

КІБЕРНЕТИКА та КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 681.7.08; 6.1

DOI:10.34229/2707-451X.23.2.7

В.О. РОМАНОВ, І.Б. ГАЛЕЛЮКА, В.М. ГРУША, Г.В. АНТОНОВА,
О.В. ВОРОНЕНКО, А.В. КЕДИЧ, О.В. КОВИРЬОВА

СМАРТ-СИСТЕМИ ДЛЯ ПРЕЦИЗІЙНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА, ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я

Вступ. Розвиток інформаційно-комунікаційних технологій, мікроелектроніки, сенсорики та біосенсорики обумовив появу інноваційних засобів інформатики у світі. З'явилися розумні міста, розумні фабрики, розумні будинки, розумні апартаменти, системи предикторної медичної діагностики, які орієнтовано не тільки на якісну оцінку стану здоров'я людини та повноцінне лікування, але і на профілактику та запобігання захворювань, а також багато інших інтелектуальних об'єктів. Поширення цих технологій на прецизійне землеробство, захист довкілля та охорону здоров'я дає змогу створювати розумні поля, розумні сади, розумні теплиці, розумні лісові та паркові масиви, розумні монітори здоров'я, які слідкують за станом людини як в умовах реабілітації, так і в умовах надзвичайних ситуацій. Відповідні інтелектуальні засоби, а саме: окремі бездротові смарт сенсори й бездротові сенсорні мережі (БСМ) розроблено колективом авторів в Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України при виконанні фундаментальних і прикладних досліджень та проектів за національними та міжнародними програмами.

Запропоновані оригінальні смарт сенсори з вбудованим мікроконтролером і модулем бездротового передавання даних дуже чутливі до будь-яких змін у стані рослини і можуть слугувати органами чуття смарт-систем моніторингу довкілля. Методичне і програмне забезпечення цих смарт сенсорів нині дає можливість оцінити стан рослин під впливом таких стресових чинників, як посуха, спека, забрудненість ґрунту важкими металами, внесення гербіцидів, добрив тощо. Монітори здоров'я, які побудовано на основі БСМ, вже сьогодні дають можливість створити надійну систему захисту та підтримки хронічних хворих, підвищити швидкість і безпечність реабілітаційного періоду.

Але для інтелектуалізації процесу моніторингу в сільському господарстві, екології та охороні здоров'я необхідно мати багаторівневі смарт-системи моніторингу, які б не тільки слідкували та оцінювали в експресному режимі вплив різних чинників на стан об'єкта

В статті описана структура банку знань для прецизійного землеробства та екологічного моніторингу, моделі типових смарт-систем, структури бездротових багаторівневих сенсорних мереж для оцінки стану біологічних об'єктів різної природи, бездротові сенсорні мережі та смарт-системи для сільського господарства та для охорони здоров'я, діагностичні смарт-системи для оцінки якості життя.

Ключові слова: бездротові сенсорні мережі, прецизійне землеробство, експрес-діагностика стану рослин, якість життя, SF-36.

© В.О. Романов, І.Б. Галелюка, В.М. Груша,
Г.В. Антонова, О.В. Вороненко,
А.В. Кедич, О.В. Ковирьова, 2023

моніторингу, але й завдяки вбудованому штучному інтелекту напрацьовували відповідні управлінські рішення та рекомендації, які спрямовано на компенсацію або усунення дії цих чинників. Ідея розробки теоретичних засад смарт-систем різного призначення має у своїй основі розроблену авторами нову інформаційну технологію для оцінки в експресному режимі стану рослин на великих територіях сільськогосподарських угідь, лісопаркових масивів, промислових садів тощо. Але подальший розвиток смарт-систем та впровадження їх у різні сфери діяльності людини потребує подальшого розвитку теорії таких систем, які б містили у собі не тільки мережеві засоби збору даних, але й охоплювали такі системні компоненти, як банки знань з розв'язувачами задач, багаторівневі сенсорні мережі, відповідний математичний апарат і методичне та програмне забезпечення для оперативного напрацювання необхідних управлінських рішень, спрямованих на компенсацію або усунення дії стресових чинників на стан біологічного об'єкта.

В даній публікації представлено результати досліджень авторського колективу в області розробки нових інформаційних технологій та створенні на цій основі основних компонентів смарт-систем різного призначення.

Структура банку знань для прецизійного землеробства та екологічного моніторингу. Своєчасна діагностика стану рослин, особливо сільськогосподарських культур, має важливе значення для прийняття оптимальних агротехнічних управлінських рішень. Для діагностики стану рослин застосовують різні методи та засоби. Одним із перспективних рішень є використання методу індукції флуоресценції хлорофілу (ІФХ) для експрес-діагностики стану рослин [1, 2]. Окрім лабораторних досліджень, цей метод почали активно використовувати у промисловому сільському господарстві, включаючи прецизійне та цифрове землеробство, для забезпечення максимальної продуктивності сільського господарства. Для отримання інформації про стан рослин на основі методу ІФХ в Інституті кібернетики розроблено багаторівневу сенсорну мережу для збору та обробки даних про стан рослин з великих площ сільськогосподарських угідь [3]. Для діагностики стану рослин за отриманими з сенсорів даними та надання відповідних рекомендацій аграріям необхідно мати системи підтримки прийняття рішень, які засновано на базах знань. Необхідність створення комп'ютерного банку знань з експрес-діагностики стану сільськогосподарських культур обумовлено двома основними чинниками:

- надання інформації аграріям щодо експрес-діагностики стану сільськогосподарських культур та отримання рекомендацій, спрямованих на усунення негативних наслідків, пов'язаних із впливом стресових чинників різної природи на сільськогосподарські культури;

- накопичення та систематизація даних щодо експрес-діагностики стану рослин, їх аналізу, обробки та отримання нових знань про вплив стресових чинників на розвиток рослин, а також знань про те, які заходи необхідно вжити для підвищення врожайності сільськогосподарських культур та попередження можливих втрат врожаю через вплив стресових факторів природного та техногенного походження.

Беручи до уваги вище написане, можна визначити основні вимоги до банку знань, які забезпечують такі можливості:

- віддалено отримувати інформацію про стан сільськогосподарських культур та рекомендації щодо їх подальшого догляду;

- віддалено та автоматизовано вносити й аналізувати інформацію, отриману від смарт сенсорів;

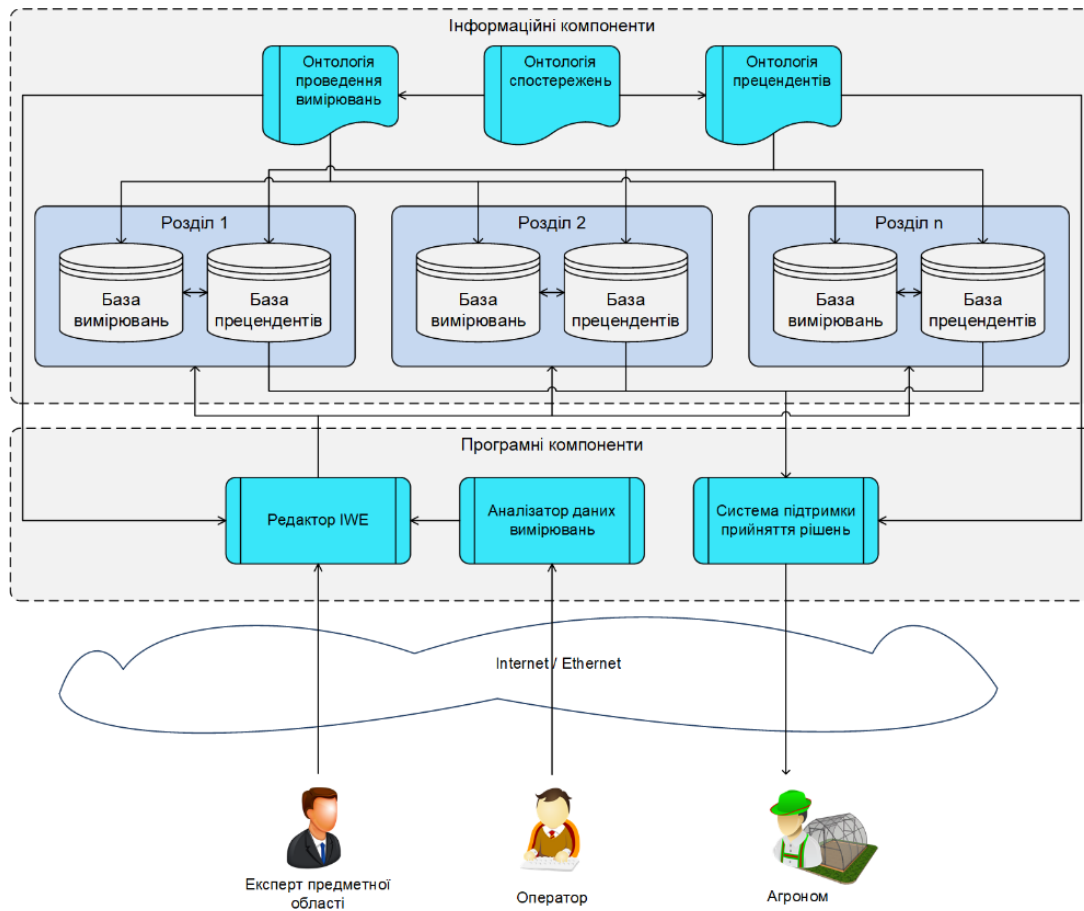
- надавати набір зрозумілих та зручних для аграріїв засобів формування знань про стан сільськогосподарських культур на основі результатів вимірювань ІФХ та опис рекомендацій щодо їх подальшого догляду;

- забезпечити контрольований та керований доступ користувачів до всіх компонентів системи банку знань – аграріїв, інженерів, програмістів та експертів у галузі сільського господарства;

– забезпечити можливість віддалено вносити, редагувати та переглядати знання та дані про стан сільськогосподарських культур та рекомендації щодо їх подальшого догляду.

На основі вимог до банку знань нами запропоновано основні принципи його створення. Для доступності широкому колу аграріїв результатів діагностики та рекомендацій, а також залучення до розробки баз знань предметних фахівців, необхідно надати доступ до всіх компонентів банку знань як до хмарних сервісів. Такий підхід до реалізації банку знань не потребує встановлення компонентів сервісу на комп'ютерах користувачів та розробників, не буде вимагати жодних додаткових умов до операційної системи, оперативної пам'яті та інших технічних параметрів комп'ютерів. Практично тільки ця технологія дозволяє забезпечити систематичне накопичення знань у банку знань та постійний його розвиток у процесі використання. На нашу думку, використання банків знань у смарт-системах для різних галузей діяльності людини є необхідним кроком для автоматичного отримання знань, тобто до інтелектуалізації цих систем у цілому [4]. Для забезпечення доступності баз даних, засобів розробки баз знань та їх модифікації ми пропонуємо онтологію відповідних інформаційних ресурсів, що описує системи понять, зв'язків між ними та обмежень цілісності. Використання онтології спрямовано на спрощення створення інформаційних компонентів [5, 6], оскільки розробникам не треба вивчати будь-який формальний підхід для опису даних та знань (особливо це важливо для експертів предметної галузі, які не знайомі з мовами програмування та технологією розробки програмних засобів). Використання редакторів, що керовані онтологіями, також спрямоване на зниження трудомісткості розробки інформаційних ресурсів. Як середовище для реалізації банку знань з експрес-діагностики стану сільськогосподарських культур використано хмарну платформу ІАСРaaS [7]. Інтеграційна платформа як послуга ІАСРaaS – це набір хмарних сервісів, що дають змогу розробляти, виконувати та керувати потоками інтеграції, що з'єднують будь-яку комбінацію локальних і хмарних процесів, служб, додатків і даних, і яка повною мірою підтримує поставлені вимоги. Архітектуру банку знань з експрес-діагностики стану сільськогосподарських культур показано на рис. 1.

Банк знань складається з інформаційних та програмних компонентів. Інформаційними компонентами є онтологія спостережень, онтологія проведення вимірів, онтологія прецедентів, а також бази вимірювань та прецедентів для кожної культури рослин. Онтологія спостережень описує структуру спостережень та їх значень. До спостережень відносять опис стресових чинників та результатів проведення вимірювань стану рослин за допомогою сенсорів, принцип дії яких ґрунтується на вимірі інтенсивності процесу фотосинтезу у рослинах методом ІФХ [1]. Для виявлення стресових чинників виконують абіотичні (екологічні), біотичні та кліматичні спостереження. Онтологія проведення вимірювань включає назву сільськогосподарської культури, її сорт, а також дату, час проведення спостережень та набори значень, що відносяться до стресових чинників, а також значення параметрів кривої ІФХ. У термінах онтології формують бази вимірювань рослин та базу прецедентів (накопичуваного досвіду). Банк знань складається із розділів, кожний з яких відповідає конкретній сільськогосподарській культурі. Розділи банку у свою чергу можуть містити підрозділи, що відповідають сорту сільськогосподарської культури. Таким чином, у кожному розділі банку містяться бази вимірювань стану певної сільськогосподарської культури. Програмними компонентами банку є редактор ІВЕ [8], аналізатор даних вимірів, а також система підтримки прийняття рішень на основі бази прецедентів. Як редактор інформаційних ресурсів використано редактор ІВЕ, який є компонентом платформи ІАСРaaS. Фахівці зі знань формують онтології мовою ІРРС за допомогою даного редактора. Сформовані таким чином онтології подаються на вхід цього ж редактора. Експерти предметної галузі, оператори та аграрії формують компоненти бази вимірювань (а саме: дату проведення вимірів, час, район, назву сільськогосподарської культури, її сорти тощо) та основи прецедентів без участі посередників.



РІС. 1. Архітектура банку знань з експрес-діагностики сільськогосподарських культур

Усі інформаційні ресурси (онтології, бази прецедентів та вимірів) представляються в єдиному уніфікованому форматі – семантичними мережами. Аналізатор даних вимірювань автоматично перетворює інформацію, отриману від сенсорів у цифровому форматі, у параметри кривої ІФХ, які є ключовими для прийняття управлінських рішень. Система підтримки прийняття рішень за даними вимірів сільськогосподарської культури та бази прецедентів визначає стан рослини та формує набір рекомендацій для аграріїв. Використання методу прийняття рішень щодо прецедентів (накопиченого досвіду), які вже мали місце у минулому, активно використовується у діагностичних системах. Основні його переваги [9]:

- можливість безпосередньо використати досвід, накопичений системою без інтенсивного залучення експертів, тобто не потрібні такі трудомісткі етапи, як отримання, формалізація та узагальнення експертних знань, верифікація системи на коректність та повноту;
- отримання знань відбувається шляхом формального опису випадків із практики;
- можливість скорочення часу пошуку рішення поставленого завдання за рахунок використання вже наявного рішення для аналогічного завдання;
- можливість пояснення отриманого рішення (на відміну від систем, які засновано на нейронних мережах);
- можливість роботи у предметних областях, які неможливо повністю пояснити чи змодельювати;

– можливість навчання у процесі роботи, причому навчання буде відбуватися лише у певних практичних та затребуваних напрямках, які реально зустрічаються.

Як засіб реалізації банку знань обрано хмарну платформу IASaaS, яка підтримує технології створення, супроводу, накопичення, спільного розвитку інформаційних та програмних компонентів систем, заснованих на знаннях, а також їх віддаленого використання незалежно від географічного розташування розробників та користувачів.

Моделі типових смарт-систем. При розробленні типових смарт-систем для застосування у різних сферах діяльності людини або галузях промисловості, в першу чергу, слід виділити і узагальнити функціональні рівні, які притаманні типовій смарт-системі [10, 11]. Перший рівень складають фізичні пристрої, зокрема, сенсори, виконавчі механізми, контролери тощо. Елементами цього рівня також можуть бути пристрої Інтернету речей [12]. Як правило, на виході цього рівня отримують необроблені дані або дані, які піддано невеликій модифікації, наприклад, агрегуванню або стисненню. Другий рівень – комунікаційний. Цей рівень містить бездротові та дротові комунікаційні канали і пристрої передавання та отримування даних. На цьому рівні знаходяться роутери, маршрутизатори, повторювачі сигналу та інші допоміжні пристрої для організації зв'язку як між вузлами системи, так і з подібними системами або системами вищого рівня. На третьому рівні перебувають апаратні та програмні засоби для аналізу, трансформації та підготовки зібраних даних до зберігання. Отримані дані аналізують на валідність і коректність, групують відповідно наперед заданим критеріям та при необхідності архівують для подальшого зберігання. Четвертий рівень містить як локальні, так і хмарні або розподілені засоби зберігання інформації. При цьому цей рівень обов'язково має включати інфраструктуру у вигляді апаратних засобів для доступу користувачів та усіх зацікавлених сторін до даних. П'ятий функціональний рівень призначено для оброблення, абстрагування та організації доступу до даних. Програмні засоби абстрагування даних, загалом, призначено для вибірки та підготовки до візуалізації тільки тих даних з усього масиву, що зберігаються, які на даний час потрібні користувачу або відповідному програмному сервісу для виконання поставленої задачі, наприклад, візуалізації даних на певній території, візуалізації динаміки певного параметру або відбору основних параметрів, необхідних для вироблення необхідного управлінського рішення тощо. При цьому доступ до даних організовується програмними засобами, сервісами або мікросервісами, які працюють або використовують апаратну інфраструктуру з попереднього функціонального рівня. Шостий рівень об'єднує прикладні програмні засоби, які вбудовані розробником або користувачем у певну прикладну смарт-систему. Основними цілями таких прикладних програмних засобів є оброблення і візуалізація даних відповідно до заданих алгоритмів, критеріїв або запитів. Інша ціль таких програмних засобів це організація зворотного зв'язку або впливу на об'єкт дослідження чи моніторингу через виконавчі механізми на першому функціональному рівні. Передостанній узагальнений функціональний рівень об'єднує розробників та користувачів з засобами та бізнес-процесами, які гарантують правильну взаємодію елементів смарт-системи на усіх функціональних рівнях, а також виконання смарт-системою свого призначення. До останнього рівня ми відносимо вклад фахівців, які беруть участь у доопрацюванні, модернізації, налагодженні та навчанні смарт-системи з метою досягання неї оптимальних параметрів функціонування. Слід зазначити, що навчання смарт-систем через, наприклад, нейронні мережі або інші алгоритми штучного інтелекту відбувається також на цьому рівні. Смарт-система для певного прикладного застосування буде володіти усіма цими рівнями, але наповнюваність цих рівнів буде різною залежно від призначення системи [13]. Функціональні рівні та їх наповнення визначають основні стадії розробки та проектування смарт-системи, узагальнену структуру формування обмежень і критеріїв яких показано на рис. 2. На першому етапі залежно від мети та завдань системи визначають узагальнену специфікацію та схематичну деталізацію системи, які дають можливість побудувати узагальнену структуру системи. Далі визначають основну функціональність системи, де, як правило, визначають головні функції майбутньої системи.



РИС. 2. Структура формування обмежень і критеріїв процесу розробки смарт-системи

На другому етапі визначають поведінкові обмеження та розробляють концептуальну модель, яка дає можливість перейти до третього етапу, мета якого – розробка структури смарт-системи. На четвертому етапі розробляють перелік властивостей та обмежень оточення, які є визначальними для функціонування смарт-системи. На п'ятому етапі розробляють і описують правила функціонування смарт-системи, виходячи з її прикладного застосування, а також набір алгоритмів функціонування системи. Шостий етап – розробка зворотної дії смарт-системи на об'єкт дослідження (спостереження або керування) відповідно до логічних правил. Далі формують перелік та описують процедури здійснення такого зворотного впливу залежно від вибраних засобів та процедур впливу. І як результат цього етапу розробляють методи моделювання чи прогнозування, які дають можливість оцінити на моделях результати здійсненого зворотного впливу. Останні два етапи призначено для реалізації зворотного впливу. На передостанньому етапі слід описати методи, критерії та обмеження вироблення управлінського рішення відповідно до результатів моделювання чи прогнозування, здійсненого на попередньому етапі. Результати цього етапу слугують вхідними даними для останнього етапу, на якому формують точний зворотний вплив для досягнення більш оптимального з точки зору правил логіки та моделювання результату чи результатів. Відповідно на цьому етапі задають критерії та обмеження алгоритму, за яким працює виконавчий механізм зворотної дії.

Структури бездротових багаторівневих сенсорних мереж для оцінки стану біологічних об'єктів різної природи. Типова багаторівнева смарт-система складається з кількох основних рівнів. Перший рівень включає системи збору даних, які, як правило, є бездротовими сенсорними мережами. Наступний рівень включає сервери з прикладними програмними засобами, основним призначенням яких є зберігання та попереднє оброблення даних для більш зручного їх передавання або відображення. Слід зазначити, що цей рівень, як правило, реалізують хмарні або туманні технології [14, 15]. Найвищий рівень об'єднує користувачів, які використовують певні стандартні апаратно-програмні засоби, наприклад, смартфони, планшети, для отримання потрібної інформації, налаштування або керування смарт-системою.

Базовим вузлом БСМ є сенсорний вимірювальний вузол з модулем пам'яті, що дає можливість використовувати такий вузол як координатор кластеру БСМ з можливістю агрегування зібраних даних від багатьох вимірювальних вузлів для подальшого передавання. Для більшості прикладних задач основними характеристиками такого вузла є енергоефективність, довгий час автономної роботи, надійність і стабільність бездротового каналу передавання даних. Типовий вузол бездротової сенсорної мережі, загалом, повинен мати вбудований мікропроцесор (мікроконтролер), інтерфейс бездротового каналу, інтерфейс дротового каналу та інтерфейс додаткових модулів. Для живлення усіх

модулів вузла має бути джерело живлення достатньої ємності. Виконання тих чи інших функцій вузлом мережі може вимагати інтегрування у нього додаткових вузлів чи модулів, характеристики і кількість яких визначають ще на етапі технічного завдання або модернізації смарт-системи за результатами її функціонування. Структуру типового модуля бездротової сенсорної мережі показано на рис. 3.

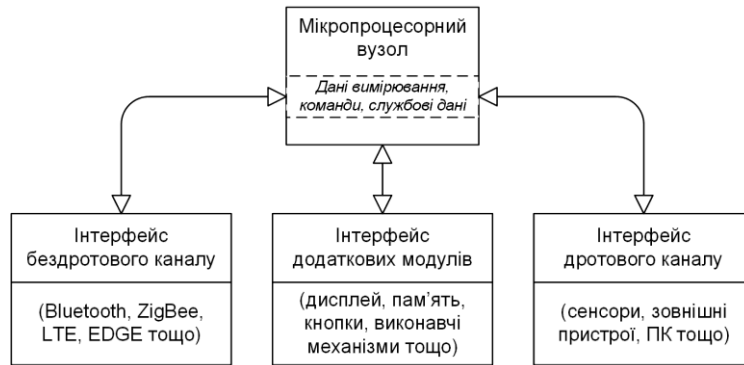


РИС. 3. Структура типового модуля бездротової мережі

Вимірювальний вузол передбачає підключення інтерфейсів дротового і бездротового каналів. Дротовий канал використовують для підключення сенсора або сенсорів, а бездротовий – для роботи у складі бездротової мережі та передавання даних вимірювання. Координатор мережі передбачає підключення інтерфейсу бездротового каналу та інтерфейсу додаткових модулів, зокрема дисплею, пам'яті та додаткових елементів керування. Залежно від закладеної функціональності координатор мережі може передбачати підключення інтерфейсу дротового каналу для під'єднання до ПК. Повторювач мережі або ретранслятор сигналу передбачає підключення тільки інтерфейсу бездротового каналу, оскільки його єдина функція полягає у збільшенні ефективної дальності передавання сигналу різними вузлами у межах мережі. Вузол спряження мережі передбачає підключення інтерфейсів дротового і бездротового каналів для під'єднання цілої мережі до окремого ПК, мережі Ethernet або Internet, а далі до хмарного або туманного середовища. Запропоновані елементи мережі дають можливість будувати декілька типових топологій мережі за принципом пікомережі. Для деяких прикладних задач координатор мережі можна замінити смартфоном або планшетним комп'ютером зі спеціальним прикладним програмним забезпеченням (ПЗ), яке повністю реалізує функції координатора мережі. Приклад топології типу "один-до-одного", яку можливо реалізувати на запропонованих елементах мережі, показано на рис. 4. Для більшості прикладних задач, де вимагається проводити вимірювання багатьма сенсорами, запропоновані мережеві вузли дають можливість організувати БСМ за принципом пікомережі з одночасним підключенням багатьох вимірювальних вузлів. Приклад топології таких БСМ показано на рис. 5. Реконфігурування інтерфейсів бездротових вузлів мережі дає можливість створювати досить гнучкі топології БСМ, які відповідають вимогам більшості прикладних задач у промисловості, медицині, сільському господарстві або наукових дослідженнях. Приклад такої топології показано на рис. 6.

Наведені топології мережі, як правило, можна адаптувати під різні прикладні задачі через зміну прикладних програмних засобів та реконфігурування інтерфейсів бездротових вузлів. При цьому, апаратні засоби не потребують змін або модернізації, за винятком ємності акумуляторних батарей або модулів пам'яті.

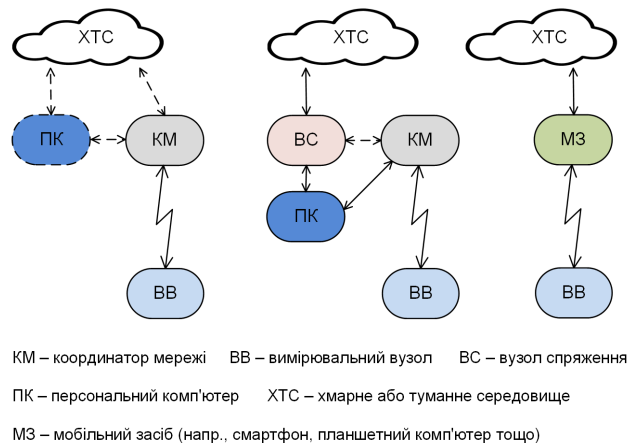


РИС. 4. Приклади типових топологій мережі типу "один-до-одного"

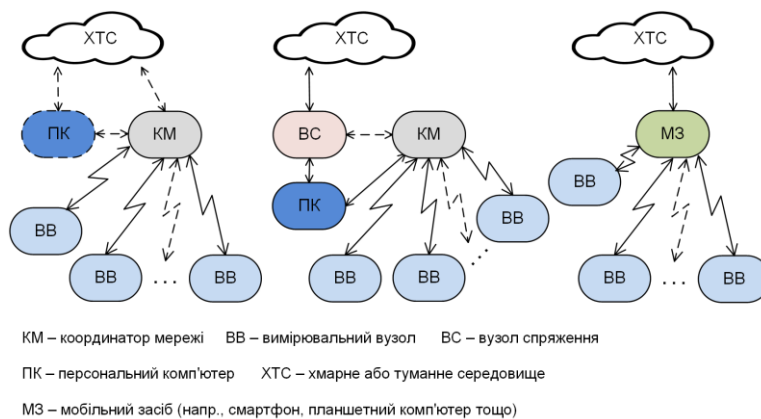


РИС. 5. Приклади типових топологій мережі типу "багато-до-одного"

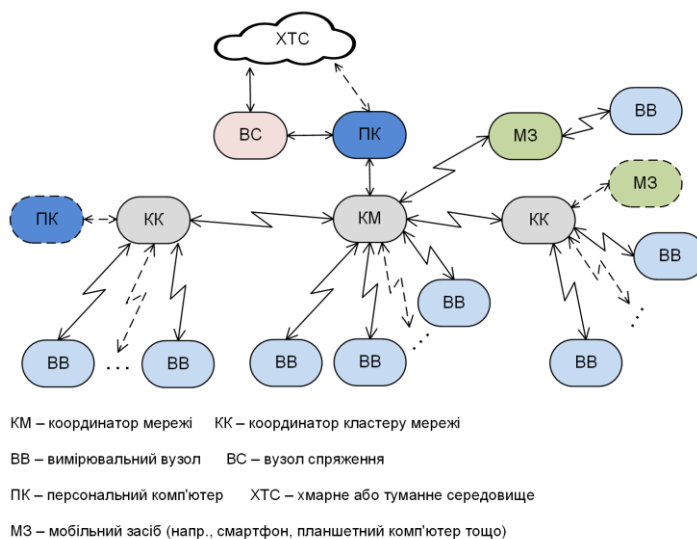


РИС. 6. Приклад складної топології мережі

БСМ та смарт-системи для сільського господарства. Слід зазначити, що підсистеми збору даних відіграють ключову роль у будь-якій смарт-системі, в основі якої лежать дані і у якій рішення приймають на основі обробки зібраних даних. До таких систем можна віднести системи моніторингу як у прецизійному або цифровому землеробстві, так і у захисті довкілля та охороні здоров'я [16, 17]. Елементами розробленої смарт-системи для прецизійного землеробства або захисту довкілля чи екологічного моніторингу є кластери БСМ. Площа покриття подібної мережі може складати від декількох квадратних метрів до декількох квадратних кілометрів за рахунок здатності ретранслювати дані від одного елемента до іншого. Основна перевага БСМ це здатність контролювати у реальному часі стан сільськогосподарських рослин чи параметрів довкілля на великих територіях. Структура запропонованої смарт-системи збору даних для сільського господарства або екологічного моніторингу показано на рис. 7.

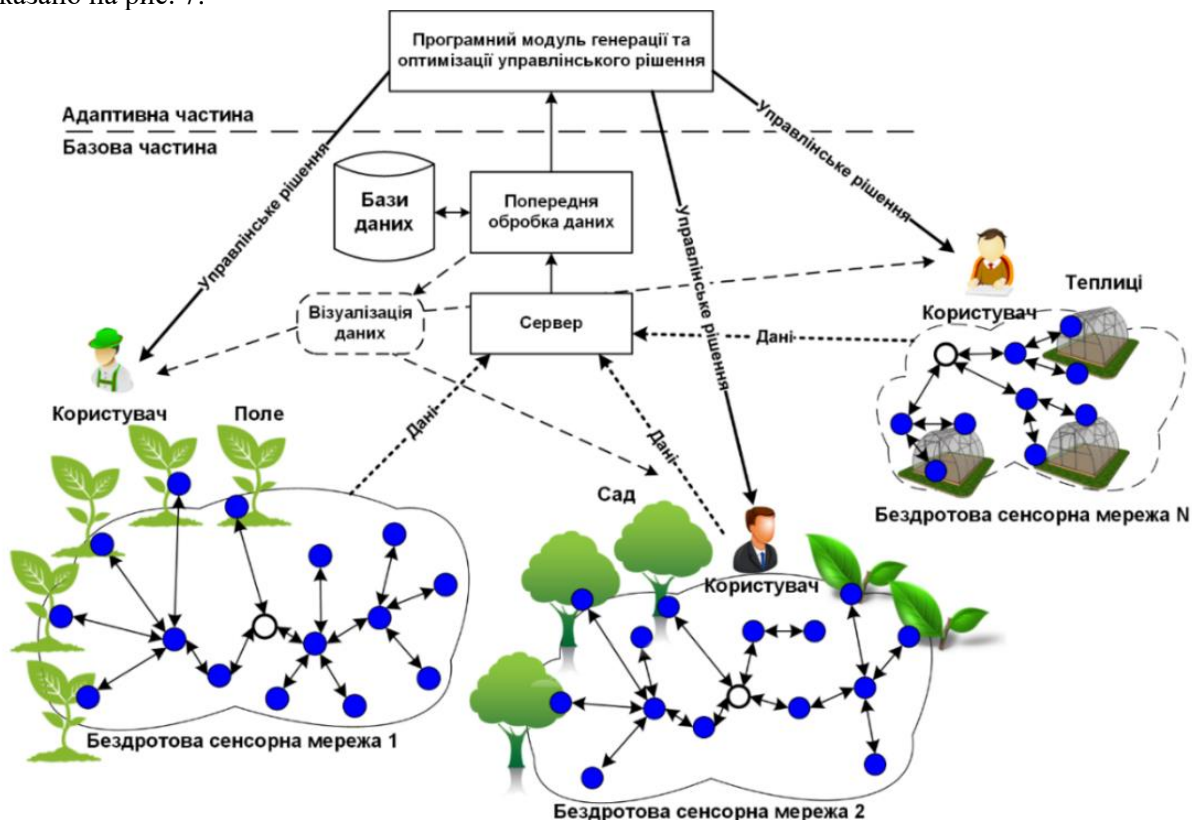


РИС. 7. Структура смарт-системи збору даних для сільського господарства або екологічного моніторингу

Збирання даних про стан досліджуваних об'єктів здійснюють за допомогою бездротових вимірювальних вузлів, які об'єднано в БСМ. При цьому певну територію може охоплювати як окрема мережа, так і кластер мережі. Бездротові вимірювальні вузли у такій системі можуть бути двох типів. Перші призначено для вимірювання стану живих рослин через вимірювання ІФХ, а другі – для вимірювання параметрів навколишнього середовища. Виміряні дані через ретранслятори сигналу передають у координатор мережі, який агрегує дані і передає їх до сервера. На стороні сервера знаходиться програмний модуль для попередньої обробки даних вимірювання. Основне призначення цього модуля це підготовка даних для вироблення управлінського рішення та візуалізації виміряних даних. Програмний модуль генерації та оптимізації управлінського рішення відносять до адаптивної частини системи, основним призначенням якої є автоматизована підтримка користувача у догляді за

аграрними чи парковими культурами та вироблені управлінських рішень для мінімізації впливу негативних чинників природного або техногенного походження. Особливістю запропонованої структури є те, що окремі БСМ охоплюють території різної площі, а отже вони мають бути масштабованими. Масштабованість зумовлює наявність у складі мереж певної кількості ретрансляторів сигналу та відповідних алгоритмів самоорганізації мережі. Крім того, мережі можуть перебувати на різних відстанях від сервера, а також одна від другої. Такі передумови розгортання мереж та смарт-системи у цілому роблять доцільним використання кількох протоколів бездротового передавання даних різної дальності для підтримки ефективного зв'язку. Для організації зв'язку між вузлами окремих мереж доцільно застосовувати промислові протоколи бездротового зв'язку або технології промислового Інтернету речей, наприклад, протокол ZigBee або Bluetooth Mesh. Для організації обміну даними між окремими БСМ і сервером доцільно, якщо є така необхідність, використовувати технології дальнього радіусу дії, наприклад, типу 4G LTE. Фрагмент розробленої бездротової мережі для цифрового землеробства показано на рис. 8 [18, 19].



РИС. 8. Фрагмент мережі бездротових смарт сенсорів, підготовленої до серійного виробництва

Розроблена БСМ відповідає усім вимогам цифрового землеробства. За її допомогою можна одночасно отримувати інформацію про стан рослин на великих територіях сільськогосподарських угідь. БСМ дає можливість визначити забруднення ґрунтів пестицидами, важкими металами, оцінити життєдіяльність рослин після засухи, морозу, зчеплення, внесення гербіцидів. Отриману інформацію від сенсорів запропоновано структурувати та аналізувати за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення "CFIAnalyzer" [20], яке призначено для обробки параметрів великої кількості кривих ІФХ. БСМ передає дані в режимі он-лайн, завдяки чому користувач має можливість вчасно прийняти необхідне управлінське рішення. Керування мережею підтримується розробленим нами прикладним ПЗ [21]. Сенсори у складі такої БСМ мають високу чутливість до зміни стану рослин [18], тобто за розробленою методикою оцінюється не тільки поточний стан рослин, але і їх стійкість до посухи, реакція на внесення гербіцидів та добрив, що дозволяє успішно використовувати ці БСМ у промисловому землеробстві.

Існує два підходи щодо аналізу вимірних кривих ІФХ. Перший передбачає аналіз зміни окремих параметрів кривих ІФХ, а другий, більш сучасний, використовує методи машинного навчання, які навчено на великих масивах даних, з метою прийняття управлінського рішення [22]. Другий підхід базується на інтегруванні у смарт-систему адаптованих методів машинного навчання, як прикладних програм, які навчено під певну сільськогосподарську задачу.

Раніше при проведенні експериментів та спостережень аналізували зміну параметрів кривої ІФХ у різних дослідних групах та визначали входження отриманих даних у певний діапазон значень для оцінки норми стану рослин. Такий спосіб є поширеним, коли експерименти проводять невеликою кількістю приладів або сенсорів на невеликій кількості дослідних груп. Проте сучасні дослідження показують, що параметри ІФХ змінюються нелінійно через багато факторів довкілля. Крім того, ІФХ залежить від впливу вірусних та грибкових захворювань, забруднення середовища різноманітними хімічними речовинами, внесення гербіцидів тощо [23]. Проведені дослідження показали, що крива ІФХ також сильно залежить від коливання температури та вологості ґрунту, при чому різні ділянки кривої ІФХ по різному залежать від цих факторів [24]. Дослідити впливи чинників різної природи на ІФХ досить важко і все це потребує проведення великої кількості експериментів. Поява на ринку великої кількості доступних приладів для вимірювання кривих ІФХ робить можливим збільшити кількість вимірювань при проведенні експериментів. Саме тому, нині перспективним напрямком при аналізі багатфакторних експериментів та супроводженні прийняття рішень стає застосування методів машинного навчання, серед яких, нейронні мережі, метод головних компонент тощо. Такий підхід дає можливість не зосереджуватись на окремих параметрах кривої ІФХ, а враховувати усі ділянки цієї кривої загалом.

За допомогою приладів для вимірювання кривих ІФХ, розроблених в Інституті кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України [2], було проведено експерименти з дослідження впливу гербіциду Раундап на параметри кривих ІФХ та необхідності поливу рослин відповідно до параметрів вимірюваних кривих. Для аналізу кривих ІФХ, отриманих під час експериментів, використано штучні нейронні мережі, метод опорних векторів та алгоритм XGBoost. Отримані різними методами результати порівняно між собою.

З метою покращення результатів роботи методів машинного навчання перед навчанням цих методів використано мінімаксну нормалізацію даних вимірювань у межах $[-1, 1]$ або централізацію значення навколо середнього (z – оцінка).

На прикладі задачі із визначення впливу гербіциду на стан рослин показано, що метод опорних векторів та алгоритм XGBoost при класифікації рослин, які обприскано різними дозами гербіциду, показують кращі результати, ніж використана нейронна мережа. Наприклад, найкращі результати отримано згаданими алгоритмами класифікації на основі даних 7-го дня після обприскування гербіцидом, хоча зовнішні видимі ознаки впливу гербіциду проявилися на рослинах лише наприкінці другого тижня. В цей день найкращі результати нейронної мережі становили 80,9 %, а метод опорних векторів та алгоритм XGBoost показали 100 % результат розпізнавання.

Також виявлено, що метод опорних векторів та алгоритм XGBoost при дослідженні необхідності штучного поливу на основі вимірюваних кривих ІФХ показують гірший результат, ніж застосована нейронна мережа. Коефіцієнт кореляції між реальними експериментальними даними та даними на виході нейронної мережі становив 0,81.

Для оцінки часу автономної роботи вузлів мережі та виявлення можливих похибок виконано її тестування [25–27]. Тривалість тестування становила 30 діб. Незалежні вимірювання проводили одночасно чотирма автономними сенсорами. Кожну добу виконували від 3 до 5 вимірювань ІФХ протягом чотирьох хвилин. Сенсори розміщували на рослинах протягом всього періоду тестування, а у дні вимірювань вони були включені. На початку тестування заряд акумуляторних батарей сенсорів складав 100 %. За період тестування заряд батарей зменшився до 29 %, що становило мінімально допустимий рівень напруги живлення для безвідмовної роботи компонентів мережі [16]. Таким чином було визначено, що розроблена мережа не втрачає працездатність у польових умовах експлуатації протягом місяця без заміни чи підзарядки елементів живлення. Слід додати, що для оцінки стану рослин нема потреби кожного дня виконувати довгострокові чотирьоххвилинні виміри. Як правило, це рекомендовано робити не частіше один, два рази на тиждень. Таким чином, розроблена мережа розрахована на автономну роботу без заміни елементів живлення протягом вегетативного періоду вирощування аграрних культур, що свідчить про її достатню енергоефективність.

БСМ та смарт-системи для охорони здоров'я. Застосування БСМ та смарт-систем на їх основі в охороні здоров'я дає можливість покращити якість і підвищити ефективність надання медичних послуг за рахунок дистанційної діагностики та контролю стану хворих, як правило, в реальному часі для проведення діагностики і формування попереднього діагнозу [28]. У деяких випадках при такому дистанційному медичному моніторингу хворий може перебувати вдома або в більш зручних для нього умовах, що позитивно впливає на психологічний стан хворого і сприяє позитивній динаміці лікування.

У загальному випадку дистанційний медичний монітор, який слідкує за станом здоров'я пацієнта, складається з певної кількості носимих, як правило, натільних сенсорів, дистанційно керованого носимого інжектора і модуля бездротового обміну даними [29]. Носимі сенсори з'єднано з модулем бездротового обміну даними через дротовий або бездротовий інтерфейс малого радіусу дії, наприклад, Bluetooth. Модулем бездротового обміну даними може слугувати мобільний телефон або планшетний комп'ютер. Крім передачі даних з носимих сенсорів на віддалений сервер медичного закладу, модуль бездротового обміну даними підтримує зворотний зв'язок з цим сервером – забезпечує, наприклад, дистанційне керування носимими інжекторами для введення пацієнтові необхідних лікарських препаратів.

Смарт-систему дистанційного медичного моніторингу, яка використовує кілька протоколів бездротового обміну даними, показано на рис. 9. Головним вузлом збору даних цієї смарт-системи є координатор мережі, який забезпечує формування та роботу мережі. Окрім того, координатор забезпечує збирання, обробку, візуалізацію і передавання даних у віддалений діагностичний центр прийняття рішень. Координатор мережі додатково може підтримувати зв'язок з хмарним або туманним середовищем, мережею Інтернет або системою більш високого рівня.

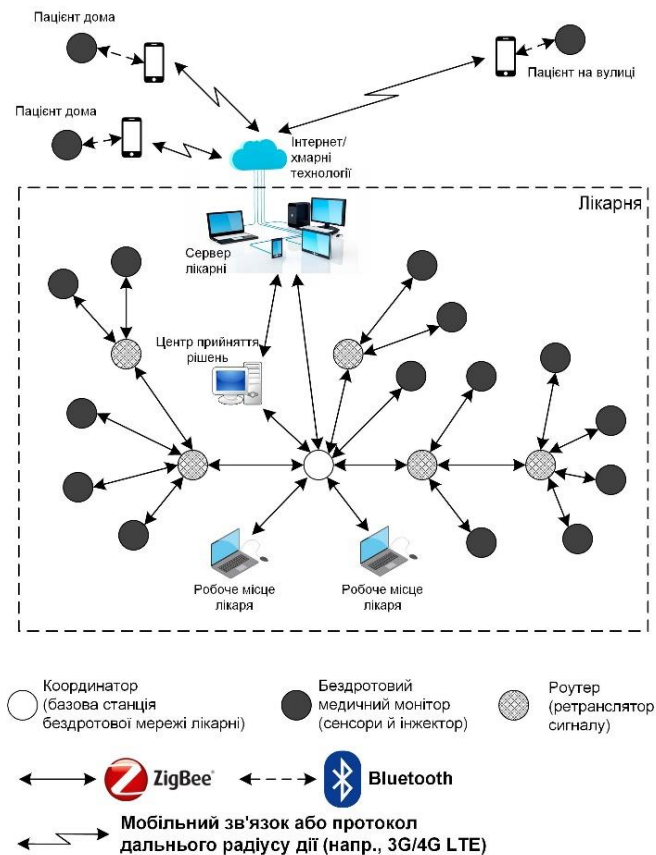


РИС. 9. Приклад системи дистанційного медичного моніторингу

Типовий медичний монітор пацієнта, рис. 10, складається з певної кількості, як правило, персоналізованих за станом здоров'я носимих сенсорів, дистанційно керованого носимого інжектора і модуля бездротового обміну даними. Такі монітори вже сьогодні є предметом інженерних розробок і практичного застосування, що не можна сказати про віддалені когнітивні центри діагностики. На нашу думку, це предмет подальших досліджень з використанням елементів штучного інтелекту для віддаленої постановки діагнозу.

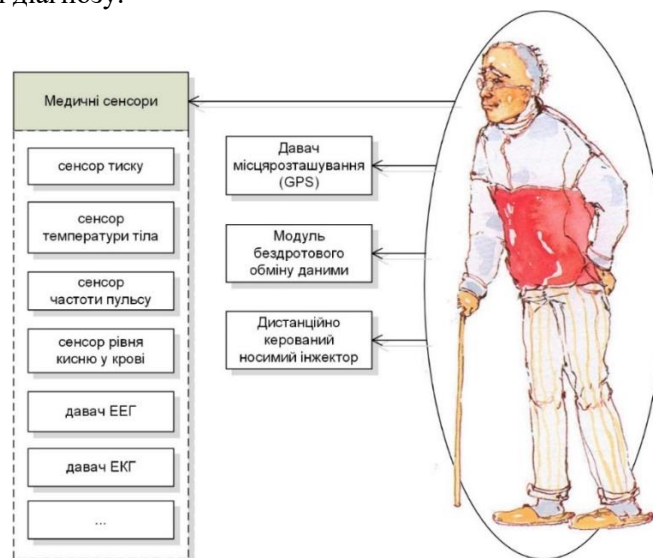


РИС. 10. Дистанційний медичний монітор здоров'я пацієнта

Діагностичні смарт-системи для оцінки якості життя. Поняття "якість життя" (ЯЖ) пацієнта використовують у сучасній медицині для розуміння патологічного стану та оцінки ефективності проведеного лікування. Міжнародна організація ВООЗ визначає цей показник "як сприйняття індивідумом свого положення в житті відповідно до культури та системи цінностей, в якій він існує, у зв'язку з його цілями, очікуваннями, стандартами та турботами". Це інтегральна характеристика фізичного, психологічного та соціального функціонування хворого на підставі суб'єктивного сприйняття [30]. Оцінка ЯЖ має здійснюватися при безпосередній участі пацієнта. Для оцінки якості життя і спектру симптомів, пов'язаних із захворюванням і/або лікуванням, розроблено спеціальні інструменти – шкали та опитувальники, які заповнюються пацієнтами. До найбільш поширених загальних опитувальників слід віднести наступні:

- The World Health Organization Quality of Life (WHOQOL-bref) – скорочена версія опитувальника ВООЗ для оцінки якості життя;
- The Medical Outcomes Study 36-Item Short Form Survey Instrument (SF-36) [31] – коротка форма неспецифічного опитувальника для визначення якості життя;
- Mc-Master Health Index Questionnaire (МНІQ) – опитувальник здоров'я Мак Майстра;
- The Sickness Impact Profile (SIP) – опитувальник для хронологічної оцінки змін стану здоров'я або порівняння його у пацієнтів різних груп;
- Nottingham Health Profile (NHP) – Ноттінгемський профіль здоров'я.

Оцінку ЯЖ проводять шляхом анкетування, коли пацієнтам пропонують відповісти на низку питань у комфортних умовах. Українська версія SF-36 пройшла три етапи гармонізації та культурної адаптації [32]. Оцінка ЯЖ за допомогою опитувальника SF-36 складається із 36 питань, об'єднаних у вісім шкал: фізична активність (Physical Functioning, PF); роль фізичних проблем в обмеженні жит-

тедіяльності (Role Physical Functioning, RP); біль (Bodily Pain, BP); життєздатність (Vitality, VT); соціальна активність (Social Functioning, SF); роль емоційних проблем в обмеженні життєдіяльності (Role Emotional, RE); психічне здоров'я (Mental Health, MH); загальне здоров'я (General Health, GH). Також є додаткова дев'ята шкала – стан здоров'я у порівнянні з тим, що було рік тому.

Показники кожної шкали варіюють між 1 і 100, де 100 представляє повне здоров'я. Більш висока оцінка вказує на більш високий рівень ЯЖ. В роботі [33] наведено пояснення та алгоритм розрахунку двох показників: фізичний компонент здоров'я (Physical Component Summary, PCS), який розраховується на базі показників PF, RP, BP і GH та психологічний компонент здоров'я (Mental Component Summary, MCS) – VT, SF, RE, MH. Для кожної шкали наведено таблиці значень норм, довірчих інтервалів та стандартних помилок вимірювань [31, 33], які отримано як результат популяційних досліджень у США. Дані наводять для всієї популяції, які об'єднано у групи в залежності від віку: 18–24 рр., 25–34 рр., 35–44 рр., 45–54 рр., 55–64 рр., 65–74 рр., 75 р. і старше, окремо для жінок та чоловіків. Аналогічні дослідження проводили в багатьох країнах світу відповідно до рекомендацій ВООЗ. В Україні ці дослідження нині мають обмежений характер, а для масової оцінки ЯЖ на сьогодні в країні практично відсутні апаратно-програмні засоби підтримки та експертної оцінки результатів індивідуальних опитувань. Це не дає можливості лікарям загальної практики або сімейним лікарям своєчасно оцінити стан пацієнта і у разі потреби надати рекомендацію про необхідність відповідної діагностики у профільному медичному закладі. Тому поставлена нами мета з оцінки ЯЖ полягала у розробці відповідних методик, апаратних і програмних засобів для автоматизованої підтримки цієї оцінки на базі, у тому числі, групового опитування пацієнтів та напрацюванні за результатами опитування відповідних рекомендацій щодо подальшої інструментальної діагностики та лікування.

Для реалізації поставленої мети використано розроблений нами спеціалізований комп'ютерний пристрій на базі мобільного планшетного комп'ютера, який отримав назву "медичний комунікатор". Комунікатор має оригінальне ПЗ [34–36] для підтримки роботи з опитувальниками. Дані опитування зберігаються в базі даних.

Опитувальник для виявлення аномальної маткової кровотечі. Протягом останніх років накопичено багато нових доказових даних, що призвело до перегляду діагностичних підходів і схем лікування при маткових кровотечах у жінок репродуктивного віку. 30 % жінок на планеті мають підвищену менструальну кровотрату. Половина з них про це навіть не підозрює, а близько 40 % знають, але не звертаються за медичною допомогою, вважаючи це за норму. Аномальна маткова кровотеча (АМК) викликає больовий синдром, емоціональну лабільність, депресивний настрій, слабкість, стомлюваність, зниження працездатності, що в підсумку порушує якість життя і фертильність та, у свою чергу, обґрунтовує актуальність активного, у тому числі, дистанційного групового скринінгу. Слід додати, що офіційні дані про поширеність АМК в Україні відсутні. Всесвітньою організацією охорони здоров'я було визначено, що частота даного стану в світі у середньому коливається у межах від 8 до 27 %. У випадку гострої кровотечі додаткові методи виявлення не потрібні, оскільки жінка переважно сама змушена звернутися до лікаря за допомогою. Однак, у разі хронічного перебігу АМК пацієнтки рідко звертають увагу на характер менструальних кровотеч і не завжди вважають за необхідне обговорювати це питання з лікарем. Ці обставини потребують впровадження чітких нормативно детермінованих рекомендацій щодо опитування пацієнтки з метою виявлення АМК. Аналіз існуючих опитувальників дав можливість виділити питання, які на рівні первинної консультації дозволяють виявити контингент пацієнток, котрі потребують додаткового обстеження на предмет діагностики АМК [37–39]. На основі міжнародних критеріїв та протоколу у Центрі інноваційних медичних технологій НАН України розроблено оригінальний опитувальник, який складається з семи питань. Цей опитувальник з аналізом стану опитуваних пацієнтів вбудовано у медичний комунікатор, дані опитування зберігають у базі даних. Шляхом автоматизованого аналізу цих відповідей комунікатор надає рекомендації щодо необхідності подальшого інструментального обстеження або лікування.

Опитувальник STEPS. Опитувальник STEPS [40] призначено для епідеміологічного спостереження за поширеністю неінфекційних хвороб та їх факторів ризику в субпопуляціях (трудових, навчальних колективах, територіальних громадах тощо). Крім відповідей на запитання цього опитувальника, враховують результати біохімічного аналізу сечі за допомогою тест-смужки Uriscan та тесту на когнітивний статус. Комунікатор може бути використаний, по-перше, для обробки даних під час електронного опитування STEPS (у тому числі, дистанційно), по-друге, для генерування індивідуальних результатів тестування і, по-третє, для отримання узагальненої епідеміологічної інформації про поширеність неінфекційних захворювань та факторів їх ризику в цільовій субпопуляції, яка, як інформаційна підтримка, потрібна для планування та впровадження профілактичних заходів у цільових субпопуляціях.

Сенсорна мережа та структура медичної діагностичної експертної смарт-системи для оцінки якості життя. Розроблені апаратно-програмні засоби у разі потреби може бути об'єднано в комплексну діагностичну експертну систему, яку призначено для автоматизованої підтримки різних опитувальників. На цій основі [41] побудовано структуру медичної діагностичної експертної системи (рис. 13), роботу якої базовано на опитувальниках різного призначення. Передбачено, що пацієнт має доступ до інтерфейсу пацієнта, а лікар – до інтерфейсу лікаря. Таким чином відбувається взаємодія між лікарем та пацієнтом. Крім того, передбачено одночасний доступ до системи багатьох користувачів (пацієнтів), які можуть обирати різні опитувальники у залежності від рекомендацій лікаря.

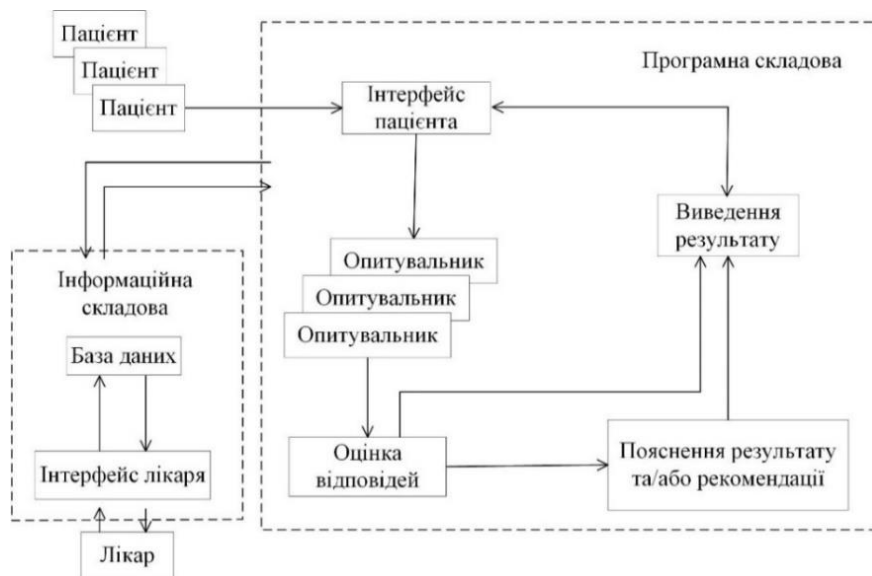


РИС. 13. Структура медичної діагностичної експертної системи

Структуру розробленої БСМ для групової оцінки якості життя пацієнтів показано на рис. 14. Вона включає програмний засіб для оцінки якості життя "QofLQ", рис. 15, [42, 43], побудований на операційній системі Android. Базу даних з результатами опитування зберігають у комунікаторі й у разі потреби її може бути перенесено на віддалений сервер. За замовчуванням результати опитування пацієнта не виводять на екран. У разі необхідності на екран виводять діаграму з результатами опитування, а додатково є можливість порівняння для кожної шкали з нормами США для відповідного віку та статі пацієнтів.

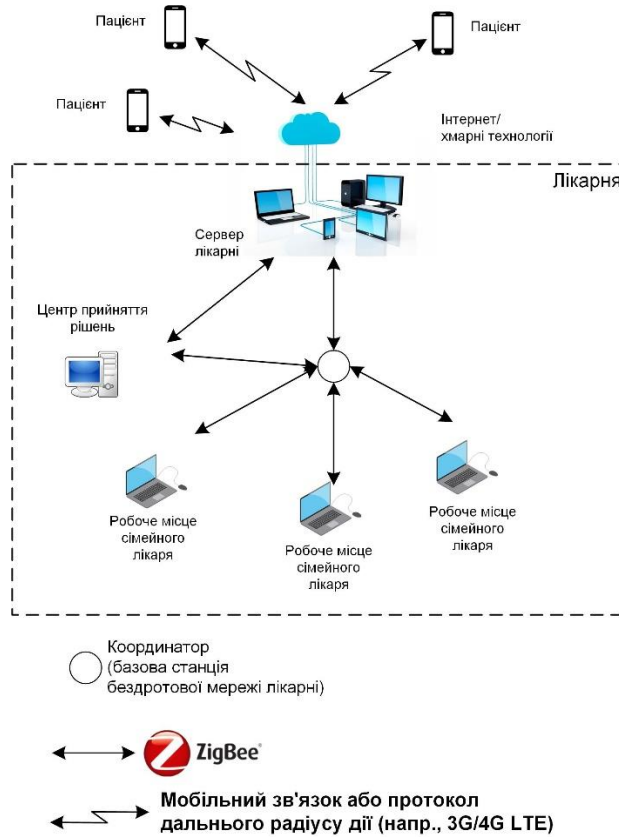


РИС. 14. Структура бездротової сенсорної мережі для групової оцінки якості життя пацієнтів

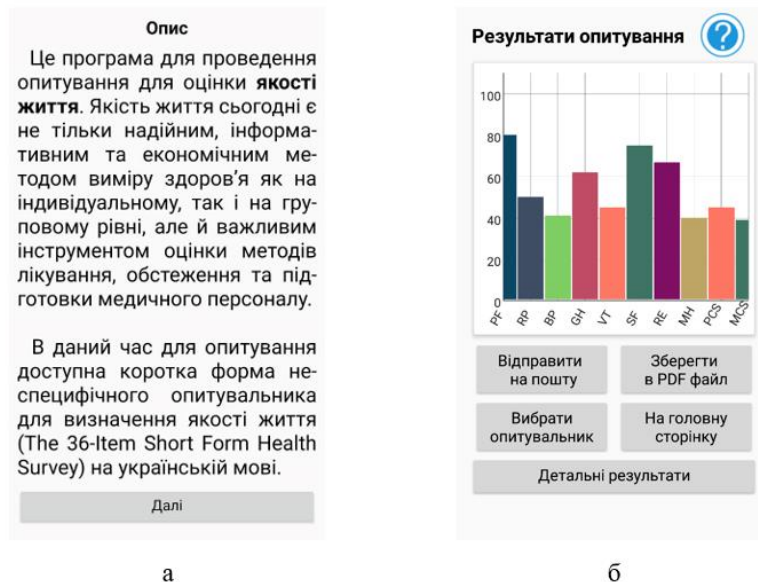


РИС. 15. Вікно програми для оцінки якості життя QoLQ: а – головне вікно мобільного додатку при запуску, б – вікно з результатами опитування

Як приклад, результати групового опитування за допомогою розробленої системи наведено у таблиці.

ТАБЛИЦЯ. Результати групового опитування пацієнтів для оцінки їх ЯЖ

Код	01	02	03	04	05	06
Вік	73	75	63	75	43	42
Стать	ж	ж	ж	ч	ч	ч
PF	80	95	95	95	95	100
RP	25	100	50	100	25	100
BP	31	61	84	62	41	61
GH	35	60	65	55	60	67
VT	25	70	55	75	70	95
SF	75	87,5	87,5	87,5	62,5	100
RE	66,67	66,67	0	100	100	100
MH	64	72	64	84	72	92
PCS	34,43	51,74	54,91	47,91	39,39	49,44
MCS	44,69	47,74	35,97	55,92	52,68	61,28

На основі даних таблиці побудовано груповану гістограму (рис. 16) з результатами тестового опитування пацієнта з кодом 01, стать жіноча, вік 73: розраховано шкали PF, RP, BP, GH, VT, SF, RE, MH. Для наочності на рис. 16 представлено норми США для жінок віком 65 років та старше. З гістограми випливає, що отримані нами значення у шкалі фізична активність (PF) вищі значень норми у США. Отримані значення у шкалах соціальна активність (SF), роль емоційних проблем в обмеженні життєдіяльності (RE) та психічне здоров'я (MH) виявилися нижчими значень норми у США. Виміряні значення таких шкал, як роль фізичних проблем в обмеженні життєдіяльності (RP), біль (BP), життєздатність (VT) та загальне здоров'я (GH) виявилися нижчими ніж норми у США. Це свідчить про деяку суб'єктивність національних підходів щодо універсального міжнародного показника, яким на сьогодні є показник якості життя.

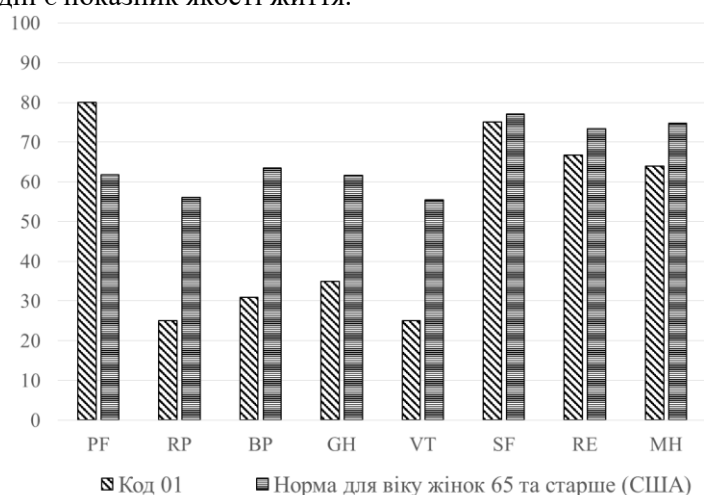


РИС. 16. Порівняльні результати опитування пацієнта з кодом 01

Слід зазначити, що розробку смарт-системи для оцінки якості життя та виявлення хронічних захворювань виконано у співпраці з Інститутом експериментальної патології, онкології і радіобіології ім. Р.С. Кавецького НАН України (відділ менеджменту наукових досліджень та інновацій), Центром інноваційних медичних технологій НАН України та Державною установою "Інститут геронтології імені Д.Ф. Чеботарьова НАМНУ".

Висновки. В результаті виконаних досліджень отримано такі результати:

1) запропоновано концепцію побудови банку знань як елемента штучного інтелекту з експрес-діагностики стану сільськогосподарських культур. Як засіб реалізації банку знань обрано хмарну платформу IASaaS, яка підтримує технології створення, супроводу, накопичення, спільного розвитку інформаційних та програмних компонентів систем, заснованих на знаннях, а також їх дистанційне використання.

2) запропоновано модель багаторівневої смарт-системи та метод композиційного проектування таких систем на різних функціональних рівнях. Розроблено структури типових смарт-систем на базі багаторівневих бездротових сенсорних мереж для оцінки стану біологічних об'єктів різної природи. На цій основі розроблено прототипи БСМ та смарт-систем для цифрового землеробства та охорони здоров'я. Досліджено енергоефективність розроблених смарт-систем з автономним живленням, які призначено для тривалої роботи в польових умовах експлуатації.

3) розроблено діагностичну експертну смарт-систему для оцінки якості життя пацієнта та групової оцінки здоров'я, у тому числі, у дистанційному режимі на основі міжнародних та оригінальних шкал та опитувальників.

Список літератури

1. Romanov V., Artemenko D., Galelyuka I., Kovyrova O., Sarakhan Y., Fedak V. "Computer devices for precision agriculture," *Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems*. Prague, Czech Republic. 2011, P. 26–29. <http://doi.org/10.1109/IDAACS.2011.6072704>
2. Kryvonos Y.G., Romanov V.O., Galelyuka I.B., Wojcik W., Zyska T., Amirgaliev E. Independent devices and wireless sensor networks for agriculture and ecological monitoring. In book *"Recent advances in Information Technology"* (Editors: Waldemar Wojcik and Jan Sikora), CRC Press/Balkema, 2017. P. 105–134. <http://doi.org/10.1201/9781351243179-5>
3. Romanov V., Gribova V., Galelyuka I., Voronenko O. Multilevel sensor networks for precision farming and environmental monitoring. *Information Technologies & Knowledge*. Vol. 9, Number 1. Sofia, Bulgaria. 2015. P. 3–10. <http://www.foibg.com/ijtk/ijtk-vol09/ijtk09-01-p01.pdf>
4. Патент України на корисну модель № 89025. Глобальна мережа для автоматичного отримання знань. Романов В.О., Палагін О.В., Сарахан Є.В. Бюл. № 7 від 10.04.2014.
5. Клещев А.С. Роль онтологии в программировании. Ч. 1. Аналитика. *Информационные технологии*. 2008. № 10. С. 42–46.
6. Клещев А.С. Роль онтологии в программировании. Ч. 2. Интерактивное проектирование информационных объектов. *Информационные технологии*. 2008. № 11. С. 28–33.
7. Грибова В., Клещев А., Крылов Д., Москаленко Ф., Смагин С., Тимченко В., Тютюнник М., Шалфеева Е. Проект IASaaS. Комплекс для интеллектуальных систем на основе облачных вычислений. *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2011. № 1. С. 27–35.
8. Грибова В.В., Клещев А.С., Романов В.А. Концепция банка знаний по экспресс-диагностике состояния сельскохозяйственных культур. *IV Международная научно-практическая конференция "Фундаментальные и прикладные науки сегодня"*, 20-21 октября 2014 г., North Charleston, USA. Научно-издательский центр "Академический". 2014. Том 3. С. 120–126.
9. Варшавский П.Р., Еремеев А.П. Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений. *Искусственный интеллект и принятие решений*, 1/2009. С. 45–57.
10. Tokody D., Papp J., Iantovics L.B., Flammini F. Complex, Resilient and Smart Systems. In: Flammini, F. (eds) *Resilience of Cyber-Physical Systems. Advanced Sciences and Technologies for Security Applications*. Springer, Cham, 2019. https://doi.org/10.1007/978-3-319-95597-1_1

11. Giese H., Vogel T., Wätzoldt S. Towards Smart Systems of Systems. *Fundamentals of Software Engineering*. FSEN 2015. Lecture Notes in Computer Science, vol 9392 / ed. by M. Dastani, M. Sirjani. Springer, Cham, 2005. P. 1–29. https://doi.org/10.1007/978-3-319-24644-4_1
12. Reinfurt L., Breitenbucher U., Falkenthal M., Leymann F., Riegg A. Internet of things patterns for devices. *Proceedings of the Ninth International Conference on Pervasive Patterns and Applications (PATTERNS)*. Athens, Greece, February 19–23, 2017. P. 117–126.
13. Romanov V., Galelyuka I., Voronenko O., Kovyrova O., Dzyadevych S., Shkotova L. Wireless smart multisensor networks for winemaking process control. *Information theories and applications*. Volume 26, Number 2. Sofia, Bulgaria. 2019. P. 165–177.
14. Rekha G., Yashaswini J. Industry 4.0: A Revolution in Healthcare Sector via Cloud, Fog Technologies. *Intelligent Interactive Multimedia Systems for e-Healthcare Applications*. ed. by A.K. Tyagi, A. Abraham, A. Kaklauskas. Springer, Singapore, 2022. P. 321–335. https://doi.org/10.1007/978-981-16-6542-4_16
15. Angel N.A., Ravindran D., Vincent P.M.D.R., Srinivasan K., Hu Y.-C. Recent Advances in Evolving Computing Paradigms: Cloud, Edge, and Fog Technologies. *Sensors*. 2022. vol. 22, 196. 38 p. <https://doi.org/10.3390/s22010196>
16. Romanov V., Galelyuka I., Antonova H., Kovyrova O., Hrusha V., Voronenko O. Application of wireless sensor networks for digital agriculture. *Proceeding of the 10th IEEE International conference on "Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications"*, IDAACS'2019. Metz, France. 2019, September 18–21. P. 340–344. <https://doi.org/10.1109/IDAACS.2019.8924267>
17. Romanov V., Galelyuka I., Voronenko O. Wireless sensor networks for smart agriculture. *International Journal of Reasoning-based Intelligent Systems (IJRIS)*. 2021. Vol. 13. No. 3. P. 147–154. <https://doi.org/10.1504/IJRIS.2021.117079>
18. Романов В.О., Галелюка І.Б., Груша В.М. Нова інформаційна технологія експрес-оцінювання стану рослин в умовах дії стресових факторів. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2016, 15. С. 94–101.
19. Palagin O, Romanov V., Galelyuka I., Hrusha V., Voronenko O. Wireless smart biosensor for sensor networks in ecological monitoring *Proceeding of the 9th IEEE International conference on "Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications"*, IDAACS'2017, September 21–23, 2017. Bucharest, Romania. P. 679–683.
20. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір "Комп'ютерна програма "Програмний засіб для аналізу кривих ІФХ" CFIAAnalyzer" № 85011 від 29.01.2019 / Ковирьова О.В.
21. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір "Комп'ютерна програма "Отримання даних з бездротової сенсорної мережі для експрес-діагностики стану біологічних об'єктів" № 79447 від 30.05.2018 / Романов В.О., Галелюка І.Б., Вороненко О.В., Антонова Г.В.
22. Kalaji H.M. et al. Frequently asked question about chlorophyll fluorescence, the sequel. *Photosynthesis Research*. Vol. 132, Issue 1, Springer, 2017. P. 13–66.
23. Guo Y., Tan J. Recent advances in the application of chlorophyll a fluorescence from photosystem II. *Photochemistry and photobiology*. 2015. Vol. 91. P. 1–14.
24. Груша В.М., Ковирьова О.В. Дослідження чутливості флуорометра "Флоратест" до дії стресових факторів на стан рослин. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2012. 11. С. 119–126.
25. Антонова Г.В., Кедич А.В., Ковирьова О.В. Інтернет речей та бездротові смарт-мережі в точному землеробстві. *Комп'ютерні засоби, мережі та системи*. 2019. 18. С. 119–127.
26. Антонова Г.В., Кедич А.В. Тестування бездротової сенсорної мережі для експрес-діагностики стану рослин. *Cybernetics and Computer Technologies*. 2020. 3. С. 90–100. <https://doi.org/10.34229/2707-451X.20.3.9>
27. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір "Тестування бездротової сенсорної мережі для експрес-діагностики стану рослин» №109673 від 22.11.2021 / Антонова Г.В., Кедич А.В.
28. Romanov V., Galelyuka I., Voronenko O., Kovyrova O., Mintser O., Ryatchanina T. Wireless sensor networks with elements of artificial intelligence for medicine. *Information theories and applications*. 2021. Sofia, Bulgaria. **28** (2). P. 139–156.
29. Wei K., Zhang L., Guo Y., Jiang X. Health Monitoring Based on Internet of Medical Things: Architecture, Enabling Technologies, and Applications. *IEEE Access*. 2020, Vol. 8. P. 27468-27478. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2971654>
30. Якість життя та прихильність до лікування в клініці внутрішніх хвороб: навч. посіб. уклад.: В.І. Кривенко, І.С. Качан, С.П. Пахомова, О.П. Федорова, М.Ю. Колесник, І.В. Непрядкіна, Т.Ю. Грінченко. Запоріжжя. 2015. 80 с.
31. Ware, John & Kosinski, M. & Gandek, B. SF-36 Health Survey: Manual & Interpretation Guide. Lincoln, RI: QualityMetric Incorporated. 1993. 316 p.

32. Бабійчук Ю.В. Динаміка первинної інвалідності, фактори ризику її виникнення, показники якості життя хворих бронхіальною астмою [Текст] : дис.. канд. мед. наук: 14.01.27; Вінницький національний медичний ун-т ім. М.І. Пирогова. Вінниця, 2002. 143 с.
33. John E. Ware SF-36 Physical and Mental Health Summary Scales: A User's Manual//Health Institute, New England Medical Center. 1994. 188 p.
34. Патент України на корисну модель № 80490. Спосіб спілкування з людиною, що має мовні та слухові обмеження / Сергієнко І.В., Вороненко О.В., Галелюка І.Б., Романов В.О. Бюл. № 10 від 27.05.2013.
35. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір "Комп'ютерна програма "Допомога у спілкуванні з людиною, що має мовні та слухові обмеження" № 62686 від 26.11.2015 / Мінцер О.П., Романов В.О., Галелюка І.Б.
36. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір "Комп'ютерна програма "Порядок дій при наданні невідкладної медичної допомоги" № 62687 від 26.11.2015 / Мінцер О.П., Романов В.О., Галелюка І.Б.
37. Запорожан В.М., Татарчук Т.Ф., Бер А., Дубоссарська З.М. Національний консенсус щодо ведення пацієнток із аномальними матковими кровотечами. *Репродуктивна ендокринологія*. 1 (21). 2015. С. 7–14.
38. Татарчук Т.Ф., Косей Н. В., Занько О.В., Яроцька Н.В. Аномальна маткова кровотеча. *Репродуктивна ендокринологія*. 2016, № 5 (31), С.103-106.
39. Уніфікований клінічний протокол первинної, вторинної (спеціалізованої) та третинної (високоспеціалізованої) медичної допомоги аномальні маткові кровотечі. Затверджено Наказом Міністерства охорони здоров'я України 13.04.2016 № 353 (зі змінами 23.09.2016 № 994).
40. Foigt N., Romanov V., Kovuova O. Smart communicator for small subpopulations health assessment using steps instrument. *Інноваційне підприємництво: стан та перспективи розвитку [Електронний ресурс]: Зб. матеріалів VII Всеукр. наук.-практ. конференції*. Київ, Україна. КНЕУ, 2022. С. 272–276.
41. Гришанов С.А. Экспертная система для диагностирования состояния генераторов блока ТЭС. *Наукові праці ДонНТУ. Серія: "Електротехніка і енергетика"*. 2013. 1 (14). С. 83–90.
42. Романов В.О., П'ятчаніна Т.В., Ковирьова О.В. Medical communicators for family medicine. *Medical Informatics and Engineering*. 2020. 1. P. 78–83. <https://doi.org/10.11603/mie.1996-1960.2020.1.11132>
43. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір "Комп'ютерна програма "Мобільний додаток "Калькулятор оцінки адекватності менструального циклу" ("Menstrual Calculator")" № 109745 від 23.11.2021 р. / Ковирьова О.В., Татарчук Т.В., Косей Н.В., Тутченко Т.М., Яроцька Н.В.

Одержано 20.06.2023

Романов Володимир Олександрович,

доктор технічних наук, завідувач відділом
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,
<https://orcid.org/0000-0001-6277-8756>

Галелюка Ігор Богданович,

кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,
<https://orcid.org/0000-0003-1504-4439>

Груша Володимир Михайлович,

кандидат технічних наук, науковий співробітник
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,
<https://orcid.org/0000-0002-2497-0939>

Антонова Ганна Валеріївна,

молодший науковий співробітник
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,
antanna78@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-1876-8267>

Вороненко Олександр Володимирович,

молодший науковий співробітник
Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,
<https://orcid.org/0000-0002-5022-8017>

Кедич Анна Василівна,

молодший науковий співробітник

Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ,

<https://orcid.org/0000-0003-1784-4296>

Ковирьова Олександра Валеріївна,

молодший науковий співробітник

Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ.

kovyrova.oleksandra@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-0253-4658>

УДК 681.7.08; 6.1

В.О. Романов, І.Б. Галелюка, В.М. Груша, Г.В. Антонова, О.В. Вороненко, А.В. Кедич, О.В. Ковирьова *

Смарт-системи для прецизійного землеробства, захисту довкілля та охорони здоров'я

Інститут кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ

* *Листування: kovyrova.oleksandra@gmail.com*

Розвиток інформаційно-комунікаційних технологій, мікроелектроніки, сенсорики та біосенсорики обумовив появу інноваційних засобів інформатики у світі. Поширення цих технологій на прецизійне землеробство, захист довкілля та охорону здоров'я дає змогу створювати розумні поля, сади, теплиці, лісові та паркові масиви, а також розумні монітори здоров'я, які слідкують за станом людини як в умовах реабілітації, так і в умовах надзвичайних ситуацій.

В даній публікації представлено результати досліджень авторського колективу в області розробки нових інформаційних технологій та створенні на цій основі базових компонентів смарт-систем різного призначення.

Визначено основні вимоги до банку знань для прецизійного землеробства та екологічного моніторингу, на основі яких запропоновано основні принципи його створення, та описані компоненти. Розглянуто моделі типових смарт-систем та етапи їх побудови. Описано структури бездротових багаторівневих сенсорних мереж для оцінки стану біологічних об'єктів різної природи та їх вузли.

Розглянуто розроблені бездротові сенсорні мережі та смарт-системи для сільського господарства. Наведено структуру запропонованої смарт-системи збору даних для сільського господарства або екологічного моніторингу. Проаналізовано підходи щодо аналізу вимірених кривих індукції флуоресценції хлорофілу. Наведено результати тестування мережі для оцінки часу автономної роботи вузлів мережі та виявлення можливих помилок.

Наведено опис бездротової сенсорної мережі та смарт-системи дистанційного медичного моніторингу.

Розглянуто діагностичні смарт-системи для оцінки якості життя, для реалізації яких використано розроблений нами спеціалізований комп'ютерний пристрій на базі мобільного планшетного комп'ютера – "медичний комунікатор". В комунікатор включено коротку форму неспецифічного опитувальника для визначення якості життя SF-36 та опитувальник для виявлення аномальної маткової кровотечі, який розроблено в Центрі інноваційних медичних технологій НАН України. Також може бути доданий опитувальник STEPS, який призначено для епідеміологічного спостереження за поширеністю неінфекційних хвороб та їх факторів ризику в субпопуляціях.

Розробку смарт-системи для оцінки якості життя та виявлення хронічних захворювань виконано у співпраці з Інститутом експериментальної патології, онкології і радіобіології ім. Р.Є. Кавецького НАН України (відділ менеджменту наукових досліджень та інновацій), Центром інноваційних медичних технологій НАН України та Державною установою "Інститут геронтології імені Д.Ф. Чеботарьова НАМНУ".

Ключові слова: бездротові сенсорні мережі, прецизійне землеробство, експрес-діагностика стану рослин, якість життя, SF-36.

UDC 681.7.08; 6.1

Volodymyr Romanov, Igor Galelyuka, Volodymyr Hrusha, Hanna Antonova, Oleksandr Voronenko, Anna Kedych, Oleksandra Kovyrova*

Smart-Systems for Precision Agriculture, Environmental Protection and Healthcare

V.M. Glushkov Institute of Cybernetics of the NAS of Ukraine, Kyiv

* Correspondence: kovyrova.oleksandra@gmail.com

Appearance of innovative tools of informatics in the world is determined by development of information-communication technology, microelectronics, sensor and biosensor technologies. Spreading of these technologies on precision agriculture, environmental protection and health care gives opportunity to create smart fields, gardens, greenhouses, forests and parks, and also smart health monitors, which estimate the health state of person as in rehabilitation, so in emergency situations.

Results of research of authors in the development of new information technologies and creation of main components of the smart systems for different purposes on this base are shown in this paper.

Main requirements for knowledge bank for precision agriculture and ecological monitoring are defined. Main principles of creating knowledge bank on base of requirements are proposed. The typical smart system models and their development stages are considered. Structure of wireless multilevel networks for the estimation of state of biological objects of different origin and their nodes are described. Developed sensor networks and smart systems for agriculture are considered. Structure of proposed smart system for agriculture and ecological monitoring is given. Approaches for chlorophyll fluorescence induction curves analysis are studied. Results of network testing for the estimation of the autonomous work time of network nodes and possible errors are given.

Wireless sensor network and smart system for remote medical monitoring are described. Diagnostic smart systems for estimation of quality of life are considered. Medical communicator, computer device on base of tablet computer, was used for their development. The short form of Survey Instrument (SF-36) for life quality estimation and abnormal uterine bleeding questionnaire, which was developed in State Scientific Institution "Center for Innovative Medical Technologies of the National Academy of Sciences of Ukraine", were embedded in communicator. STEPS questionnaire which was designed for epidemiological monitoring of the prevalence of noncommunicable diseases and their risk factors in the target subpopulations could be added to communicator.

Development of smart systems for estimation of quality of life and prevalence of noncommunicable diseases was made in cooperation with R.E. Kavetsky Institute of Experimental Pathology, Oncology and Radiobiology NAS of Ukraine (department of research management and innovation), Chebotarev Institute of Gerontology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine, Center for Innovative Medical Technologies of the National Academy of Sciences of the Ukraine.

Keywords: wireless sensor network, precision agriculture, chlorophyll fluorescence induction, express-diagnostics of plant state, quality of life, SF-36.