точні дані про стан виробництва, які не залежать від людського фактору. Оброблені дані надають усім підрозділам підприємства, що дає змогу налагодити тіснішу взаємодію між останніми та приймати обґрунтовані рішення. Отриману інформацію може бути використано для запобігання позапланових простоїв, поломок устаткування та збоїв у керуванні ланцюгами постачання, даючи підприємству змогу функціонувати ефективніше.

Під час оброблення величезного масиву неструктурованих даних, що надходять з давачів, особливого значення набуває подання інформації у зрозумілому для користувача вигляді. Для цього слід використовувати вже відомі аналітичні платформи, призначені для збирання, зберігання та аналізу даних про технологічні процеси, що працюють у реальному часі.

Очікується, що IIoT надасть можливість створити виробництва, гнучкіші та ефективніші за наявні. Сучасні провідні мережі давачів у найближчі роки буде доповнено бездротовими мережами. У разі становлення IIoT виробничі підприємства з ізольованих систем перетворюватимуться на відкриті системи, які поєднують різних учасників ринку. Керування виробництвом в цих системах здійснюватиме не персонал, а хмарні сервіси.

Що стосується економічних перспектив та реальності, то ще в 2015 році компанія Accenture (США) провела широке дослідження «Успіх за допомогою Промислового інтернету речей» (Winning with the IIoT) [5]. Як вона пророкує, можливий внесок IIoT у світове виробництво в 2030 році міг

би скласти 14,2 трлн. доларів. Але цей потенційний приріст знаходиться під загрозою, бо більшість держав поки не докладають достатньо зусиль, щоб створити необхідні умови для широкого розповсюдження нових цифрових технологій. Крім того, досліджені промислові підприємства навіть не мають конкретних планів використання ІоТ.

За результатами досліджень відомої аналітичної компанії ARC Advisory Group (США) відзначено, що в розвитку ІоТ простежуються такі тенденції [5]:

- головними складниками ІоТ стають передові аналітичні інструменти — штучний інтелект та машинне навчання;
- поява цифрових двійників або цифрових копій фізичного об'єкта уможливає вирішення низки аналітичних завдань, таких як моніторинг та прогнозування стану об'єктів, діагностика відмови пристроїв та технічних систем;
- ІоТ допомагає ігровим технологіям доповненої та віртуальної реальності (AR/VR) з високим ступенем достовірності імітувати реальну обстановку на підприємстві;
- застосування MQTT (Message Queue Telemetry Transport) як основного протоколу ІоТ обміну даними добре підходить для використання в контролерах, давачах та для кібербезпеки;
- різко зростає кількість інтелектуальних пристроїв, що застосовують в граничних та туманних обчисленнях з убудованою аналітикою.

Ці тенденції розвитку ІоТ є зараз, та, зважаючи на неухильні темпи розвитку 5G у світі, будуть і в майбутньому. Однак на останній тенденції розвитку, з огляду на її виняткову важливість, слід зупинитися докладніше.

Насамперед, відзначимо деякі особливості технологій хмарних обчислень, які уможливають зберігання та оброблення даних віддалено у «хмарі» [6]. Їхніми перевагами є надійність, безпека та розвиненість на світовому ринку, а основним недоліком — затримка передавання даних. Хмарні технології широко застосовують для оброблення великих обсягів інформації, наприклад, в технологіях ВД та АІ, у фінансовій сфері та телекомунікаціях. Успішна реалізація цих технологій залежить від якості вхідної інформації, яку необхідно попередньо фільтрувати, що здійснює технологія туманних обчислень.

Туманні обчислення — це технологія, завдяки якій процеси зберігання та оброблення даних здійснюються у локальній мережі між кінцевим пристроєм ІоТ та хмарою. Її перевагами є: зняття навантаження зі хмари, передавання даних у режимі реального часу та додаткова безпека, а недоліком — зменшення надійності внаслідок децентралізації. Туманні обчислення застосовуються для зв'язку з пристроями ІоТ, при цьому дані передаються та аналізуються майже без затримок. Цю технологію може бути використано у будь-якій галузі: виробництво, охорона здоров'я, енергетика, фінансова сфера тощо. Проте, якщо час затримки є критичним у передаванні даних, то це завдання розв'яже технологія граничних обчислень.

Граничні обчислення — це технологія оброблення та зберігання даних на кінцевому пристрої ІоТ. Її перевагами є практично нульова затримка передавання даних, надійність та безпека, її може бути також використано у будь-якій сфері, особливо у пристроях ІоТ, якщо «розумне» обладнання не вимагає підключення до хмари для виконання розрахунків. Сфери

застосування технологій граничних та туманних обчислень багато в чому перетинаються, бо їх загальною перевагою є швидкість передавання та аналізу даних. Наразі з'явилося безліч прикладів реалізації IoT та граничних обчислень, наприклад, збирання показань лічильників, «розумні» автобусні зупинки, системи контролю водіїв громадського транспорту тощо.

Звичайно, у разі застосування мереж 5G та 6G туманні обчислення не зможуть витіснити хмарні технології в IoT. Ці напрями розвиватимуться та доповнюватимуть один одного. Але там, де потрібно розв'язання складних завдань керування та економіки, «хмара» залишиться у пріоритеті. А там, де потрібна значна швидкість рішень, отримують свій розвиток туманні та граничні обчислення і хмара використовуватиметься як сховище важливих даних.

Однак, поряд з сучасними тенденціями розвитку цих технологій, за умови майбутнього впровадження мереж 6G, вимальовується ще одна нова важлива тенденція — це конвергенція комунікацій, обчислень, позиціонування та виміру [7, 8]. Справа в тому, що наявні мережі мобільного зв'язку та 5G виконують фактично одну основну функцію щодо здійснення бездротового зв'язку. Мережі 6G одночасно виконуватимуть ще й функції обчислення, керування, позиціонування та вимірювання, що необхідно для таких застосунків як розширена реальність, підключена робототехніка та автономні системи.

У наступному розділі зупинимося ще на одній важливій обставині, яка з'явилася внаслідок впровадження IoT — виникненні ефекту великих даних (BD).

МЕРЕЖІ 5G, 6G та ВЕЛИКІ ДАНІ

Соціально-економічний феномен BD є пов'язаним з появою технологічних можливостей аналізувати величезні потоки даних, що виникають у різних проблемних сферах, а також зі збільшенням усього світового обсягу даних. Це стало можливим завдяки упровадженню 2G–4G поколінь зв'язку.

Аналітики IBS Group Holding Ltd (РФ) весь світовий обсяг BD оцінюють у зетабайтах (1 зетабайт — 1012 гігабайтів) такими величинами [9]:

- 2015 р. понад 6,5 зетабайт;
- 2020 р. 40–44 зетабайт;
- 2025 р. до 500 зетабайт.

Водночас більшу частину даних генеруватимуть не IoT, а підприємства, тобто IIoT. У зв'язку з цим, через очікувані небачені обсяги інформації, навіть у разі незадовільного характеру поширення 5G у світі, вже у 2030 році намічається розпочати впровадження 6G. Розрахунки аналітиків показують, що мобільний зв'язок 5G, який охоплює традиційні частоти нижче 6 ГГц, та принципово нові частоти міліметрового діапазону 24–50 ГГц все одно не зможуть впоратися з передаванням та обробленням очікуваних величезних потоків даних. Тому нова технологія 6G повинна використовувати вже терагерцову смугу частот (100 ГГц) — 10 ТГц, за якої, на думку аналітиків, можна знайти вирішення зазначеної проблеми.

У разі використання мереж 5G для аналізу BD застосовують сукупність технологій, в основу яких покладено три операції [9]:

- оброблення великих, порівняно зі «стандартними» сценаріями, обсягів даних;

- оброблення даних, що швидко надходять у дуже великих обсягах, коли даних не просто багато, а їх постійно стає все більше;
- оброблення структурованих та неструктурованих даних паралельно, у різних аспектах.

Після виконання зазначених операцій можливо відновити ті закономірності в даних, які не є очевидними для обмеженого людського сприйняття. Це дає безпрецедентні можливості оптимізації багатьох сфер нашого життя: державного управління, медицини, фінансів, транспорту, виробництва тощо.

Не зупиняючись детально на принципах та тенденціях роботи з BD, все ж необхідно зазначити, що визначальними характеристиками для них є не тільки величезний масив, а й значний набір ознак. Останній характеризується показниками даних VVV (volume, velocity, variety), тобто фізичний обсяг, швидкість приросту та необхідність швидкого оброблення, а також можливістю одночасного аналізу даних різних типів. І це треба мати на увазі, перш ніж розпочинати їх аналіз.

Перелічимо найвідоміші методи аналізу BD.

Машинне навчання ML (Machine Learning) з учителем та без учителя. Після усунення у BD небажаних явищ (накопичення шуму, помилкової кореляції, пропусків даних) ML уможливорює ефективне оброблення BD відомими статистичними методами. Пояснюється це тим, що за великих обсягів вибірки стає справедливим висновок центральної теореми теорії ймовірності про нормальний закон розподілу даних. Ця унікальна властивість BD відкриває можливості для створення ефективних статистичних алгоритмів ідентифікації, розпізнавання образів тощо, що дає змогу виявити у даних неочевидні приховані закономірності.

Методи класу Data Mining. До них належить сукупність методів виявлення у BD раніше невідомих, нетривіальних, корисних практично знань, необхідних для прийняття рішень.

Штучні нейронні мережі. Метод охоплює мережевий аналіз, оптимізацію та генетичні алгоритми.

Імітаційне моделювання. Метод націлено на побудову моделей, які описують реальні процеси.

Прогнозна аналітика, розпізнавання образів. Метод здійснює візуалізацію аналітичних даних, інтеграцію, а також, просторовий аналіз даних.

До джерел BD належать:

- інтернет: блоги, соцмережі, сайти та різні форуми;
- корпоративна інформація: транзакції, архіви, бази даних;
- значення показання вимірювальних пристроїв: метеорологічних приладів, промислового устаткування, давачів стільникового зв'язку тощо.

Поза традиційної сфери бізнесу та маркетингу, технології BD застосовують в охороні здоров'я, для попередження природних та техногенних катастроф, у правоохоронних органах та військовій сфері.

Найістотнішою відмінністю оброблення та аналізу BD в мережах 5G та 6G стане різниця швидкості їхнього приймання та передавання. Для порівняння, зараз максимальна теоретична межа швидкості у мережі 5G проходить на рівні 20 Гбіт/с, тоді як у мережах 6G вона може досягати 1 Тбіт/с. Можна очікувати,

що ця обставина приведе до деяких змін алгоритмічного забезпечення зазначених методів аналізу BD, але ніяк не позначиться на їх суті.

І нарешті варто відзначити деякі ключові напрями технічного розвитку технології BD у мережах 6G [10,11]. До них, насамперед, належать такі тенденції.

- *Зростання обсягу переданих даних*, тому виникає потреба у більшому обсязі спектра. Появляється це тим, що багато сценаріїв використання мереж 6G, включно з такими застосунками, як розширена реальність (Extended Reality), та пристроями для безпосереднього обміну даними між комп'ютером і людським мозком (Wireless Brain — Computer Interactions) потребують у тисячу разів вищих швидкостей передавання даних, порівняно з 5G. Це зумовить освоєння вищих діапазонів частот аж до терагерцевих.
- *Перехід від оцінювання спектральної ефективності на одиницю площі до оцінювання обсягу простору та обліку енергоефективності*. Необхідність такого переходу викликано тим, що мережі 6G під час передавання та приймання BD працюватимуть у тривимірному просторі як з наземними, так і з повітряними пристроями (літальні апарати, дрони, прив'язані аеростати тощо).
- *Поява «розумних», випромінювальних BD поверхонь*. Це пов'язано з тим, що мережі 6G покладуть початок розвитку для передавання та приймання BD випромінювальних поверхонь, таких як стіни, дороги і навіть цілі будинки.
- *Масова доступність малих даних*. Як наслідок, мережі 6G забезпечуватимуть передавання як централізованих BD, так і величезної кількості розподілених малих даних, які будуть потрібні для надання нових послуг.

Слід відзначити, що BD є основою всіх інноваційних технологій. Тому шлях до створення алгоритмів AI починається з необхідної якості оброблення та аналізу BD. Давно зазначено, що в основі всіх невдач у створенні таких алгоритмів лежить низька якість даних, а не моделі. Враховуючи цей висновок, намагатимемося показати особливості зв'язку мереж 5G, 6G з AI.

МЕРЕЖІ 5G, 6G та ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ

Поняття штучного інтелекту AI (Artificial Intelligence) як технології остаточно ще не сформовано. Вікіпедія наводить до шести його визначень, з них орієнтуватимемося на таке означення цього терміну [12].

Штучний інтелект — це здатність системи правильно інтерпретувати зовнішні дані, робити з них висновки та використовувати отримані знання для досягнення конкретної мети та виконання завдань за допомогою гнучкої адаптації.

З цього означення випливає, що проблематика AI повинна розвиватися в основному за трьома напрямками, пов'язаними з обробленням та аналізом BD.

I. Застосування машинного навчання (ML) та когнітивного аналізу. Слід зазначити, що цей напрям був центральним з самого початку розвитку технології AI.

II. Використання нейронних мереж, завдяки яким розв'язують нечіткі та складні проблеми, такі як розпізнавання геометричних фігур або кластеризація об'єктів.

III. Розроблення інтелектуальних роботів, здатних маніпулювати об'єктами, визначати місце свого розташування та планувати переміщення. Оскільки на виробництві людина часто працює разом з роботами, виникають проблеми її убезпечення. Зауважимо, що вже розробляють колаборативні роботи (Collaborative Robot), які контролюють стан людини та не допускають заповідання їй шкоди або виконують певну роботу (побутовий робот-пилосос).

Методи AI застосовують у створенні таких технологій, як IoT та PoT, розроблення інтелектуальних давачів, аналіз природної мови, машинний зір, глибинне навчання, експертні системи, розпізнавання текстів та зображень, машинний переклад, бізнес-аналітика тощо.

Але поки що використання AI є обмеженим. Найкращі варіанти його використання на підприємствах займають діапазон від «автоматизованих агентів обслуговування клієнтів» до автоматизації інформаційних технологій, а в банківській сфері — до аналізу та розслідування випадків шахрайства.

На підставі викладеного можна зробити такі висновки. Технологія 5G розпочинає нову епоху розвитку напрямів та методів, основаних на AI, когнітивних міркуваннях, ML та глибинному навчанні з використанням BD. Впровадження AI у хмарні середовища базових мереж та периферію зробить доступною інформацію, яка інакше була б недосяжною.

Застосування передових хмарних технологій у мережах 5G надасть змогу за допомогою AI трансформувати структуру цих мереж. Природно, що перехід на «хмару» сприяє оперативності, гнучкості та масштабованості за умов зростання швидкості передавання та вимог до BD у мобільних мережах. Що стосується периферії (граничні та туманні обчислення), то в мережах 5G для них може бути забезпечено необхідну обчислювальну потужність. Зупинимось на цьому докладніше.

Вже зараз стала логічною поява гібриду AI та IoT, що отримав назву AIoT [13]. Справа у тому, що при передаванні даних IoT-пристроями у централізоване сховище, наприклад таке як хмара, виникає проблема із затримкою у часі. Пояснюється це тим, що характеристика цього процесу часто не відповідає збільшенню даних. Якщо передавати дані необробленими, то затримка зросте і загальна продуктивність системи знизиться. Оброблення даних, а саме граничні та туманні обчислення, є однією з тих сфер, де AI може зробити значний внесок. Тому для реалізації нової технології AIoT є необхідними компоненти AI, які можуть з цим завданням упоратися на периферії мережі. А периферією може бути все що завгодно — від бортових пристроїв транспортних засобів та літаків до заводів або, наприклад, газовидобувних установок, розташованих у віддалених районах. Інтелектуальне оброблення даних, що надходять від пристроїв IoT на периферії, спочатку передбачалося здійснювати у хмарі. Однак поступово від цієї концепції довелося відмовитися через великий обсяг даних, які передаються у зворотних напрямках, що призводило до неприпустимих затримок прийняття рішень та відповідної реакції. Вирішення цієї проблеми полягало в тому, що доцільним виявилось

здійснювати примежеві обчислення безпосередньо на краю мережі, визначаючи, які дані необхідно відправити у хмару, а які відфільтрувати. Тому під симбіозом, названим АІоТ, слід мати на увазі АІ-платформу (AI platform), розташовану на краю мережі.

Мабуть, основні тенденції розвитку АІ в 5G збережуться й за появи мережі 6G. Однак уже зараз можна говорити про очевидний характер та деякі особливості впровадження 6G. Головними трендами, які ведуть до необхідності появи 6G, є небачене зростання кількості підключень технічних пристроїв та використання АІ для безперервного зв'язку з цими пристроями [3]. Націленість на таку інтеграцію АІ з ІоТ не видається дивною, оскільки за оцінками аналітиків в 2030 році кількість підключених інтелектуальних технічних об'єктів на сьогодні оцінюються у 500 млрд., що значно перевищує населення Землі. Очікується, що широкого впровадження набудуть різні види «незвичайних» пристроїв, такі як, наприклад, окуляри доповненої реальності, гарнітури віртуальності, засоби відображення голограм тощо. Стає цілком реальним підключення до мережі автотранспорту, дронів, побутової техніки.

Важливого значення набуває концепція розумного міста, спрямована на ефективне керування сталим розвитком суспільства за умов урбанізації та поліпшення соціально-економічного і життєвого рівня своїх громадян [14]. Ефективне впровадження граничних обчислень і поєднання примежових технологій, таких як АІ, ІоТ, безпілотники, переносні технології, віртуальна та доповнена реальність, можуть відігравати життєво важливу роль у реалізації рішень та сприяти еволюції розумних міст. Використання цих технологій стає невід'ємною частиною сучасних технологічних втручань для поліпшення міських процесів і виходить за рамки таких сфер, як керування, охорона здоров'я, транспорт, виробництво, сільське господарство та освіта. В їх основі лежать давачі та інші робочі пристрої, вбудовані в розумні системи, які використовують потенціал ІоТ та АІ для сприйняття навколишнього середовища, забезпечують ефективне та автоматизоване прийняття рішень на основі отриманих ВД з обмеженим втручанням людини. Однак, багато проблем, таких як безпека, конфіденційність, достовірність даних, централізація, масштабованість тощо, зберігаються. Згодом примежеві технології зможуть трансформуватися у кіберфізичні системи, здатні підключити фізичний світ до обчислювальних засобів для підтримання необхідних операцій у «розумному місті».

В осяжному майбутті неминуче об'єднання мереж 6G та АІ. Водночас інтелектуальність стане невід'ємною характеристикою мережі 6G, тобто мова йде про так зване «інтелектуальне підключення». Воно буде одночасно відповідати двом вимогам: з одного боку, всі пов'язані та підключені один до одного пристрої 6G у самій мережі є інтелектуальними, з іншого боку, складна та величезна мережа сама потребує інтелектуального керування. Тому «інтелектуальне підключення» буде основною характеристикою, здійснюючи головну функцію мережі 6G — глибоке та повсюдне з'єднання з об'єктами.

Відзначимо, що за даними Міністерства науки та технологій Китаю швидкість передавання даних в мережі 6G, враховуючи терагерцовий

діапазон, буде у 8000 разів більше того, що може продемонструвати мережа 5G [15]. Це, звичайно, теоретичний результат, але навіть якщо мережа 6G працюватиме вдвічі повільніше, то її фантастична особливість надасть можливість «керувати пристроями з мозку». Можна припустити, що для повної реалізації такої можливості надзвичайно важливу роль відіграватиме й AI. Однак цей феномен може виникнути, мабуть, у неосяжному майбутньому.

Саме тому опис особливостей AI буде неповним, якщо дуже коротко не зупинитися на ще одній кінцевій меті з'єднання 5G + IoT + BD + AI. У цьому разі йдеться про інтелектуальне керування як можливий кінцевий результат будь-якої діяльності в усіх сферах.

Інтелектуальне керування є узагальненням семіотичного, когнітивного та інформаційного керування [16]. Необхідність інтелектуального керування найгостріше виникає для вирішення проблеми BD. Основою інтелектуального керування є інтелектуальні системи та інтелектуальні технології, які використовують методи та практики AI, в першу чергу ML. Оскільки для сучасного керування є притаманним приріст неструктурованої інформації, перед тим як узятися за основні функції керування, у будь-якому разі необхідно скористатися зазначеними методами аналізу BD. Без розв'язання цього завдання неможливо застосувати традиційні методи та деякі види інтелектуального керування, які полягають у побудові моделей стану того чи іншого об'єкта, які точно описують його поведінку. Тому від точності та швидкості аналізу BD залежить ефективність процесу створення моделі за допомогою процедури ML, яка по суті є найважливішою функцією AI. Зауважимо, що будь-яка модель інтелектуального керування є спрощеним описом стану та поведінки реального об'єкта. Ступінь спрощення може бути допустимим або створювати невизначеність [16], але це вже інше складне завдання, для розв'язання якого також є потрібним застосування спеціальних методів AI для побудови невизначених моделей. У цьому випадку можна вважати, що тенденції розвитку інтелектуального керування та AI за використання зв'язків 5G та 6G збігатимуться.

Однак слід все ж зупинитися на тому, що очікує нас невдовзі за широкого упровадження технологій 5G та 6G. Робота над стандартами мереж мобільного зв'язку 5G завершилася порівняно нещодавно. Більшість зон доступу 5G є або локальними, або зовсім тестовими, тому поява комерційних мереж поки ще дуже мало ймовірна. Очікуваний теоретичний максимум пропускної спроможності у цих мережах, відповідно до вимог стандарту IMT-2020 Міжнародного інституту електровз'язку, може досягти 20 Гбіт/с до абонента та 10 Гбіт/с у протилежному напрямку, із затримкою зв'язку не менше 4 мс. Однак за оцінками фахівців бездротового зв'язку, затримка в 1 мс — це занадто багато для забезпечення необхідної швидкості реакції мережі, коли Великі дані стали рушієм функціонування бізнесу і суспільства.

Причиною неприпустимої затримки в мережі 5G є використання програмно-обумовленого інтерфейсу 5G NR, що призводить до значного уповільнення. Очікується, що виходом із такої ситуації буде створення технології зв'язку 6G, яка працюватиме у терагерцевому діапазоні з шириною

частотних смуг нового стандарту понад десятка ГГц, що уможливить забезпечення більшої пропускної здатності. Очікується, що, не зважаючи на те, що немає ще проекту стандарту такого зв'язку, швидкість зв'язку 6G сягне 1 Тбіт/с, з мережевою затримкою до 1 мкс. Однак на шляху до терагерцевого діапазону необхідно подолати ще чимало технічних складнощів.

Значні зусилля у розвитку технологій IoT, AI та мереж зв'язку 5G, 6G здійснює Європейська комісія. Так, у 2018–2021 рр. виконується низка масштабних проєктів, в яких задіяно майже всі країни ЄС:

- **iDev40** (783163) — Інтегрований розвиток «Індустрія 4.0» в Європі для роботи зі складними цифрованими системами виробництва для досягнення високої якості продукції, малих термінів розроблення та виконання, з широким упровадженням систем керування даними та штучного інтелекту [17];
- **Productive4.0** (737459) — Електроніка та інформаційно-комунікаційні технології як засіб для цифрової промисловості та оптимізованого керування ланцюгами постачання, що охоплює весь життєвий цикл товару [18];
- **AFarCloud** (783221) — Розроблення розподіленої платформи для автономного ведення сільського господарства, що дасть змогу інтегруватися та співпрацювати кіберфізичним системам сільського господарства у режимі реального часу задля збільшення ефективності, продуктивності діяльності, покращення здоров'я тварин, якості їжі та зменшення витрат на робочу силу на фермах [19].

ВИСНОВКИ

У статті в стислій формі розглянуто найголовніші особливості взаємозв'язку мереж 5G, 6G з інтернетом речей, великими даними та штучним інтелектом. Не зважаючи на те, що мережі 5G поки не розгорнуто повсюдно, основні особливості такого взаємозв'язку проглядаються досить чітко. Що стосується розвитку мереж 6G, ще не все зрозуміло, це в першу чергу стосується технічної реалізації зв'язку в терагерцевому діапазоні, тому про особливості взаємозв'язку в 6G можна говорити лише приблизно, пов'язуючи їх з тенденціями розвитку цього швидкого способу зв'язку.

Зазначено, що штучний інтелект (AI) може слугувати інструментом об'єднання інтернету речей (IoT) та великих даних (BD). Отже, вже зараз можна говорити про народження нової цифрової технології IoT + BD + AI, яка функціуватиме в мережах зв'язку 5G та 6G. Розглянуті інструменти, особливо в мережі 6G, є здатними забезпечити неймовірну обчислювальну потужність як у хмарних, так і в граничних та туманних обчисленнях.

ЛІТЕРАТУРА

1. 5G and the impact it will have on our global economy. URL: <https://bazisgroup.com/5g-and-the-impact-it-will-have-on-our-global-economy> (Дата звернення: 27.02.2021)
2. Гриценко В.І., Суровцев І.В., Бабак О.В. Система бездротового зв'язку 5G. *Cybernetics and computer engineering*. 2019. № 3 (197). 5–19. DOI: 10.15407/kvtl197.03.005
3. 6G. The Next Hyper-Connected. Experience for All. URL: <https://cdn.codeground.org/nsr/downloads/researchareas/6G%20Vision.pdf> (Дата звернення: 15.02.2021)

4. IoT technology stack — from IoT devices, sensors, actuators and gateways to IoT platforms IoT. URL: <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/iot-technology-stack-devices-gateways-platforms/> (Дата звернення: 27.02.2021)
5. Business guide to Industrial IoT (Industrial Internet of Things). URL: <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/industrial-internet-things-iiot-saving-costs-innovation/> (Дата звернення: 14.03.2021)
6. Облачные, туманные и граничные вычисления: отличия и перспективы развития технологий. URL: <https://news.rambler.ru/other/42893517-oblachnyye-tumannyye-i-granichnyye-vychisleniya-otlichiya-i-perspektivy-razvitiya-tehnologiy/> (Дата звернення: 14.03.2021)
7. Развитие сетей 5G в мире. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Развитие_сетей_5G_в_мире (Дата звернення: 25.02.2021)
8. 6G – шестое поколение мобильной связи. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:6G_\(шестое_поколение_мобильной_связи\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:6G_(шестое_поколение_мобильной_связи)) (Дата звернення: 25.02.2021)
9. Big Data. URL: <https://www.it.ua/ru/knowledge-base/technology-innovation/big-data-bolshie-dannye> (Дата звернення: 14.03.2021)
10. W. Saad, M. Bennis and M. Chen, A Vision of 6G Wireless Systems: Applications, Trends, Technologies, and Open Research Problems, *IEEE Network*, vol. 34, no. 3, 134–142, May/June 2020, DOI: <https://doi.org/10.1109/MNET.001.1900287>
11. Y. Zhao, G. Yu, H. Xu. 6G Mobile Communication Network: Vision, Challenges and Key Technologies SCIENTIA SINICA Information. 2019. vol. 49. issue 8. P. 963–987 (in Chinese), DOI: <https://doi.org/10.1360/N112019-00033>
12. Искусственный интеллект. URL: <https://www.it.ua/ru/knowledge-base/technology-innovation/artificial-intelligence> (Дата звернення: 15.03.2021)
13. Бенджамин Джокела. Слияние искусственного интеллекта и «Интернета вещей». *Control Engineering Russia*. 2019. №2 (80). 70-72. URL: <https://controleng.ru/wp-content/uploads/8070.pdf> (Дата звернення: 25.02.2021)
14. Accelerating city transformation using frontier technologies. A U4SSC deliverable. URL: <https://www.itu.int/en/publications/Documents/tsb/2020-U4SSC-Deliverable-Accelerating-city-transformation/index.html> (Дата звернення: 15.03.2021)
15. Связь 6G окажется в 8000 раз быстрее 5G. iXBT.com. URL: <https://www.ixbt.com/news/2020/02/03/6g-8000-5g.html> (Дата звернення: 15.03.2021)
16. Розенберг И.Н. Интеллектуальное управление. *Современные технологии управления*. ISSN 2226-9339. 2017. №4 (76). URL: <https://sovman.ru/article/7608/> (Дата звернення: 15.03.2021)
17. <http://www.idev40.eu/> (Дата звернення: 17.03.2021)
18. <https://productive40.eu/> (Дата звернення: 17.03.2021)
19. <http://www.afarcloud.eu/> (Дата звернення: 17.03.2021)

Отримано 20.03.2021

REFERENCES

1. 5G and the impact it will have on our global economy. URL: <https://bazisgroup.com/5g-and-the-impact-it-will-have-on-our-global-economy> (Last accessed: 27.02.2021)
2. Gritsenko V.I., Surovtsev I.V., Babak O.V. 5G wireless communication system. *Cybernetics and computer engineering*. 2019. № 3 (197). 5-19. DOI: 10.15407/kvt197.03.005 (in Ukrainian).
3. 6G. The Next Hyper-Connected. Experience for All. URL: <https://cdn.codeground.org/nsr/downloads/researchareas/6G%20Vision.pdf> (Last accessed: 15.02.2021)
4. IoT technology stack — from IoT devices, sensors, actuators and gateways to IoT platforms IoT. URL: <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/iot-technology-stack-devices-gateways-platforms/> (Last accessed: 27.02.2021)
5. Business guide to Industrial IoT (Industrial Internet of Things). URL: <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-guide/industrial-internet-things-iiot-saving-costs-innovation/> (Last accessed: 14.03.2021)

6. Cloud, Fog and Edge Computing: Differences and Prospects for Technology Development. URL: <https://news.rambler.ru/other/42893517-oblachnye-tumannye-i-granichnye-vychisleniya-otlichiya-i-perspektivy-razvitiya-tehnologiy/> (Last accessed: 14.03.2021) (in Russian).
7. Development of 5G networks in the world. URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Развитие_сетей_5G_в_мире (Last accessed: 25.02.2021) (in Russian).
8. 6G — the sixth generation of mobile communications. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:6G_\(шестое_поколение_мобильной_связи\)](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:6G_(шестое_поколение_мобильной_связи)) (Last accessed: 25.02.2021) (in Russian).
9. Big Data. URL: <https://www.it.ua/ru/knowledge-base/technology-innovation/big-data-bolshie-dannye> (Last accessed: 14.03.2021)
10. W. Saad, M. Bennis and M. Chen, A Vision of 6G Wireless Systems: Applications, Trends, Technologies, and Open Research Problems, *IEEE Network*, vol. 34, no. 3, 134–142, May/June 2020, DOI: <https://doi.org/10.1109/MNET.001.1900287>
11. Y. Zhao, G. Yu, H. Xu. 6G Mobile Communication Network: Vision, Challenges and Key Technologies SCIENTIA SINICA Information, 2019, vol. 49, issue 8, 963–987 (in Chinese), DOI: <https://doi.org/10.1360/N112019-00033>
12. Artificial Intelligence. URL: <https://www.it.ua/ru/knowledge-base/technology-innovation/artificial-intelligence> (Last accessed: 15.03.2021) (in Russian).
13. Benjamin Jokela. Merging Artificial Intelligence and the Internet of Things. *Control Engineering Russia*. 2019, №2 (80), pp. 70–72. URL: <https://controleng.ru/wp-content/uploads/8070.pdf> (Last accessed: 25.02.2021) (in Russian).
14. Accelerating city transformation using frontier technologies. A U4SSC deliverable. URL: <https://www.itu.int/en/publications/Documents/tsb/2020-U4SSC-Deliverable-Accelerating-city-transformation/index.html> (Last accessed: 15.03.2021)
15. 6G will be 8000 times faster than 5G. iXBT.com. URL: <https://www.ixbt.com/news/2020/02/03/6g-8000-5g.html> (Last accessed: 15.03.2021) (in Russian).
16. Rozenberg I.N. Intelligent control. *Modern management technology*. ISSN 2226-9339. 2017, №4 (76). URL: <https://sovman.ru/article/7608/> (Last accessed: 15.03.2021) (in Russian).
17. <http://www.idev40.eu/> (Last accessed: 17.03.2021)
18. <https://productive40.eu/> (Last accessed: 17.03.2021)
19. <http://www.afarcloud.eu/> (Last accessed: 17.03.2021)

Received 20.03.2020

Gritsenko V.I., Corresponding Member of NAS of Ukraine,
Director of International Research and Training
Center for Information Technologies and Systems
of the National Academy of Sciences of Ukraine
and Ministry of Education and Science of Ukraine
ORCID: 0000-0003-4813-6153
e-mail: vig@irtc.org.ua

Babak O.V., PhD (Engineering),
Senior Researcher of the Ecological Digital Systems Department
ORCID: 0000-0002-7451-3314
e-mail: dep175@irtc.org.ua

Surovtsev I.V., DSc (Engineering), Senior Researcher,
Head of the Ecological Digital Systems Department
ORCID: 0000-0003-1133-6207
e-mail: dep175@irtc.org.ua, igorsur52@gmail.com
International Research and Training Center for
Information Technologies and Systems of the
National Academy of Sciences of Ukraine
and Ministry of Education and Science of Ukraine,
40, Acad. Glushkov av., Kyiv, 03187, Ukraine

PECULIARITIES OF INTERCONNECTION 5G, 6G NETWORKS WITH BIG DATA, INTERNET OF THINGS AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Introduction. *The 5G, 6G mobile technologies, which are actively developing in the world, and the Internet of Things, Big Data, artificial intelligence are closely intertwined. It is important to understand the features of the relationship to effectively use them in new intelligent information technologies.*

The purpose of the article is to highlight the most important features of the relationship, which are viewed on the basis of experience in implementing 5G and 6G technologies.

Results. *Internet of Things technologies use 5G, 6G, as well as cloud, fog, and edge computing to connect to high-speed devices. Machine learning methods, neural networks and simulation are used to analyze Big Data. Artificial intelligence algorithms are an integral part of all technologies, they allow you to intelligently connect and control 5G / 6G networks, the Internet of Things and Big Data. The main trends in the development of 5G / 6G will be the convergence of communications, the use of 3D networks, terahertz spectrum, quantum technology, artificial intelligence and deep learning.*

Conclusions. *The use of 5G and 6G high-speed networks, Internet of Things technologies, cloud computing, Big Data analysis and artificial intelligence is a prerequisite for the further development of the digital economy, production automation, smart healthcare and smart city.*

Keywords: *communication networks, Big Data, Internet of Things, artificial intelligence, machine learning.*