

УДК 004

В.Гаєвський, магістр гр. КН-22МЗ*Центральноукраїнський національний технічний університет*

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ БІОМЕДИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

У статті розроблено програмне забезпечення, яке призначено для системи моніторингу біомедичної інформації. Метою розробки є дослідження та програмна реалізація системи моніторингу біомедичної інформації. Об'єктом дослідження є процес моніторингу біомедичної інформації. Предметом дослідження є методи моніторингу біомедичної інформації. Методи дослідження базуються на методах біомедичної інженерії, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення. Результат роботи – програмна реалізація системи моніторингу біомедичної інформації. В процесі роботи над програмною моделлю виконано аналіз існуючих апаратних та програмних засобів. В повній мірі описані всі компоненти розробленого програмного забезпечення.

Постановка проблеми. Наразі комп'ютерні технології почали широко застосовуватися для дослідження біологічних систем і феноменів, таких як електрична активність серцево-судинної системи, мозку, нейромішечної системи й ін. Сучасною тенденцією є кількісний і об'єктивний аналіз біомедичних систем і феноменів через аналіз сигналів [1]. Методи цифрової обробки біомедичних сигналів, що характеризують такі системи, створюються з обліком їхніх специфічних особливостей. Аналіз сигналу від біомедичної системи не є простим завданням, важлива інформація в сигналі часто замаскована шумами й наведеннями, має місце його варіабельність, спостерігається крайня мінливість й розмаїтість ознак у біомедичних сигналах і системах у порівнянні, наприклад, з фізичними системами або спостереженнями. Ці фактори визначають актуальність розробки спеціальних методів для об'єктивного аналізу біомедичних сигналів з використанням алгоритмів обробки, реалізованих на комп'ютері [4]. Такі методи можуть бути засновані на комп'ютерному моделюванні, сутність якого – у побудові моделі, що представляє собою програмний комплекс, що алгоритмічно описує поведження об'єкта або розвиток процесу. Важливо також, що комп'ютерний аналіз біомедичних сигналів, якщо він виконується з використанням адекватної логіки, потенційно здатний підсилити об'єктивну складову інтерпретації, що дається експертом [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-20] було виявлено певні прогалини у забезпеченні системи моніторингу біомедичної інформації.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є дослідження та програмна реалізація системи моніторингу біомедичної інформації.

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

- Огляд існуючих систем моніторингу біомедичної інформації.
- Дослідження системи моніторингу біомедичної інформації.
- Програмна реалізація системи моніторингу біомедичної інформації.

Об'єктом дослідження є процес моніторингу біомедичної інформації.

Предметом дослідження є методи моніторингу біомедичної інформації.

Методи дослідження базуються на методах біомедичної інженерії, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення

Виклад основного матеріалу.

В останні роки охорона здоров'я була однією з головних проблем із зростанням чисельності населення, а також витрат на медицину. У стаціонарі важко проводити постійний моніторинг життєвого сигналу пацієнтів, що негативно впливає на якість життя. Отже, це вимагає винаходу системи автоматичного моніторингу пацієнта, яка допомагає пацієнту спостерігати за станом здоров'я. У цій статті представлено автоматизовану бездротову систему охорони здоров'я на основі Інтернету речей (IoT), яка автоматично визначає стан здоров'я пацієнта за допомогою бездротових датчиків, обробляє дані за допомогою мікроконтролера, зберігає дані на сервері та надсилає їх лікарю в режимі реального часу для подальшого аналізу. Ця стаття зосереджена на представленні детального розуміння розвитку доступної, недорогої та надійнішої системи моніторингу стану здоров'я.

Індустрія медичного обладнання продовжує бути піонером і покращувати результати пацієнтів у всьому світі. Однією з областей розвитку є системи моніторингу пацієнтів. Системи дистанційного моніторингу пацієнтів дозволяють медичним працівникам контролювати пацієнта поза межами лікарні чи медичної клініки. Попит на такі типи медичного обладнання для моніторів пацієнтів зростає до глобальної пандемії COVID-19, але з розгортанням кризи охорони здоров'я здатність надавати допомогу, коли медичні працівники не могли безпечно перебувати поруч зі своїми пацієнтами, стала критичною. Знання та розуміння компонентів систем моніторингу пацієнтів може допомогти індустрії медичного обладнання впроваджувати інновації та розвиватися.

Що таке система моніторингу пацієнтів?

Система моніторингу пацієнта — це набір систем та/або процесів, які дозволяють медичним працівникам контролювати стан здоров'я пацієнта. Ці системи часто використовуються для дистанційного моніторингу пацієнтів і також називаються дистанційним фізіологічним моніторингом. Вони використовують цифрові технології для збору та моніторингу даних про здоров'я пацієнтів і передачі їх в електронному вигляді постачальникам медичних послуг, щоб допомогти в оцінці, діагностиці та, зрештою, лікуванні захворювань. Ця технологія революціонує спосіб надання медичної допомоги в Сполучених Штатах, зменшуючи витрати та покращуючи результати для пацієнтів.

Застосування систем моніторингу пацієнтів

Легше визначити системи моніторингу пацієнтів у контексті їх застосування. Одним із добре відомих прикладів системи моніторингу пацієнта є електрокардіографія (ЕКГ), яка контролює електричну активність серця. Пацієнти з гіпертонією використовують системи моніторингу для вимірювання артеріального тиску. Пацієнти з діабетом використовують прилади для вимірювання рівня глюкози в крові та запобігання небезпечним ускладненням. Пацієнти з хронічною обструктивною хворобою легень (ХОЗЛ), астмою та іншими респіраторними захворюваннями також покладаються на системи моніторингу, щоб стежити за своїм станом.

Компоненти системи моніторингу пацієнтів

Кожен пристрій відрізняється, але системи моніторингу пацієнтів мають три загальні компоненти:

Пристрій моніторингу пацієнта: хоча цей термін також може стосуватися системи в цілому, точніше це частина пристрою, яка контактує з пацієнтом або вставляється в нього. Зазвичай він включає датчик, який оцифровує інформацію, і пристрій обробки, який збирає дані та готує їх для аналізу.

Портал доступу користувачів: дані, зібрані пристроєм моніторингу пацієнта, будуть марними, якщо їх неможливо переглянути. Оскільки пристрій моніторингу пацієнта збирає дані про здоров'я пацієнта, вони надсилаються або на локальний пристрій збору даних, або на віддалену хмару, щоб зібрати їх у корисну інформацію для використання медичними працівниками. У разі локального доступу користувача він зазвичай складається зі складної системи з'єднання з роз'ємами, джгутами проводів, друкованими платами (PCB) і РК-

екраном, на якому можна переглядати дані. У хмарній системі доступ до інтерфейсу користувача зазвичай здійснюється за допомогою ПК або ноутбука.

Програмне забезпечення: і пристрій моніторингу пацієнта, і портали доступу користувачів використовують програмне забезпечення. Хоча апаратне забезпечення пристрою надзвичайно важливе, програмне забезпечення – це те, що перекладає інформацію, щоб її могли зрозуміти та використовувати медичні працівники.

Проблема опису живого організму в цілому далека від свого рішення внаслідок великого різноманіття й складності взаємозалежних процесів, що протікають у ньому, недоліку апріорної інформації про умови існування й властивостях досліджуваних біосистем [1, 2]. У рамках даної проблеми аналіз медико-біологічних даних, розробка математичних моделей і чисельних алгоритмів оцінки параметрів стану біосистем являють собою напрямок, що активно розвивається, застосування методів математичного моделювання й інформаційних технологій у біомедицинських дослідженнях [2, 3].

Основна методологічна проблема оцінки параметрів стану біосистем полягає в різноманітності й фрагментарності первинних біомедицинських даних і, як наслідок, обмеженості їхнього змістовного аналізу традиційними статистичними методами. Наслідком різноманітності вихідних даних є вимога наявності досить більших обсягів багатомірних вибіркового даних для одержання стійких і надійних інтегральних оцінок параметрів стану біосистем, заснованих на спільному аналізі комплексу обмірюваних показників. Крім того, особливістю біооб'єктів є те, що параметри, що характеризують їхній стан, як правило, недоступні для безпосередніх вимірів і оцінюються на основі аналізу «непрямих» експериментальних даних.

Збір, обробка й автоматизований аналіз фізіологічної інформації людини є найважливішою складовою частиною багатьох діагностичних методів сучасної медицини. Комп'ютерні системи збору й обробки електрофізіологічних сигналів є складними апаратно-програмними комплексами, що складаються з безлічі програмних компонентів, що виконують функції реєстрації біомедицинської інформації (БМІ), її обробки й системного аналізу, а також діагностичної й сервісної операції. Основним підходом до проектування подібних комплексних систем довгий час була реалізація монолітної програмної архітектури із заздалегідь заданою функціональністю, забезпечуваною жорстко зв'язаними один з одним програмними компонентами. Функціональні властивості подібних систем практично неможливо було розширити, тому що вони були здатні виконувати лише ті функції, які були закладені на етапі проектування. Однак сучасні вимоги, запропоновані до даних систем, значною мірою, пов'язані з можливостями постійного розширення й нарощування їхніх функціональних властивостей. Важливими проблемами є також універсалізація біомедицинського програмного забезпечення, під яким, насамперед, розуміється проблема повторного використання коду, і подолання наявних перешкод на шляху інтеграції різноманітних комп'ютерних біомедицинських систем (БМС).

За останнє десятиліття досягнуть значний прогрес в області проектування складних програмних систем, що у корені змінив підхід до їхньої розробки й моделювання. Однак відсутність відповідних стандартів не дозволяє повністю скористатися перевагою нового підходу. Успіхи процесу стандартизації, у значній мірі, складаються в розробці документів рекомендаційного характеру, що регламентують інфраструктуру нижчої ланки – протоколів обміну, форматів файлів даних, медичних записів і повідомлень, а також концептуальні моделі взаємодії систем. Поза розглядом залишається, так зване, проміжне програмне забезпечення (ПЗ), під яким розуміється певний функціонально закінчений набір програмних засобів, інтегрованих у рамках обраної операційної системи (ОС), що забезпечує прозору роботу програм у неоднорідному середовищі. Неоднорідними середовищами, з погляду інформатики, є системи (локальні або глобальні), що складаються з компонентів, не сумісних один з одним з погляду програмного оточення.

Таким чином, для реального забезпечення взаємодії різноманітних програмних і апаратних систем необхідний вироблення єдиних специфікацій програмних інтерфейсів ПЗ

проміжної ланки. У цей момент ця робота має високий пріоритет у провідних світових установ по стандартизації, хоча й далека до завершення.

Із цього погляду актуальним є дослідження загальних властивостей комп'ютерних біомедичних систем і розробка з урахуванням вимог сучасних стандартів єдиних інформаційних моделей їхнього функціонування. Реалізація на цій основі універсальної об'єктно-орієнтованої інфраструктури, під якою розуміється безліч програмних компонентів і інтерфейсів із чіткою регламентацією можливостей їхнього використання, дає можливість перейти від монолітної програмної архітектури до компонентно-компонентно-орієнтованої розподіленого, вирішити проблеми універсалізації програмного забезпечення (ПЗ) і значно підвищити економічну ефективність розробок. Істотна різноманітність і різна функціональна спрямованість біомедичних систем робить завдання в загальному значенні практично нездійсненним. Однак існує відносно широкий спектр програмних біомедичних систем, для яких подібне завдання може бути успішно вирішене й, насамперед, для комп'ютерних біомедичних систем збору й математичної обробки електрофізіологічної інформації.

У цілому, у медико-біологічних дослідженнях складається досить суперечлива ситуація. З одного боку, накопичені різноманітні масиви даних, що відбивають усілякі, що зустрічаються в клінічній практиці ситуації [1, 4], а з іншого боку – непропорційно мала кількість інформації, одержувана з їхнього аналізу. У закордонній літературі зустрічається спеціальний термін, що характеризує подібну ситуацію – DRIP-синдром (Data-Rich, Information-Poor – багато даних, мало інформації). Це пов'язане з тим, що, незважаючи на очевидні успіхи, використання математичних методів і обчислювальної техніки в ряді випадків виявляється недостатньо ефективним з погляду прикладних цілей дослідження: спроби точного опису приводять до надзвичайно складного для аналізу математичним моделям, а недостатні обсяги даних не дозволяють проводити адекватні реальним процесам обчислювальні експерименти. Як результат, при гарних теоретичних побудовах практичне застосування математичних моделей і алгоритмів для кількісної оцінки параметрів стану біосистем приводить до широкого розкиду у величині й надійності одержуваних оцінок.

У цей час для дослідження біосистем широко застосовуються методи статистичного аналізу даних [1, 2, 6, 8]. Основна проблема оцінки стану біосистем на їхній основі полягає в різноманітності й фрагментарності масивів первинних біомедицинських даних і, як наслідок, обмеженості їхнього змістовного аналізу традиційними статистичними методами. Зокрема, наслідком такої різноманітності є вимога наявності досить більших обсягів багатомірних вибіркового даних для одержання стійких і надійних інтегральних оцінок стану біосистем.

Інші методи одержання узагальнених оцінок стану біосистем засновані на, так званих, «модельно-незалежних» підходах: побудові напівемпіричних індексів стану, таких як:

- біохімічні, клінічний індекси [5];
- аналізі вербальних даних на основі теорії нечітких множин [2];
- методах багатомірного шкалювання [2];
- нейромережних технологіях [3, 7];
- методах мета-аналізу даних [3, 8] і ряді інших.

Така розмаїтість використовуваних методів ясно показує, що проблема одержання оцінок стану біосистем далека від свого рішення. Об'єктивне існування загальних системних закономірностей функціонування біосистем обумовлює необхідність комплексного підходу до розробки математичних моделей і алгоритмів оцінки параметрів їхнього стану [1, 2, 5], причому ефективність використання всієї сукупності різномірних біомедицинських даних істотно визначається можливостями їхнього узгодження, тобто розробки концепції їхнього спільного використання для одержання більше надійних оцінок параметрів стану біосистеми або нової інформації про її властивості.

З методологічної точки зору кількісною оцінкою стану біосистеми є інтегральні характеристики, що розраховуються по сукупності багатомірних даних, що характеризують її стосовно деякого референтного стану, у якості якого найбільше часто використовується функціональний стан біосистеми який представляє норму або, у випадку діагностики

захворювань, – стан здоров'я. Якщо властивості системи повністю відомі, то якість одержуваних інтегральних характеристик може бути досліджене аналітично. В умовах недоліку апріорної інформації про властивості біосистеми більше адекватними будуть оцінки, отримані методами статистичного моделювання.

Таким чином, розробка концепції узгодження біомедицинських даних, математичних моделей і методів оцінки параметрів стану біосистем є актуальною, як з погляду рішення фундаментальних і прикладних проблем в області медицини й біології, так і додатка методів математичного моделювання до дослідження біологічних об'єктів. Важливим складовим елементом у реалізації даного підходу є створення комплексу проблемно-орієнтованих комп'ютерних програм, що забезпечують як можливість нагромадження результатів досліджень у вигляді деякої інтегрованої системи даних, так і проведення кількісних оцінок стану біосистем різного рівня структурно-функціональної організації.

Розробка структурної схеми

До складу системи можуть входити: пристрій реєстрації ЕКГ, монітор артеріального тиску, пульсовий оксиметр, портативна ЕОМ, генератор тестових ЕКГ-сигналів, а також інші пристрої реєстрації електрофізіологічних сигналів.

Конфігурація модулів, що підключаються, залежить від конкретних початкових установок. У цьому випадку, у контексті реєстрації ЕКГ активізовані компоненти відображення ЕКГ, попередньої обробки, інтегрованої БД, а також модуль візуального керування пристроєм реєстрації ЕКГ.

Конфігурація розробленого ПЗ у вбудованому виконанні, побудована на базі промислової одноплатної ЕОМ, представляючої у якості інтерфейсу керування 7 функціональних клавіш розташованих по периметрі РК-екрана й маніпулятор. Програмною платформою даної ЕОМ може бути довільна Windows-сумісна ОС, у тому числі є можливою адаптація й під платформу Microsoft Pocket PC 2002, що є розвитком що вбудовуються ОС лінії Windows CE.

Функціональні призначення клавіш керування відображаються на екрані в конкретний момент роботи програми. Панелі керуючих клавіш також реалізовані у вигляді модулів, що підключаються, для уніфікації процедури керування екранними видами.

Структура програмного забезпечення розробленого ПЗ у вбудованому виконанні, повністю відповідає повноцінній версії. Версія розробленого ПЗ, що вбудовується, функціонує у двох базових режимах: у режимі знімання й у режимі аналізу ЕКГ. У режимі знімання відбувається відображення в реальному часі кардіограми одержуваної від пацієнта. Останні 15 сек. відображуваної кардіограми при переході в режим аналізу використовується для аналізу ЕКГ. Модуль аналізу ЕКГ робить виміри характеристик певних QRS-комплексів і порівнює значення з нормативами, що відповідають, підлоги, віку, вазі й росту пацієнта.

Знята кардіограма й результати аналізу зберігаються на локальному диску й карті пам'яті, що підключається. Ці дані також можуть бути переспрямовані на наступні пристрої передачі даних: інтерфейс IrDa, модем (у тому числі для супутникової й стільникової телефонії), стандартний мережний інтерфейс. розробленого ПЗ у дослідницькому й виконанні, що вбудовується, мають єдиний менеджер друку, що підтримує режим безперервного паперу, що забезпечує необхідні масштаби по амплітуді й часу подання електрокардіографічного й супутніх сигналів

З метою полегшення створення й модернізації нових програмних комплексів ми вирішили використовувати структурований системний підхід. Так, на рисунку 1 зображена структурна схема розробленої системи, що повинна стати основою для формування конкретних програмних комплексів, наприклад, реографа, електроенцефалографа, спірографа й т.д. У цю систему повинні ввійти загальне ядро цих комплексів, базові алгоритми обробки, система інтерфейсу й т.п. Переваги цього підходу очевидні, тому що у випадку модернізації якого або базового алгоритму немає необхідності міняти його у всіх комплексах, досить змінити його в базовій системі, і, автоматично, новий алгоритм працює у всіх комплексах, створених на основі цієї системи. Точно так само вносяться й всі нові

алгоритми. У випадку переходу на нову версію операційної системи, досить оновити тільки базову систему. Прискорюються також і строки створення будь-якого нового комплексу. Новий комплекс має інтерфейс і систему керування подібну з попередніми комплексами, що відразу вирішує проблему сумісності й усуває необхідність переучування персоналу працюючого з комплексом.

При проектуванні діагностичної системи, я базувався саме на принципах реалізації ідеї медичних інформаційних технологій «без кордонів».

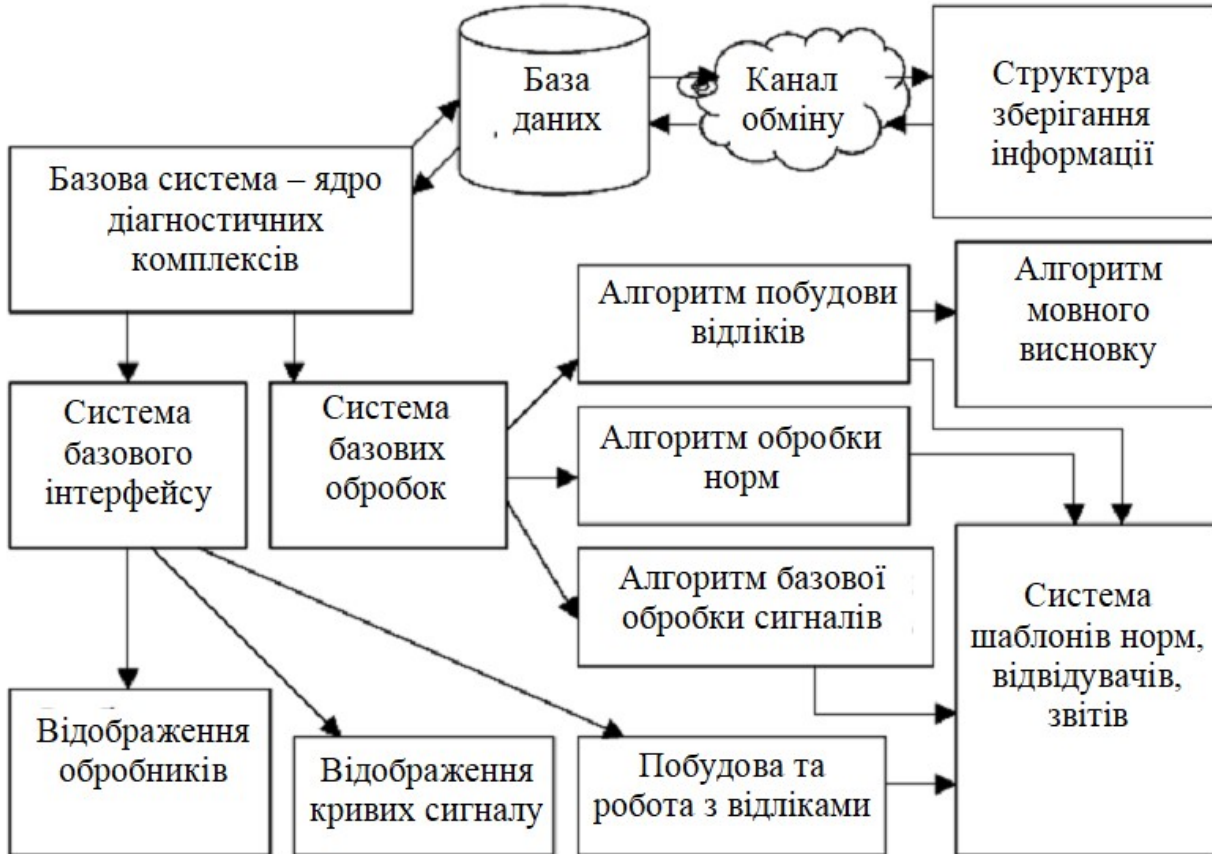


Рисунок 1 – Структурна схема системи

Платформна переносимість

Для забезпечення платформної переносимості медична система створювалася під сімейство операційних систем Windows, тому що саме ці операційні системи найпоширеніші в області домашніх і робочих систем і мають тенденцію до платформної незалежності. Єдність API цих операційних систем дозволяє з малими витратами робити адаптацію медичної системи для використання з портативними комп'ютерами. Архітектура, що просувається в останній час корпорацією Microsoft.NET дозволяє створювати дійсно крос-платформні програмні продукти, однак має деякі недоліки, як, наприклад, істотні вимоги до пропускну здатності лінії зв'язку, внаслідок чого варто ретельно зважити вигоду і накладні витрати, пов'язані з перекладом на цю архітектуру. З огляду на сучасні тенденції розвитку Internet в Україні, у цей час нам представляється поки недоцільним створювати медичні системи на основі цієї архітектури.

Висновки. У статті наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів моніторингу біомедичної інформації. Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач: Був проведений огляд існуючих систем моніторингу біомедичної інформації; Досліджена система моніторингу біомедичної інформації; На основі отриманих результатів досліджень створена програмна реалізація системи моніторингу біомедичної інформації. Розроблені під час виконання випускної кваліфікаційної роботи за другим (магістерським) рівнем вищої освіти алгоритми дозволяють успішно вирішувати

завдання моніторингу біомедичної інформації. 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., Frontoni, E., Kandy, S., Smirnov, O., Ulianovska, Y., Kobylanska, O. «Heuristic Search for Nonlinear Substitutions for Cryptographic Applications». *Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, 2023. vol 180. Springer, Cham. pp. 288-298.
2. 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.
3. Kuznetsov O., Frontoni E., Kuznetsova Ye., Smirnov O., Chevardin V. «Achieving Enhanced Security in Biometric Authentication: A Rigorous Analysis of Code-Based Fuzzy Extractor». *CEUR Workshop Proceedings*, Volume 3624, 2023, pp. 330-339.
4. Smirnov, O., Sydorenko, V., Aleksander, M., Zhyharevych, O., Yenchov, S. «Simulation of the cloud IoT-based monitoring system for critical infrastructures». *CEUR Workshop Proceedings*, Volume 3530, 2023, pp. 256-265.
5. Kuznetsov, O., Kandy, S., Frontoni, E., Smirnov, O. «Trade-offs in Post-Quantum Cryptography: A Comparative Assessment of BIKE, HQC, and Classic McEliece». *CEUR Workshop Proceedings*, Volume 3504, 2023, pp. 1-11.
6. Smirnov, O., Neskorođieva, T., Fedorov, E., Rudakov, K., Neskorođieva, A. «Method Detection Audit Data Anomalies on Basis Restricted Cauchy Machine». *CEUR Workshop Proceedings*, Volume 3187, 2022,
7. Smirnov, O., Lakhno, V., Akhmetov, B., Chubaievskiy, V., Khorolska, K., Bebesko, B. «Selection of a Rational Composition of Information Protection Means Using a Genetic Algorithm». In: Rajakumar, G., Du, KL., Vuppapapati, C., Beligiannis, G.N. (eds) *Intelligent Communication Technologies and Virtual Mobile Networks. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*, vol 131. 2023. Springer, Singapore. pp. 21-34.
8. Smirnov O.A., Al-Oraiqat A.M., Ulichev O.S., Meleshko Ye.V., Al-Rawashdeh H.S., Polishchuk L.I. «Modeling strategies for information influence dissemination in social networks». *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing* Volume 13, Issue 5. Springer, Cham. 2022, pp. 2463-2477.
9. Smirnov O., Kuznetsov A., Zhora V., Onikiychuk A., Pieshkova O. «Hiding Messages in Audio Files Using Direct Spread Spectrum». *11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS 2021, Cracow, Poland, 22-25 September 2021*. P. 414-418
10. Smirnov O., Kuznetsov A., Lokotkova I., Kuznetsova T., Florov S., Lebid O. «Using Orthogonal Signals to Hide Information in Images». *4 IEEE International Conference on Advanced Information and Communication Technologies (AICT) - 2021, Lviv, Ukraine, September 21-25, 2021*. P. 255-260.
11. Smirnov O., Kuznetsov A., Girzheva O., Kiian A., Nakisko O., Kuznetsova T. «Advanced Code-Based Electronic Digital Signature Scheme». *2020 IEEE International Conference on Problems of Infocommunications Science and Technology, PIC S and T 2020, Kharkiv, 6 October 2020-9 October 2020*, P. 358-362.
12. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova K. «Data hiding scheme based on spread sequence addressing». *CEUR Workshop Proceedings Volume 2805, 2020, Pages 44-58*.
13. Smirnov, O., Kuznetsov, A., Potii, O., Poluyanenko, N., Stelnyk, I., Mialkovsky, D. «Combining and filtering functions in the framework of nonlinear-feedback shift register». *International Journal of Computing; 2020, Volume 19, Issue 2 – Research Institute for Intelligent Computer Systems – 2020*. – P. 247-256.
14. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». *CEUR Workshop Proceedings. Volume 2740, 2020, Pages 102-114*.
15. 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.
16. Smirnov O., Kuznetsov A., Arischenko A., Chepurko I., Onikiychuk A., Kuznetsova T. «Pseudorandom sequences for spread spectrum image steganography». *CEUR Workshop Proceedings Volume 2654, 2020, Pages 122-131*.
17. Smirnov O., Kuznetsov A., Kovalchuk D., Kuznetsova T. «New technique for data hiding in cover images using adaptively generated pseudorandom sequences». *CEUR Workshop Proceedings Volume 2654, 2020, Pages 1-14*.
18. Smirnov O., Lutsenko M., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova T., «Biometric cryptosystems: overview, state-of-the-art and perspective directions». *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 152. Springer, Cham. 2021, pp 66-84.
19. Smirnov O., Kuznetsov A., Onikiychuk A., Makushenko T., Anisimova O., Arischenko A. «Adaptive pseudorandom sequence generation for spread spectrum image steganography». *2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Ukraine, Kyiv, May 14-18. 2020*. P. 161-165.
20. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Babenko V., Perevozova I., Chepurko I. «New Approach to the Implementation of Post-Quantum Digital Signature Scheme». *2020 IEEE 11th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT), Ukraine, Kyiv, May 14-18. 2020*. P. 166-171.
21. 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.
22. 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.