

УДК 004

А.Норов, магістр гр. КІ-24М,

Центральноукраїнський національний технічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ ІОТ З ВИКОРИСТАННЯМ BLUETOOTH

У статті розроблено програмне забезпечення, яке призначено для системи ІоТ з використанням Bluetooth 6. Метою розробки є дослідження та принципи побудови системи ІоТ з використанням Bluetooth 6. Об'єктом дослідження є процес ІоТ з використанням Bluetooth 6. Предметом дослідження є методи ІоТ з використанням Bluetooth 6. Методи дослідження базуються на методах Інтернету речей, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення. Результат роботи – програмна реалізація системи ІоТ з використанням Bluetooth 6. В процесі роботи над програмною моделлю виконано аналіз існуючих апаратних та програмних засобів. В повній мірі описані всі компоненти розробленого програмного забезпечення.

### ІоТ, Bluetooth 6

**Постановка проблеми.** Інтернет речей (ІоТ) зазнав значного зростання за останні роки, а Bluetooth Low Energy (BLE) став ключовим засобом забезпечення низькоенергетичного та недорогого бездротового зв'язку. У рамках даного проекту зробимо огляд еволюції технології Bluetooth, зосереджуючись на ролі BLE в екосистемі ІоТ. Розглянемо поточний стан BLE, включаючи його застосування, проблеми, обмеження та останні досягнення в таких галузях, як безпека, управління живленням та mesh-мережі. Нещодавній випуск Bluetooth Low Energy версії 6.0 від Bluetooth Special Interest Group (SIG) підкреслює постійну еволюцію технології та зростаючу важливість в ІоТ. Однак цей швидкий розвиток висвітлює прогалину в сучасній літературі, відсутність комплексних, актуальних оглядів, які б повністю відображали сучасний ландшафт BLE в додатках ІоТ. У роботі проаналізуємо нові тенденції та майбутні напрямки розвитку BLE, включаючи інтеграцію штучного інтелекту, машинного навчання та аудіоможливостей. В аналізі також розглянемо узгодженість функцій BLE з Цілями сталого розвитку Організації Об'єднаних Націй (ЦСР), зокрема енергоефективністю, сталими містами та діями щодо зміни клімату. Розглядаючи розробку та впровадження технології BLE, ця робота має на меті надати уявлення про можливості та проблеми, пов'язані з її впровадженням у різних застосуваннях Інтернету речей, від розумних будинків та міст до промислової автоматизації та охорони здоров'я. Дана робота підкреслює значення еволюції BLE у формуванні майбутнього бездротового зв'язку та Інтернету речей, а також забезпечує основу для подальших досліджень та інновацій у цій галузі.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-30] було виявлено певні прогалини у забезпеченні системи ІоТ з використанням Bluetooth.

**Мета й завдання дослідження.** Метою роботи є дослідження та принципи побудови системи ІоТ з використанням Bluetooth 6.

Для досягнення поставленої мети визначена програма дослідження, що складається з наступних завдань:

- Огляд існуючих систем ІоТ з використанням Bluetooth 6.
- Дослідження системи ІоТ з використанням Bluetooth 6.
- Програмна реалізація системи ІоТ з використанням Bluetooth 6.

*Об'єктом дослідження* є процес ІоТ з використанням Bluetooth 6.

*Предметом дослідження* є методи ІоТ з використанням Bluetooth 6.

*Методи дослідження* базуються на методах Інтернету речей, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення.

**Виклад основного матеріалу.** Можливо, Bluetooth Low Energy – це технологія, яка «запустила» Інтернет речей. Проблема «класичного» Bluetooth полягала в тому, що він потребував постійного з'єднання, що, своєю чергою, означало досить обмежений час роботи від акумулятора, а отже, пристрої з живленням від акумулятора потребували частішої підзарядки. Це також обмежувало випадки використання, для яких його можна було легко розгорнути.

Технологія Bluetooth Low Energy вирішила ці проблеми, переводячи пристрої в режим сну між передачами, зберігаючи при цьому їхнє з'єднання. Вона також дозволяє легко здійснювати ad-hoc сполучення. Поряд з різними іншими технічними вдосконаленнями, це дозволило розгорнути велику кількість пристроїв з низьким енергоспоживанням, які обмінюються відносно невеликими обсягами даних, але водночас значно розширюють широке підключення.

Досі тенденція розвитку Wi-Fi була в іншому напрямку – в основному зосереджена на дедалі вищих швидкостях передачі даних, що дозволяють потокову передачу контенту високої чіткості та задоволення потреб «хмарних» обчислень. Споживання енергії не було головним фактором, як і питання спектру, які також не були головним занепокоєнням. Цільовим ринком була відносно невелика кількість великих потужних пристроїв, що передають багато даних.

Можна сказати, що Wi-Fi був як кувалда, а Bluetooth Low Energy – як скальпель – різні інструменти для різних завдань.

### **Нові розробки Bluetooth**

Однак, нові розробки в обох технологіях починають спрямовувати їх у збіжних напрямках. Що стосується Bluetooth, швидкість передачі даних збільшилася з версією 4.2, а версія 5.2 представила можливість потокової передачі аудіо разом із новим кодеком. Це не зовсім відео високої чіткості, але це віддаляє Bluetooth Low Energy від його коріння, заснованого на даних Інтернету речей.

### **Wi-Fi 6 пропонує нові можливості**

Що стосується Wi-Fi, то Wi-Fi 6 – це розробка, спрямована безпосередньо на покращення можливостей Wi-Fi для рішень Інтернету речей. Як згадувалося вище, попередні версії Wi-Fi були зосереджені на швидкості. Цього було досягнуто завдяки широкосмуговим каналам. Зворотний бік полягає в тому, що їх не може бути багато в обмеженому спектрі, виділеному для вільного використання. Це не має великого значення, якщо один чи два користувачі транслюють потокове відео з домашнього маршрутизатора, але, як знає кожен, хто користувався публічним Wi-Fi у жвавому районі, мережі можуть легко перенасичуватися.

Таким чином, Wi-Fi 6 запозичує кілька хитрощів зі світу стільникового зв'язку та розділяє спектр на піднесучі, що дозволяє більшій кількості користувачів передавати дані одночасно, хоча й з нижчою швидкістю передачі даних. Їх можна використовувати досить гнучко, тому різним користувачам може бути виділена різна кількість одиниць ресурсів протягом одного періоду часу, залежно від потреби.

Подальшим удосконаленням є реалізація «Цільового часу пробудження», завдяки якому пристрої можуть запитувати повторне пробудження після певного інтервалу часу та переходити в режим сну між ними. Це значною мірою спрямовано на зниження мінімального рівня споживання енергії, необхідного для пристрою Wi-Fi.

Для подальшого розширення можливостей Wi-Fi в щільних середовищах, антени MiMo включені на обох кінцях з'єднання, що дозволяє спільний доступ до мережі в просторі. Додаткові функції дозволяють ігнорувати мережі, що перекриваються, зі слабким сигналом.

### **Кросовер**

Усе це міцно просуває Wi-Fi у сферу Інтернету речей – щільні мережі, гнучке використання даних, можливість використання обмежених обсягів даних пристроями з

живленням від батарей – все це дуже схоже на заяву, яку Bluetooth Low Energy зробив 10 років тому.

### **Bluetooth Low Energy та WiFi 6 – конкуренти?**

Тож що ж це все разом дає? Чи є ці технології тепер «конкурентами», де одна «переможе», а інша «програє».

Не зовсім, я думаю. Очевидно, що є певний рух разом. Обидва більш чітко, ніж будь-коли, спрямовані на різноманітні програми Інтернету речей. Однак залишаються суттєві відмінності – Bluetooth Low Energy все ще пропонує набагато кращі характеристики низького енергоспоживання, ніж WiFi 6, а можливості швидкості передачі даних WiFi все ще значно перевершують Bluetooth. Технологія перебудови частоти Bluetooth все ще виявиться більш стійкою в шумному середовищі, а ad-hoc підключення все ще буде простішим за допомогою Bluetooth.

Можливо, краще було б сказати, що це конвергенція. Програми Інтернету речей стають все більш складними, і часто однієї радіотехнології недостатньо. Зворотним боком досягнень WiFi 6 є те, що маршрутизатор має стати ще складнішим пристроєм, ніж будь-коли, керуючи більшою кількістю з'єднань з різними вимогами. Стандарт домашньої автоматизації MATTER є гарним прикладом спроби керувати різними радіостандартами під одним дахом. Цей стандарт може передбачати використання WiFi для обміну великими обсягами даних та Bluetooth для локального налаштування пристроїв.

Примітно, що Nordic Semiconductor, лідер ринку Bluetooth Low energy, нещодавно випустив свій перший WiFi-пристрій. Тож можна очікувати, що незабаром з'явиться кілька пристроїв з подвійним радіозв'язком, які підтримуватимуть останнє покоління обох технологій.

### **Вибір для системних розробників**

Для розробників систем, ймовірно, це буде не стільки питання вибору одного чи іншого, скільки в багатьох випадках питання того, які системні функції повинні використовувати яку бездротову технологію.

Можна провести аналогію з еволюцією мобільних телефонів – спочатку вони мали лише підключення до стільникової мережі, а з часом перетворилися на мультирадіопристрої, які ми носимо з собою сьогодні. Інтернет речей (IoT) розвивається тим самим шляхом, починаючи, як правило, з простого точка-точка з'єднання від пристрою до чогось, що діє як шлюз. Зараз у нас є багато різних архітектур рішень, включаючи мультирадіо, mesh-мережі, мережі для великих і малих відстаней та різні інші варіанти.

Суть у тому, що обидві технології додають можливості, і це просто робить більше речей можливими. Жодна з них навряд чи зникне в найближчому майбутньому.

Основна мета цього розділу – надати комплексний огляд еволюції технології Bluetooth, з особливим акцентом на BLE та її ключову роль в екосистемі Інтернету речей. Це включає відстеження розвитку технології Bluetooth від її зародження до сучасного стану, висвітлюючи ключові віхи та технологічні досягнення. Воно має на меті запропонувати детальний аналіз технічних характеристик, функцій та вдосконалень BLE порівняно з традиційною технологією Bluetooth. Крім того, воно визначає технічні проблеми, пов'язані з впровадженням BLE в Інтернеті речей, та досліджує рішення, розроблені для вирішення цих проблем. Нарешті, в опитуванні обговорюються нові тенденції та потенційні майбутні досягнення в технології BLE та її вплив на Інтернет речей. Дарруді та Гомес надали ранній огляд мереж BLE mesh, технології, яка з того часу стала вирішальною для масштабного розгортання Інтернету речей [3]. Зовсім недавно Наттуанатан та ін. дослідили сучасний стан BLE mesh, її застосування та міркування щодо впровадження [4]. Розуміння еволюції BLE в екосистемі Інтернету речей є критично важливим з кількох причин. Воно надає уявлення про те, як розвивалися технології бездротового зв'язку, що призвело до появи більш ефективних рішень з низьким енергоспоживанням, необхідних для пристроїв Інтернету речей. Роль BLE в Інтернеті речей підкреслює його значення у забезпеченні безперебійного, надійного та енергоефективного підключення між широким спектром пристроїв, від носимих

технологій до систем розумного дому. Комплексне опитування служить цінним ресурсом для дослідників, розробників та фахівців галузі, надаючи консолідовану базу знань, тим самим сприяючи прийняттю обґрунтованих рішень та стратегічному плануванню. Розуміння сучасних тенденцій та потенційних майбутніх напрямків BLE та Інтернету речей допомагає передбачити майбутні ринкові потреби та технологічні зрушення, гарантуючи, що поточні та майбутні рішення залишатимуться актуальними та ефективними. Висновки, отримані в результаті цього опитування, можуть бути корисними для багатьох дисциплін, окрім Інтернету речей, таких як охорона здоров'я, автомобільна промисловість та промислова автоматизація, де технологія BLE все частіше впроваджується. Хоча BLE стала домінуючою технологією в малопотужному зв'язку з низьким енергоспоживанням, важливо розглядати її в рамках ширшої екосистеми технологій, що забезпечують Інтернет речей. Раза та ін. [5] надали огляд малопотужних мереж широкого радіусу дії (LPWAN), які доповнюють BLE у сценаріях, що вимагають зв'язку на великі відстані. Оскільки BLE продовжує розвиватися та глибше інтегруватися в екосистеми Інтернету речей, виникатимуть нові виклики, особливо в сферах безпеки та конфіденційності. Цуй та ін. [6] висвітлили ці виклики в контексті розумних міст, області, де пристрої Інтернету речей з підтримкою BLE стають дедалі поширенішими. Вирішення цих проблем безпеки та конфіденційності матиме вирішальне значення для подальшого зростання та прийняття BLE в критичних додатках Інтернету речей.

На питання, яка система розумного дому вам підходить, не можна відповісти універсально, оскільки багато що залежить від вашої індивідуальної життєвої ситуації та потреб. Тому перше питання має бути таким: чи хочете ви модернізувати або модернізувати існуючу нерухомість, чи побудувати нову?

Існуючі будівлі можна легко та економічно ефективно модернізувати за допомогою систем голосового керування або бездротових рішень, що дозволяє розумно керувати окремими пристроями, такими як термостати опалення. Однак важливо зазначити, що витрати можуть швидко зростати при використанні різних окремих рішень, які можуть мати обмежений зв'язок один з одним. Бездротові системи використовують такі технології, як Wi-Fi або Bluetooth, або протоколи, такі як ZigBee або Z-Wave, для підключення різних зон або пристроїв у будинку. Модернізація існуючої нерухомості до шинного стандарту, такого як KNX, може стати складним проектом, що включає модифікацію стін та прокладання кабелів, але вона пропонує різні переваги, які ми розглянемо детальніше пізніше. Як варіант, для старих будівель є варіантом KNX-RF – бездротовий варіант шинної системи KNX, де керування розумними пристроями відбувається бездротово через діапазон частот 868 МГц, без необхідності структурних змін.

Перш ніж розпочинати проект модернізації, важливо з'ясувати, чи існують якісь нормативні обмеження, такі як вимоги щодо охорони спадщини, або чи потрібно консультуватися з орендодавцями для отримання дозволів на орендовану нерухомість.

Під час планування нового будівництва може бути доцільним прокласти кабелі, готові до шинної системи, з самого початку. Це дозволяє створити розгалужену мережу для сприяння інтелектуальному зв'язку між пристроями. Зазвичай ці кабелі прокладаються під час будівництва будівлі, що усуває необхідність подальшої модифікації стін.

Ролети, освітлення, побутова техніка, розваги чи системи безпеки – усе це можна взаємопов'язати, керувати індивідуально та налаштувати відповідно до ваших потреб. Сервер служить центральним вузлом, обмінюючись даними з елементами керування, такими як планшети, смартфони, сенсорні панелі або голосові помічники. Можливості різноманітні, і ви вирішуєте, які аспекти вашого дому ви хочете зробити розумними або інтелектуальними.

Якщо ви хочете лише автоматично вмикати або вимикати світло або опалення регулювати його самостійно, вам може не знадобитися повноцінна система домашньої автоматизації спочатку. Розумних розеток або вимикачів з дистанційним керуванням або без нього, або розумного термостата з дистанційним керуванням чи додатком може бути достатньо, щоб позначити ваш житловий простір як «розумний». Пристрої в розумних

будинках або квартирах зазвичай контролюються за допомогою інтернет-технологій, таких як мобільний додаток або голосові системи, такі як Amazon Alexa або Google Assistant. Однак побоювання щодо безпеки даних є поширеними.

Щойно пристрої або групи пристроїв об'єднані для забезпечення більшого комфорту, безпеки та енергоефективності вдома, і ви створюєте складніші розпорядки дня, ваше житлове середовище справді стає розумним. Наприклад, розумний будинок може автоматично знижувати температуру, коли нікого немає вдома, або піднімати сонцезахисні жалюзі та зовнішні віконниці, коли датчики виявляють сильний вітер. Управління енергією також стало важливим питанням, оскільки розумні будівлі, підключені до шинної системи, забезпечують самозабезпечення шляхом інтеграції опалення, фотоелектричних систем та настінних коробок з власноруч генерованою енергією для зниження витрат на енергію. Мережеве об'єднання та керування в інтелектуальних будівлях зазвичай здійснюється через сервер, а для візуалізації можна використовувати планшети або панелі керування. Однак є також постачальники, такі як PEAКnх, які поєднують сервери та панелі, причому панель керування діє як незалежний центр розумного дому.

### **Порівняння систем розумного дому**

Багато систем розумного дому, представлених на ринку, мають схожий обсяг та роботу, а також підтримують деякі поширені пристрої. Однак є й помітні відмінності. Щоб допомогти вам зорієнтуватися на шляху до розумного дому, ми склали короткий огляд деяких систем розумного дому.

У процесі планування задайте собі такі питання:

1. Які пристрої та зони будуть підключені до системи розумного дому?
2. Які функції він повинен мати, і як вони повинні контролюватися?
3. Ви хочете створити логіку та процедури?
4. Наскільки ви хочете взяти на себе зобов'язання чи залишатися гнучкими? Чи повинна система бути розширюваною в майбутньому?

Також пам'ятайте, що в процесі планування у вас є вибір між:

- закриті системи з продукцією від одного виробника;
- частково відкриті системи для використання сумісних продуктів сторонніх виробників;
- відкриті системи, які можна вільно комбінувати як з продуктами певних виробників, так і з продуктами сторонніх виробників.

Якщо ви прагнете мати складну розумну будівлю з передовою домашньою автоматизацією, варто використовувати систему шин розумного дому. Шина являє собою лінію передачі даних, через яку інформація передається між взаємопов'язаними пристроями. Система шин забезпечує інтелектуальне з'єднання в межах кімнати або по всій будівлі.

Незалежно від того, яку систему шини розумного дому ви зрештою оберете, планування має бути комплексним та добре продуманим. Ви також можете прочитати нашу публікацію в блозі про те, як спланувати розумний будинок. Для початкового встановлення системи вам зазвичай потрібен системний інтегратор. Цей експерт знайомий зі специфічними методами встановлення кабелів, може виконати встановлення та налаштування системи, а також створити план встановлення, який включає всі компоненти, їх розміщення та місця розташування трубопроводів.

Вартість розумного дому не може бути універсально визначеною. Інформація станом на жовтень 2025 року показала, що витрати на систему розумного дому залежать від описаних систем та їхнього обсягу, дизайну та матеріалів, а також від використовуваних компонентів та їх функцій.

Залежно від розміру житлового простору, типу та обсягу обладнання, вартість «розумного будинку» може коливатися від двозначних сум у євро за окремі продукти, через пакети початкового рівня з кількома компонентами в тризначному діапазоні, до п'ятизначних сум у євро за повністю автоматизований та професійно встановлений

«розумного будинку», включаючи сенсорні панелі. Верхньої межі немає, а ціна зростає разом із комфортом, можливостями енергозбереження та функціями безпеки, які забезпечує система.



Рисунок 1 – Структурна схема системи

Багато мати бюджетний план, заздалегідь зібрати інформацію про варіанти та провести порівняння витрат і вигод.

Системи розумного дому пропонують численні варіанти для безпечного, енергоефективного дому та комфортного повсякденного життя. Завдяки ретельному плануванню та врахуванню згаданих питань ви можете бути добре підготовлені до майбутнього розумного життя. Однак, не існує універсальної «найкращої» системи розумного дому; остаточне рішення залежить від індивідуальних життєвих ситуацій, потреб та бюджету.

Для деяких може бути доцільним використання індивідуальних або бездротових рішень. Серед систем розумного дому, запатентовані закриті системи зазвичай вважаються найбезпечнішими.

Для тих, хто бажає комплексної автоматизації з гнучкістю, безпекою та орієнтованим на майбутнє мережею пристроїв, варто розглянути системи розумного дому на основі шини. Системи для повної автоматизації будівель зазвичай мають високі стандарти безпеки.

**Висновки.** У статті наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів IoT з використанням Bluetooth 6. Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач:

- Був проведений огляд існуючих систем IoT з використанням Bluetooth 6.
- Досліджена система IoT з використанням Bluetooth 6.
- На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи IoT з використанням Bluetooth 6.

Розроблені алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання IoT з використанням Bluetooth 6. Проведено аналіз предметної галузі в ході якого були виявлені об'єкти, взаємодія

яких носить істотний характер для функціональної діяльності предметної галузі, і їхні основні характеристики; побудована алгоритм і вибраний середовище розробки.

## Список літератури

1. Kuznetsov, O., Atzeni, G., Arnesano, M., Randieri, C., Smirnov, O. «Secure IoT-based smart wheelchair system: From implementation to security enhancement strategy». *Security and Privacy of Cyber Physical Systems Emerging Trends Technologies and Applications*, 2025, pp. 225–257.
2. Kuznetsov, O., Smirnov, O., Kuznetsova, T., Shaikhanova, A., Svatowsky, I. «Privacy-utility trade-offs in IoT networks: A comparative analysis of differential privacy mechanisms for sensor data aggregation». *Security and Privacy of Cyber Physical Systems Emerging Trends Technologies and Applications*, 2025, pp. 589–622.
3. Вінтенко Б., Смірнов О., Миронець І., Смірнова Т., Смірнов С. «Імітаційна модель шляхів вхідних даних комп'ютерної інтелектуальної системи підтримки оператора енергоблоку АЕС». Комбінаторні конфігурації та їхні застосування: Матеріали XXVII Міжнародного науково-практичного семінару, присвяченого 125-річчю Національного університету «Запорізька політехніка» (Запоріжжя-Кропивницький-Київ, 4-6 червня 2025 р.). Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2025. С.82-91.
4. Al-Azzeh, J., Ayuoub, B., Mesleh, A., Smirnova, T., Gnatyuk, S., Drieiev, O., Smirnov, O., Dorenskyi, O. «Cloud-Based Information System for Evaluating Caverns in the Process of Blasting Metal Surfaces of Details». *International Review on Modelling and Simulations* 18 (1), 2025. pp. 32-42.
5. Вінтенко Б.Ю., Смірнов О.А., Миронець І.В., Смірнова Т.В., Коваленко О.В., Мацуї А.М. «Модель шляхів отримання вхідних даних комп'ютерної інтелектуальної системи підтримки оперативного персоналу АЕС». *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 11(42), ч. II. С.52-62.
6. Вінтенко Б.Ю., Смірнов О.А., Миронець І.В., Смірнова Т.В. «Методи забезпечення відмовостійкості інтелектуальних систем підтримки оператора». VIII міжнародна науково-практична конференція «Інформаційна безпека та комп'ютерні технології», м. Кропивницький. 24-25 квітня 2025 р. – Кропивницький: ЦНТУ. – 2025. – С. 44-46.
7. Вінтенко, Б., Миронець, І., Смірнов, О., Коваленко, А., Коноплицька-Слободенюк, О., Смірнова, Т., Константинова, Л. «Дослідження застосування систем підтримки оперативного персоналу об'єкту критичної інфраструктури при керуванні енергоблоком АЕС з реактором типу ВВЕР-1000». *Електронне фахове наукове видання «Кібербезпека: освіта, наука, техніка»*, 2024. № 2(26), С. 6-26.
8. Смірнова Т.В., Коноплицька-Слободенюк О.К., Буравченко К.О., Смірнов С.А., Кравчук О.В., Козірова Н.Л., Смірнов О.А. «Дослідження технологій забезпечення кібербезпеки хмарних сервісів IaaS, PaaS та SaaS». *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2024. №4(24), С. 6-27.
9. Вінтенко, Б., Миронець, І., Смірнов, О., Кравчук, О., Козірова, Н., Савеленко, Г., Коваленко, А. «Дослідження вимог та аналіз кібербезпеки програмного забезпечення інформаційно-керуючих систем АЕС, важливих для безпеки». *Кібербезпека: освіта, наука, техніка*. 2024. №3(23), С. 111-131.
10. Al-Mudhafar Aqeel, A.M., Smirnova, T., Buravchenko, K., Smirnov, O. «The method of assessing and improving the user experience of subscribers in software-configured networks based on the use of machine learning». *Advanced Information Systems*, 2023, 7(2), pp. 49-56.
11. Kuznetsov, O., Kuznetsova, Y., Smirnov, O., Kostenko, O., Zvieriev, V. «Evaluating Hashing Algorithms in the Age of ASIC Resistance». *CEUR Workshop Proceedings*, 2023, 3628, pp. 93-105.
12. Smirnov, O., Sydorenko, V., Aleksander, M., Zhyharevych, O., Yenchey, S. «Simulation of the cloud IoT-based monitoring system for critical infrastructures». *CEUR Workshop Proceedings*, Volume 3530, 2023, pp. 256-265.
13. Smirnov, O., Odarchenko, R., Smirnova, T., Bondar, S., Volosheniuk, D. «Optimal Structure Construction of Private 5G Network for the Needs of Enterprises». *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 2023, 178, pp. 208–223.
14. Вінтенко Б.Ю., Смірнов О.А., Коваленко А.С., Смірнов С.А., Буравченко К.О. «Дослідження вимог міжнародних стандартів IEC60880 та IEC62138 з розробки програмного забезпечення інформаційно-керуючих систем АЕС, важливих для безпеки». *Системи управління, навігації та зв'язку*, 2023, вип. 3(73), С. 155-166.
15. Аль-Мудхафар Акіл Абдулхуссейн М., Смірнова Т.В., Буравченко К.О., Смірнов О.А. «Метод оцінки та підвищення користувальницького досвіду абонентів в програмно-конфігурованих мережах на основі використання машинного навчання». *Сучасні інформаційні системи*, 2023, том 7, № 2, С. 49-56.
16. Smirnova, T., Gnatyuk, S., Yudin, O., Sydorenko, V., Polozhentsev, A., «The Model for Calculating the Quantitative Criteria for Assessing the Security Level of Information and Telecommunication Systems». *CEUR Workshop Proceedings Volume 3156*, 2022, Pages 390-399.
17. Смірнова Т.В., Гнатюк С.О., Сидоренко В.М., Юдін О.Ю., Сидоренко С.Ю., «Модель визначення критичності галузевих інформаційно-телекомунікаційних систем». *Проблеми інформатизації та управління*, № 2(70). 2022. С. 28-37.
18. Смірнов О.А., Смірнова Т.В., Якименко Н.М., Смірнов С.А., Поліщук Л.І., «Дослідження стійкості до диференціального криптоаналізу запропонованої функції гешування удосконаленого модуля

- криптографічного захисту в інформаційно-комунікаційних системах» Системи управління, навігації та зв'язку, 2022, № 3(69). С. 93-98.
19. Смірнов О.А., Смірнова Т.В., Якименко Н.М., Поліщук Л.І., Смірнов С.А. «Дослідження статистичної стійкості та швидкісних характеристик запропонованої функції гешування удосконаленого модуля криптографічного захисту в інформаційно-комунікаційних системах» Вісник Хмельницького національного університету. Серія: «Технічні науки», № 2 (307). С. 46-52. 2022.
  20. Смірнов О.А., Смірнова Т.В., Константинова Л.В., Смірнов С.А., Якименко Н.М., «Дослідження стійкості до лінійного криптоаналізу запропонованої функції гешування удосконаленого модуля криптографічного захисту в інформаційно-комунікаційних системах» Системи управління, навігації та зв'язку, 2022, № 1(67). С. 84-89.
  21. Smirnova T., Gnatyuk S., Berdibayev R., Avkurova Zh., Iavich M. «Cloud-Based Cyber Incidents Response System and Software Tools». Communications in Computer and Information Science, 2021, vol 1486. Springer, Cham. pp 169-184.
  22. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». CEUR Workshop Proceedings. Volume 2740, 2020, Pages 102-114.
  23. Smirnov O., Alimseitova Zh., Adranova A., Akhmetov B., Lakhno V., Zhilkishbayeva G. «Models and algorithms for ensuring functional stability and cybersecurity of virtual cloud resources». Journal of theoretical and applied information technology Vol.98. No 21, 2020, P. 3334-3346.
  24. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Cherep A., Kanabekova M., Chepurko I. «Testing of code-based pseudorandom number generators for post-quantum application». 2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Ukraine, Kyiv, May 14-18. 2020. P. 172-177.
  25. Smirnov O., Kuznetsov A., Pushkar'ov A., Serhiienko R., Babenko V., Kuznetsova T., «Representation of Cascade Codes in the Frequency Domain». In: Radivilova T., Ageyev D., Kryvinska N. (eds) Data-Centric Business and Applications. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 48. Springer, Cham. 2021. pp 557-587.
  26. Smirnov, O., Markovets, O. Vovk, N., Turchyn, Y., «Model of informational support for social network administrators' content creation». CEUR Workshop Proceedings Volume 2616, 2020, Pages 125-136.
  27. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Polishchuk, Y., Brzhanov, R., Aleksander, M. «Method of fractal traffic generation by a model of generator on the graph». CEUR Workshop Proceedings Volume 2616, 2020, Pages 366-379.
  28. Smirnov, O., Drieieva, H., Drieiev, O., Simakhin, V., Bondar, S., Odarchenko, R. «Managing multifractal properties of the binary sequence generated with the Markov chains», CEUR Workshop Proceedings Volume 2608, 2020, Pages 633-645.
  29. Smirnov O. Kuznetsov A., Zaichenko Yu., Pastukhov M., Oleshko O., Kuznetsova K., «Formation of Discrete Signals with Special Correlation Properties». International Conference on Information and Telecommunication Technologies and Radio Electronics, UkrMiCo 2019; Odessa; Ukraine; 9-13 September 2019. P.22-28.
  30. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Kolovanova, I., Kuznetsova, T., «Noise immunity of the algebraic geometric codes». International Journal of Computing; 2019, Volume 18, Issue 4 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2019. – P. 393-407.
  31. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Reshetniak, O., Ivko, N., Katkova, T., Kuznetsova, T., «Generators of Pseudorandom Sequence with Multilevel Function of Correlation». 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference Problems of Infocommunications, Science and Technology (PIC S&T), Kyiv, Ukraine, 8 – 11 October 2019 . P.517-522.