

УДК 004

Є.Завірюха, магістр гр. КІ-24М,

Центральноукраїнський національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО КОМПЛЕКСУ МОНІТОРИНГУ ЖИТТЄВИХ ПОКАЗНИКІВ ПАЦІЄНТІВ ІЗ ПЕРЕДАЧЕЮ ДАНИХ НА РОБОЧЕ МІСЦЕ ЛІКАРЯ

У статті розроблено програмне забезпечення, яке призначено для програмно-апаратного комплексу моніторингу життєвих показників пацієнтів із передачею даних на робоче місце лікаря. Метою розробки є дослідження та реалізація програмно-апаратного комплексу моніторингу життєвих показників пацієнтів із передачею даних на робоче місце лікаря. Об'єктом дослідження є процес моніторингу життєвих показників пацієнтів із передачею даних на робоче місце лікаря. Предметом дослідження є методи моніторингу життєвих показників пацієнтів із передачею даних на робоче місце лікаря. Методи дослідження базуються на методах теорії обробки інформації, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення. Результат роботи – реалізація програмно-апаратного комплексу моніторингу життєвих показників пацієнтів із передачею даних на робоче місце лікаря. В процесі роботи над програмною моделлю виконано аналіз існуючих апаратних та програмних засобів. В повній мірі описані всі компоненти розробленого програмного забезпечення.

програмно-апаратний комплекс, моніторинг життєвих показників пацієнтів

Постановка проблеми. У роботі запропоновано метод організації структурної схеми апаратно-програмного медичного комплексу, в якому основна увага була приділена: методу побудови архітектури біомедичної системи для реєстрації та обробки фізіологічних сигналів, що підвищує функціональність комплексу та його технологічність; математичній моделі розподілу та фізичного представлення даних для вирішення задачі ідентифікації паралельних процесів; методика забезпечує функції реєстрації, зберігання, обробки, аналізу ряду фізіологічних сигналів: пульсу, температури тіла, електрокардіограм; високій надійності та стійкості до перешкод; розробці оригінального схемотехнічного рішення з метою зменшення обсягу телеметричних даних та великого обсягу переданої інформації, а також збільшення швидкості бездротової передачі даних. Моніторинг життєво важливих показників за допомогою апаратно-програмного медичного комплексу покращує якість життя пацієнта під час обстеження та дозволяє кількісно оцінити реакцію серцево-судинної системи пацієнта на стрес-тести, встановити ефективність режиму стимуляції та терапії у пацієнтів з імплантованими кардіостимуляторами та багатьма іншими патологіями.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При аналізі останніх досліджень і публікацій [1-30] було виявлено певні прогалини у забезпеченні дослідження та реалізація програмно-апаратного комплексу моніторингу життєвих показників пацієнтів із передачею даних на робоче місце лікаря.

Мета й завдання дослідження. Метою роботи є дослідження та реалізація програмно-апаратного комплексу моніторингу життєвих показників пацієнтів із передачею даних на робоче місце лікаря.

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

- Огляд існуючих систем моніторингу життєвих показників пацієнтів із передачею даних на робоче місце лікаря.
- Дослідження програмно-апаратного комплексу моніторингу життєвих показників пацієнтів із передачею даних на робоче місце лікаря.
- Реалізація програмно-апаратного комплексу моніторингу життєвих показників пацієнтів із передачею даних на робоче місце лікаря.

Об'єктом дослідження є процес моніторингу життєвих показників пацієнтів із передачею даних на робоче місце лікаря.

Предметом дослідження є методи моніторингу життєвих показників пацієнтів із передачею даних на робоче місце лікаря.

Методи дослідження базуються на методах теорії обробки інформації, методах математичної статистики, методах розробки програмного забезпечення.

Виклад основного матеріалу. У сучасному середовищі охорони здоров'я потреба в надійному, масштабованому та доступному моніторингу пацієнтів ще ніколи не була такою великою. Урбанізація, зростання тягаря хронічних захворювань, нестача лікарів та застаріла інфраструктура – все це разом створює значний тиск на лікарні в регіонах по всьому світу, особливо в країнах із середнім рівнем доходу.

Однак, за допомогою правильних інструментів системи охорони здоров'я можуть подолати традиційні бар'єри моніторингу та покращити як безпеку пацієнтів, так і ефективність роботи клініцистів, одночасно підтримуючи довгострокову стійкість. Одним із критично важливих інструментів для подолання цих бар'єрів є платформа моніторингу пацієнтів: гнучке рішення для всієї лікарні, розроблене для масштабування, адаптації та роботи в реальних умовах, де складність, терміновість та обсяг є щоденними реаліями.

Хоча лікарні із середнім рівнем доходу поділяють багато потреб більш усталених лікарень, таких як зростання рівня хронічних захворювань, включаючи серцеві захворювання, діабет та ожиріння, ці проблеми є поєднаними з іншими, такими як:

- існуючі інфекційні захворювання: це включає спалахи нових, повторно з'являючихся та ендемічних патогенів.
- обмеженість ресурсів: застаріла інфраструктура, ненадійне електропостачання та обмежений доступ до сучасного обладнання – це проблеми, з якими стикаються багато систем охорони здоров'я.
- нестача персоналу: поширеними є ротація персоналу, недостатня кваліфікація клініцистів та вигорання.
- фрагментована технологія: різні постачальники та несумісні системи порушують безперервність медичного обслуговування.
- прогалини в нормативному регулюванні: непослідовні стандарти медичного обслуговування дозволяють неякісному обладнанню потрапляти на ринок, що додає ризиків для лікарняних процесів та знижує рівень медичного обслуговування.

Через ці потреби керівникам охорони здоров'я необхідно враховувати кілька дуже важливих питань, розглядаючи будь-яку платформу моніторингу: Чи зменшить ця система навантаження на персонал, чи збільшить його? Чи може це працювати в різних сферах догляду з мінімальним навчанням? чи може це допомогти спростити роботу та покращити процес прийняття рішень? Чи будуть сигнали тривоги точними, чи вони відволікатимуть увагу?

Не кожен монітор життєво важливих показників зроблений однаково. На ринку доступні численні монітори життєво важливих показників з безліччю функцій та можливостей. Моніторинг пацієнта передбачає безперервне або періодичне спостереження та вимірювання фізіологічних функцій та життєво важливих показників пацієнта. Це включає відстеження частоти серцевих скорочень, артеріального тиску, частоти дихання, температури та рівня насичення крові киснем.

Мета полягає в тому, щоб швидко виявити будь-які відхилення від нормальних значень, які можуть свідчити про погіршення стану пацієнта, щоб мати змогу вжити відповідних заходів.

Якщо основи технології моніторингу пацієнтів є надійними, вихідний сигнал моніторингу буде точним та надійним для процесу прийняття клінічних рішень. Як наслідок, робота медичних працівників буде покращена та спрощена, наприклад, зі значно меншою кількістю хибних тривог або переміщення датчиків.

Які ключові основи лежать в основі надійного рішення для моніторингу?

Отримання сигналу: стосується процесу захоплення та перетворення життєво важливих сигналів пацієнта у формат, який можна обробляти та аналізувати за допомогою алгоритмів. На отримання сигналу впливають не лише якість та конструкція датчиків, прикріплених до пацієнта (чи датчик занадто вільно прилягає? чи не впливає на нього артефакт руху?), але й фільтри шумоподавлення, підсилення сигналу, кількість вхідних каналів, швидкість дискретизації тощо.

Монітори повинні працювати з перевіреними датчиками, адаптованими до вимог застосування, забезпечуючи точні показники та задовольняючи очікування щодо продуктивності.

Обробка сигналів: зосереджена на аналізі, модифікації та синтезі отриманих сигналів для оптимізації передачі, корекції спотворених сигналів, що забезпечує точну клінічну інтерпретацію. В основі цього лежать точні алгоритми.

Наскільки досконалі алгоритми, визначають загальну якість інформації, що відображається на моніторі. Зокрема, чутливість та специфічність відіграють ключову роль відповідно для виявлення якомога більшої кількості справжніх подій та відкидання хибних.

Точні алгоритми можуть виконувати: покращити здатність розрізняти артефакти від справжніх життєво важливих показників; дозволяють безперервний моніторинг навіть за наявності артефакту, тим самим зменшуючи переривання догляду; мають високу чутливість, особливо на порогових значеннях для діагностики гіпотензії та гіпертензії; мають високу точність вимірювання за низьких та дуже низьких порогів перфузії; зменшити затримку між отриманням сигналу та відображенням інформації на моніторі. Навіть затримка в кілька секунд між діями хірурга та візуальним зворотним зв'язком на моніторі може поставити під загрозу результат лікування пацієнта.

Монітори та алгоритми також повинні бути ретельно протестовані компанією та сертифіковані незалежною лабораторією.

Конфігурованість: коли монітор пацієнта є гнучким з точки зору налаштування апаратного та програмного забезпечення (тобто додавання нових параметрів «на місці», можливості налаштування трендів та відображення, розширене керування тривогами та інструменти візуальної підтримки), тоді посилюються ефективніші протоколи та генеруються дієві клінічні сповіщення.

Основні можливості платформи моніторингу, готової до майбутнього

Для оцінки платформи моніторингу з точки зору безпеки пацієнтів, ефективності клініцистів та довгострокової стійкості, слід враховувати такі області:

1. Простота використання: розроблено для швидкого навчання та гнучкості.

У завантажених та складних клінічних умовах рішення, яке бере на себе частину навантаження, спростить життя. Наприклад, рішення для моніторингу, яке включає: великі, читабельні дисплеї з висококонтрастним зображенням; зрозумілий інтерфейс користувача, що зменшує потребу у офіційному навчанні; стандартизовані робочі процеси для госпіталізації, виписки та ескалації пацієнтів; налаштування за зоною догляду (відділення інтенсивної терапії, відділення невідкладної допомоги, операційна, відділення пониженої терапії); інструменти візуалізації, які збирають та поєднують клінічні дані з різних джерел (за різними параметрами) та спрощують обробку складної інформації для ефективного процесу прийняття рішень.

Про що мені потрібно обов'язково подумати? Чи може персонал з обмеженою підготовкою працювати з монітором пацієнта під тиском або під час кризи? Скільки кліків потрібно для виконання функції? Чи адаптується інтерфейс користувача до різних клінічних середовищ і дозволяє операторам інтуїтивно знаходити необхідну інформацію або налаштування? Чи може надмірність у інтерфейсі користувача допомогти доглядачам знаходити інформацію, що надходить з різних точок навігації?

2. Клінічна досконалість: надійна, перевірена, розумна.

Рішення для моніторингу пацієнтів повинні надавати медичним працівникам точні дані, необхідні для прогнозування, виявлення та лікування гостроти захворювання пацієнтів протягом усього періоду догляду. Від шкіри до екрана: датчики, розроблені для зменшення кількості хибних тривог та забезпечення цілісності сигналу, завдяки чому дані, що зчитуються на екрані, відображають те, що відбувається в організмі. Перевірені та ретельно протестовані алгоритми, що обробляють дані життєво важливих показників для отримання клінічно корисних результатів (наприклад, інтелектуальне керування сигналізацією, виявлення аритмії, точність артеріального тиску).

Доступ до даних пацієнтів у режимі реального часу в усіх зонах догляду. Оптимізація сигналізації, що підтримує «тихе» середовище. Розширені інструменти візуалізації, що підтримують швидке та ефективне прийняття клінічних рішень. Про що мені потрібно обов'язково подумати? Чи клінічно перевірені та доведена їхня ефективність в умовах високого тиску алгоритми та датчики? Як система запобігає втомі від тривоги та підтримує швидке прийняття рішень?

3. Масштабованість: одна платформа, багато зон догляду.

Клінічні робочі процеси відрізняються в різних сферах медичного обслуговування. Відповідно, рішення має бути адаптоване до конкретної галузі медичного обслуговування, в якій ми працюємо, а також має забезпечувати гнучкість використання певних параметрів за потреби. Модульна конструкція з повноцінними компонентами plug-and-play, що розширюються на льоту (не обмежується конфігурацією моніторингу, обраною під час покупки). Можливість масштабування від базових життєво важливих показників до більш спеціалізованих параметрів. Транспортні монітори, що стикаються та безперешкодно інтегруються з центральними системами (наприклад, електронним медичним звітом, якщо він доступний).

Однаковий користувацький досвід у всіх відділеннях, по всій лікарні – скорочення часу на навчання. Про що мені потрібно обов'язково подумати? Чи можу я розгорнути таку саму систему по всій лікарні? Чи буде він зростати разом із клінічними потребами моєї лікарні протягом наступних десятиліть?

4. Мобільність та внутрішньолікарняне транспортування: безперервність без компромісів. Під час переміщення пацієнта між зонами догляду спостереження та втручання повинні бути такими ж, як і в початковій установі, щоб підтримувати винятковий рівень безпеки пацієнтів: Транспортні монітори з тривалим часом роботи від батареї та міцним корпусом; Безперебійна передача даних пацієнтів з однієї області до іншої; Живлення від батареї для середовищ з коливаннями напруги живлення;

Про що мені потрібно обов'язково подумати? Чи втрачає монітор дані під час транспортування пацієнта? Чи витримує пристрій удари під час транспортування, падіння та електричну нестабільність? Чи дозволяє монітор вимірювати всі критичні параметри для рівня гостроти стану пацієнта (інтубовані пацієнти, пацієнти з нестабільною гемодинамікою)?

5. Доступність: розроблено для довгострокової цінності.

Як рішення для моніторингу широкого спектру закупівель може відповідати довгостроковим цілям фінансової стабільності лікарні? Слід враховувати багато аспектів, а не лише одноразове придбання. Нещодавно придбане рішення для моніторингу повинно мати: Варіант початкового рівня з можливістю оновлення в майбутньому; Сумісність з усіма підприємствами, що зменшує потребу в установці кількох систем; Цифровий робочий

процес, який зменшує використання паперу та рівень помилок; Обмежене поточне технічне обслуговування та низькі витрати на навчання.

Про що мені потрібно обов'язково подумати? Чи можемо ми оновити встановлений парк обладнання, чи нам потрібно замінити все рішення? Яка загальна вартість володіння протягом 5–7 років, включаючи навчання, обслуговування та витратні матеріали?

6. Надійність, якій ви можете довіряти. Опора на компетенцію партнера, його великий досвід у моніторингу охорони здоров'я та відданість спільним цілям є основою для довгострокової співпраці: Підтверджений досвід роботи як у передових, так і в загальних медичних закладах; Сильна присутність для післяпродажної підтримки, а також для безперервності обслуговування; Спадщина клінічних інновацій у моніторингу пацієнтів; Відсутність прихованих витрат на обслуговування та довгострокова доступність запчастин.

Про що мені потрібно обов'язково подумати? Чи має цей постачальник досвід довгострокових партнерських відносин на ринках, подібних до мого? Чи визнано цього постачальника інноваційною та клінічно бездоганною компанією? Чи буде цей партнер продовжуватися протягом усього терміну служби моєї платформи моніторингу?

Більшість закладів охорони здоров'я у світі не лише обмежені в ресурсах, вони мають потенціал перетворитися на центр, багатий на інновації. Лікарні, які роблять мудрий вибір сьогодні, можуть забезпечити собі позиції для майбутнього зростання, розумніших робочих процесів та кращих результатів лікування пацієнтів завтра. Правильна платформа моніторингу не лише вимірює життєво важливі показники – вона захищає пацієнтів, полегшує навантаження на клініцистів та забезпечує майбутні інвестиції в лікарні.

Короткий огляд: на що звернути увагу при виборі рішення для моніторингу:

- Простота використання: мінімальне навчання, інтуїтивно зрозумілі операції, стандартизовані робочі процеси.
- Клінічна точність: перевірені алгоритми, якість сигналу, інтелектуальні тривоги.
- Масштабованість: модульна конструкція, підтримка кількох гострот, додаткові параметри.
- Готовність до транспортування: міцні, з живленням від батареї, безперешкодна передача.
- Доступність: низька загальна вартість володіння, платформа з можливістю оновлення, зменшені витрати на обслуговування.
- Надійний партнер з глобальним досвідом, регіональна підтримка.
- Системи моніторингу пацієнтів використовуються в низці застосувань.
- З інноваціями в бездротовому, портативному та дистанційному моніторингу пацієнтів, різноманітність та тип застосування зростають.

У стінах лікарень та клінік – історичного центру інновацій у сфері моніторингу пацієнтів – системи моніторингу пацієнтів мають вирішальне значення для будь-якої хірургічної операції.

Під час операції хірург(и) повинен(и) мати постійний доступ до життєво важливих показників пацієнта, щоб зменшити ризик виникнення негативних наслідків.

В операційній зазвичай є термометр для відстеження температури пацієнта, пульсоксиметр для вимірювання рівня кисню, капнограф для контролю рівня CO₂ та сфігмоманометр для вимірювання артеріального тиску.

Після операції багато з цих самих пристроїв моніторингу використовуються лікарями, медсестрами та іншими медичними працівниками, щоб забезпечити безперебійне післяопераційне відновлення.

Окрім клінічних умов, системи дистанційного моніторингу пацієнтів використовуються в різних сферах застосування, таких як догляд за діабетиками.

Прилади для моніторингу рівня глюкози використовуються пацієнтами з діабетом поза лікарнею вже багато років, дозволяючи як пацієнту, так і його лікарю запобігати небезпечним подіям для здоров'я.

Хоча цей розділ містить лише кілька прикладів застосувань, де системи моніторингу пацієнтів допомагають медичним працівникам та пацієнтам покращувати результати, одне має бути зрозумілим: інновації на ринку моніторингу пацієнтів продовжуватимуть стимулювати зростання нових застосувань.

Які компоненти системи моніторингу пацієнтів?

Кожна система моніторингу пацієнта унікальна – ЕКГ не складається з тих самих компонентів, що й глюкометр.

Немає жодного нормативного акту, який би стверджував, що кожна система моніторингу пацієнтів повинна мати певну кількість друкованих плат, датчиків, провідників тощо.

З огляду на це, ми групуємо компоненти системи моніторингу пацієнта на три загальні категорії: пристрій моніторингу пацієнта, капітальне обладнання та програмне забезпечення.

Пристрій моніторингу пацієнта

Хоча термін «пристрій моніторингу пацієнта» зазвичай використовується для позначення всієї системи моніторингу пацієнта, у цій публікації блогу ми використовуватимемо його для опису частини системи моніторингу пацієнта, яка контактує з пацієнтом або вводиться в нього.

Загалом, пристрій моніторингу пацієнта зазвичай містить датчик для збору важливої інформації про пацієнта (наприклад, частоти серцевих скорочень) та рішення для з'єднання (наприклад, друковані плати, роз'єми, проводку тощо), яке може передавати інформацію до основного обладнання.

Використовуючи пульсоксиметр як приклад, деталь, яка кріпиться до вашого пальця та вимірює ваш пульс, а також передає його на основне обладнання, є прикладом компонента пристрою для моніторингу пацієнта.

Капітальне обладнання

Дані, зібрані пристроєм моніторингу пацієнта, марні, якщо до них немає доступу.

Це робить капітальне обладнання важливим компонентом системи моніторингу пацієнтів.

Оскільки пристрій моніторингу пацієнта сам збирає життєво важливі дані про пацієнта, ці дані потім надсилаються (іноді бездротовим способом) на основне обладнання, де вони обробляються, зберігаються та відображаються.

Більшість основного обладнання, що використовується для моніторингу пацієнтів, використовують складну систему взаємоз'єднань, що складається з роз'ємів, друкованих плат та джгутів проводів, а також певний тип екрана/монітора, на якому дані передаються у зручному для використання форматі.

Деякі види основного обладнання для моніторингу пацієнтів містять комп'ютер із процесором та жорстким диском.

По суті, капітальне обладнання є центральною точкою, де дані з пристрою моніторингу обробляються, зберігаються та виводяться у вигляді корисної інформації.

Екран комп'ютера, на якому відображається зубець Р ЕКГ пацієнта, є прикладом капітального обладнання, що використовується в системі моніторингу пацієнта.

Програмне забезпечення

Після того, як дані пацієнта передаються з пристрою на основне обладнання, їх необхідно обробити.

Хоча апаратне забезпечення, яке збирає дані, є важливим, програмне забезпечення, яке робить ці дані корисними, часто ігнорується в обговореннях щодо інновацій у моніторингу пацієнтів.

Зрештою, програмне забезпечення відповідає за перетворення одиниць і нулів у формат, який медичні працівники можуть насправді зрозуміти.

Драйвери, програми та програми, які обробляють, зберігають та візуально перетворюють дані, є невід'ємними частинами будь-якої системи моніторингу пацієнтів –

збій або затримка в програмному забезпеченні системи моніторингу пацієнтів може призвести до плутанини та небезпеки для пацієнта.

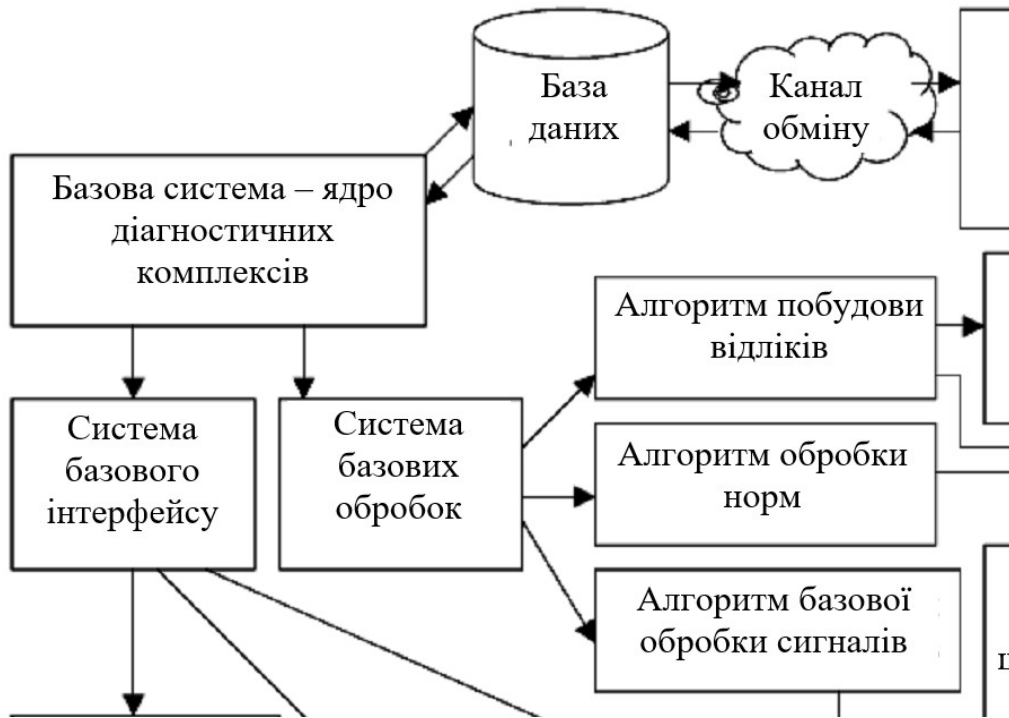


Рисунок 1 – Структурна схема системи

Завдання розробки пристроїв та обладнання для моніторингу пацієнтів

Як видно з наведеної вище інформації, системи моніторингу пацієнтів справді знаходяться на перетині інформаційних технологій та біомедичних наук.

Розробка пристроїв та обладнання для моніторингу пацієнтів вимагає глибоких знань технології датчиків, систем взаємоз'єднань, проектування пристроїв, розробки програмного забезпечення тощо.

Чи зберуть ваші датчики необхідну інформацію?

Чи може ваше рішення для взаємоз'єднання збирати та передавати дані з необхідною вам швидкістю?

Чи ваше програмне забезпечення точно перетворює ці дані на корисну інформацію?

Це лише деякі з багатьох точок потенційної несправності, які ви повинні враховувати під час розробки концепції вашого пристрою.

Інновації на ринку моніторингу пацієнтів продовжують покращувати результати лікування пацієнтів у всьому світі.

Розуміння загальних компонентів, що складають систему моніторингу пацієнтів, може допомогти вам краще підійти до процесу розробки з цілісної точки зору.

Висновки. У статті наведені теоретичне узагальнення й рішення наукового завдання дослідження методів моніторингу життєвих показників пацієнтів із передачею даних на робоче місце лікаря. Рішення даного завдання полягало у вирішенні наступних задач:

- Був проведений огляд існуючих систем моніторингу життєвих показників пацієнтів із передачею даних на робоче місце лікаря.

- Досліджена система моніторингу життєвих показників пацієнтів із передачею даних на робоче місце лікаря.

- На основі отриманих результатів досліджень створена реалізація програмно-апаратного комплексу моніторингу життєвих показників пацієнтів із передачею даних на робоче місце лікаря. Розроблені алгоритми дозволяють успішно вирішувати завдання моніторингу життєвих показників пацієнтів із передачею даних на робоче місце лікаря. 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., Kuznetsova, K., Arnesano, M., Smirnov, O. «A secure biometric authentication architecture for blockchain-driven cyber-physical systems». *Security and Privacy of Cyber Physical Systems Emerging Trends Technologies and Applications*, 2025, pp. 193–224.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Вінтенко Б.Ю., Смірнов О.А., Миронець І.В., Смірнова Т.В., Коваленко О.В., Мацуй 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.
7. 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. – С. 44-46.
8. 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.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. 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.
18. 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.

19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. Smirnov O., Kuznetsov A., Kiian A., Kuznetsova T. «Non-binary constant weight coding technique». CEUR Workshop Proceedings. Volume 2740, 2020, Pages 102-114.
24. 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.
25. 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.
26. 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.
27. 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.
28. 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.
29. 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.
30. 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.
31. 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.