

Хмельницький національний університет  
Факультет інформаційних технологій  
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

ДИПЛОМНА РОБОТА МАГІСТРА

Галузь знань \_\_\_\_\_ 12 «Інформаційні технології»

Спеціальність \_\_\_\_\_ 123 «Комп'ютерна інженерія»

На тему: Кіберфізична система діагностування стану здоров'я

КвРКІ.180163.20.01.20 ПЗ

Виконав студент 2 курсу, група КІ2м-20-1

  
Підпис

Р.С. Кустовський  
Ініціали, прізвище

Керівник канд. техн. наук, доцент  
Науковий ступінь, звання

  
Підпис

Є.Г. Гнатчук  
Ініціали, прізвище

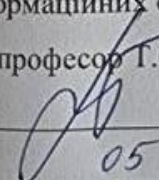
До захисту допускаю:

Зав. кафедри

комп'ютерної інженерії

та інформаційних систем,

д.т.н., професор Г.О. Говорущенко

  
18 05 2022 р.

Хмельницький, 2022

## ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Інформаційних технологій

Кафедра Комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Рівень вищої освіти Другий (магістерський)

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Освітня програма Освітньо-наукова програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Т.О.Говорущенко

«01» 09 2021 р.

### ЗАВДАННЯ

#### НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ)

Кустовському Роману Сергійовичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Кіберфізична система діагностування стану здоров'я

Керівник проекту (роботи) Гнатчук Єлизавета Генадіївна

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 06.01.2022 р. № 1

2. Термін подання студентом проекту (роботи) на кафедру 03.05.2022 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи)

Матеріали переддипломної практики

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Аналіз сучасних існуючих апаратних та програмних технологій, що використовуються для дослідження показників стану здоров'я.

2 Моделі та методи розробки кіберфізичних систем діагностування стану здоров'я


3 Архітектура та алгоритм управління роботою кіберфізичних систем діагностування стану здоров'я

4 Програмна реалізація кіберфізичної систем діагностування стану здоров'я

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Презентаційні матеріали (слайди)

## 6. Консультанти розділів дипломного проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Лисенко С.М., професор кафедри КПС		
Антиплагіат	Нічепорук А.О., доцент кафедри КПС		

7. Дата видачі завдання «06» вересня 2021 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проєкту (роботи)	Термін виконання етапів проєкту (роботи)	Примітка
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики ДРМ з керівником	05.09.2021	викона
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	05.10.2021	викона
3	Робота над розділом 1 – аналіз відомих моделей, методів за темою; постановка задачі	05.11.2021	викона
4	Робота над розділом 2 – розробка моделей для вирішення поставленої задачі	05.12.2021	викона
5	Робота над науковою статтею	05.01.2022	викона
6	Робота над розділом 3 – розробка методів для вирішення поставленої задачі	15.02.2022	викона
7	Робота над розділом 4 – проектування та розробка ПЗ для вирішення поставленої задачі, експериментальна частина	05.04.2022	викона
8	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	15.04.2022	викона
9	Попередній захист ДРМ	18.04.2022	викона
10	Захист ДРМ на засіданні ЕК	До 10.05.2022	

Студент

Керівник проєкту (роботи)

  
Підпис

  
Підпис

Р. С. Кустовський  
Ініціали, прізвище

С.Г. Гнатчук  
Ініціали, прізвище

## РЕФЕРАТ

Тема дипломної роботи: Кіберфізична система діагностування стану здоров'я.

Автор роботи: магістр Кустовський Р.С.

Керівник роботи: к.т.н., доцент Гнатчук Є.Г.

Пояснювальна записка: 105 с., 16 рис., 3 дод., 77 джерел.

**ПЕРЕЛІК КЛЮЧОВИХ СЛІВ:** кіберфізична система, програмне забезпечення, штучний інтелект, алгоритм управління КФС, кіберфізична біосенсорна система.

Метою дипломної роботи є дослідження показників стану здоров'я в режимі реального часу.

Об'єкт дослідження – процес збирання показників стану здоров'я в реальному режимі та їх опрацювання.

Предмет дослідження – кіберфізична система діагностування стану здоров'я в режимі реального часу.

Задачі дослідження:

1) здійснити аналіз існуючих апаратних та програмних технологій, що використовуються для дослідження показників стану здоров'я;

2) провести огляд існуючих моделей та методів розробки КФС для діагностування стану здоров'я;

3) запропонувати технологію створення ПЗ кіберфізичної системи діагностування стану здоров'я в режимі реального часу;

4) на основі запропонованої технології розробити програмні засоби.

Наукова новизна отриманих результатів:

1) розроблено концептуальну модель кіберфізичної системи діагностування стану здоров'я в режимі реального часу.

2) удосконалено метод гібридного автомата шляхом введення варіанту постановки структурно-функціонального параметричного синтезу.

На основі запропонованого підходу здійснено розробку програмного забезпечення для реалізації кіберфізичної системи діагностування стану здоров'я в режимі реального часу.

Практична значимість отриманих результатів полягає у тому, що отримані результати магістерської роботи можуть бути використані для підвищення ефективності дослідження показників стану здоров'я в режимі реального часу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, представлені у кваліфікаційній роботі, яка проводилась в рамках держбюджетної НДР ХНУ № 1Б-2019 «Агентно-орієнтована система підвищення безпеки та якості програмного забезпечення комп'ютерних систем» (номер державної реєстрації 0119U100662). За темою дипломної роботи опубліковано статтю у фаховому виданні ХНУ «Порівняння програмних метрик для оцінки якості програмних продуктів», а також опубліковано тези доповіді конференції АПКН-2021 ХНУ «Кіберфізична система діагностування стану здоров'я».

## ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 АНАЛІЗ ВІДОМИХ РІШЕНЬ	8
1.1 Аналіз існуючих підходів у вирішенні проблем за допомогою КФС	8
1.2 Аналіз інтелектуалізованих систем при розробленні кіберфізичних систем	13
1.3 Проектування, аналіз та інструменти для КФС	16
1.4 Постановка задачі	22
2 РОЗРОБЛЕННЯ ФОРМАЛІЗОВАНОЇ МОДЕЛІ	25
2.1 Особливості КФС діагностування стану здоров'я	25
2.2 Концептуальна модель КФС діагностування стану здоров'я	32
2.3 Метод гібридного автомата	36
2.4 Висновки	41
ЗАРХІТЕКТУРА ТА АЛГОРИТМИ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ ЗДОРОВ'Я	43
3.1 Проектування архітектури кіберфізичної системи діагностування стану здоров'я	43
3.2 Алгоритм управління роботою кіберфізичної системи	53
3.3 Висновки	56
4 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	57
4.1 Вибір засобів розроблення ПЗ кіберфізичної системи	57
4.2 Розроблення ПЗ кіберфізичної системи	62
4.3 Метрологічні результати роботи ПЗ кіберфізичної системи	67
4.4 Висновки	72
ВИСНОВКИ	73
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	76
ДОДАТОК А Фрагменти коду програмного забезпечення	85
ДОДАТОК Б Презентація	93
ДОДАТОК В Тези доповіді та стаття	102

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

КФС – кіберфізична система

БД – база даних

БЗ – база знань

ПЗ – програмне забезпечення

АЗ – апаратне забезпечення

ІС – інтелектуалізована система

ІІ – штучний інтелект

КБСС – кіберфізична біосенсорна система

КФСД – кіберфізичні системи діагностування

ЖЦ – життєвий цикл

АУ – алгоритм управління

ОСОД – обчислення систем обміну даними

АПБ – алгебра процесу безпеки

## ВСТУП

Сьогодні людство живе в період надзвичайно стрімкого розвитку, коли технології здатні змінювати стан суспільства в цілому та впливати на саму людину безпосередньо. В умовах глобальної конкуренції ті сфери життєдіяльності, які не зацікавлені в нових цифрових технологіях або не можуть адаптуватися до викликів сьогодення, або ж не мають змоги повноцінно існувати та забезпечувати потреби суспільства. Це стосується зокрема і сфери охорони здоров'я людини, де кіберфізичні системи мають достатній потенціал для надійного та ефективного використання.

Кіберфізичні системи в основному описуються на сьогоднішній час як системи з децентралізованими системами управління, що формуються в результаті злиття фізичних і віртуальних рівнів із автономною поведінкою, здатними створити загальну систему з іншими подібними системами та встановити різнобічну співпрацю з людьми. Кіберфізичні системи використовують вбудовані програмні датчики, дієві механізми, що встановлюють зв'язки між собою та з операторами, обмінюються інформацією через інтерфейси, а також зберігають і обробляють дані, отримані з сенсорів або з мереж.

Загальноприйняте визначення полягає в тому, що кіберфізична система (англ. cyber-physical system) – це механізм, що контролюється або відстежується комп'ютерними алгоритмами і тісно пов'язаний з Інтернетом та його користувачами. В кіберфізичних системах програмне забезпечення тісно пов'язане з фізичними об'єктами. Компоненти КФС взаємодіють на різних часових та просторових рівнях та можуть мати різні, відмінні одна від одної моделі поведінки та взаємодіяти одна з одною різними шляхами, які можуть змінюватися в залежності від контексту [1].

Перші наукові джерела про кіберфізичні системи з'явилися в 2006 році. Це поняття було вперше озвучено на семінарі, що проводився в Американському національному науковому фонді. За останнє десятиліття написано багато наукових

статей, в яких описуються КФС в різних сферах життєдіяльності людини та основні принципи їх функціонування. Згідно з одним із наукових досліджень, кількість наукових статей, присвячених цьому терміну, щороку збільшується приблизно на 40%, що демонструє зростаючий інтерес до КФС в академічних колах [2]. Крім того, ці статистичні дані показують, що сфера використання кіберфізичних систем швидко розширюється. По мірі зростання функцій і додатків кіберфізичних систем розвиваються і наукові підходи до їх визначення та інтерпретації, тому відповідно між початковими підходами у 2006 році та підходами у 2020-2022 рр. є великі відмінності. Кіберфізичні системи, виступаючи в якості інтегрованих обчислювальних систем встановлюють інтенсивні зв'язки з оточуючим фізичним світом і процесами, які там відбуваються, а також забезпечують доступність і обробку їх даних.

На сьогоднішній день кіберфізичні системи широко використовуються і охоплюють різні сфери життя людини (транспорт, охорону здоров'я, промисловість, будівництво, експлуатацію житлових будинків т.д.) [3]. Тому відповідно і сфери охорони здоров'я є надзвичайно зацікавленими у застосуванні подібних систем, оскільки людське життя є найбільшою цінністю розвиненого демократичного суспільства, що прописано в Конституції України.

Метою дипломної роботи є дослідження показників стану здоров'я в режимі реального часу.

Об'єкт дослідження – процес збирання показників стану здоров'я в реальному режимі та їх опрацювання.

Предмет дослідження – кіберфізична система діагностування стану здоров'я в режимі реального часу.

Задачі дослідження:

- 1) здійснити аналіз існуючих апаратних та програмних технологій, що використовуються для дослідження показників стану здоров'я;
- 2) провести огляд існуючих моделей та методів розробки КФС для діагностування стану здоров'я;

3) запропонувати технологію створення ПЗ кіберфізичної системи діагностування стану здоров'я в режимі реального часу;

4) на основі запропонованої технології розробити програмні засоби.

Наукова новизна отриманих результатів:

3) розроблено концептуальну модель кіберфізичної системи діагностування стану здоров'я в режимі реального часу.

4) удосконалено метод гібридного автомата шляхом введення варіанту постановки структурно-функціонального параметричного синтезу.

Практична значимість отриманих результатів полягає у тому, що отримані результати магістерської роботи можуть бути використані для підвищення ефективності розробки та використання кіберфізичної системи діагностування стану здоров'я в режимі реального часу. В подальшому такі кіберфізичні системи можуть використовуватись у військових госпіталях, геріатричних центрах, а також в особистих цілях приватних осіб, зокрема літнього віку.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, представлені у кваліфікаційній роботі, проводились в рамках держбюджетної НДР Хмельницького національного університету № 1Б-2019 «Агентно-орієнтована система підвищення безпеки та якості програмного забезпечення комп'ютерних систем» (номер державної реєстрації 0119U100662).

За темою дипломної роботи опубліковано статтю у фаховому виданні «Порівняння програмних метрик для оцінки якості програмних продуктів», а також опубліковано тези конференції АПКН-2021 Хмельницького національного університету.

## 1. АНАЛІЗ ВІДОМИХ РІШЕНЬ

### 1.1 Аналіз існуючих підходів у вирішенні проблем за допомогою КФС

В сучасних умовах стає зрозумілим все більшій кількості людей незворотність докорінних змін, які несе з собою розвиток та вдосконалення кіберсистем, а тому інтенсивнішими стають прагнення зрозуміти та освоїти, а отже потенційно розширити межі та сфери застосування програмного забезпечення в цій області інформаційних технологій. Це у свою чергу стимулює розвиток та розширення сфер використання апаратного та програмного забезпечення, що відповідно створює нові ніші для кіберфізичних систем та потребує вивчення можливості використання, як апаратного, так і програмного забезпечення у раніше непристосованих для цього сферах людського життя.

Так, зокрема перехід на нові технологічні процеси виробництва призводять до зменшення фізичного розміру обраховувальних/вимірювальних/сигналізуючих пристроїв та створює умови для того, щоб їх можна вбудовувати в системи, для яких розмірність є важливим фактором, а також зростає можливість доставки і встановлення таких пристроїв у все більш віддалені та важкодоступні регіони, можливо навіть за допомогою людини, або малих роботизованих пристроїв різних форм пересування, за умови відсутності можливості використовувати габаритні засоби доставки.

Загалом темі КФС присвячено роботи багатьох вчених як вітчизняних, так і зарубіжних. Так, дослідники Яцишин С.П., Лиса О.В., Мідик А.-В.В. займаються дослідженням та розробкою програмного забезпечення для кіберфізичних систем. Мельник А. О. описує загальні проблеми створення та напрями розвитку КФС. Мейтус В., Морозова Г., Таран Л., Козлова В., Майданюк Н. здійснюють розгляд сучасного стану теорії та практики створення КФС, їх роль у сучасній цифровій економіці та напрями розвитку.

Вацлавська В.С. досліджує медичні кіберфізичні системи та їх побудову. У її роботах описано застосування кіберфізичних систем у сучасному світі, у таких галузях, як автомобільна промисловість, повітряний транспорт, розумна мережа та медицина. Також розглядається сучасний стан досліджень та розробок недорогих біосенсорних систем моніторингу стану здоров'я шляхом узагальнення та порівняльної характеристики найбільш перспективних поточних досягнень кількох світових проектів та комерційних продуктів.

Сверстюк А.С., Багрій-Заяць О.А., Горкуненко А.Б., Майхрук З.В. займаються розробкою кіберфізичних біосенсорних систем для медико-біологічних досліджень. Ними здійснено аналіз перспективних напрямків розвитку кіберфізичних систем, що застосовують у медичних цілях створення високостабільних сенсорних пристроїв на основі штучних аналогів біологічних рецепторів, що поєднують високу селективність при розпізнаванні різноманітних аналітів з високою стабільністю, властивою синтетичним матеріалам за жорстких умов зберігання та використання. Представлено досліджувані системи, які можуть бути інтегровані у різноманітні аналітичні системи та в організм людини для безперервного моніторингу ряду речовин та метаболітів. Описано важливий метод неінвазивної діагностики як напрямок розвитку сучасних кіберфізичних систем, що не передбачає пошкодження шкіри та слизових оболонок при відборі проб для аналізу.

Стрихалюк Б. М., Колодій Р. С., Секела М. В. проводять дослідження кіберфізичних технологій моніторингу стану кардіологічних пацієнтів в системі телемедицини. Запропоновано вирішення проблеми дистанційного моніторингу кардіологічного стану пацієнтів за допомогою кіберфізичних систем для телемедицини з інтеграцією кібернетичних компонентів у фізичні процеси моніторингу стану хворого, які забезпечують можливість реагування на зміну параметрів стану пацієнта у режимі реального часу з використанням Інтернет-протоколів для прогнозування, самоналаштування і адаптації до змін. Розглянуто напрями досліджень кіберфізичних систем та очікувані наукові результати.

Ван Чунжі (Китай) займається дослідженням працездатності та ефективності кіберфізичних систем у результаті аналізу особливостей їх метрологічного та програмного забезпечення. Теодора Саніслав (Румунія) досліджує концепт ЦФС для визначення необхідності впровадження цих систем у різних прикладних сферах.

Жей Лі (США) розглядає та описує тенденції промислової трансформації у середовищі великих даних, а також готовність розумних інструментів, зокрема КФС для прогнозування та керування великими даними та досягнення прозорості і продуктивності у бізнесі, аналізуючи при цьому останні досягнення та тенденції кіберфізичних систем та великих даних у промисловій інформатиці.

Kaiyu Wan, K.L. Man D. Hughes у своїх роботах здійснюють аналіз обмеження сучасних інструментів та методів для розробки КФС на прикладі систем охорони здоров'я, а також пропонують єдину основу для проектування, моделювання та верифікації CPS.

Edward A. Lee and Sanjit A. Seshia (Китай) застосовують кіберфізичний підхід до вбудованих систем, представляючи інженерні концепції, що лежать в основі вбудованих систем, як технологію та як предмет дослідження. Основна увага приділяється моделюванню, проектуванню та аналізу кіберфізичних систем, які об'єднують обчислення, мережу та фізичні процеси.

В свою чергу група американських вчених у ході досліджень дійшла висновку, що КФС, як будь-яка інша сфера життєдіяльності людини, потребує чіткого регулювання та створення норм і правил, варіанти яких були ними представлені [4]. У статті [5] науковці намагаються розтлумачити як взагалі з'явилися КФС, які проблеми та їх вирішення спонукали до зародження КФС як сфери прикладної комп'ютеризації, а також було описано розповсюдження і відповідно потреба у вирішенні все різноманітнішого кола задач, а отже і відповідна видозмінна функціоналу та суті.

Надзвичайно стрімке сьогодення призвело до появи та розвитку КФС, що явно або опосередковано впливають на безпеку життєдіяльності та безпосередньо на саме здоров'я людини. Так європейськими вченими досліджується [6] розумна

автомобільна гальмівна система , що допомагає краще та безпечніше для людини керувати автомобілем. А групою дослідників з Індії було вивчене питання застосування КФС у енергетичному секторі задля зниження викиду вуглекислих газів з різноманітних джерел в атмосферу, що полегшує навантаження на дихальну систему людини і відповідно знижує необхідність діагностики стану легень [7]. В публічний доступ було виставлено детальне представлення застосування КФС у верстатобудівній галузі задля покращення безпеки працівників, що відповідно зменшує кількість травмувань на виробництві[8]. Британські вчені опублікували модель КФС, що вбудовується у авіатранспорті та дозволяє налагоджувати систему відслідковування показників здоров'я екіпажу літака та пасажирів, які цього потребують, таким чином значно покращуючи безпеку усіх людей на борту у [9].

Безпосередній вплив на діагностику та стан здоров'я людини за допомогою КФС є різнобічно представлений світовою спільнотою дослідників. Науковцями США розглядаються новітні напрямки розвитку та використання високонадійних медичних КФС, які здатні покращити роботу і якість знімків рентген-апарату[10].

Французькими науковцями було проведено дослідження, аби з'ясувати можливість використання КФС для шифрування передачі даних, що використовуються у телемедицині [11].

Під час дослідження застосування КФС для віддаленої медицини для літніх людей, вченими була створена детальна модель попереднього вигляду з усіма науковими прорахуваннями КФС для догляду за діабетиками, без втручання медичного персоналу [12].

Під час проведення міжнародної конференції з Кібер-Фізично-Соціального обчислювання та мереж, група вчених з Гонконгу, Японії та Данії представила систему медичного фільтру нечітких тривог, призначеного для вирішення проблеми частого спрацьовування сигналу тривоги/несправності, які призводили до більших витрат частіше, ніж потрібно для виїзду медичного персоналу до віддалених пацієнтів [13].

Дослідники з Саудівської Аравії розробили систему завчасного виявлення інформаційних атак на дані, що передаються з датчиків на центр оброблення інформації, а потім у медичні заклади. Це досягається завдяки використанню машинного навчання для підтримки шаблону виявлення атаки, основне призначення якого – поширення даних про життєві показники пацієнтів з мінімальною втратою конфіденційності. КФС для охорони здоров'я будуть ефективними у поширенні зібраних даних до хмарного середовища [14].

В деяких регіонах нашої планети існує проблема у тому, що дані для навчання моделі діагностування хвороб зберігаються в різних лікарнях і це не сприяє захисту приватності інформації про пацієнтів. Саме тому групою китайських вчених запропонована нова схема, що полягає у розподіленому навчанні в медичних КФС для тренування моделей діагностування хвороб з розподілених даних медичних зображень [15].

Останні наукові прориви у галузі електронних датчиків та обробки зібраної ними інформації проклали шлях для перетворення системи охорони здоров'я від тієї, що базується на досвіді працівників до такої, що ґрунтується на достовірній інформації з різноманітних датчиків медичних КФС. З цією метою була розроблена система для відновлення пацієнтів з використанням прогресивних можливостей медичних КФС, що збирає, обробляє та моделює дані від пацієнта до машин, які використовуються для реабілітаційного періоду [16].

Розуміння динамічності людського тіла у відповідь на будь-яке медичне лікування робить системи підтримки автоматизованих відповідей для охорони здоров'я досить комплексними. Саме тому було розроблено систему для медичних КФС задля допомоги розробникам у створенні тестових випадків для їхніх кінцевих застосувань, з використанням тестування вже затверджених та перевірених моделей і принципів, що дозволяє економити час та покращує рівень обізнаності лікарів-початківців [17].

Канадський учений у своїй статті представив аналіз шляхів, якими біотехнології та наукові прориви у галузі цифрового здоров'я є такими, що спільно

розвиваються завдяки введенню КФС у інтеграційну біологію і науку про життя 21 століття [18].

Отже, бачимо, що до створення та впровадження кіберфізичних систем прикута значна увага серед вітчизняних та зарубіжних дослідників, а це ще раз підкреслює значущість та актуальність даної проблеми.

## 1.2 Аналіз інтелектуалізованих систем при розробленні кіберфізичних систем

Кіберфізична система, як і будь-яка кіберсистема складається з апаратного та програмного забезпечення, яке вже десятки років демонструє неухильний прогрес у самовдосконаленні та саморозвитку.

Кіберфізичні системи (КФС) застосовують інтелектуальне внутрішньо мережеве моделювання. Концептуально механізм їх роботи аналогічний мультиагентним системам, але з більшою мобільністю агентів і включенням в це середовище розподіленого колективного обчислення. Реалізація внутрішньо мережевого інтелектуального моделювання може істотно підвищити ефективність управління діагностикою та його інфраструктурою, особливо у складних та надзвичайних ситуаціях. Кіберфізичні системи висвітлені в літературі досить широко, проте про їх застосування для управління діагностикою написано менше, що зумовлено необхідністю дослідження спеціальних технологій та моделей. Це робить актуальним аналіз реальних умов і модельних схем для реалізації підходу, що формується.

У таблиці 1.1. подано аналіз роботи інтелектуалізованих систем, які використовуються для моделювання, проектування та розробки кіберфізичних систем.

Таблиця 1.1 – Аналіз роботи інтелектуалізованих систем при розробленні кібер-фізичних систем

№	Проблеми	Тлумачення
1	Інструменти кодового дизайну	Інструменти підтримуючі відтворення і кодовий дизайн, так само як і автоматичний процес розробки від моделювання до коду є необхідними. На жаль, існуючі інструменти не підходять для проектування КФС, включаючи різноманітні дисципліни.
2	Продуктивність реального часу	Для прикладу: по мірі збільшення швидкості некерованого транспортного засобу з вбудованою безпроводною мережею, необхідно переконатись у тому, що продуктивність сходиться зі специфічними вимогами застосування. Хоча багато факторів, таких як платформа апаратного забезпечення, впливають на час відповіді
3	Більший прогрес у мережах безпроводних систем, вбудованих системах та інших.	Необхідно досягти більшого прориву у ключових технологіях резервного копіювання для КФС, включаючи мережі безпроводних систем та вбудовані системи.
4	Керування та гібридні системи.	Має бути запропонована нова математична теорія злиття системи на основі подій і системи на основі часу для контролю над зворотнім доступом. Ця теорія також має підходити для ієрархій, з використанням асинхронних динамік при різних часових масштабах і географічних рамках.

Продовження таблиці 1.1 – Аналіз роботи інтелектуалізованих систем при розробленні кібер-фізичних систем

№	Проблеми	Тлумачення
5	Датчик і мобільні мережі	У практичних застосуваннях потреба у зростаючій автономності системи вимагає самоорганізації чи реорганізації мобільних мереж для КФС. Збирання та уточнення критичної інформації з величезної кількості сирих даних є основним завданням.
6	Міцність, надійність, безпека та охорона	Міцність, надійність, безпека та охорона серед іншого є критичними викликами через неточності у навколишньому середовищі, такі як атаки на охорону і помилки в фізичних пристроях. Використання фізичної суті КФС за рахунок використання механізмів на основі місця розташування, часу і позначок (тегів) може виконувати рішення для безпеки.
7	Абстракції	Ця точка зору включає представлення вбудованих систем реального часу та обраховувальні представлення, що потребують схеми розміщення нових ресурсів, щоб це забезпечити. В такому разі стійкість, масштабованість та оптимізація є досягнутими. Нові розподілені обчислення в режимі реального часу і груповий обмін даними в режимі реального часу є необхідними, до того ж фізичні властивості також мають бути охоплені програмними припущеннями.

Закінчення таблиці 1.1 – Аналіз роботи інтелектуалізованих систем при розробленні кібер-фізичних систем

№	Проблеми	Тлумачення
8	Розробка на основі моделі	І хоча деякі існуючі інструменти підтримують розробку, засновану на моделі, вони є далекими від задоволення вимог по дизайну КФС. Обраховування, обмін даними та фізична динаміка мають бути відокремленими та спроектованими на різних рівнях масштабу, місцевості та деталізації.
9	Перевірка, підтвердження, та сертифікація	Має бути влаштована взаємодія між формальними методами і тестуванням та застосована однорідна природа КФС для збірних методів перевірки та тестування.

Отже, як бачимо аналіз роботи інтелектуалізованих систем при розробленні кіберфізичних систем має ряд проблем. Детальний їх аналіз та опис дозволяє здійснити якісне проектування кіберфізичної системи.

### 1.3. Проектування, аналіз та інструменти для КФС

Як уже зазначалось, кіберфізичні системи (КФС) – це системи, в яких цифровий обчислювальний алгоритм активно взаємодіє із зовнішнім середовищем [1], а також цифровий компонент збирає та аналізує дані та виконує керуючу функцію. Фізичний компонент містить різноманітні фізичні процеси. Об'єднання цих компонентів дозволяє за допомогою КФС вирішувати ті завдання, які жодна з її компонентів не здатна вирішити поодиноці. КФС складається з фізичних об'єктів та вбудованої комп'ютерної системи, яка збирає та обробляє цифрові дані за допомогою датчиків та взаємодіє з фізичними процесами через керуючі елементи.

Системи керування безпілотними апаратами та автоматизовані промислові системи керування є класичними представниками КФС, оскільки їхня взаємодія з навколишнім середовищем задається цифровим алгоритмом управління. Розробка програм управління КФС ускладнюється тим, що поведінка цифрової частини тісно пов'язана з поведінкою фізичної частини.

Також у КФС, окрім взаємодії з фізичними об'єктами, може бути включена взаємодія з користувачем (оператором системи). У таких системах (human-in-the-loop cyber-physical systems (HiTLCPSs)) [2] оператор є важливим компонентом системи. Сьогодні оператори КФС або: (1) здійснюють пряме управління системою, (2) є частиною фізичної складової для КФС, тобто система відстежує стан оператора та приймає рішення на основі отриманих даних, а також (3) поєднує дві попередні ролі.

Оскільки КФС містять як цифрову, так і фізичну складову, при дослідженні поведінки таких систем недостатньо досліджувати кожну її частину окремо. Потрібно досліджувати їхню спільну роботу та взаємодію, а також враховувати роль оператора КФС.

В даний час КФС набувають все більш широкого поширення в авіабудуванні, різних видах промисловості, задачах обробки великих даних, робототехніці і т. д. Проте, зростання рівня комп'ютеризації, комплексна автоматизація різноманітних областей науки і промисловості, розробка нових складних об'єктів управління призводять до збільшення складності алгоритмів управління КФС. Також зростає вартість помилок у таких алгоритмах: некоректні реакції алгоритму на події на об'єкті можуть призвести до нештатних ситуацій, простою обладнання і навіть аварій.

Кіберфізичні системи створювалися на основі інтеграції низки попередніх технологій. До основних технологій підтримки кіберфізичних систем відносять:

- технологію Інтернет речей (IoT);
- вбудовані системи (embedded system),
- технологію повсюдних обчислень (Ubiquitous computing);

– спеціальні технології мережного обміну.

Інтернет речей (Internet of Things – IoT) – технологія, в якій будь-який фізичний об'єкт може бути з'єднаний з будь-яким іншим фізичним об'єктом. Структурно IoT може бути представлена як спеціальна мережа або розподілена система, що включає міжмережну взаємодію фізичних пристроїв, транспортних засобів, будівель та інших об'єктів, вбудованих в електроніку (програмне забезпечення, датчики, виконавчі механізми).

Технологія IoT дозволяє об'єктам, об'єднаним у цю спеціальну мережу, збирати дані та обмінюватися ними. В аспекті роботи інформації та обчислень IoT розглядають і називають обчислювальною мережею. Відмінність IoT як системи від звичайних комунікаційних систем (звичайна мережа, звичайний Інтернет) у наявності можливості самостійно проводити обчислювальні операції. Саме ця властивість істотно розвинена в КФС.

У 2013 році Глобальна ініціатива зі стандартизації в Інтернеті речей (IoT-GSI) визначила IoT як «інфраструктуру інформаційного суспільства». Технологія Інтернет речей дозволяє фіксувати та контролювати об'єкти віддалено через існуючу мережеву інфраструктуру. Цим вона створює можливості для інтеграції фізичного світу в комп'ютерні системи, що в свою чергу полегшує умови для функціонування КФС. Якщо IoT доповнюється датчиками і приводами, то ця технологічна система перетворюється на більш загальний клас розподілених систем – кіберфізичні системи.

На практиці Інтернет речей трактується як технологія, як мережа і як комунікаційна система. Це зумовлено головними функціями IoT: сервісними, комунікаційними та інформуючими. Всі ці функції пов'язані з технологією та технологічною складовою. На відміну від IoT кіберфізична система трактується саме як система. Це зумовлено тим, що головним у ній є технічні пристрої: виконавчі механізми і розподілена система датчиків та приводів, а технологічна компонента залишається допоміжною.

КФС більш закрита у порівнянні з IoT. Вбудована система (embedded system – ES) є важливим технічним та технологічним компонентом КФС. Ця компонента є комп'ютерною системою зі спеціалізованими функціями як частина великої механічної або управлінської системи. При цьому вона часто має обмеження в реальному часі за обчислювальними можливостями. ES вбудована як частина повного пристрою, що включає апаратні та механічні деталі. Основне значення вбудованих систем – контроль інших пристроїв. Дев'яносто вісім відсотків всіх мікропроцесорів виробляються як компоненти вбудованих систем.

Сучасні системи, що вбудовуються, часто засновані на мікроконтролерах (CPU з вбудованою пам'яттю). Використовуваний ES процесор має різні типи, починаючи від загального призначення і закінчуючи спеціалізованими. Загальним класом виділених процесорів є цифровий сигнальний процесор (DSP). Вбудовані системи варіюються від портативних пристроїв, на кшталт цифрових годинників і MP3-плеєрів, до таких великих стаціонарних установок, як світлофори, бортові комп'ютери, що управляють витратою палива в автомобілі, гібридні автомобілі, МРТ і авіоніка. Складність варіюється від одного мікроконтролера до систем високого рівня з декількома пристроями, периферійними пристроями та мережами, встановленими всередині великого шасі або корпусу. Вперше вбудовані системи були застосовані для керування транспортними засобами, щоправда, у космічній галузі. Однією з таких піонерних систем був комп'ютер Apollo Guidance Computer, розроблений як елемент проекту Apollo.

Повсюдне обчислення (Ubiquitous computing) – технологічна компонента КФС, а також цей термін перекладають як всі обчислення. Повсюдні обчислення є обов'язковим компонентом та відмінним компонентом КФС, так як задають відмінність кіберфізичних систем від систем стандартних виконавчих механізмів і пасивних розподілених систем. Всі місцеві обчислення створюють можливість самостійного аналізу та обробки інформації всередині КФС. Як самостійна концепція всі місцеві обчислення існують не тільки у КФС, а й у програмній інженерії [9] та інформатиці, де обчислення проводяться у часі та просторі. На

відміну від застосування настільних комп'ютерів, таке обчислення може відбуватися скрізь із використанням будь-якого гаджету, тобто обчислення у будь-якому місці та у будь-якому форматі. Користувач взаємодіє з комп'ютером, який може існувати в багатьох різних формах, включаючи портативні, а також планшети та термінали у таких побутових об'єктах, як холодильник або окуляри. Основні технології для підтримки всіх місцевих обчислень включають Інтернет, розширене проміжне програмне забезпечення, операційну систему, мобільний код, датчики, мікропроцесори, інтерфейси ввду/виводу та інтерфейси користувача, мережі, мобільні протоколи, розташування і позиціонування. Ця технологія трактується також як «всеохоплюючі обчислення» (pervasive computing) [10], «інтелектуальне середовище» (ambient intelligence) [11] або «широкорозповсюджене забезпечення» (everyware) [12].

Крім того, цю технологію називають ще: фізичні обчислення, Інтернет речей (IoT), тактильні обчислення. Замість того щоб пропонувати єдине визначення для цих пов'язаних термінів, була запропонована таксономія властивостей для місцевого обчислення, з якої можна описати різні види або різновиди повсюдних систем та додатків. Всюдисущі обчислення стосуються широкого кола тем досліджень, включаючи розподілені обчислення, мобільні обчислення, локальні обчислення, мобільні мережі, контекстно-залежні обчислення, сенсорні мережі, взаємодію між людьми та комп'ютером та штучний інтелект. По суті виходить, що ця технологія доповнює інші технології для формування кіберфізичних систем та забезпечує їх адаптивність та активність.

Проектування та перевірка КФС можуть бути змодельовані за допомогою уточнення архітектури чи структури загалом (шляхом введення чи добавлення компонентів: датчиків, приводів та процесорів, які повинні працювати як взаємоп'єднані ланки). Також важливим етапом є формулювання поведінкового уточнення, враховуючи при цьому відповідь кожного компонента на внутрішню чи зовнішню подію.

Існуючі техніки проектування для КФС спираються на семантику для представлення відносин між кібер і фізичними особливостями КФС, які є необхідними для точного проектування будь-якої системи.

Отже, узагальнюючи всю вище подану інформацію, можна сказати, що актуальними та популярними в сучасних умовах методами та засобами моделювання і розробки кіберфізичних систем математичні умовності, в т.ч. гібридні автомати [7], алгебра процесів [13]), мова опису (в т.ч. Labeled Hybrid Petri Net [1]).

І хоча змішані системи є дуже універсальними знаряддями праці для уточнення та обробки конкретних прикладів КФС, вони не враховують деякі основоположні поняття, які є притаманними або незамінними в прикладах КФС, таких як мережі, сервіси і підтримка для обробки продуктивності і функціональності. Більше того, проектування чи обробка даних КФС з усіма її подробицями завжди призводить до стану вибуху. Тим не менш роками різноманітні способи, послідовності дій, уточнюючі логічні та програмні інструменти були розроблені (в т.ч. [1,18]) для спрощення КФС прикладів для досягнення певних цілей перевірки.

Нижче, наведено приклади проектування КФС.

1. Система транспортування природного газу. Алгебра процесу безпеки (АПБ [3]) є розширенням обчислення систем обміну даними (ОСОД [4]). Використовуючи ОСОД, система є проектованою як сукупність процесів, що може бути послідовною, альтернативною та/або паралельною.

У [3] ОСОД було застосовано для проектування системи транспортування природного газу. Така транспортна система є критичною інфраструктурою, що складається з мережі труб. Цей приклад КФС (система транспортування природного газу) містить багато взаємодій фізичних потоків, фізичних дій і дій у кіберпросторі.

У моделі (CoPS) [3] був використаний для підтвердження декількох властивостей безпеки інформаційних потоків у системі, які є важливими

властивостями для КФС через притаманний склад різних фізичних та кібер-елементів. Робота представлена у [3] надає декілька напрямків дослідження для прикладу перевірки властивостей безпеки інформаційних потоків прикладів КФС.

## 2. Охолоджуюча система для Ядерного Реактору.

A Labeled Hybrid Petri Net (LHPN) є прикладом Petri net [14], яка спочатку була розроблена для представлення схем аналогових і змішаних сигналів (САЗС), і також на основі мережі Петрі та гібридними автоматами.

КФС, розглянута у цьому прикладі, була системою охолодження для ядерних реакторів. Температура ядерного реактору знаходиться під контролем. Коли температура є занадто високою, один з двох стрижнів керування поміщають для охолодження активної зони реактора.

Набір способів автоматизованого спрощування для прикладу КФС-системи охолодження для ядерного реактору описаної як LHPN була запропонована в [21]. Цей набір підходів веде до значимих спрощень зразків LHPN (в цілому) і це було реалізовано в інструменті перевірки LEMA [21]. Застосування інструменту перевірки LEMA (для перевірки властивостей LHPN зразків), відповідну властивість безпеки (реактор ніколи не вимикається) системи було успішно перевірено. Загалом, ця робота представляє ефективний спосіб аналізу досяжності систем КФС, описаних як LHPN зразки. У [11] підхід архітектурного планування був використаний для проектування КФС розгорнутої, як системи контролю температури для двох зон, а архітектура цієї системи була згенерована AcmeStudio [16].

## 1.4 Постановка задачі

Огляд літератури показав, що в умовах сьогодення зростає актуальність використання кіберфізичних систем у всіх галузях життєдіяльності людини. Велика кількість вітчизняних та зарубіжних дослідників приділяють свою увагу

проектуванню та використанню кіберфізичних систем, а також пропонують свої розробки для впровадження у повсякденне життя.

Враховуючи те, що кіберфізичні системи розглядаються як інтелектуальні системи, які включають різноманітні фізичні об'єкти, а також мережеве обладнання, периферійні прилади, виникає необхідність у вдосконаленні методів та засобів розробки кіберфізичних систем, зокрема для діагностування стану здоров'я.

Отже, тема аналізу, розробки та впровадження кіберфізичних систем для діагностування стану здоров'я людини є актуальною та необхідною задачею, що потребує вирішення.

Виходячи із теми та мети дипломної роботи, можна виокремити для розв'язання такі задачі:

- 1) провести огляд існуючих апаратних та програмних технологій, що використовуються для моделювання кіберфізичних систем, зокрема діагностування стану здоров'я;
- 2) провести огляд існуючих моделей створення кіберфізичних систем;
- 3) запропонувати технологію створення кіберфізичної системи для діагностування стану здоров'я;
- 4) на основі запропонованої технології розробити програмні засоби.

## 1.5 Висновки

Отже, у першому розділі здійснено аналіз досліджень, що стосуються сучасних розробок. Виявлено, що велика кількість дослідників приділяють увагу моделюванню, проектуванню та розробці кіберфізичних систем у всіх галузях життєдіяльності людини.

Термін «кіберфізична система» (КФС) використовується на сьогоднішній день неоднозначно, що пов'язано з історією його виникнення та розвитку у напрямку дедалі ширшого трактування. Пропонується наповнити поняття

кіберфізичної інженерії як спосіб його застосування практичним змістом. Далі буде наведено приклад концепції КФС для процесу, що потребує постійної перебудови.

Термін КФС пропонується для вивчення комплексів, що складаються з різних природних об'єктів, штучних систем і контролерів управління, об'єднаних в єдине ціле і таких, що включають вбудовані системи реального часу, розподілені обчислювальні системи, автоматизовані системи управління технічними процесами та об'єктами, бездротові сенсорні мережі.

Такі комплекси фактично є автоматизованими системами, але більші і складніші, ніж ті, що вже існують, де комп'ютери інтегровані або вбудовані в певні фізичні пристрої або системи. Для дослідження таких комплексів необхідне гармонійне співіснування двох типів моделей. З одного боку – це традиційні інженерні моделі (механічні, будівельні, електричні, біологічні, хімічні і т.д.), а з іншого – комп'ютерні моделі.

## 2. РОЗРОБЛЕННЯ ФОРМАЛІЗОВАНОЇ МОДЕЛІ

### 2.1 Особливості КФС діагностування стану здоров'я

Кіберфізичні системи використовуються у багатьох галузях життєдіяльності людини. В сучасних умовах пандемії, а також військових дій на території України важливого і критичного значення набуває реалізація кіберфізичних систем в системі охорони здоров'я. Як уже зазначалось, КФС – інтелектуальні системи, які включають різноманітне апаратне та програмне забезпечення, а саме:

- фізичні об'єкти;
- зовнішні пристрої;
- процесори;
- мережеве обладнання;
- проміжне програмне забезпечення.

З медичної точки зору, основною метою створення КФС є контроль за поведінкою фізичних об'єктів як компонентів таких систем у режимі реального часу. У даних системах відбувається взаємодія кібернетичних засобів (вимірювальних, обчислювальних, комунікаційних, керуючих, виконавчих) з фізичними процесами у довільних об'єктах [1, 2]. У медичних КФС широкого розуміння фізичні об'єкти – це біологічні об'єкти (БО): від найпростіших до людини включно. Моніторинг поведінки БО кібернетичними методами, автоматичне отримання їх параметрів і характеристик у реальному часі забезпечують надійну взаємодію з БО, а специфіка використання та фізичні особливості БО визначають особливості проектування та розроблення відповідних КФС.

Сьогодні біосенсори активно застосовуються у багатьох сферах людської діяльності. Перш за все, це медична діагностика, зокрема лабораторний аналіз, контроль інтенсивної терапії, а також проведення аналізів у домашніх умовах. Іншою великою галуззю застосування біосенсорів є моніторинг довкілля, а саме

контроль води, повітря щодо наявності токсичних хімічних сполук [3]. Широко застосовуються такі пристрої у біотехнології, зокрема у контролі процесів ферментації [4]. У харчовій промисловості біосенсори застосовуються як у контролі самого виробництва, так і у контролі якості та свіжості продукції [5]. Крім того, біосенсори використовуються у системах безпеки (для виявлення наркотиків та вибухових речовин), а також у криміналістиці [6].

Сенсори медичного призначення становлять найбільшу частину ринку біосенсорів. Окрім визначення рівня глюкози медичні біосенсори використовуються для визначення інших метаболітів при діагностиці різноманітних порушень обміну речовин, до яких окрім цукрового діабету належать подагра, підвищений вміст холестерину у крові та ін. Такі сенсори створено для визначення сечовини [7], сечової кислоти [8], лактату [9], креатиніну [10], гормонів [11] та інших речовин. Створено крім того сенсори для діагностики інфекційних захворювань, а також біосенсори застосовуються для розв'язання як прикладних задач, так теоретичних проблем хімії білків та нуклеїнових кислот [12].

Кіберфізичні біосенсорні системи таким чином активно використовують для медико-біологічних досліджень. Портативні кіберфізичні біосенсорні системи (КФБСС), отримують значний науковий інтерес завдяки їхньому потенціалу для забезпечення безперервного моніторингу фізіологічної інформації в режимі реального часу за допомогою динамічних, неінвазивних вимірювань біохімічних маркерів в біологічних рідинах, таких як піт, сльози, слина і інтерстиціальна рідина. Останні розробки зосереджувалися на електрохімічних та оптичних біосенсорах, а також на досягненні неінвазивного моніторингу біомаркерів, включаючи метаболіти, бактерії та гормони. Поєднання мультиплексної біочутливості, мікрофлюїдного відбору проб і транспортних систем були інтегровані в мініатюрні пристрої та поєднані з гнучкими матеріалами для поліпшення зносостійкості та простоти експлуатації. Точний та надійний моніторинг фізіологічної інформації в реальному часі за допомогою біосенсорних технологій має надзвичайно важливе значення у нашому повсякденному житті.

Стимулом до бурхливого розвитку біосенсорики стали потреби медицини. Першим біосенсором був глюкозний біосенсор, створений для швидкого визначення рівня глюкози в крові в домашніх умовах у хворих на цукровий діабет, який є небезпечним через його ускладнення, що виникають при несвоєчасному корегуванні рівня глюкози у крові. До найбільш небезпечних ускладнень діабету належать порушення кровообігу, погіршення зору та гіперглікемічна кома. Зважаючи на це такі пацієнти потребують щоденного контролю та корегування рівня цукру у крові.

КФБСС для комплексного моніторингу біохімічних показників. На рис. 2 зображено схематичну ілюстрацію біосенсорів глюкози, лактату, натрію, калію та температури для мультиплексованого аналізу зонного потоку, включаючи іон-селективні електроди (ISE), полівінілбутирал(PVB), глюкозооксидазу (GOx) і лактат оксидазу (LOx). Суб'єкт, що закріплює «розумну пов'язку» та «розумний браслет» під час стаціонарного велосипедного руху має можливість спостерігати в реальному часі рівні аналіту поту та температури шкіри під час тренування.

Інтегрування наносенсорів з біоматеріалами призводить до більш точного моніторингу якості здоров'я і адаптивному виявленню загроз людині. В роботі [13] показано, що графен може бути надрукований на водорозчинному шовку, який в свою чергу дозволяє нанести графенові наносенсори на біоматеріали, включаючи зубну емаль. Результатом роботи є повністю біосумісна система зондування, яка може бути налаштована на виявлення цільових речовин. Наприклад, американськими вченими продемонстровано біоселективне виявлення бактерій на рівні одноклітинних за допомогою розміщення антимикробних пептидів на графені. Зокрема, вчені демонструють інтеграцію графенових біосенсорів в зуб для дистанційного моніторингу дихання і виявлення бактерій в слині. В цілому, така стратегія взаємодії графенових наносенсорів з біоматеріалами представляє собою універсальний підхід при дослідженні біохімічних об'єктів. Зокрема, фірма Proteus Digital Health працює над розробкою процесів тонкого налаштування малих за розмірами біосенсорів, які людина може проковтнути. Їх активація настає при

контакті зі слиною або шлунковими соками, посилаючи сигнали моніторам з допоміжними засобами, які закріплені на грудній клітці.

Звідти дані надсилаються через смартфон або комп'ютер медичним працівникам, які контролюють процеси отримання та аналізу даних. Отримані дані можуть бути у вигляді інформації: чи насправді пацієнт приймає лікарські засоби, в якій кількості та в який час; для контролю біохімічного аналізу крові та інших життєво важливих показників.

У роботі [14] запропоновано загальну структуру кіберфізичної біосенсорної системи КФБСС. При застосуванні цього підходу у випадку КФБСС можна виокремити три види завдань: отримати загальну інформацію про біосенсор; виміряти біологічні показники з перетворенням одиниць та калібруванням; забезпечити взаємодію з іншими біосенсорами.

В основі функціональної схеми КФБСС для медико-біологічних досліджень покладено концепцію КФБСС з врахуванням особливостей інтелектуальних біосенсорів. Таким чином, з додатковими навичками біосенсор розширюється до КФБСС. Для контролю та керування процесом вимірювання у КФБСС надзвичайно велике значення має результат комп'ютерного моделювання електричного сигналу, який характеризує число флуоресціюючих пікселів, що дає змогу оцінити їх кількість та вимірюваний медико-біологічний показник. При цьому видно, що при зміні кількості флуоресціюючих пікселів змінюється рівень електричного сигналу з перетворювача.

КФБСС є важливим напрямком сучасної аналітичної біотехнології, нагальна потреба у якій зумовлена необхідністю створення простих у застосуванні пристроїв для контролю стану здоров'я людини, а також контролю якості води, продуктів харчування, безпечності довкілля у режимі реального часу у домашніх чи польових умовах. Перспективним напрямком розвитку КФБСС є створення високо стабільних сенсорних пристроїв на основі штучних аналогів біологічних рецепторів, що поєднують високу селективність при розпізнаванні різноманітних аналітів з високою стабільністю, властивою синтетичним матеріалам за жорстких

умов зберігання та використання. КФБСС пристрої можуть бути як інтегровані у різноманітні аналітичні системи, так і в організм для безперервного моніторингу ряду речовин та метаболітів. Одним з найважливіших напрямків розвитку сучасних КФБСС є неінвазивна діагностика, яка не передбачає пошкодження шкіри чи слизових оболонок при відборі проб для аналізу.

КФБСС також широко використовуються для медико-біологічних досліджень, зокрема портативні системи - для забезпечення безперервного моніторингу фізіологічної інформації в режимі реального часу за допомогою динамічних, неінвазивних вимірювань біохімічних маркерів в біологічних рідинах, таких як піт, слюзи, слина і інтерстиціальні рідини. Точний та надійний моніторинг фізіологічної інформації в реальному часі за допомогою біосенсорних технологій має надзвичайно важливе значення у нашому повсякденному житті.

Наведено КФБСС для комплексного моніторингу біохімічних показників. Представлено схематичну ілюстрацію біосенсорів глюкози, лактату, натрію, калію та температури для мультиплексованого аналізу зонного потоку, включаючи іон-селективні електроди (ISE), полівінілбутирал (PVB), глюкозооксидазу (GOx) і лактатоксидазу (LOx). Розглянуто графенові біосенсори, які імплантовані в зуб для дистанційного моніторингу дихання і виявлення бактерій в слині. Представлена функціональна схема КФБСС для медико-біологічних досліджень та результат чисельного моделювання електричного сигналу з перетворювача, який характеризує кількість флуоресціюючих пікселів.

КФС поєднують обраховувальні можливості з фізичними процесами. Поєднуючи обрахування і обмін даними з фізичними процесами КФС дозволяють комп'ютерним системам відслідковувати і взаємодіяти з фізичним світом, хоча сьгоднішні комп'ютерні та мережеві можливості не відображають повною мірою властивості фізичного світу. Цей недолік зумовлює необхідність розробки ефективних методів та інструментів для аналізу та проектування КФС.

КФС є поєднанням обчислювальних можливостей з фізичними процесами. Мережеві, вбудовані комп'ютери використовуються для відслідковування і

контролю фізичних процесів, заснованих на основі місцевих (в т.ч. внутрішньомережевих) та віддалених (в т.ч. зі зворотнього боку [9]) обчислень. КФС представляють собою тісний зв'язок між фізичними і програмними компонентами та можуть оперувати на різноманітних просторових та часових масштабах, демонструючи множинні та чіткі поведінкові модальності. Більше того КФС є постійно взаємодіючими з фізичним світом, і як результат, їх поведінка може змінюватися в залежності від експлуатаційного або екологічного контексту.

Застосування КФС включають: медичні пристрої та системи з високим рівнем надійності, контроль руху та безпеки, передові автомобільні системи, контроль обробки, збереження енергії, контроль за навколишнім середовищем, авіоніку, застосування інструментів, контроль критичної інфраструктури, розподілену робототехніку (телеприсутність, телемедицина), оборонні системи, виробництво та розумні структури [6].

Фізичні системи, які підтримують КФС, пропонують на вибір 5 можливостей: обчислення, обмін даними, точний контроль, віддалені спільні та автономні можливості. Деякі з них також необхідні для виконання складних обчислень, наприклад, встановлена в автомобіль КФС може запустити алгоритм контролю руху і обрахувати кращий маршрут відповідно до відповідної ситуації на дорозі.

У випадку слідкування за навколишнім середовищем такі системи можуть бути розподілені на географічні довгі та віддалені зони, такі як ліси, річки та гори, де вони, як очікується, будуть діяти без людського втручання протягом довгих часових періодів з обмеженим постачанням електроенергії. У таких середовищах збирання точної та своєчасної інформації через низько - потужні спеціальні мережі є ключовим викликом.

КФС для авіоніки, контролю електроенергії, контролю водних ресурсів та оборонних систем вимагають точного та надійного контролю, що робить застосування методологій програмного забезпечення для впевненості щодо якості програмного забезпечення особливо важливим. На відміну від традиційних вбудованих систем, ці взаємодіють напряду з фізичним світом, що робить

виявлення змін у середовищі і відповідне пристосування їх поведінки ключовими викликами у проектуванні цих пристроїв.

За законом Мура фізичний розмір вбудованого комп'ютера фіксованих рівнів можливостей буде подвоюватись кожні два роки, що у поєднанні з падаючими цінами значно збільшує додавання обчислювальних можливостей до фізичних систем. Зростаюче розповсюдження КФС, як передбачається, буде мати потужний вплив на економіку і суспільство загалом [10]. Шляхом злиття обчислення та обміну даних з фізичними процесами і посередницької взаємодії з фізичним світом, КФС привносять багато вигідних позицій: роблять системи більш безпечними і ефективними, знижують ціну вибудовування та роботи фізичних систем, дозволяють індивідуальним машинам працювати разом для формування складних систем для надання нових можливостей.

У фізичному світі плин часу є незворотнім з внутрішньою паралельністю. Хоча сьгоднішні обраховувальні та мережеві умовності не відображають ні одну з вище згаданих властивостей, було узгоджено, що неспівпадіння між цими умовностями і властивостями фізичних процесів перешкоджає технічному прогресу [10]. Внаслідок цього технічні підходи, що можуть подолати розрив в абстракції, є терміново необхідними.

КФС продукти є в цілому гетерогенними системами, що складаються з різноманітних типів фізичних систем і різноманітних моделей обчислення і обміну даних. І хоча є ефективні способи та інструменти для проектування і обчислювальних і фізичних систем, проектування таких систем є чимось більшим аніж союз двох галузей. Тому нові засоби та інструменти мають бути досліджені, що дозволить системним проектувальникам застосувати принципи КФС до нових індустрій та пристосувань у надійному та економічно ефективному способі.

## 2.2. Концептуальна модель КФС діагностування стану здоров'я

Кіберфізичні системи є високоадаптивними, тому їх реалізація залежить від завдання і об'єкта управління. Доцільність застосування кіберфізичних систем виникає при управлінні складними системами та складними управлінськими ситуаціями. В аспекті обчислень КФС можна порівняти із системами паралельних обчислень, при чому для простих ситуацій вони є неефективними, а для складних - незамінні.

Недоліком КФС є їх складність, що вимагає залучення спеціалістів для створення та підтримки. Складність кіберфізичних побудов обумовлює і складність загального визначення цих систем. Насправді дають визначення через перерахування функцій, тому можна надати кілька визначень КФС з різних аспектів. Загальна концептуальна модель подана на рисунку 2.1.

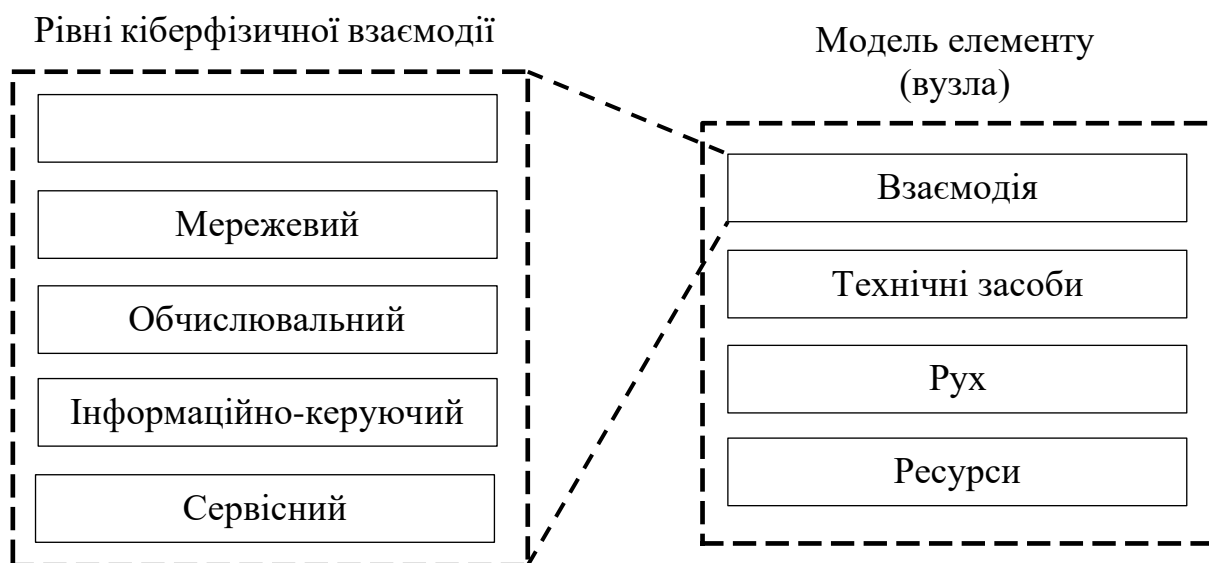


Рисунок 2.1 – Концептуальна модель КФС

В аспекті інтегрованих систем кіберфізичні системи являють собою комплекс обчислювальних, мережевих і фізичних процесів.

В аспекті управління кіберфізичні системи – це розподілені системи управління, які містять вбудовані комп'ютери та обчислювальні вузли та керують фізичними процесами.

В аспекті методики обчислення кіберфізичні системи являють собою розподілені системи управління, які містять ланцюги зворотного зв'язку, в яких фізичні процеси впливають на обчислення і навпаки.

Моделі, що використовуються в КФС, діляться на концептуальні, математичні, управлінські, технологічні та базисні. Як системи управління вони орієнтовані переважно на управління рухомими об'єктами. При цьому слід зазначити, що однією з цілей під час створення КФС було відображення кіберзагроз та інших загроз, до того ж подібна мета збереглася і зараз. Однак така можливість означає, що дані системи пристосовані до роботи з ситуаціями, які швидко змінюються, зі зміною мети, і це створює їм перевагу як системи багатоцільового управління.

Концептуальні моделі КФС будуються з урахуванням інформаційних конструкцій, а базисні моделі будуються з урахуванням інформаційних одиниць. Інформаційні одиниці утворюють мовне середовище, що відповідно до теорії семіотичного управління служить основою інтелектуального управління. В аспекті взаємодії кіберфізичні системи використовують новий тип моделей інформаційно-фізичної взаємодії. В аспекті мережевої взаємодії кіберфізичні системи використовують новий тип моделей мережевої взаємодії – внутрішньомережне онлайн-моделювання. В аспекті інтелектуальної обробки інформації кіберфізичні системи використовують новий тип самовіріфікованих моделей і моделей внутрішньої онлайн оптимізації.

Саме наявність інтелектуальних моделей робить КФС стійкими до кібератак і підвищує рівень їх безпеки, що є важливою властивістю при забезпеченні конфіденційності інформації у діагностиці стану здоров'я людини.

Виділяється напрям застосування КФС у охороні здоров'я як кіберфізичні системи діагностування (КФСД). При цьому поділяють два якісні типи КФСД:

внутрішня система щодо об'єкта, себто людини, і зовнішня система, що об'єднує комплекс задіяних об'єктів, наприклад людини і лікаря. Причому системи другого типу вирішують завдання отримання та управління в системі діагностування, тоді як системи першого типу займаються управлінням окремих об'єктів у складній динамічно мінливій ситуації, наприклад під час фізичного навантаження людини.

Отже, на основі вище згаданих принципів побудови концептуальної моделі КФС, можна здійснити побудову концептуальної моделі КФС для діагностування стану здоров'я (рисунк 2.2).

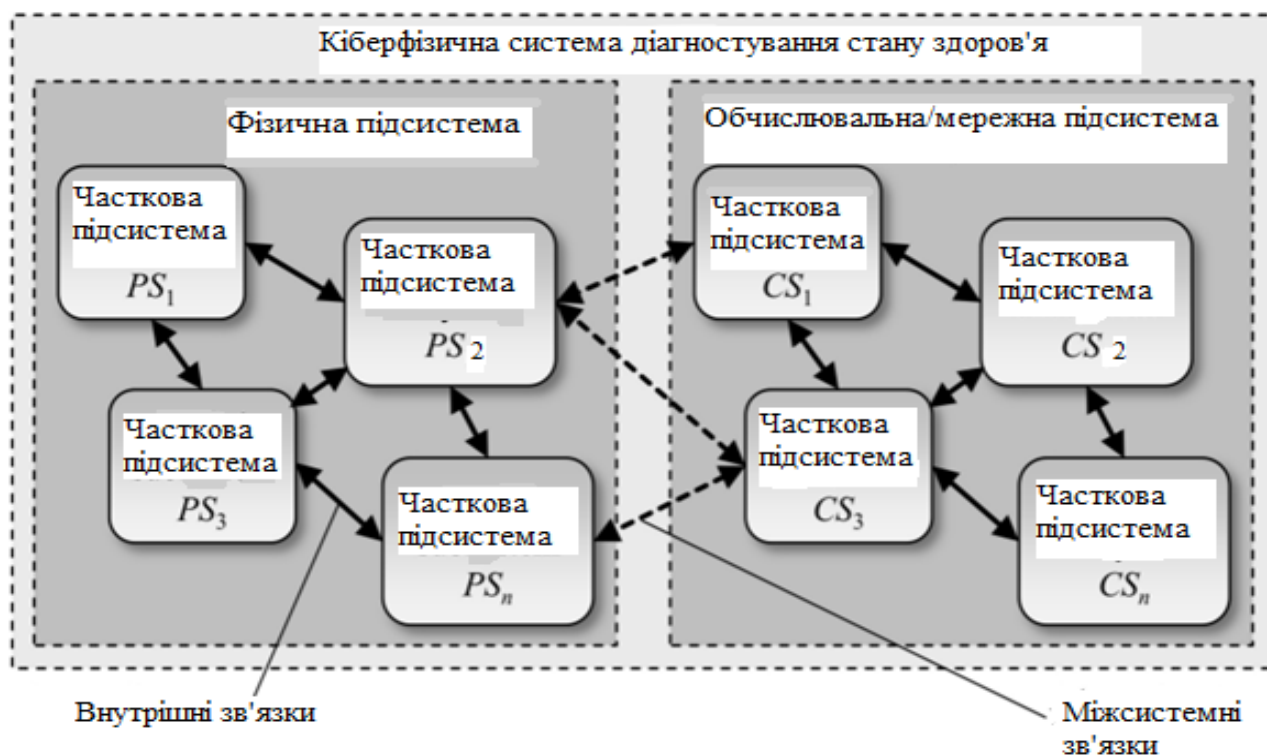


Рисунок 2.2 – Концептуальна модель КФС діагностування стану здоров'я

Отже, як бачимо у представленій концептуальній моделі її складові взаємодіють між собою у часі та просторі, утворюючи при цьому єдину екосистему. Дана екосистема спрямована на вирішення певного кола поставлених завдань, а саме діагностування стану здоров'я, складовими якого є вимірювання кількості кроків, серцевого ритму, насиченості крові киснем, температурного режиму і т.д.

Якщо розглядати рівні взаємодії (в порядку зростання, тобто з низу до верху) серед об'єктів, то це можна показати наступним чином (рисунок 2.3).

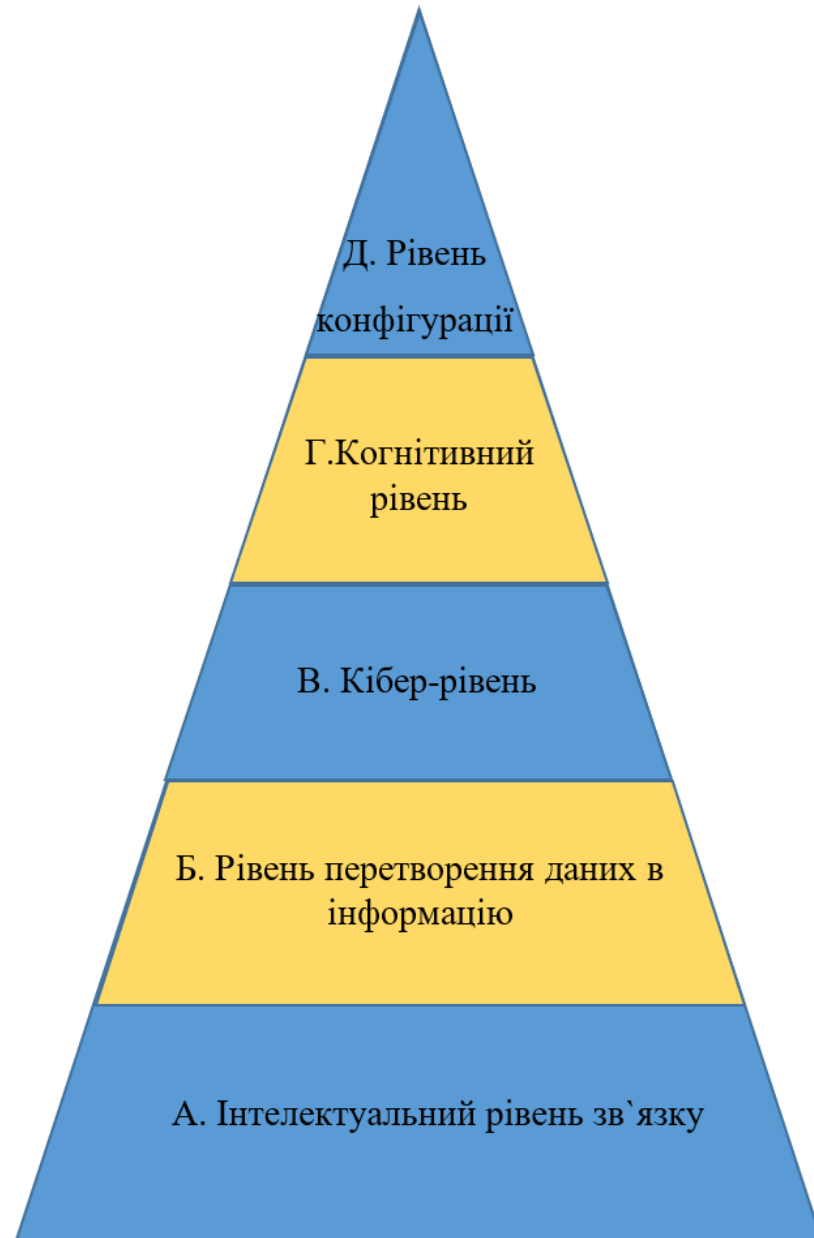


Рисунок 2.3 – Рівні взаємодії об'єктів у моделі КФС

А. Інтелектуальний рівень зв'язку:

- технологія «Plug&Play» («включи та працюй»);
- вільна комунікація;
- система сенсорів та датчиків.

#### Б. Рівень перетворення даних на інформацію:

- інтелектуальна аналітика для здоров'я;
- компонентів машини;
- інтелектуальна аналітика багатовимірної кореляції даних;
- прогноз деградації та продуктивності.

#### В. Кіберрівень:

- клонування моделей для компонентів та машин;
- «машина часу» для варіативної ідентифікації та пам'яті;
- кластеризація подібностей в інтелектуальному аналізі даних.

#### Г. Когнітивний рівень:

- комплексне моделювання та синтез;
- дистанційна візуалізація для людини;
- спільна діагностика та прийняття рішень.

#### В. Рівень конфігурації:

- самостійне налаштування для забезпечення стійкості;
- самостійне пристосування до змін;
- самооптимізація у разі порушення роботи

### 2.3 Метод гібридного автомата

Мета функціонування КФС реалізується під час виконання операцій, пов'язаних з інформаційним, речовинним та енергетичним обміном із користувачем, зовнішнім середовищем та іншими системами. Таким чином, операція обміну є основним системоутворюючим фактором, що об'єднує (інтегрує) різні види діяльності (рух, роботу технічних засобів, витрату ресурсу тощо). Кіберфізична взаємодія здійснюється на п'яти основних рівнях: сенсорному, мережевому, обчислювальному, інформаційно-керівному, сервісному.

У задачі розподілу функцій обробки інформації та управління між елементами кіберфізичного інтелектуального простору для формалізації взаємозв'язків між різними варіантами побудови КФС скористаємося традиційним альтернативно-графовим описом, у якого варіанти побудови елементів системи задаються як вершини відповідного графа, а дуги – як взаємозв'язки між ними.

Нехай:

$G_I$  - граф, що описує варіанти взаємозв'язків альтернативних функцій (завдань, алгоритмів, програм) управління системи;

$G_I^* \in G_I$  - підграф, що задає один із можливих варіантів реалізації функцій системи; вершини графа  $G_I$  залежно від розглянутої задачі ототожнюються з процедурами обробки інформації, завданнями управління та їх етапами тощо; його дуги відбивають рівні кіберфізичної взаємодії;

$G_J$  - граф, що задає варіанти складу та взаємозв'язків можливих вузлів КФС;

$G_J^* \in G_J$  - підграф, що задає один із можливих варіантів реалізації вузлів КФС з їх взаємозв'язками; вершини графа  $G_J$  ототожнюються з варіантами побудови вузлів переробки інформації, можливими місцями їх розміщення, комплексами технічних засобів тощо; його дуги відображають взаємозв'язки між вузлами;

$\mathfrak{R}$  – операція відображення графа  $G_I$  на  $G_J$ , що визначає розподіл функцій, які реалізуються системою, по її вузлах;

$n_{\eta, = \overline{1, \eta_0}}$ , – характеристики якості створення та функціонування КФС.

Тоді статична задача синтезу структури КФС може бути представлена наступним чином [15]:

$$\begin{aligned} & \text{extr}_{\mathfrak{R}_0} \{ (G_I^* \in G_I) \mathfrak{R}^* (G_J^* \in G_J) \}, \\ & \mathfrak{R}_{\eta} \{ (G_I^* \in G_I) \mathfrak{R}^* (G_J^* \in G_J) \}, \quad \eta = \overline{1, \eta_0}, \mathfrak{R}^* \in \mathfrak{R}. \end{aligned} \quad (2.1)$$

При розподілі задач між вузлами КФС можливі два типи відображень  $\mathfrak{R}$ :

1) кожне завдання (етап) виконується лише в одному з кількох можливих вузлів системи;

2) завдання (етапи) виконуються у кількох вузлах системи.

Нехай задано множину завдань  $i = \overline{1, I}$  (етапів  $m = \overline{1, m_i}$ ) взаємодії (сенсорні, мережеві, обчислювальні, інформаційно-керуючі, сервісні), їх варіантів  $n = \overline{1, N}$  та способів вирішення  $k = \overline{1, K}$ , безліч вузлів системи  $j = \overline{1, J}$  і варіантів їх побудови  $p = \overline{1, P_j}$ .

Завдання синтезу структури КФС у разі може бути представлено як:

$$F_0(x_{ik}, x_{imn}, x_{imj}, x_{jpr}) \rightarrow \text{opt.} \quad (2.2)$$

де  $F_0$  – показники якості, що оптимізуються, наприклад середній час перебування задач в системі при обмеженні витрат на функціонування

$$\sum_{i,m,n,j} B_{imnj} x_{imn} x_{imj} \leq B. \quad (2.3)$$

і завантаження вузлів

$$\sum_{i,k,m,n} R_{ikmnt}^\lambda x \leq R_{jpt}^\lambda - P_{jpt}^\lambda, \lambda = \overline{1, \lambda_0}. \quad (2.4)$$

Тут:

$$B_{imnj} = \begin{cases} \alpha_{imnj}, \text{ якщо } i \neq m \neq j; \\ \beta_{imnj} \gamma_{jl}, \text{ якщо } i = m \neq j; \end{cases}$$

$\alpha_{imn}$  – витрати на розв'язання n-го варіанта m-го етапу i-го завдання в j-му вузлі;

$\beta_{imn} \gamma_{jl}$  – середній обсяг потоку інформації між m, n-етапом i-ї задачі та m, n-етапом i-ї задачі в процесі функціонування системи;

$\gamma_{jl}$  – витрати на передачу одиниці обсягу інформації з вузла j у вузол j', які оснащені технічними засобами l-го та l'-го типу відповідно; l – тип технічних

засобів, що використовуються для вирішення  $n$ -го варіанта  $m$ -го етапу  $i$ -ї задачі  $k$ -м способом;

$B$  – допустимі витрати;  $R_{ikmnt}^{\lambda}$  – кількість ресурсів  $\lambda$ -го типу в період  $t$ , необхідне виконання  $n$ -го варіанту  $m$ -го етапу  $i$ -ї задачі  $k$ -м способом;  $R_{jpt}^{\lambda}$  – кількість ресурсів  $\lambda$ -го типу в період  $t$ , що використовуються для виконання завдань управління в  $p$ -му варіанті  $j$ -го вузла;  $P_{jpt}^{\lambda}$  – ресурси, необхідні для виконання оперативних завдань.

У виразах (2)-(4) відповідні змінні приймають такі значення:

$$x_{ik} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } i - \text{та задача вирішується } k - \text{м способом;} \\ 0 - \text{інакше;} \end{cases}$$

$$x_{imn} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } m - \text{й етап } i - \text{ї задачі представлений } n - \text{м варіантом;} \\ 0 - \text{інакше;} \end{cases}$$

$$x_{imj} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } m - \text{й етап } i - \text{ї задачі вирішується в } j - \text{му вузлі;} \\ 0 - \text{інакше;} \end{cases}$$

$$x_{jp} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } j - \text{й вузол реалізується в } p - \text{му варіанту;} \\ 0 - \text{інакше;} \end{cases}$$

$$x_{imnj} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } m \text{ етап } i - \text{ї задачі в } n \text{ варіанті вирішується у } j - \text{у вузлі;} \\ 0 - \text{інакше;} \end{cases}$$

$$x_{ikmntj} = \begin{cases} 1, \text{ якщо } n - \text{й варіант } m - \text{го етапу } i - \text{ї задачі,} \\ \text{що вирішується } k - \text{м способом у } j - \text{вузлі;} \\ 0 - \text{інакше.} \end{cases}$$

У більш загальному випадку можливий динамічний варіант постановки структурно-функціонально-параметричного синтезу КФС і відповідного кіберфізичного простору, що базується на розробленій в даний час прикладній теорії проактивного керування структурною динамікою складних організаційно-технічних об'єктів [14, 16, 17]. Розглянуте вище статичне завдання та модель синтезу виду (1)-(4) може бути узагальнена в рамках постановки задачі багатокритеріального синтезу програм управління функціонуванням та розвитком КФС та КФП. У цьому випадку в основу опису структурної динаміки КФС та КФП

має бути покладено метод гібридного автомата, що описується динамічним альтернативним системним графом (ДАСГ) наступного виду:

$$G_{\chi}^t = \langle X_{\chi}^t, \Gamma_{\chi}^t, Z_{\chi}^t \rangle. \quad (2.5)$$

де  $\chi$  – індекс, що характеризує різні типи структур КФС та КФП: топологічну, функціональну, технічну, програмно-математичного та інформаційного забезпечення, організаційну;  $t \in T$  – множина моментів часу;  $X_{\chi}^t = \{x_{\langle \chi, l \rangle}^t, l \in L_{\chi}\}$  – множина елементів, що входять до складу структури  $G_{\chi}^t$  (множина вершин ДАСГ) в момент часу  $t$ ;

$\Gamma_{\chi}^t = \{\gamma_{\langle \chi, l, l' \rangle}^t, l, l' \in L_{\chi}\}$  – множина дуг ДАСГ типу  $G_{\chi}^t$ , що відображають взаємозв'язки між його елементами в момент часу  $t$ ;

$Z_{\chi}^t = \{f_{\langle \chi, l, l' \rangle}^t, l, l' \in L_{\chi}\}$  – множина значень параметрів, що кількісно характеризують взаємозв'язок відповідних елементів ДАСГ.

При такому варіанті формалізації є можливим з єдиних управлінських позицій досліджувати весь спектр завдань аналізу та синтезу КФС та КФП на різних етапах їх життєвого циклу (ЖЦ). Формальна модель виду (2)-(4) у цьому випадку буде використовуватися в кожний поточний момент часу (етап ЖЦ).

З урахуванням вищевикладеного завдання структурно-функціонально-параметричного синтезу КФС та відповідного КФП може бути сформульовано наступним чином: необхідно розробити принципи, підходи, моделі, методи та алгоритми, що дозволяють знаходити найкращі програми управління функціонуванням та розвитком КФС та КФП  $\langle U_{*}^t, S_{\delta}^{*t_f} \rangle$ , за яких виконуються такі умови [14]:

$$J_{\theta} \left( X_{\chi}^t, \Gamma_{\chi}^t, Z_{\chi}^t, F_{\langle \chi, \dot{\chi} \rangle}^t, \Pi_{\langle \tilde{\delta}, \tilde{\delta} \rangle}^t, t \in (t_0, t_f] \right) \rightarrow \langle U^t, S_{\delta}^{*t_f} \rangle \in \Delta_g; \quad (2.6)$$

$$\Delta_g = \left\{ \langle U^t, S_\delta^{tf} \rangle \mid R_\beta \left( X_\chi^t, I_\chi^t, Z_\chi^t, F_{\langle \chi, \dot{\chi} \rangle}^t, \Pi_{\langle \tilde{\delta}, \tilde{\delta} \rangle}^t \right) \leq \tilde{R}_\beta; \right\}$$

$$U^t = \Pi_{\langle \delta_1, \delta_2 \rangle}^{t_1} \circ \Pi_{\langle \delta_2, \delta_3 \rangle}^{t_2} \circ \Pi_{\langle \tilde{\delta}, \tilde{\delta} \rangle}^{t_2}; \beta \in B \}. \quad (2.7)$$

де  $J_\theta$  – показники, що характеризують якість та ефективність використання основних елементів та підсистем КФС та КФП;

$U^t$  – керуючі впливи, що дозволяють синтезувати як структури КФС та КФП, так і процеси їх використання на різних етапах життєвого циклу;

$\theta \in \Theta$  – множина номерів показників;  $\Delta_g$  – множина динамічних альтернатив (множина структур та параметрів КФС і КФП, множина програм їх використання);

$\tilde{R}_\beta$  – задані величини;

$F_{\langle \chi, \dot{\chi} \rangle}^t$  – відображення структури  $G_\chi^t$  на структуру  $G_\chi^t$ ;

$\Pi_{\langle \tilde{\delta}, \tilde{\delta} \rangle}^t$  – відображення багатоструктурних станів  $\tilde{\delta}$  та  $\tilde{\delta}$  один на одного;

$B$  – множина номерів обмежень;

знак „ $\circ$ “ – операція композиції відображення.

Запропонована динамічна інтерпретація завдань структурно-функціонально-параметричного синтезу КФС та відповідного КФП дозволяє для їх вирішення використовувати у всій повноті як існуючий математичний апарат сучасної теорії управління складними логіко-динамічними об'єктами з структурою, що перебудовується, так і методи та алгоритми дослідження операцій.

## 2.4 Висновки

Отже, в ході проведеного дослідження у другому розділі роботи представлена концептуальна модель кіберфізичної системи. Слід зауважити, що КФС – це системи, які є високоадаптивними, тобто доцільність їх використання виникає, коли є необхідність управляти складними системами або управлінськими рішеннями.

Також здійснена формалізація даної моделі. Для забезпечення формалізації взаємозв'язків між елементами КФС було використано традиційний альтернативно-графовий опис в межах якого варіанти побудови елементів системи задаються як вершини відповідного графу, а дуги – це взаємозв'язки між ними.

Виявлено також, що для моделювання розробляються та застосовуються спеціальні програмні комплекси, які вимагають складно організованих чисельних бібліотек та спеціалізованого математичного забезпечення для формування, аналізу та вирішення підсумкових систем алгебро-диференціальних рівнянь різного виду.

### 3 АРХІТЕКТУРА КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ

#### 3.1 Проектування архітектури кіберфізичної системи діагностування стану здоров'я

При проектуванні архітектури кіберфізичної системи потрібно враховувати її головні складові частини (рисунок 3.1):

- фізичний рівень системи (об'єкти реального фізичного світу);
- цифровий рівень системи (множина даних у системі – алгоритми управління фізичними об'єктами, алгоритми обробки інформації та інше);
- інтерфейс взаємодії цифрового та фізичного рівня (різні датчики, керуючі механізми та інше);
- інтерфейс взаємодії цифрового та фізичного рівня з людиною (різні технології віртуальної реальності).

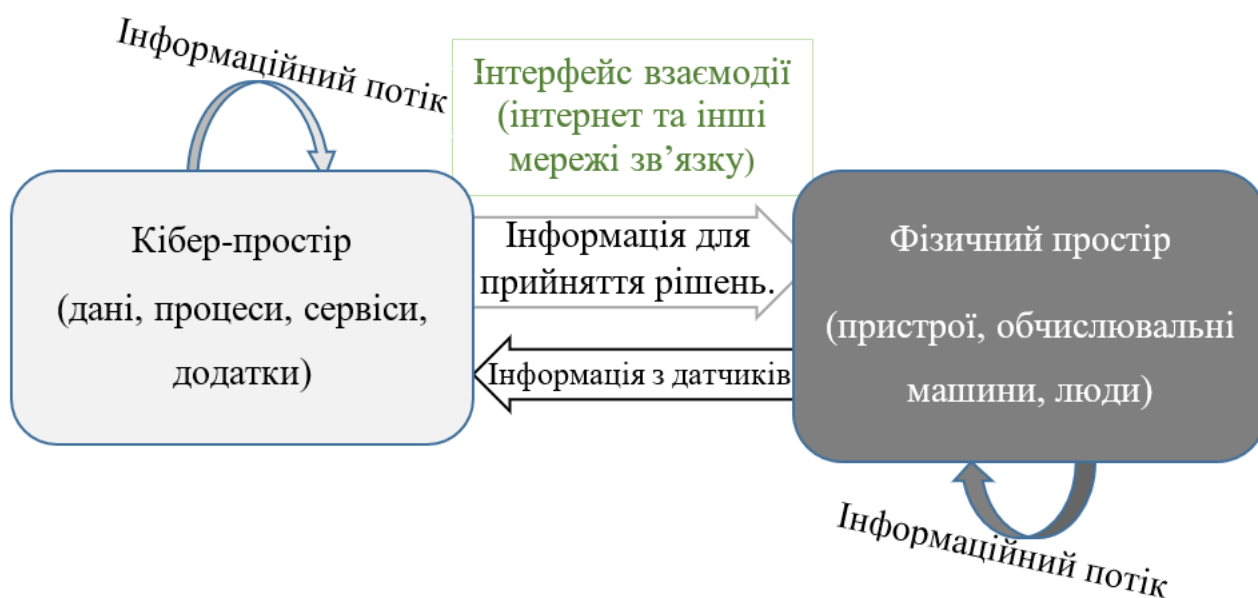


Рисунок 3.1 – Інтерфейс взаємодії фізичного і кібер-простору

У системах охорони здоров'я, медичні пристрої можуть бути приєднані через безпроводну мережу аби сформувати захищене, надійне та зберігаюче

конфіденційність медичне забезпечення. Система охорони здоров'я має на меті надавати лікування точно за адресою, знизити витрати при цьому та гарантувати існування таких сервісів в будь-який час та у будь-якому місці, отримуючи цифрові сигнали з кожного пристрою і спостерігаючи за станом кожного пацієнта, аналізуючи при цьому контекстну інформацію. Пацієнт зможе обмінюватися даними з лікарем або медсестрою віддалено і отримувати інформацію про потрібне та актуальне лікування.

Далі буде представлено детальний опис цієї КФС. Дана система складається із наступних компонентів: датчик пульсу, місткість з пігулками, інфузійний насос, датчик контролю тиску, передавач даних для обміну інформацією, персональний пристрій для постійного моніторингу здоров'я (ПППМ) та база даних КФС.

Функціональність кожного компоненту виглядає наступним чином:

Люди оснащуються датчиком на зап'ястя, який може перевіряти їхній кров'яний тиск, рівень цукру, рівень серцебиття та температуру тіла на регулярній основі щоденно. Ці датчики можуть змінюватись в залежності від поточної ситуації. У випадку, якщо зібрані дані виходять за межі допустимих рівнів, датчик на зап'ясті зможе відправити повідомлення тривоги до ПППМ.

Пацієнти можуть бути оснащені сховищем для пігулок, для прийому ліків з коробки з пігулками щоденно.

Пацієнти можуть бути оснащені інфузійним насосом для автоматичного введення лікарських засобів вдома. Якщо тільки виявляється витік ліків з насосу, відбувається надсилання попереджувальних сигналів до пункту ПППМ.

Персональний пристрій для постійного моніторингу збирає інформацію, оброблює її та вирішує, чи буде інформація відправлена до лікарні чи до місцевої спільноти через компонент ПППМ.

Передавач даних відповідальний за їх передачу через провідні та безпроводні мережі.

База даних КФС зберігає різноманітну інформацію, включаючи побажання пацієнтів щодо лікарів, медичну історію пацієнтів та їхній стан здоров'я.

ПППМ для щоденного використання може бути використаний для допомоги лікарям у виконанні щоденної перевірки, перевірки ідентичності лікарів, встановлення місця знаходження пацієнтів, оцінки чи лікар вартий довіри та перебудови рівня довіри до лікаря, отримання інформації щодо пацієнтів та виконання відповідного лікування.

На основі вище зазначених вимог було змодельовано та перевірено компонент ПППМ щоденної перевірки з модулем постійного оновлення, що є інструментарієм для симулювання та перевірки систем реального часу [2].

Персональний пристрій для постійного моніторингу щоденної перевірки складається з наступних механізмів: вимірювання, запуск, знаходження, оцінка довіри, щоденна перевірка та механізм діагнозу. Було збудовано всі механізми, окрім вимірювання, як головного шаблону названого ПППК. Механізм вимірювання є розділеним на механізм вимірювання стану здоров'я пацієнтів і механізм визначення місця знаходження, перший з них сконструйований як датчик перевірки, а другий - як датчик визначення локації.

Сценарій для персональний пристрій для постійного моніторингу щоденної перевірки є наступним: у разі, якщо щоденна перевірка не виконується вчасно, ПППМ відправляє сигнали тривоги на приймальний пункт. Впродовж часового ліміту, якщо рівень довіри до лікаря задовольняє вимоги, ПППМ починає перевіряти можливості для виконання, в іншому разі відправляє сигнал на заміну лікаря на приймальний пункт. ПППМ перевіряє стан здоров'я пацієнтів, зокрема кров'яний тиск, температуру тіла, рівень серцебиття і т.д., при чому можуть додаватися перевірені параметри відповідно до стану здоров'я пацієнтів. На основі зібраних даних лікар встановлює діагноз і вирішує методи та засоби лікування.

Далі буде представлено сценарій успішного процесу діагностування. Через обмеження простору буде розділено моделюючу фігуру на 6 частин та представлено їх зокрема у наступному порядку:

Лікар, який має номер один у системі, хоче зробити щоденну перевірку пацієнта, чий номер також один, при цьому в цій системі інформація щодо лікаря

і пацієнта вбудована в механізм запуску. Через визначення цих контекстів система вирішує, чи підходить лікар для того, щоб робити щоденні перевірки пацієнта за допомогою функції «Правильний лікар», зображеній на рисунку 3.2.

Після цієї опції лікарю необхідно виявити місцезнаходження конкретного пацієнта і ПППІМ система визначає поточне місцезнаходження за допомогою датчика місцезнаходження, потім вибудовує і обробляє інформацію щодо поточного місцезнаходження. Функція «Правильний лікар» бере до уваги дані щодо розташування лікаря і дані щодо розташування пацієнта у якості параметрів і вирішує, чи лікар достався свого пацієнта.

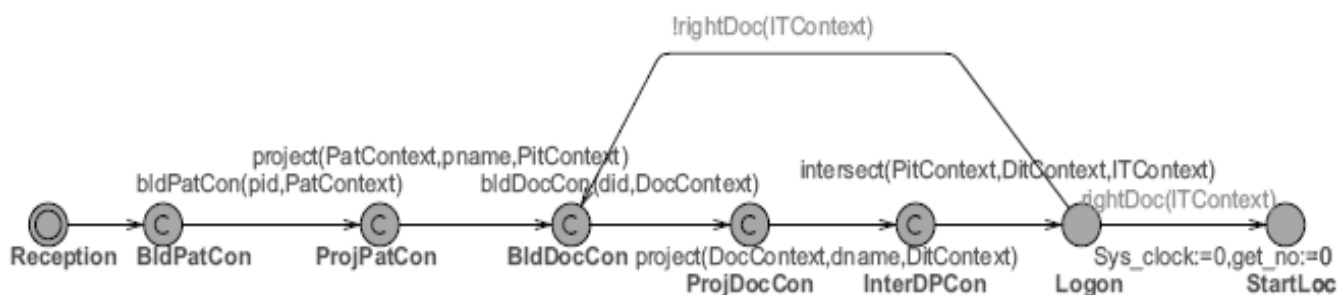


Рисунок 3.2 – Механізм визначення місцеположення пацієнта

Якщо лікар не знайшов пацієнта протягом 10 одиниць часу після визначення місця розташування, ПППІМ надішле повідомлення на приймальний пункт. Сценарій описаний на рисунку 3.3.

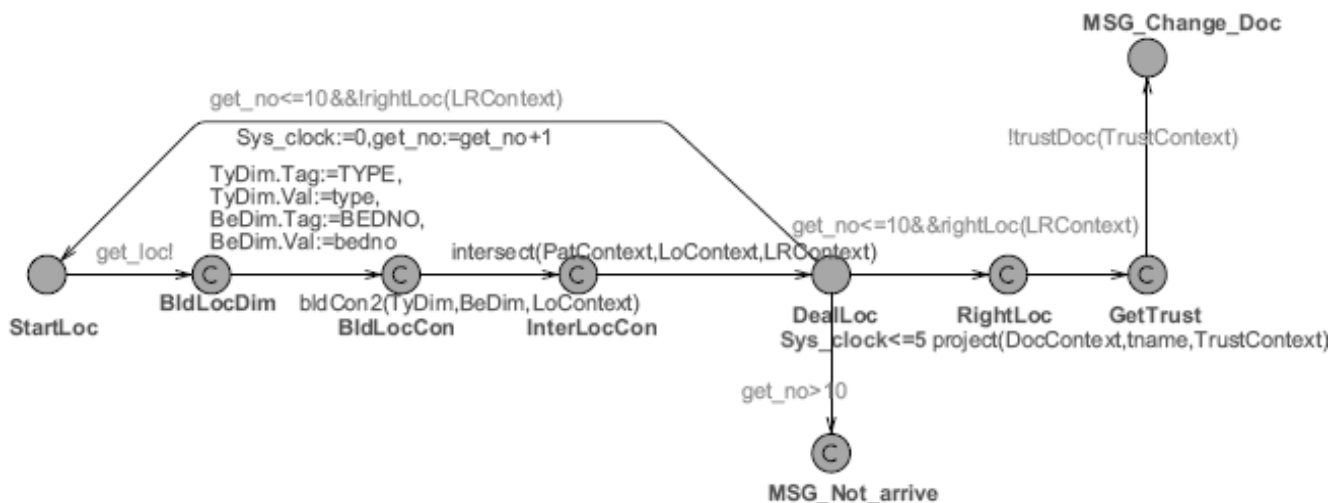


Рисунок 3.3 – Механізм визначення контактування лікаря і пацієнта

У випадку виявлення лікарем місця знаходження пацієнта відбувається наступне: пацієнт має право вирішувати, чи заслуговує довіри цей лікар, у випадку, якщо лікар не викликає довіри, пацієнт може запропонувати лікарю видалитися і відправити повідомлення на прийомний пункт. Цей механізм реалізовано функцією довіра до Лікаря. Сценарій описаний на рисунку 3.4.

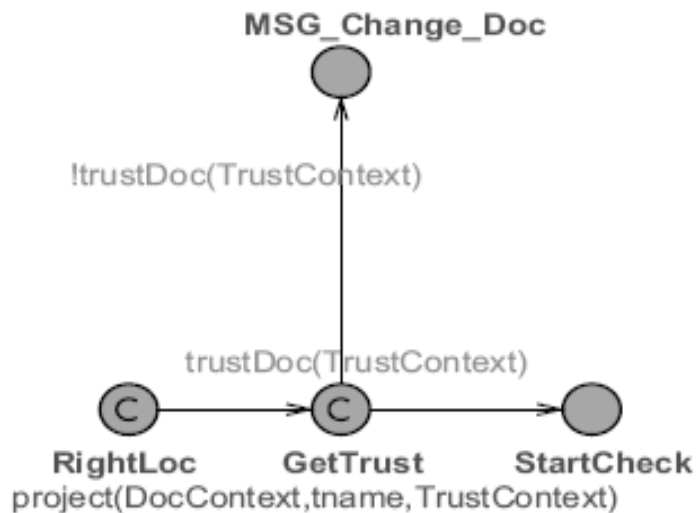


Рисунок 3.4 – Механізм визначення довіри до лікаря

Потім починається щоденна перевірка. ПППМ отримує кров пацієнта та температуру тіла завдяки датчикам перевірки. Після чого вибудовуються дані щодо стану здоров'я пацієнта (названий як Відповідність Даним) за отриманою інформацією. Функція Додати Перевірку вирішує, чи буде цей пацієнт перевірений більшою кількістю параметрів. Якщо так, то ПППМ отримає аналіз стану крові за допомогою датчика перевірки. Стан здоров'я пацієнта є перебудованим завдяки поєднанню даних щодо аналізу крові і відповідності даним. Незалежно від того, чи пацієнт потребує більше перевірок, його стан здоров'я передається для обробки у модуль аналізування, що відображено на рисунку 3.5.

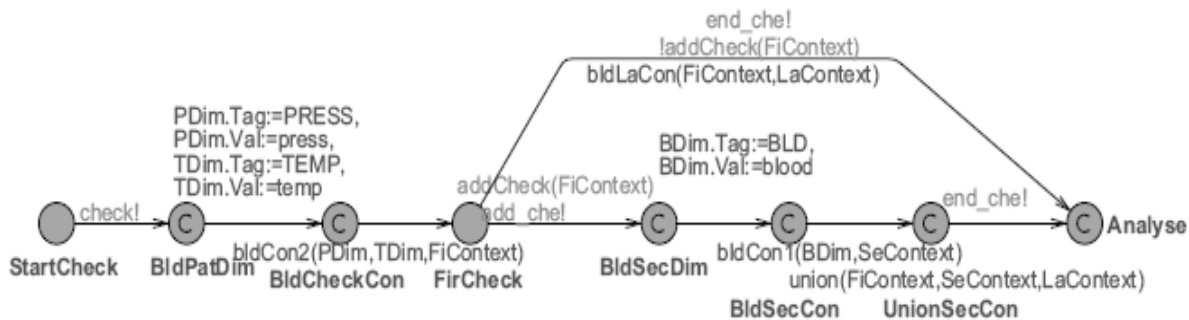


Рисунок 3.5 – Механізм визначення достатності перевірок стану пацієнта

ПППМ система робить діагностику та надає відповідне лікування для пацієнта відповідно щодо стану його здоров'я на даний момент. Цей функціонал є реалізованим у функції Автодіагноз, показаний на рисунку 3.6.



Рисунок 3.6 – Механізм визначення автодіагнозу

Після того, як зроблено автодіагноз запускається процедура перебудови довіри до лікаря. Сценарій описаний на рисунку 3.7.



Рисунок 3.7 – Механізм перебудови довіри до лікаря

Отже, один етап щоденної перевірки є успішно виконаним. Є багато інших сценаріїв у цій системі. До прикладу, варіант сценарію того, що обраний лікар не є відповідним лікарем для виконання щоденної перевірки чи лікар не може знайти свого пацієнта, чи те, що пацієнт не довіряє своєму лікарю і т.д. Описаний вище сценарій є найуспішнішим.

Система ПППМ повинна запускатись безпечно та надійно після певних етапів симуляції. Згідно поданих у [19] підходів до моделювання, враховано наявність властивостей, що досить важливі для конфіденційних систем догляду за здоров'ям. Таким чином у розроблюваній системі враховано наявність наступних функцій для системи ПППМ:

- розділення прав різних компонентів. Для прикладу, датчики (датчик локації та датчик перевірки інформації) мають право тільки на виявлення необхідної інформації, але не мають права самі створювати інформацію.
- наявність змін в отриманні посвідчення лікаря та встановлення особи пацієнта. Встановлено два параметри шаблону ПППМ: перевірка та встановлення особи (ідентифікація та аутентифікація).

Варті довіри додані механізми судівства та перебудови.

Доступність запропонованої моделі перевірено наступним чином:

ПППМ може відправити повідомлення до прийомного пункту, застерігаючи при цьому, що лікар ще не прибув.

ПППМ може відправити повідомлення до приймального пункту, якщо пацієнт не довіряє поточному лікарю.

Коли ПППМ потребує інформації щодо місця знаходження, датчик місця знаходження є активованим і датчик перевірки є у стані стабільності.

Коли ПППМ отримує інформацію щодо стану здоров'я пацієнта, датчики місця знаходження та датчик перевірки є у режимі спокою.

Надання точних моделей КФС є ускладненим певною кількістю факторів, включаючи неоднорідність, ненадійний обмін даними через мережу, мобільність, а також щільний зв'язок з фізичним середовищем. У поєднанні ці характеристики представляють рівень невизначеності, який важко виявити, використовуючи традиційні формальні прийоми проектування.

Неоднорідність: КФС демонструють високий рівень неоднорідності. Це може включати:

Вузлові датчики з малою кількістю оперативної пам'яті і флеш-пам'яті, приєднаної через ненадійні безпроводні мережі низької пропускну здатності.

Мобільні пристрої такі як розумні телефони, що працюють через технології, засновані на стандартах GSM.

Високоякісні робочі станції та сервери поєднані через надійні провідні мережі, але цей рівень складності вимагає багато підтримки для проектування базових технологій.

Ненадійні мережі: у сучасних КФС елементах програми взаємодіють розподіленим способом по мережі. Більше того багато кіберфізичних програм працюють через спеціальні бездротові мережі і в середовищах з обмеженою потужністю. Для тих КФС, які включають технології бездротової мережі датчиків, використання технологій мережі низької потужності, таких як 802.15.4 [8] та Nordic [12] веде до високого рівня втрати пакетів, що призводить до непередбачуваності

розподіленої взаємодії. Заради успішності будь-який підхід у проектуванні для вбудованих мережевих систем мусить поважати цю неточність.

Мобільність. КФС, що включають мобільні пристрої представляють додаткову складність. У мобільних системах пристрої мають взаємодіяти за можливості, до прикладу, у автомобільній мережі, взаємодії можуть бути можливими, тільки коли два автомобіля знаходяться в радіусі один одного. Більше того рух мобільних вузлів може бути визначеним непередбачуваними факторами, такими як користувацька поведінка.

Міцний зв'язок з навколишнім середовищем: навіть у статично розгорнутих КФС міцне зв'язування з навколишнім середовищем означає, що зовнішні фактори системи вимагають більшої уваги, ніж у традиційних розподілених системах.

Наприклад, у бездротовій мережі джерела зовнішнього втручання можуть мати більший вплив на надійність розподілених взаємодій, ніж будь-який з внутрішніх компонентів системи. Таким чином, необхідно надати гарну підтримку для проектування цих зовнішніх факторів.

Хоча архітектурні елементи описують тільки структурну інформацію про систему, для виконання формальної обробки даних щодо поведінки системи, архітектура має бути коментованою з інформацією про поведінку.

Така архітектура згенерована AcmeStudio з коментарями щодо лінійних змішаних атоматів (ЛЗА) [15] з подальшою обробкою даних за допомогою PNAVer [15]. Було визначено прийнятний діапазон періодів очікування з урахуванням найменшого та найбільшого діапазонів зміни температури під час нагрівання або охолодження.

Обмеження поточної роботи. Як можна було б припустити, існують певні обмеження у проектуванні, до прикладу, властивості безпеки показані нижче не можуть бути перевірені на даний момент.

ПППМ може визначити лише один спосіб діагностики та має перейти в потрібне місце впродовж 10 часових проміжків після виявлення датчика розташування.

Тільки лікарю, якому довіряє пацієнт, дозволяється робити щоденну перевірку, а ПППМ може вирішувати автоматично, чи потрібен пацієнту другий етап перевірки.

Інформація зібрана з пристроїв поступає, як правило, безперервними потоками в реальному часі. Таким чином, є необхідність у інструментах з чіткою семантикою для представлення надійної потокової передачі важливих медичних даних в реальному часі в дротовій або бездротовій мережі.

З пристроями «підключи і працюй» під час виконання дуже важливо пересвідчитись у тому, що введена система залишається надійною і її поведінка передбачувана. Таким чином, є потреба в інструментах та способах для їх включення, що засновані на зразках, з точними та передбачуваними системами, як їх складовими.

Медична інформація щодо пацієнтів та їх історія є конфіденційною, а отже є потреба у інструментах та способах для перевірки та гарантування того, що системи залишаються в безпеці при зловмисних атаках в кібер або фізичному світі.

Отже, для побудови КФС доцільно застосовувати єдину об'єднану схему для визначення та обробки даних щодо таких систем. Дана схема має свої особливості, переваги та застосування єдиної схеми, що дозволяє проектувати та оброблювати високомасштабні та неоднорідні КФС в уніфікований спосіб.

Основні характеристики необхідні для проектування, симуляції та перевірки КФС подано нижче:

Підтримка неоднорідних додатків: КФС зазвичай складається з різноманітних фізичних пристроїв і тому будь-який підхід щодо проектування має бути здатний симулювати неоднорідні логіки одночасно.

Фізичне проектування: середовище фізичного проектування має підтримувати математичні вирази та включати логіки визначення, що полегшує офіційну перевірку (наприклад, перевірку моделі).

Підтримка масштабованості: об'єднаний підхід до проектування має надавати підтримку розвитку, симуляції та перевірки як мало-масштабних так і велико-масштабних КФС.

Підтримка мобільності: для забезпечення підтримки проектування КФС мобільність має бути розглянута, включаючи надання відповідних умовностей для проектування руху мобільних пристроїв.

Включення в існуючі інструменти перевірки та симуляції: необхідна проста у використанні підтримка для підключення середовища проектування до існуючих інструментів перевірки та моделювання.

Лише у повній взаємодії особливостей вищезгаданої об'єднаної схеми можна розвивати КФС завдяки наданню різних рівнів проектування, симуляції та перевірки в вбудованому середовищі. Така система може зменшити зусилля розробки, дозволивши повторне використання існуючих знарядь симуляції та перевірки. Варто відзначити, що сьогоденні зразки та системи підходів для проектування та обробки даних КФС зазвичай відокремлюють кібернетичні та фізичні особливості проекту системи. Через цей поділ стає важко оцінити впливи та компроміси проектних рішень, що перетинають кордони між цими галузями. Подальша розробка об'єднаного каркасу буде зокрема зосереджена на відносинах між проектуванням та обробкою даних кібернетичних та фізичних особливостей.

### 3.2 Алгоритм управління роботою кіберфізичної системи

Як уже зазначалось у попередніх розділах кіберфізичні системи (КФС) – це системи, в яких цифровий обчислювальний алгоритм активно взаємодіє із зовнішнім середовищем [1], а також цифровий компонент збирає та аналізує дані та виконує керуючу функцію. Фізичний компонент містить різноманітні фізичні процеси, а об'єднання цих компонентів дозволяє за допомогою КФС вирішувати ті завдання, які жодна з її компонентів не здатна вирішити поодиночі. КФС складається з фізичних об'єктів та вбудованої комп'ютерної системи, яка збирає та

обробляє цифрові дані за допомогою датчиків та взаємодіє з фізичними процесами через керуючі елементи. Системи керування безпілотними апаратами та автоматизовані промислові системи керування є класичними представниками КФС, оскільки їхня взаємодія з навколишнім середовищем задається цифровим алгоритмом управління. Розробка програм управління КФС ускладнюється тим, що поведінка цифрової частини тісно пов'язана з поведінкою фізичної частини.

Оскільки КФС містять як цифрову, так і фізичну складову, при дослідженні поведінки таких систем недостатньо досліджувати кожен її частину окремо. Потрібно досліджувати їхню спільну роботу та взаємодію, а також враховувати роль оператора КФС.

Алгоритми управління (АУ) КФС мають ряд властивостей, що відрізняють їх від алгоритмів для програмного забезпечення загального призначення:

1. Відкритість. Алгоритм управління взаємодіє з оточуючим середовищем та фізичним компонентом і це призводить до того, що алгоритми управління КФС суттєво відрізняються від алгоритмів управління програмного забезпечення загального призначення. Найпоширеніший випадок докільця для алгоритму управління відкритої системою - це технологічний об'єкт.

2. Подія. Алгоритм управління отримує інформацію від зовнішнього середовища (об'єкту управління) та формує керуючі впливи згідно з отриманими даними. У разі технологічних об'єктів це можуть бути сигнали від датчиків зворотного зв'язку та керуючі команди від оператора.

3. Невизначена тривалість роботи. Заздалегідь визначити тривалість роботи неможливо, оскільки керуюче ПЗ функціонує до надходження спеціальної команди ззовні про вимкнення системи або у разі виникнення специфічної ситуації на об'єкті управління, наприклад, у разі фізичної руйнації об'єкту управління.

4. Синхронізм. Зовнішнє середовище алгоритму управління КФС є реальним фізичним об'єктом, тобто події на об'єкті не відбуваються миттєво, а мають певну тривалість в часі, оскільки об'єкт має інерцію, і тому може миттєво реагувати на керуючі сигнали алгоритму управління. При реалізації програм управління КФС

необхідно синхронізувати реакції з подіями навколишнього середовища, а також важливо зважати на тимчасові затримки.

5. Логічний паралелізм. У довкіллі, з яким взаємодіє КФС, одночасно протікає безліч процесів, які виникають у довільні моменти часу та не залежать один від одного. Алгоритм управління структурно відбиває паралелізм фізичних процесів довкілля. У разі недотримання цієї структури - наприклад, описи реакцій алгоритму управління на події у навколишньому середовищі у вигляді єдиного блоку з перебором всіх можливих випадків - це призведе до низькорівневого програмування та втрати контролю над кодом.

В даному алгоритмі враховано управління всією кіберфізичною системою в сукупності, враховуючи цифрову та фізичну складову. Безперебійна робота всієї системи в цілому залежить від коректного управління роботою кожного окремо взятого її елемента.

При цьому під час роботи всієї кіберфізичної системи потрібно також враховувати всі особливості, а саме взаємодію з оточуючим середовищем, визначення тривалості роботи (в нашому випадку постійно в режимі реального часу), синхронізація з подіями у навколишньому середовищі, а також паралельність процесів.

Важливим також є вирішення проблеми аналізу надійності та процесу відновлення працездатності КФС на основі розподілу життєвого циклу на тимчасові зрізи, що відповідають передаварійному, аварійному, відновленому та спрогнозованому станам. Це можна спроектувати за допомогою графа станів кібернетичних та фізичних компонент, що пов'язують ймовірності повернення до робочого стану з інтенсивностями відмов та відновлень різного типу. На основі цього проекту розробляється діаграма прийняття рішень.

Враховуючи все описане в попередніх розділах алгоритм роботи кіберфізичної системи можна подати у вигляді, показаному на рисунку 3.8.

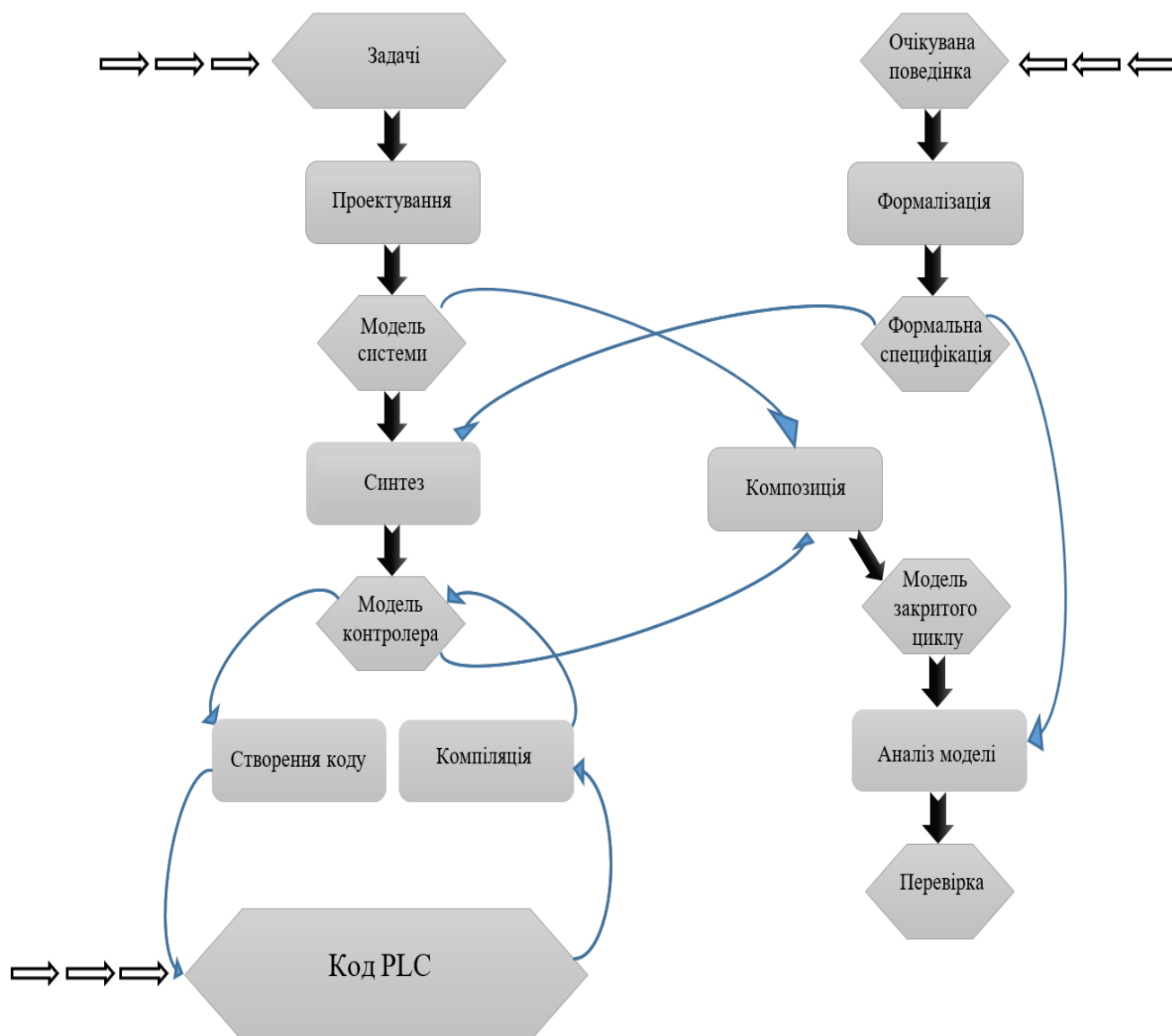


Рисунок 3.8 - Алгоритм управління роботою кіберфізичної системи

### 3.3 Висновки

У третьому розділі роботи відповідно до розробленої формалізованої моделі виконано проектування архітектури ПЗ кіберфізичної системи діагностування стану здоров'я та розроблено алгоритм управління кіберфізичною системою.

Визначено також, що алгоритми управління кіберфізичною системою мають свої особливості, а саме: відкритість, невизначену тривалість роботи, синхронізм, подійність, логічний паралелізм.

## 4 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

### 4.1 Вибір засобів розроблення ПЗ кіберфізичної системи

Для якісного функціонування кіберфізичної системи важливе значення має проміжне програмне забезпечення та вибір мовних засобів для опису програм управління КФС. Проміжне програмне забезпечення виконує роль обслуговуючої ланки, з'єднуючи компоненти КФС між собою. До проміжного програмного забезпечення відносяться: сервери, що керують додатками; веб-сервери, станції керування контентом, системи управління даними, інтерфейси прикладного програмування для приладів побутової електроніки, операційна система Android і т.д.

На сьогоднішній день для опису програм управління КФС використовуються різні мовні засоби:

1. Мови загального призначення. Імперативні мови, такі як мова Сі та його діалекти, Паскаль і т. д. широко використовуються для розробки програм управління кіберфізичними системами. Мова Сі є найпоширенішою мовою програмування для опису керуючого ПЗ кіберфізичних систем. Незважаючи на відсутність у цих мовах мовних засобів, які б враховували специфіку КФС, ці мови програмування часто використовуються при розробці алгоритмів управління КФС. Це викликано наступністю коду: багато з бібліотек, що використовуються, перевикористовуються з проекту в проект, оскільки в них вже виправлені найчастіші помилки, і їх надійність доведена багаторічним процесом налагодження та коректним функціонуванням запозиченого коду в багатьох проектах.

Також для розробки програм управління КФС використовуються об'єктно-орієнтовані мови. До цієї групи входять широко поширені об'єктно-орієнтовані мови (C++, Java, Python тощо). На сьогоднішній день об'єктно-орієнтований підхід переважає у розробці ПЗ загального призначення, а також широко використовується для розробки спеціалізованих програмних систем (у тому числі програм управління КФС).

Однак, якщо при розробці ПЗ загального призначення об'єктно-орієнтовані мови привертають увагу своєю гнучкістю і широким спектром технологій, при використанні їх для управління КФС, розробники стикаються з низкою труднощів. Ці проблеми викликані зі згаданою раніше специфікою алгоритмів управління цих систем. Для складних технологічних систем зростає трудомісткість використання об'єктно-орієнтованих мовних засобів розробки програм управління КФС, керуючі програми яких використовують операції з тимчасовими інтервалами, а зовнішні події, що надходять, призводять до зміни поведінки таких програм. Зовнішні сигнали, що надходять, від датчиків обробляються паралельно. Всі ці особливості призводять до того, що при спробі описати алгоритм в об'єктно-орієнтованому стилі відбувається експоненційне зростання складності логічних зв'язків у коді, зменшується надійність результуючого коду і його стає неможливо модифікувати та супроводжувати. Ці проблеми не усуваються і при використанні ООП-мов, спеціалізованих для розробки КФС, таких як мова Eiffel. Мова Eiffel із вбудованими засобами контрактного програмування використовується у розробках систем управління КФС, проте не є особливо поширеною.

Функціональні мови програмування (Лісп, Ерланг, Хаскель і т. д.) також використовуються для програмування кіберфізичних систем, оскільки надають широкі можливості для опису паралелізму процесів, що відбуваються. Однак до недоліків функціональних мов програмування належить необхідність постійного автоматичного виділення та звільнення пам'яті (наявності збирача сміття). Також непередбачуваний порядок виклику функцій може призвести до проблем під час введення-виведення даних на периферійні пристрої.

2. Предметно-орієнтовані мови програмування. Предметно-орієнтовані мови програмування (domain specific language - DSL), на противагу мовам загального призначення, розробляються для використання у конкретній галузі застосування. Синтаксис і семантика таких мов враховують особливості тієї сфери, де вони застосовуються.

Широко поширені графічні мови програмування (G LabVIEW, мова Python, MATLAB (Simulink)). Графічні мови проявляються великою кількістю виразних засобів і можливістю підбору «графічних метафор». Однак у порівнянні з тестовими мовами програмування, графічні мови справляються слабше зі збільшенням архітектури програм, а також виникає проблема пошуку відповідних «метафор». Наочність коду, що розробляється, погіршується зі збільшенням складності програми.

В окрему групу варто виділити предметно-орієнтовані мови програмування стандарту EN 61131. Стандарт містить п'ять мов програмування (дві текстові та три графічні) та застосовується у створенні розробки автоматизованих систем управління під час програмування логічних контролерів. Однак мови EN 61131 мають ряд недоліків. Низька промовистість цих мов призводить до зростання трудомісткості програмування при ускладненні програм. Також через низьку виразність розробники часто змушені реалізовувати частину керуючої програми мовами загального призначення (наприклад, Сі), або ж користуватися розширеннями цих мов. Розширення мов EN 61131 найчастіше пропонують компанії, які виробляють ПЛК, що призводить до труднощів інтеграції коду, реалізованого мовами EN 61131, в сторонні керуючі системи. Найчастіше розробник програми, розпочавши розробку на обладнанні конкретного виробника, згодом не може вже від нього відмовитися.

Також застосовують концепцію процесорієнтованих мов програмування для розробки керуючих програм КФС. Процесорієнтовані мови ґрунтуються на моделі кінцевого автомата і практична їх ефективність була доведена низкою проектів. Мова Reflex є однією із процесів-орієнтованих мов, що активно розвиваються на даний момент.

В основі процес-орієнтованих мов (у тому числі й мови Reflex) лежить математична модель гіперпроцесу - множини взаємодіючих процесів з можливими станами. Гіперпроцес - це розширення моделі кінцевого автомату. Використання моделі гіперпроцесу дозволяє відобразити перелічені раніше особливості

алгоритмів управління КФС: відкритість, синхронізм, циклічність, подійність та логічний паралелізм.

Мовою Reflex розробляються керуючі програми для робототехніки та промислової автоматизації. Переваги мови Reflex:

- Сі-подібний синтаксис. Це дозволить полегшити його вивчення тим розробникам, які вже мали досвід із Сі-подібними мовами;
- англомовний синтаксис;
- програма складається із набору рівнозначних процесів;
- процеси у мові Reflex виконуються паралельно;
- з метою інкапсуляції, зовнішні дані про стан процесу, які можуть вимагати інші процеси, обмежені. Процес може дізнатися про інший процес, чи він активний зараз, пасивний або ж завершив свою роботу з помилкою;
- наявність служби часу та операції з тимчасовими інтервалами;
- включені мовні засоби, які дозволяють відображати показання датчиків та значення сигналів керування на внутрішні змінні програми.

Мова Reflex використовується в проектах розробки керуючих програм промисловими КФС. Було доведено зручність його використання, адекватність мови специфіці завдань розробки програм КФС, що управляють, і простота супроводу вже створеного ПЗ.

В даному дослідженні використано мову програмування C++, з можливою інтеграцією на мобільні пристрої із кросплатформним або нативним забезпеченням під різні операційні системи, зокрема Android.

Для розробки мобільної складової було обрано середовище програмування Android Studio, що має всі необхідні інструменти. Android це операційна система, яка працює на основі ядра Linux, має рівень проміжного програмного забезпечення, вбудовані бібліотеки, що постійно оновлюються та поповнюються. Завдяки цим бібліотекам є можливість здійснювати обмін та оновлення данми, сенсорне використання датчиків, зміна орієнтації екрану (акселерометра) та його відображення, використання аудіо- та відеоконтенту, СУБД SQLite, доступна

підтримка GSM, EDGE, 3G, 4G, Bluetooth, Wi-Fi, фото- та відеокамери, GPS, компаса. ОС Android може використовуватися на пристроях із різними розмірами екрана та іншими технічними характеристиками, тому вона поставляється з набором інструментів, які допомагають адаптуватися до конкретного пристрою. Дана операційна система здійснює забезпечення роботи додатків, які розробники КФС вбудовують у свої системи.

Перевагами даної операційної системи є:

- відкритість - Android дозволяє отримати доступ до основних функцій мобільних пристроїв за допомогою стандартних API викликів;
- необмеженість - можна об'єднати інформацію з Інтернету за даними телефону, наприклад контактну інформацію або дані про географічне положення, щоб отримати нові можливості;
- рівноправні додатки - для Android немає різновидів між основними додатками телефону та сторонніми програмним забезпеченням - можна змінити навіть програму для набору номерів або заставку екрана;
- можливість швидко та легко створювати додатки - наявність спеціального набору інструментів для розробника, які потрібні для створення та запуску додатка Android, в тому числі емулятор наявного приладу та розширені інструменти для відлагодження.

Android також має й інші функціональні можливості, наприклад, віртуальна Java-машина Dalvik з низькими потребами пам'яті. Dalvik дозволяє підтримувати одночасну роботу кількох додатків і відкриває файли у спеціальному форматі dex, оптимізованому для мобільних пристроїв.

Для розробки Android-додатків доцільно використовувати інтегроване середовище розробки Android Studio. Дана платформа має весь необхідний функціонал для якісного програмування.

## 4.2 Розроблення ПЗ кіберфізичної системи

Як уже зазначалось в передніх підпунктах важливе значення для функціонування всієї кіберфізичної системи має проміжне програмне забезпечення. Таким програмним забезпеченням для нашої системи діагностування стану здоров'я є мобільний додаток, завдяки якому здійснюється зв'язок із пацієнтом та лікарем. В результаті цієї взаємодії лікар має повну інформацію про стан хворого та може приймати певні рішення стосовно подальших дій.

Додаток має такі модулі:

- модуль даних;
- модуль перевірки даних;
- модуль авторизації та аутентифікації;
- модуль довіри;
- модуль щоденного моніторингу показників здоров'я;
- модуль відправки даних.

Переглянемо ці модулі:

Модуль даних – призначений для збереження усіх даних, отриманих з датчиків, модуля відправки даних та бази даних і налаштувань КФС.

Модуль перевірки даних – використовується для контролю достовірності отриманих показників, визначених у допустимих межах, та відповідності до структурної цілості даних.

Модуль авторизації та аутентифікації – за допомогою цього модуля проходить авторизація та аутентифікації користувачів системи відповідно до прийнятих протоколів безпеки.

Модуль довіри – призначений проводити перевірку на довіру пацієнта до лікаря на основі аналізу відповідних дій з боку пацієнта та перебудувати довіру, якщо відбулась зміна лікаря.

Модуль щоденного моніторингу показників здоров'я відповідає за отримання, обробку та інтерпритування даних з датчиків тиску, пульсу, насиченості киснем, рівня цукру, температури.

Модуль відправки даних – забезпечує прийом та передачу даних на вимогу чи в автоматичному режимі, якщо показники перевищують критично допустимі межі, або обмін даними відбувається відповідно до раніше зазначеного розкладу.

Схема модулів мобільного додатку подана на рисунку 4.1.

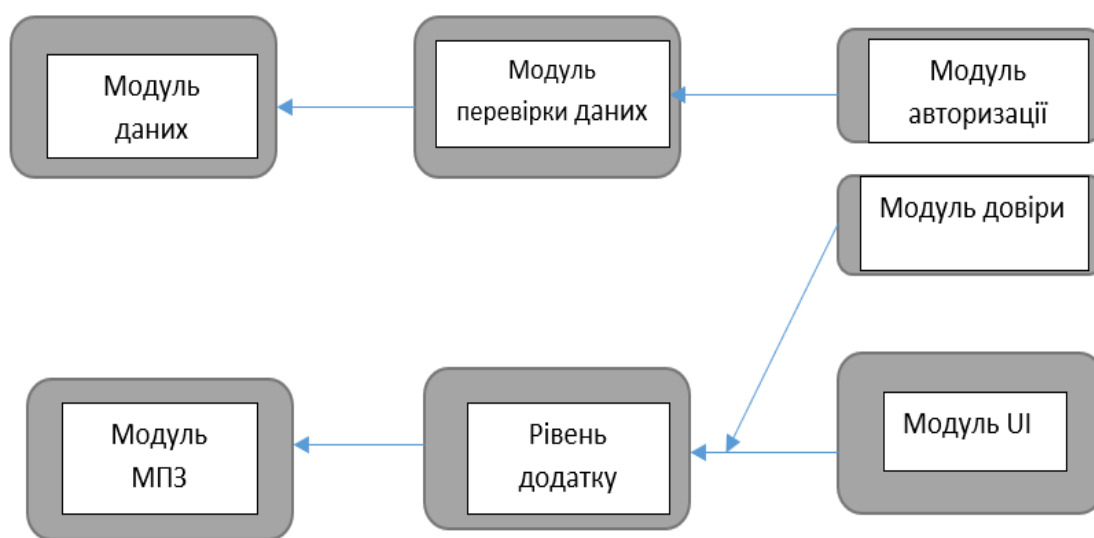


Рисунок 4.1 – Схема модулів мобільного додатку

Інтерфейс мобільного додатку розроблено із врахуванням дизайнерських вимог, а саме:

- простота візуалу (використання елементів, які звичні для користувача, наприклад, вертикальний календар горизонтальної);
- зниження шуму інтерфейсу. Це означає, що користувач повинен бачити спочатку найважливіші елементи, другорядний функціонал ховається глибше;
- головні елементи повинні бути масштабними;
- виведення даних у зручному форматі;

- розміщення заклику до дії, який підштовхне користувача до необхідного розробника сценарію;
- менше тексту та більше візуалізації, тобто користувач повинен бачити, куди він потрапив і що потрібно робити.

Робота з додатком дуже проста.

При запуску додатку відкривається

Головне вікно (рисунок 4.2), що містить календар, основні пункти меню, що відображають модулі додатку.

За допомогою цих пунктів меню можна здійснити всі необхідні налаштування: обрати рівень довіри до лікаря, вибрати необхідний параметр контролю за станом здоров'я, відправити необхідний звіт своєму лікуючому лікарю або диспетчеру.

Також на Головному вікні розміщені обрані кнопки необхідних показників здоров'я. Дані кнопки мають досить великий розмір.

При натисненні на них також автоматично відбувається надсилання звіту про той чий інший параметр здоров'я.

Також, оскільки всі вимірювання відбуваються в режимі реального часу, то досить зручним і необхідним є наявність календаря, де можна обирати дату.

Також при відсутності надсилання даних в якийсь період лікарем може прийматись необхідне рішення щодо пацієнта (у випадку важких станів в анамнезі).

На рисунку 4.3 показано вікно з інформацією про серцеву активність пацієнта.



Рисунок 4.2 – Головне вікно

В даному вікні відображається інформація про серцеву діяльність, а саме максимальний та мінімальний рівень пульсу в часовому вимірі.

А також визначено середній рівень пульсу, що відобрається великим значенням по центру вікна.

Також важливим показником стану пацієнта, зокрема його серцево-судинної системи є показник насиченості крові киснем.

Дані вимірювання також проводяться постійно і заміри відправляються автоматично у випадку відхилень від норми.



Рисунок 4.3 – Вікно з інформацією про серцеву активність пацієнта

В даному додатку передбачено також можливість використання системи і для приватних осіб в особистих потребах. А тому передбачено також можливість вимірювання руху, тобто кількості кроків та рівень використаних калорій (рисунок 4.4).

Отже, як передбачалось дане програмне забезпечення є досить легким та простим у використанні, що дозволяє його інтегрувати в кіберфізичну систему діагностування стану здоров'я пацієнтів з різним анамнезом.



Рисунок 4.4 – Вікна з вимірюванням руху та калорій

#### 4.3 Метрологічні результати роботи ПЗ кіберфізичної системи

Коректна робота програмного забезпечення у КФС має відбуватись на всіх рівнях. Для цього доцільно використати системи перевірки, зокрема для рівня системи, проміжного програмного забезпечення, інтелектуального первинного перетворювача тощо.

У галузі ПЗ визначені наступні основні критерії якості [48]:

- правильність;
- ефективність;
- цілісність;
- зручність використання;
- зручність підтримки;
- гнучкість;

- зручність тестування;
- можливість повторного використання.

Разом з тим кількість вимірювальних каналів в одній КФС навіть у найближчі роки може становити від сотні тисяч до сотень тисяч одиниць. При чому вимірювальні канали можуть набувати таких властивостей:

- вимірювальні канали можуть включати датчики різних величин (як електричних, так і неелектричних, причому територіально вони можуть бути знаходись на далеких відстанях один від одного;
- у процесі експлуатації кіберфізичні системи можуть розвиватися, а кількість каналів та різноманітність вимірюваних величин – зростатиме;
- у системах можуть бути використані «хмарні технології»;
- вимірювальна інформація може передаватися на великі відстані провідними або бездротовими каналами;

Разом з цим, доступ до датчиків для перевірки (калібрування) у більшості випадків досить ускладнено, причому найбільше до датчиків неелектричних величин.

Аналіз вищезгаданих особливостей призводить до висновку, що підтримувати метрологічно справний стан вимірювальних каналів КФС за допомогою традиційних методів метрологічного забезпечення економічно неефективно.

Зазвичай призначають інтервал між процедурами метрологічного обслуговування, а саме калібрування кожного вимірювального каналу системи через 2 – 4 роки.

Загалом можна виділити 3 специфічні завдання метрологічного забезпечення КФС:

- калібрування на місці експлуатації;
- оцінка якості системи вцілому;
- діагностика, що базується на моделі.

Калібрування пропонується здійснювати за допомогою вбудованих еталонів,

в т.ч. виконаних на основі фундаментальних властивостей речовин, а також дистанційно за допомогою керованих заходів.

Оцінку якості системи можна реалізувати за допомогою «об'єктивної кваліметрії» і «безшовних» методів, а діагностику - з використанням метрологічних досліджень, програмного забезпечення та томографії. Для метрологічного забезпечення корисно використовувати прискорені випробування та організацію в КФС самоконтрольованих, самоадаптованих, самокоректованих, а в перспективі - самовпорядних підсистем.

Слід зазначити, що наведені методи та засоби мають узагальнюючий характер, а значна їх частина може бути реалізована лише для обмеженої групи вимірюваних величин, зокрема, електричних величин та температури. При цьому використання КФС заходів підвищеної точності обмежено їх меншою - порівняно з іншими компонентами - метрологічною надійністю.

Отже, при планованому для багатьох КФС терміні життя десятки років їх модернізація має відбуватися без зупинення функціонування. Наприклад, заміна застарілого датчика на більш сучасний, що пройшов перевірку при випуску із заводу, (або, в крайньому випадку, на аналогічний замінюваному, але повірений) повинна здійснюватися по черзі в кожному каналі. При цьому в деяких випадках можливе вибіркоче калібрування в окремих точках робочого діапазону на місці установки.

Іншими словами, процедура періодичного калібрування датчиків, що виконується метрологами, в період експлуатації повинна бути, як правило, виключена. Такий підхід передбачає, по-перше, посилення вимог до метрологічної надійності виробів, що входять у структуру КФС, а по-друге, організацію метрологічного самоконтролю, причому як окремих датчиків, так і інших компонентів загалом.

Реалізацію вимог до метрологічної надійності мають забезпечувати технологія та культура виробництва, але лише результати прискорених випробувань дозволять судити про їхнє виконання. Такі випробування нерідко

використовуються в практиці метрологів, відомі нормативні документи, зокрема, орієнтовані на метрологічну сумісність результатів таких випробувань. Черговість метрологічного обслуговування каналів, що в основному передбачає заміну датчиків, повинна встановлюватися на підставі поточних даних метрологічного самоконтролю.

У процесі розробки програмного продукту враховуються усі важливі критерії та їх пріоритети, у результаті чого підбирається модель управління якістю ПЗ, яка передбачає використання конкретних принципів розробки, метрик та методів тестування.

На системному рівні ПЗ виконуватиме організацію роботи КФС, формування завдання та контроль правильності його виконання, розподіл завдань між підсистемами тощо.

На рисунку 4.6 подано алгоритм перевірки ПЗ КФС [49]. Підсистема контролю, як основна ланка КФС, здійснює ініціювання перевірки ПЗ на системному рівні.

Під час перевірки програмного забезпечення підсистеми, то дана системи контролю має бути зупинена. При відсутності виявлення помилок здійснюється подальша робота системи в звичайному режимі (в нашому випадку в режимі реального часу постійно) до наступного періоду перевірки. Система буде працювати згідно встановленого стандарту.

Якщо в результаті перевірки виявлено помилки чи збої у програмному забезпеченні системи, то система намагатиметься їх виправити [49].

Для здійснення аналізу роботи кіберфізичної системи було використано алгоритм вказаний на рисунку 4.6.

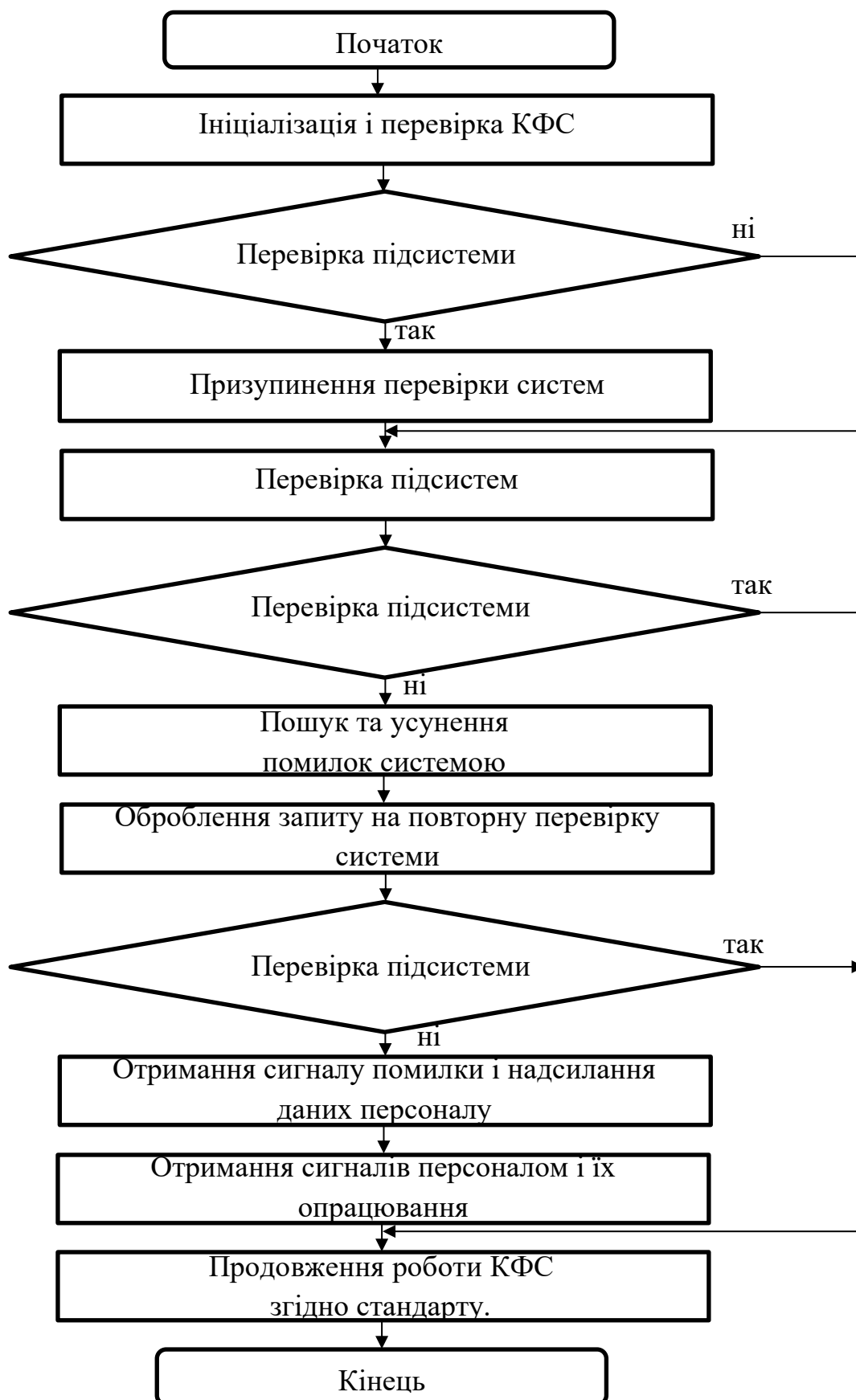


Рисунок 4.6 – Алгоритм перевірки ПЗ КФС

Отже, на основі проведеного аналізу бачимо, що описані властивості мають бути виконані в теорії, не завжди в реальних умовах є можливість здійснити їх перевірку та верифікацію. Скориставшись методом наукової перевірки бачимо, що причина може бути у тому, що здатність сервера обраховувати є досить обмеженою і перевірка нашого прикладу є за межею можливостей інструменту. Інше обмеження проектування полягає у тому, що не було спроектовано обмін даними серед складових системи через обмеження інструменту.

Якщо втілити в життя ці системи охорони здоров'я, то можна побачити, що розробка інструментів для визначення та осмислення систем насправді піднімає чимало викликів при проектуванні КФС.

В реальності, люди мають різні рівні лікарської критичності, відповідно інформація, зібрана з пристроїв має різні рівні важливості. Однак ці пристрої обмінюються даними через спільну інфраструктуру і як визначити рівні клінічної критичності, як поєднати рівні важливості інформації з пристроїв з ресурсами мережі, і недороге розгортання на вимогу є одними з викликів для проектування інструментів медичних пристроїв з типом приєднанням «підключи – працюй одразу» у майбутньому.

#### 4.4 Висновки

Отже, в даному розділі проведено попередній аналіз існуючих інструментальних засобів розроблення ПЗ та існуючих апаратних рішень. На основі проведено аналізу було здійснено обґрунтований вибір засобів розроблення ПЗ та апаратних рішень, які є найбільш ефективними для реалізації кіберфізичної системи. Також було здійснено розробку програмного забезпечення кіберфізичної системи для діагностування стану здоров'я. Запропоновані рішення у попередніх розділах магістрської роботи були взяті до уваги та використовувались.

## ВИСНОВКИ

Отже, на основі проведеного дослідження можна зробити наступні висновки.

Кіберфізичні системи увійшли в життя майже кожної пересічної людини. Моделювання, проектування та розробка кіберфізичних систем мають важливе значення в умовах сьогодення. Крім того, що в сучасному світі відбувається так зване старіння населення, ще однією вагомою причиною для розробки кіберфізичних систем діагностування стану здоров'я в режимі реального часу є життя в постійному стресовому стані (пандемія через коронавірус, військові дії на території України тощо).

Зі старінням населення виникає потреба у більш раціональному використанні систем медичної допомоги, включаючи засоби, медичні дані та інформацію. На даний момент багато літніх людей потребують підтримки у мобільності пересування, тож вони змушені переїжджати у будинки пристарілих. Крім того деякі люди, зокрема й літні, з когнітивними порушеннями потребують щоденного контролю за прийомом ліків і стеження за станом здоров'я.

Із засобами КФС та інфраструктурою ці люди зможуть залишатись вдома. Фізіологічні параметри, критичні для медичної підтримки здоров'я, можуть відслідковуватись віддалено. З домашнім медичним забезпеченням люди можуть підтримувати їхню незалежність без втрати приватності і до того ж зменшити витрати на догляд за ними.

У першому розділі здійснено аналіз предметної області, визначено мету та виокремлено завдання дослідження. Визначено, що на даний час немає формального і конкретного визначення поняття кіберфізичної системи, хоча у низці робіт сформульовані характерні властивості таких систем. Принциповою властивістю КФС є включення в їх структуру інтелектуальних вузлів обробки інформації, що відносить їх до розподілених інтелектуальних систем.

У другому розділі подано аналіз особливостей кіберфізичних систем в системі охорони здоров'я, а також розроблено формалізовану модель для діагностування

стану здоров'я. Встановлено, що КФС складніші системи управління в порівнянні з усіма існуючими системами управління діагностикою, включаючи ІТС. КФС вважаються розподіленими мережевими системами, але відрізняються від комунікаційних систем наявністю інтелектуальних вузлів і властивістю самовіریفікованості та онлайн модифікації потоків. У звичайних мережевих системах це здійснюється ззовні користувачем.

У третьому розділі описано архітектуру кіберфізичної системи для діагностування стану здоров'я в режимі реального часу. Досвід застосування КФС у сфері діагностики стану здоров'я людини дає підстави бачити їх і у сфері призначення лікування. КФС є стійкими до кібератак, завдяки наявності автономного управління та принципів саморегуляції.

В цілому аналіз можливостей КФС дозволяє сподіватися на прогрес у освоєнні інтеграції виконавчих та сенсорних пристроїв у єдиний комплекс, перетворенні окремих інтелектуальних вузлів у класичній автоматизованій системі керування. Продуктивним слід вважати і продовження всіх досліджень у галузі КФС, причому це в однаковій мірі стосується і теорії, і технологій, і електронного супроводу інформаційних процесів

В четвертому розділі подано розробку програмного забезпечення на основі теоретичного дослідження, здійсненого у попередніх розділах. На основі проведеного аналізу та здійснених розробок можна зробити висновок, про те, що не завжди описані теоретично властивості в реальних умовах мають можливість пройти перевірку та верифікацію. Якщо робити висновки, скориставшись методом наукової перевірки, то можна побачити, що причина може бути обмеженій здатності сервера обраховувати і перевірка спроектованої кіберфізичної системи є за межею можливостей інструментарію. Інше обмеження проектування полягає у тому, що не було спроектовано обмін даними серед складових системи через обмеження інструменту.

Якщо втілити в життя ці системи охорони здоров'я, то можна побачити, що розробка інструментів для визначення та осмислення систем насправді піднімає чимало викликів при проектуванні КФС.

В реальності, люди мають різні рівні лікарської критичності, відповідно інформація, зібрана з пристроїв має різні рівні важливості. Однак, ці пристрої обмінюються даними через спільну інфраструктуру, тому визначення рівнів клінічної критичності, поєднання рівнів важливості інформації із пристроїв з ресурсами мережі, а також швидкісне реагування на вимогу є одними з викликів проектування інструментів для медичних пристроїв з типом приєднанням «підключи – працюй одразу» у майбутньому.

Отже, в основі подальших досліджень можна розглядати дослідження інструментів, що можуть використовуватись для проектування та осмислення обміну даних та взаємодії у розповсюджених КФС. Іншим напрямком досліджень може бути проектування та перевірка безпечності мережевих потоків. Кожен з цих індивідуальних підсистем відіграє важливу роль у наданні об'єднаного каркасу для визначення та осмислення КФС.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Cardin O. Classification of cyber-physical production systems applications: proposition of an analysis framework. *Computers in Industry*. 2019. Vol. 104. P. 11–21.
2. Boubekour M. Industrial applications for cyber-physical systems. *First International Conference on Embedded & Distributed Systems*. 17-18 Dec. 2017. DOI: 10.1109/EDIS.2017.8284020.
3. Grispos G., Glisson W.B. and Choo KK. R. Medical Cyber-Physical Systems Development: A Forensics-Driven Approach. In Proceedings of IEEE. *ACM Conference on Connected Health: Applications, Systems and Engineering Technologies (CHASE 2017)*. Philadelphia, Pennsylvania, USA. 17-19 July. 2017. P. 108-114. <http://dx.doi.org/10.1109/CHASE.2017.48>.
4. Jiafu Wan<sup>1, 2</sup>, Hehua Yan<sup>2</sup>, Hui Suo<sup>2</sup> and Fang Li<sup>1</sup> 1. Advances in Cyber-Physical Systems. Research School of Computer Science and Engineering, South China University of Technology Guangzhou, China DOI: 10.3837/tiis.2011.11.001.
5. C. Sankavaram, A. Kodali and K. Pattipati, An integrated health management process for automotive cyber-physical systems. *International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC)*. 2013. P. 82-86, doi: 10.1109/ICCNC.2013.6504058.
6. Kyoung-Dae Kim and P.R. Behrad Bagheri, Shanhu Yang, Hung-An Kao, Jay Lee. An Overview and Some Challenges in Cyber-Physical Systems Some Challenges in Cyber-Physical Systems. *Cyber-physical Systems Architecture for Self-Aware Machines in Industry 4.0 Environment, IFAC-Papers On Line*. 2015. Vol. 48. Issue 3. P. 1622-1627, ISSN 2405-8963, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.318>.
7. Hailing Fu, Zahra Sharif-Khodaei, M.H. Ferri Aliabadi. An energy-efficient cyber-physical system for wireless on-board aircraft structural health monitoring. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2019. Vol. 128. P. 352-368, ISSN 0888-3270, <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2019.03.050>.

8. Insup Lee, Oleg Sokolsky. Medical Cyber Physical Systems. *47th Design Automation Conference (DAC '10)*. P.743-748. <http://dx.doi.org/10.1145/1837274.1837463>.
9. Arthur Gatouillat, Youakim Badr, Bertrand Massot, Ervin Sejdić. Internet of Medical Things: A Review of Recent Contributions Dealing with Cyber-Physical Systems in Medicine. *IEEE internet of things journal*, IEEE. 2018. 5 (5). P.3810 - 3822. [10.1109/JIOT.2018.2849014](https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2849014). hal-01836236.
10. Silva LC, Almeida HO, Perkusich A, Perkusich M. A Model-Based Approach to Support Validation of Medical Cyber-Physical Systems. *Sensors*. 2015.15(11). P.27625-27670. <https://doi.org/10.3390/s151127625>.
11. Li, W., Meng, W., Su, C. & Kwok, L. F. Towards false alarm reduction using fuzzy if-then rules for medical cyber physical systems. 2018. *IEEE Access*. 6, P. 6530-6539.
12. AlZubi, A.A., Al-Maitah, M. & Alarifi, A. Cyber-attack detection in healthcare using cyber-physical system and machine learning techniques. *Soft Comput* **25**, 12319–12332 (2021). <https://doi.org/10.1007/s00500-021-05926-8>.
13. Guo, K., Li, N., Kang, J., & Zhang, J. Towards efficient federated learning-based scheme in medical cyber-physical systems for distributed data. *Software: Practice and Experience*. 51(11). 2021. P. 2274-2289.
14. FENG, Jianshe, et al. Development of An Integrated Framework for Cyber Physical System (CPS)-Enabled Rehabilitation System. *International Journal of Prognostics and Health Management*. 2021. 12.4.
15. Silva, L. C., Perkusich, M., Bublitz, F. M., Almeida, H. O., & Perkusich A. A model-based architecture for testing medical cyber-physical systems. *In Proceedings of the 29th Annual ACM Symposium on Applied Computing. (March 2014)*. 2014. P. 25-30.
16. Ю.Є. Грудзинський. Технології сучасних кіберфізичних систем: навч. посіб. для студ. *Електронні текстові дані*. укладач Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 327 с.

17. Özdemir, Vural. The big picture on the «AI turn» for digital health: *The internet of things and cyber-physical systems*. OMICS: A Journal of Integrative Biology. 2019. 23.6: 308-311.
18. Melnyk A.O. Kiberfizychni systemy: problemy stvorennia ta napriamy rozvytku *Visnyk Nats. un-tu "Lvivskapolitekhnika"*. 2014. № 806: Kompiuterni systemy ta merezhi. S. 154–161.
19. Zeravik J. Various Instrumental Approaches for Determination of Organic Acids in Wines. *Food Chemistry*. 2016. Vol. 194. P. 432–440.
20. Arugula M. A. Biosensors for Detection of Genetically Modified Organisms in Food and Feed .*Genetically Modified Organisms in Food*. 2016. P. 97–110.
21. Yáñez-Sedeño P. Biosensors in Forensic Analysis. *Analytica Chimica Acta*. 2014. Vol. 823. P. 1–19.
22. Li E, Wang B, Yang L, Peng Y, Du Y, Zhang Y, Chiu Y-J. GPU and CPU cooperative acceleration for face detection on modern processors. *Presented at the 2012 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME)*. 2012. P. 769–775.
23. Yeboah-ofori A., Abdulai J., Katsriku F. Cybercrime and Risks for Cyber Physical Systems: A Review. Preprints 2018. <https://doi.org/10.20944/preprints201804.0066.v1>.
24. Zhybak M. Creatinine and Urea Biosensors Based on a Novel Ammonium Ion-Selective CopperPolyaniline Nano-Composite. *Biosensors and Bioelectronics*. 2016. Vol. 77. P. 505–511.
25. Ghosh T., Sarkar P., Turner A. P. A Novel Third Generation Uric Acid Biosensor Using Uricase Electro-Activated with Ferrocene on a Nafion Coated Glassy Carbon Electrode. *Bioelectrochemistry*. 2015. Vol. 102. P. 1–9.
26. Zinchenko O. A., Marchenko S. V., Sergeyeva T.A. Application of Creatinine-Sensitive Biosensor for Hemodialysis Control. *Biosensors and Bioelectronics*. 2012. Vol. 35. P. 466–469.
27. A. Lavric, A. I. Petrariu and L. Anchidin. Internet of Things Software

Defined Radio Technology for LoRaWAN Wireless Communication: A survey. *12th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*. 2021. P. 1-4. doi: 10.1109/ATEE52255.2021.9425135.

28. Bahadır E. B., Sezgentürk M. K. Electrochemical Biosensors for Hormone Analyses. *Biosensors and Bioelectronics*. 2015. Vol. 68. P. 62–71.

29. D. Yang, A. Singh, H. Wu Comparison of Biosensor Platforms in the Evaluation of High Affinity AntibodyAntigen Binding Kinetics. *Analytical Biochemistry*. 2016. Vol. 508. P. 78–96.

30. N. P. Manchev, K. K. Angelov, P. G. Kogias and S. M. Sadinov, Development of Multichannel LoRaWAN Gateway for Educational Applications in Low-Power Wireless Communications. *IEEE XXVIII International Scientific Conference Electronics (ET)*. 2019. P. 1-4, doi: 10.1109/ET.2019.8878492.

31. Manu S. Mannoor. Graphene-based wireless bacteria detection on tooth enamel. *Nature Communications*. 2012. Vol. 3. Article number: 763.

32. Martsenyuk V., Sverstiuk A. Cyber-physical model of the immunosensor system at the hexagonal lattice with the use of differential equations of the population dynamics. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*. 2019. № 1. P. 75–83.

33. PICASSO Opportunity Report. Towards Enhanced EU-US ICT Pre-Competitive Collaboration. PICASSO Project; 2017. URL: [http://www.picasso-project.eu/wp-content/uploads/2017/03/PICASSO-OpportunityReport\\_March-2017\\_revMar19.pdf](http://www.picasso-project.eu/wp-content/uploads/2017/03/PICASSO-OpportunityReport_March-2017_revMar19.pdf).

34. Ouerhani Y, Jridi M, Al Falou A. Fast face recognition approach using a graphical processing unit “GPU”. *In: IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques*. 2010. P.80–84.

35. Sverstiuk A.S. Modeliuvannia kiberfizychnoi imunosenornoj systemy na priamokutnii reshittsi z vykorystanniam reshitchastykh dyferentsialnykh rivnian iz zapiznenniam. *Sensorna elektronika ta mikrosystemni tekhnolohii*. 2019. № 2. S. 53–65.

36. Nawaf Hazim Barnouti, Sinan Sameer Mahmood Al-Dabbagh, Mustafa Abdul Sahib Naser. Pathfinding in Strategy Games and Maze Solving Using A Search Algorithm. *Journal of Computer and Communications*. 2016. Vol.4. No.11. P.15 - 25.
37. Martseniuk V.P. Pro model kiber-fizychnoi systemy z atakamy stanu ta vymiriuvan na osnovi stokhastychnykh riznytsevykh rivnians / A.S. Sverstiuk. *Zakhyst informatsii*. 2019. Tom 21. № 1. C. 5–12.
38. J. J. Rodriguez, L. I. Kuncheva and C. J. Alonso, "Rotation Forest: A New Classifier Ensemble Method," in *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 28, no. 10, pp. 1619-1630, Oct. 2006, doi: 10.1109/TPAMI.2006.211.
39. Sverstiuk A.S. Pro kiber-fizychnu model imunosensornoj systemy na priamokutnii reshitti z vykorystanniam riznytsevykh rivnians populiatsiinoj. *Visnyk TNTU*. 2018. № 4. S. 147–161.
40. Melnik A. Cyber-physical systems multilayer platform and research framework. *Advances in cyber-physical systems*. 2016. Vol.1. Number 1. R. 1–6.
41. Berger C. , A. Hees, S. Braunreuther, G. Reinhart Characterization of Cyber-Physical Sensor Systems . *Procedia CIRP*. 2016. Vol. 41. P. 638–643.
42. Cheng Kwang-Ting, Wang Yi-Chu. Using mobile GPU for general-purpose computing; a case study of face recognition on smartphones. In: *Proceedings of 2011 International Symposium on VLSI Design, Automation and Test*. 2011. P. 1–4, doi: 10.1109/VDAT.2011.5783575.
43. Rathee K. , V. Dhull, R. Dhull Biosensors Based on Electrochemical Lactate Detection: A Comprehensive Review. *Nauka ta naukoznavstvo. Biochemistry and Biophysics Reports*. 2016. № 3. Vol. 5. P. 35–54. ISSN 0374-3896.
44. Khaitan S.K., McCalley J.D. Design techniques and applications of cyberphysical systems: A survey *IEEE Systems Journal*. 2014. № 9(2). P. 350-365. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2014.2322503>.
45. Faraone J, Gambardella G, Boland D, Fraser N, Blott M, Leong PHW. Customizing low-precision deep neural networks for FPGAs. In: *28th International Conference on Field Programmable Logic and Applications (FPL), IEEE*. 2018. P. 97–

102.

46. Lee, Ming-Chang. Software Quality Factors and Software Quality Metrics to Enhance Software Quality Assurance. *British Journal of Applied Science & Technology*. 2014 4. 10.9734/BJAST/2014/10548.

47. Ольга Олесків. Вимірювальна техніка та метрологія. *Міжвідомчий науково-технічний збірник* / відп. ред. Б. І. Стадник. Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка». 2015. Випуск 76. С. 132–137.

48. Lu Y. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. *Journal of Industrial Information Integration*. 2017. № 6. P. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2017.04.005>.

49. Bresnick J. Data Governance Key to Hospital's Natural Language Query Project. URL: <https://healthitanalytics.com/news/data-governance-key-to-hospitalsnatural-language-query-project>. (дата звернення: 12.03.2022).

50. Zhang W., Asiri A. M., Liu D. Nanomaterial-Based Biosensors for Environmental and Biological Monitoring of Organophosphorus Pesticides and Nerve Agents . *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 2014. Vol. 54. P. 1–10.

51. Tracy T., Fu Y., Roy I., Jonas E., Glendenning P. Towards Machine Learning on the Automata Processor. In: Kunkel J., Balaji P., Dongarra J. (eds) *High Performance Computing. ISC High Performance 2016. Lecture Notes in Computer Science*, 2016. Vol 9697. Springer, Cham. P. 200-218. doi:10.1007/978-3-319-41321-1\_11.

52. Y. Kim, D. Shin, J. Lee, Y. Lee and H. Yoo. 14.3 A 0.55V 1.1mW artificial-intelligence processor with PVT compensation for micro robots, 2016 *IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC)*. 2016. P. 258-259. doi: 10.1109/ISSCC.2016.7418005.

53. Ma H. Internet of Things: Objectives and Scientific Challenges. *Journal of Computer Science and Technology*. 2011. № 26(6). P. 919-924. <https://doi.org/10.1007/s11390-011-1189-5>.

54. Park K.-J., Zheng R., Liu X. Cyber-physical Systems: Milestones and Research Challenges. Editorial Computer Communications. 2012. № 36(1). P. 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2012.09.006>.
55. Michael Phillips. Experience Graphs: Leveraging Experience in Planning, Ph.D. thesis, Carnegie Mellon University. 2015. P.188.
56. Wu Zong-Han, Kevin Lai, Li-An Lin, Ming-Han Huang and Wen-Kai Tai. Procedurally Generating Game Level with Specified Difficulty. *IEEE Games Entertainment Media Conference (GEM)*. 2018. P. 1-9.
57. Schroeder B.L., Fraulini N.W., Van Buskirk W.L., Johnson C.I. Using a Non-player Character to Improve Training Outcomes for Submarine Electronic Warfare Operators. In: Sottolare R., Schwarz J. (eds) *Adaptive Instructional Systems. HCII 2020. Lecture Notes in Computer Science*. 2020. Vol 12214. Springer, Cham. P.531-542. doi:10.1007/978-3-030-50788-6\_39.
58. Nur Rohman Widiyanto. Rpg-stats-generator: Calculate and Generate Player's and Non-Player Character's Gameplay Attributes for Role-Playing Game. 2020. *International Conference on Computer Engineering, Network, and Intelligent Multimedia (CENIM)*, Zenodo. 2020. P.103-110.
59. Shah A. A, Zaidi Z. A, Chowdhry B. S, Daudpoto J. Real time face detection/monitor using raspberry pi and MATLAB. In: *IEEE 10th International Conference on Application of Information and Communication Technologies (AICT)*. 2016. P. 1–4.
60. Cyber-physical systems and Internet of Things / C. Greer, M. Burns, D. Wollman, E. Griffor // NIST Special Publication. 1900. № 202. P.52. <https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1900-202>.
61. Krening, S. Newtonian action advice: Integrating human verbal instruction with reinforcement learning, CoRR. 2018. P.720-727.
62. Krening, S., and M. Feigh, K. Interaction algorithm effect on human experience with reinforcement learning. *ACM Transactions on Human-Robot Interaction*, 2018. Vol. 7. P. 1–22.

63. Ibarra-Esquer J.E., González-Navarro F.F., Flores-Rios B.L., Burtseva L., AstorgaVargas M.A. Tracking the evolution of the internet of things concept across different application domains *Sensors*. 2017. №17(6). P. 1379. <http://www.doi.org/10.3390/s17061379>.
64. Minerva R., Biru A., Rotondi D. Towards a definition of the Internet of Things (IoT) // IEEE Internet Initiative. 2015. №1. P. 1-86. [https://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE\\_IoT\\_Towards\\_Definition\\_Internet\\_of\\_Things\\_Issue1\\_14MAY15.pdf](https://iot.ieee.org/images/files/pdf/IEEE_IoT_Towards_Definition_Internet_of_Things_Issue1_14MAY15.pdf).
65. U. A. S. Iskandar, N. M. Diah and M. Ismail. Identifying Artificial Intelligence Pathfinding Algorithms for Platformer Games. *IEEE International Conference on Automatic Control and Intelligent Systems (I2CACIS)*. 2020. P. 74-80, doi: 10.1109/I2CACIS49202.2020.9140177.
66. Cheng Albert M. K. The Past, Present and Future of Cyber-Physical Systems: A Focus on Models. EECS Department, University of California, Berkeley, CA 94720-1770, USA, 2015. 15 p.
67. Ibarra-Esquer J.E., González-Navarro F.F., Flores-Rios B.L., Burtseva L., AstorgaVargas M.A. Tracking the evolution of the internet of things concept across different application domains. *Sensors*. 2017. №17(6). P. 1379. <http://www.doi.org/10.3390/s1706137/>.
68. H. E. Elbsir, M. Kassab, S. Bhiri and M. H. Bedoui. Evaluation of LoRaWAN Class B efficiency for downlink traffic. *16th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*. 2020. P.105-110, doi: 10.1109/WiMob50308.2020.9253405.
69. R.G. Sanfelice. Analysis and Design of Cyber-Physical Systems. A Hybrid Control Systems Approach. *Cyber-Physical Systems: From Theory to Practice* / D. Rawat, J. Rodrigues, I. Stojmenovic. CRC Press. 2016. ISBN 978-1-4822-6333-6.
70. Park K.-J., Zheng R., Liu X. Cyber-physical Systems: Milestones and Research Challenges. *Editorial Computer Communications*. 2012. № 36(1). P. 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2012.09.006>.

71. Theresa Fitz, Michael Theiler, Kay Smarsly A metamodel for cyber-physical systems. *Advanced Engineering Informatics*. August 2019. 2019.Vol. 41.Article 100930.
72. Galin D. Software quality. Concepts and practice. Publisher: Wiley-IEEE Press, 2018. 720 p.
73. Garst Smith Howard T. Software quality assurance: A guide for developers and auditors / Howard T. Garst Smith. Publisher: CRC Press Inc, 2020. 480 p.
74. Suryn W. Software quality engineering. A practitioner's approach / Suryn W. Publisher: Wiley-IEEE Computer Society Pr, 2014. 208 p.
75. ISO/IEC 25023:2016 Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE). Measurement of system and software product quality [Electronic resource] // ISO.org. Mode of acces: <https://www.iso.org/uk/standard/35747.html>.
76. Мартинюк О.Р., Яшина О.М., Радельчук Г.І., Кустовський Р.С. Порівняння програмних метрик для оцінки якості програмних продуктів. *Вісник ХНУ: серія Технічні науки*. 2021. №5. С.166-169.
77. Гнатчук Є.Р., Кустовський Р.С. Кіберфізична система діагностування стану здоров'я. *Тези доповіді конференції АПКН-2021*. ХНУ. 2021.

## ДОДАТОК А

### (обов'язковий)

### ФРАГМЕНТИ КОДУ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

#### Клас TransmissionTask

```

public abstract class TransmissionTask : IContinuousRequest
{
    private SynchronizationContext _synchronizationContext;
    protected readonly CancellationTokenSource cts;
    protected readonly TgClient client;
    protected readonly CancellationToken cancellationToken;
    protected Task transmissionTask;
    public RequestPriority Priority {get; protected set;}
    private TransmissionState _state;
    public TransmissionState State
    {
        get => _state;
        protected set
        {
            if (_state != value)
            {
                _state = value;
                RaiseStateChanged(new
TransmissionStateChangedEventArgs(_state));
            }
        }
    }

    public bool IsCancellationRequested => cts.IsCancellationRequested;
    public object Result { get; protected set; }
    public event EventHandler<TransmissionStateChangedEventArgs>
OnTransmissionStateChanged;
    public event EventHandler<ProgressChangedEventArgs> OnProgressChanged;
    public event EventHandler OnStarted;
    public event EventHandler OnCompleted;
    public event EventHandler<RequestErrorEventArgs> OnError;
    public TransmissionTask(TgClient client, RequestPriority
transmissionTaskPriority,
        SynchronizationContext synchronizationContext,
        CancellationTokenSource cts = null)
    {
        this.client = client;
        _synchronizationContext = synchronizationContext;
        Priority = transmissionTaskPriority;
        if(cts == null)
        {
            this.cts = new CancellationTokenSource();
        }
        else
        {
            this.cts = cts;
        }
        cancellationToken = this.cts.Token;
    }
}

```

```

        SetMainTask();
        SetCompletingTask();
    }

protected abstract void SetMainTask();
protected virtual void SetCompletingTask()
{
    transmissionTask.ContinueWith(tt =>
    {
        if (tt.Status == TaskStatus.RanToCompletion)
        {
            State = TransmissionState.Completed;
            RaiseCompleted();
        }
        else if (tt.Status == TaskStatus.Canceled)
        {
            State = TransmissionState.Cancelled;
            RaiseError(tt.Exception);
        }
        else if (tt.Status == TaskStatus.Faulted)
        {
            State = TransmissionState.Error;
            RaiseError(tt.Exception);
        }
    });
}
public virtual void Start()
{
    if (State != TransmissionState.WaitingToStart)
    {
        throw new TransmissionTaskAlreadyStartedException(this);
    }

    transmissionTask.Start();
}
public virtual Task Run()
{
    if(State == TransmissionState.WaitingToStart)
    {
        Start();
    }

    return transmissionTask;
}
protected virtual void
RaiseStateChanged(TransmissionStateChangedEventArgs e)
{
    if(_synchronizationContext != null)
    {
        _synchronizationContext.Post((obj) =>
OnTransmissionStateChanged?.Invoke(this, e), null);
    } else OnTransmissionStateChanged?.Invoke(this, e);
}
protected virtual void RaiseProgressChanged(ProgressChangedEventArgs e)
{
    if (_synchronizationContext != null)

```

```

        {
            _synchronizationContext.Post((obj) =>
OnProgressChanged?.Invoke(this, e), null);
        }
        else OnProgressChanged?.Invoke(this, e);
    }

    protected virtual void RaiseStarted()
    {
        if (_synchronizationContext != null)
        {
            _synchronizationContext.Post((obj) => OnStarted?.Invoke(this,
EventArgs.Empty), null);
        }
        else OnStarted?.Invoke(this, EventArgs.Empty);
    }
    protected virtual void RaiseCompleted()
    {
        if (_synchronizationContext != null)
        {
            _synchronizationContext.Post((obj) => OnCompleted?.Invoke(this,
EventArgs.Empty), null);
        }
        else OnCompleted?.Invoke(this, EventArgs.Empty);
    }
    protected virtual void RaiseError(Exception ex)
    {
        if (_synchronizationContext != null)
        {
            _synchronizationContext.Post((obj) => OnError?.Invoke(this, new
RequestErrorEventArgs(ex)), null);
        }
        else OnError?.Invoke(this, new RequestErrorEventArgs(ex));
    }
    public virtual void Cancel()
    {
        cts.Cancel();
    }
}

```

### Клас UploadTask

```

public sealed class UploadTask : TransmissionTask
{
    private FileData _inputFileData;
    public FileData InputFileData { get => _inputFileData; }

    private UploadResult _result;
    new public UploadResult Result
    {
        get => _result;
        private set
        {
            _result = value;
            base.Result = value;
        }
    }
}

```

```

    internal UploadTask(TgClient client, FileData inputFileData,
RequestPriority priority,
    SynchronizationContext synchronizationContext,
    CancellationTokenSource cts = null) : base(client, priority,
synchronizationContext, cts)
    {
        _inputFileData = inputFileData;
        State = TransmissionState.WaitingToStart;
    }

protected override void SetMainTask()
{
    transmissionTask = new Task<UploadResult>(() =>
    {
        cancellationToken.ThrowIfCancellationRequested();
        State = TransmissionState.Started;
        RaiseStarted();
        var fileContexts = client.UploadAsync(_inputFileData,
RaiseProgressChanged, Priority, cancellationToken).Result;
        var uploadResult = new UploadResult(this, fileContexts);
        Result = uploadResult;
        return uploadResult;
    });
}
new public Task<UploadResult> Run()
{
    return base.Run() as Task<UploadResult>;
}
}

```

### Клас DownloadTask

```

public sealed class DownloadTask : TransmissionTask
{
    private IEnumerable<FileContext> _fileContexts;
    public IEnumerable<FileContext> FileContexts { get => _fileContexts; }
    private DownloadResult _result;
    new public DownloadResult Result
    {
        get => _result;
        set
        {
            _result = value;
            base.Result = value;
        }
    }
    internal DownloadTask(TgClient client, IEnumerable<FileContext>
fileContexts,
    RequestPriority priority, SynchronizationContext
synchronizationContext) : base(client, priority, synchronizationContext)
    {
        _fileContexts = fileContexts;
        State = TransmissionState.WaitingToStart;
    }

protected override void SetMainTask()
{
    transmissionTask = new Task<DownloadResult>(() =>

```

```

    {
        DownloadResult downloadResult;
        cancellationToken.ThrowIfCancellationRequested();
        State = TransmissionState.Started;
        RaiseStarted();

        byte[] fileBytes = client.DownloadAsync(FileContexts,
        RaiseProgressChanged, Priority, cancellationToken).Result;
        downloadResult = new DownloadResult(this, fileBytes);

        Result = downloadResult;
        return downloadResult;
    });
}
new public Task<DownloadResult> Run()
{
    return base.Run() as Task<DownloadResult>;
}
}

```

### Клас BackupTask

```

public sealed class BackupTask : TransmissionTask, IDisposable
{
    private IEnumerable<FileData> _inputFileDatas;
    public IEnumerable<FileData> InputFileDatas { get =>
    _inputFileDatas.ToList().AsReadOnly(); }

    public event EventHandler<EventArgs> OnFileUploaded;

    private int _currentFileNumber;
    private int _totalFiles;

    private TaskCompletionSource<BackupResult> _waitCompletionSource;
    private Task _mainTask;

    private List<UploadResult> _uploadResults;
    private List<UploadErrorResult> _uploadErrorResults;

    private BackupResult _result;
    new public BackupResult Result
    {
        get => _result;
        set
        {
            base.Result = value;
            _result = value;
        }
    }

    public BackupTask(TgClient client, IEnumerable<FileData>
    inputFileDatas,
        RequestPriority priority, SynchronizationContext
    synchronizationContext)
        : base(client, priority, synchronizationContext)
    {
        _inputFileDatas = inputFileDatas;
    }
}

```

```

        _totalFiles = _inputFileDatas.Count();
        _uploadResults = new List<UploadResult>(_totalFiles);
        _uploadErrorResults = new List<UploadErrorResult>();

        State = TransmissionState.WaitingToStart;
    }
    protected override void SetMainTask()
    {
        _waitCompletionSource = new TaskCompletionSource<BackupResult>();
        transmissionTask = _waitCompletionSource.Task;
        _mainTask = new Task(() =>
        {
            if(cancellationToken.IsCancellationRequested)
            {
                _waitCompletionSource.SetCanceled();
                return;
            }
            State = TransmissionState.Started;
            RaiseStarted();
            BackupNext();
        }, cancellationToken, TaskCreationOptions.LongRunning);
    }
    public override void Start()
    {
        if (State != TransmissionState.WaitingToStart)
        {
            throw new TransmissionTaskAlreadyStartedException(this);
        }
        _mainTask.Start();
    }
    private void BackupNext()
    {
        if(cancellationToken.IsCancellationRequested)
        {
            _waitCompletionSource.SetCanceled();
            return;
        }
        FileData inputFileData =
InputFileDatas.ElementAt(_currentFileNumber++);

        UploadTask uploadTask = new UploadTask(client, inputFileData,
Priority,
        synchronizationContext: null, cts);
        uploadTask.OnStarted += FileStarted;
        uploadTask.OnCompleted += FileCompleted;
        uploadTask.OnProgressChanged += FileProgressChanged;
        uploadTask.OnError += FileError;

        uploadTask.Start();
    }
    private void FileError(object sender, RequestEventArgs e)
    {
        var uploadTask = sender as UploadTask;
        _uploadErrorResults.Add(new UploadErrorResult(uploadTask,
e.Exception));
    }

```

```

        FileData currentFile = InputFileDatas.ElementAt(_currentFileNumber
- 1);
        RaiseProgressChanged(new ProgressChangedEventArgs(currentFile,
_currentFileNumber,
        _totalFiles, 0, currentFile.Size));
        Unsubscribe(uploadTask);
        CheckCompletion();
    }

    private void FileProgressChanged(object sender,
ProgressChangedEventArgs e)
    {
        FileData currentFile = InputFileDatas.ElementAt(_currentFileNumber
- 1);
        RaiseProgressChanged(new ProgressChangedEventArgs(currentFile,
_currentFileNumber,
        _totalFiles, e.CompletedFileBytes, e.TotalFileBytes));
    }
    private void FileCompleted(object sender, EventArgs e)
    {
        UploadTask uploadTask = sender as UploadTask;
        _uploadResults.Add(uploadTask.Result);
        OnFileUploaded?.Invoke(uploadTask, e);
        FileData currentFile = InputFileDatas.ElementAt(_currentFileNumber
- 1);
        RaiseProgressChanged(new ProgressChangedEventArgs(currentFile,
_currentFileNumber,
        _totalFiles, currentFile.Size, currentFile.Size));
        Unsubscribe(uploadTask);
        CheckCompletion();
    }
    private void CheckCompletion()
    {
        if (_currentFileNumber < _totalFiles)
        {
            BackupNext();
        }
        else
        {
            BackupResult backupResult = new BackupResult(_uploadResults,
_uploadErrorResults);
            Result = backupResult;
            _waitCompletionSource.TrySetResult(backupResult);
            RaiseCompleted();
        }
    }

    private void FileStarted(object sender, EventArgs e)
    {
        FileData currentFile = InputFileDatas.ElementAt(_currentFileNumber
- 1);
        RaiseProgressChanged(new ProgressChangedEventArgs(currentFile,
_currentFileNumber,
        _totalFiles, 0, currentFile.Size));
    }
    private void Unsubscribe(UploadTask uploadTask)

```

```
{
    uploadTask.OnStarted -= FileStarted;
    uploadTask.OnCompleted -= FileCompleted;
    uploadTask.OnProgressChanged -= FileProgressChanged;
    uploadTask.OnError -= FileError;
}
new public Task<BackupResult> Run()
{
    return base.Run() as Task<BackupResult>;
}
public void Dispose()
{
    Result = null;
    _inputFileDatas = null;
    _waitCompletionSource = null;
    _mainTask = null;
    _uploadResults = null;
    _uploadErrorResults = null;
}
```

## ДОДАТОК Б

(обов'язковий)

### ПРЕЗЕНТАЦІЯ

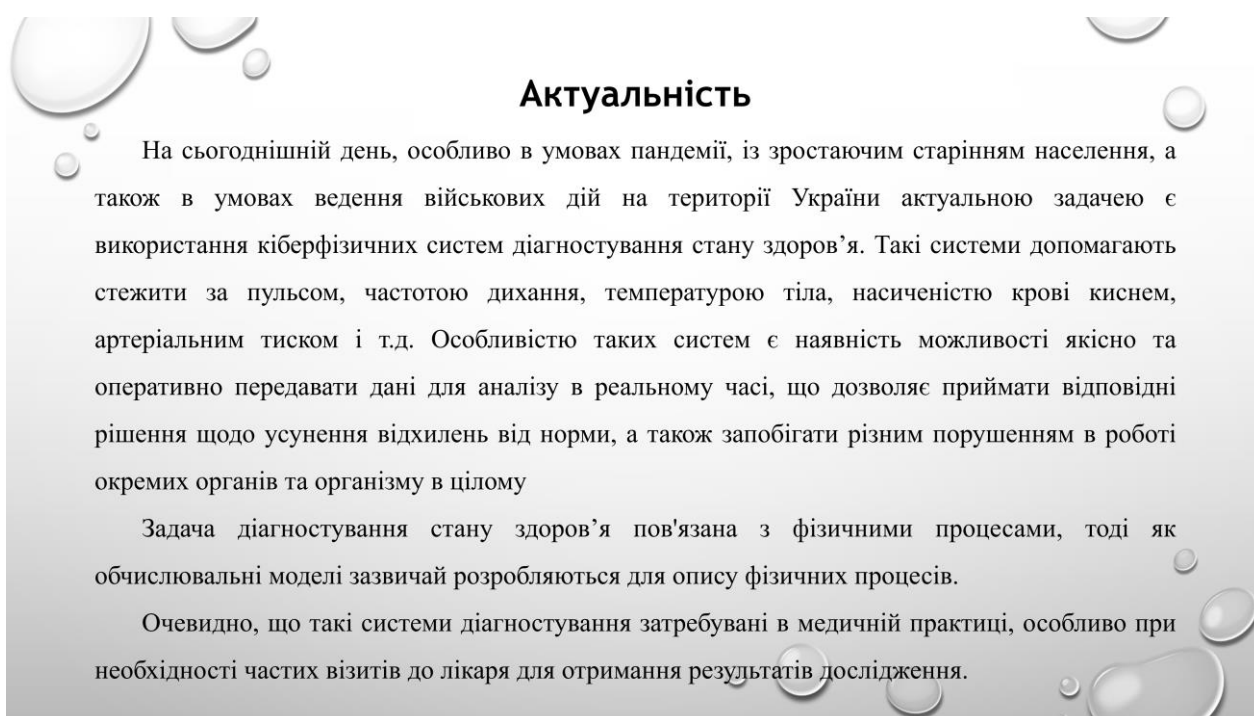
#### СЛАЙД 1



**КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА  
ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ ЗДОРОВ'Я**

АВТОР РОБОТИ:  
СТ. ГР. КІЗМ 17-1 КУСТОВСЬКИЙ Р.С.  
КЕРІВНИК РОБОТИ:  
К.Т.Н., ДОЦЕНТ ГНАТЧУК Є.Г.

#### СЛАЙД 2



**Актуальність**

На сьогоднішній день, особливо в умовах пандемії, із зростаючим старінням населення, а також в умовах ведення військових дій на території України актуальною задачею є використання кіберфізичних систем діагностування стану здоров'я. Такі системи допомагають стежити за пульсом, частотою дихання, температурою тіла, насиченістю крові киснем, артеріальним тиском і т.д. Особливістю таких систем є наявність можливості якісно та оперативно передавати дані для аналізу в реальному часі, що дозволяє приймати відповідні рішення щодо усунення відхилень від норми, а також запобігати різним порушенням в роботі окремих органів та організму в цілому

Задача діагностування стану здоров'я пов'язана з фізичними процесами, тоді як обчислювальні моделі зазвичай розробляються для опису фізичних процесів.

Очевидно, що такі системи діагностування затребувані в медичній практиці, особливо при необхідності частих візитів до лікаря для отримання результатів дослідження.

### СЛАЙД 3

● **Мета:** дослідження показників стану здоров'я в режимі реального часу.

**Об'єкт дослідження:** процес збирання показників стану здоров'я в реальному режимі та їх опрацювання.

**Предмет дослідження:** кіберфізична система діагностування стану здоров'я в режимі реального часу.

### СЛАЙД 4

#### **ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ:**

- 1) ЗДІЙСНИТИ АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ АПАРАТНИХ ТА ПРОГРАМНИХ ТЕХНОЛОГІЙ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ СТАНУ ЗДОРОВ'Я;
- 2) ПРОВЕСТИ ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ МОДЕЛЕЙ ТА МЕТОДІВ РОЗРОБКИ КФС ДЛЯ ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ ЗДОРОВ'Я;
- 3) ЗАПРОПОНУВАТИ ТЕХНОЛОГІЮ СТВОРЕННЯ ПЗ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ ЗДОРОВ'Я В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ;
- 4) НА ОСНОВІ ЗАПРОПОНОВАНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗРОБИТИ ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ.

## СЛАЙД 5

### НАУКОВА НОВИЗНА

- 1) РОЗРОБЛЕНО КОНЦЕПТУАЛЬНУ МОДЕЛЬ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ ЗДОРОВ'Я В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ.
  - 2) УДОСКОНАЛЕНО МЕТОД ГІБРИДНОГО АВТОМАТА ШЛЯХОМ ВВЕДЕННЯ ВАРІАНТУ ПОСТАНОВКИ СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПАРАМЕТРИЧНОГО СИНТЕЗУ.
- НА ОСНОВІ ЗАПРОПОНОВАНОГО ПІДХОДУ ЗДІЙСНЕНО РОЗРОБКУ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ ЗДОРОВ'Я В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ.
  - ПРАКТИЧНА ЗНАЧИМІСТЬ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ПОЛЯГАЄ У ТОМУ, ЩО ОТРИМАНІ РЕЗУЛЬТАТИ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ МОЖУТЬ БУТИ ВИКОРИСТАНІ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ СТАНУ ЗДОРОВ'Я В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ.

## СЛАЙД 6

### ЗВ'ЯЗОК З НАУКОВИМИ ПРОГРАМАМИ ТА ТЕМАМИ

- ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРЕДСТАВЛЕНІ У КВАЛІФІКАЦІЙНІЙ РОБОТІ, ЯКА ПРОВОДИЛИСЬ В РАМКАХ ДЕРЖБЮДЖЕТНОЇ НДР ХМЕЛЬНИЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ № 1Б-2019 «АГЕНТНО-ОРІЄНТОВАНА СИСТЕМА ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ТА ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ» (НОМЕР ДЕРЖАВНОЇ РЕЄСТРАЦІЇ 0119U100662).
- ЗА ТЕМОЮ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ ОПУБЛІКОВАНО СТАТТЮ У ФАХОВОМУ ВИДАННІ ХМЕЛЬНИЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ПОРІВНЯННЯ ПРОГРАМНИХ МЕТРИК ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПРОГРАМНИХ ПРОДУКТІВ», А ТАКОЖ ОПУБЛІКОВАНО ТЕЗИ ДОПОВІДІ КОНФЕРЕНЦІЇ АПКН-2021 ХМЕЛЬНИЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ ЗДОРОВ'Я».

## СЛАЙД 7

### АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

#### Вітчизняні науковці:

**Яцишин С.П., Лиса О.В., Мідик А-В.В., Мельник А. О., Мейтус В., Морозова Г., Таран Л., Козлова В., Майданюк Н.** займаються дослідженням та розробкою програмного забезпечення для кіберфізичних систем (КФС).

**Вацлавська В.С.** – досліджує медичні кіберфізичні системи та їх побудову.

**Сверстюк А.С., Багрій-Заяць О.А., Горкуненко А.Б., Майхрук З.В.** – займаються розробкою кіберфізичних біосенсорних систем для медико-біологічних досліджень.

**Стрихалюк Б.М., Колодій Р.С., Секела М.В.** – дослідження кіберфізичних технологій моніторингу стану кардіологічних пацієнтів в системі телемедицини. Запропоновано вирішення проблеми дистанційного моніторингу кардіологічного стану пацієнтів за допомогою кіберфізичних систем для телемедицини з інтеграцією кібернетичних компонентів у фізичні процеси моніторингу стану хворого, які забезпечують можливість реагування на зміну параметрів стану пацієнта у режимі реального часу.

## СЛАЙД 8

#### Зарубіжні науковці:

**Ван Чунжі (Китай)** – займається дослідженням працездатності й ефективності кіберфізичних систем у результаті аналізу особливостей їх метрологічного та програмного забезпечення.

**Теодора Саніслав (Румунія)** – займається дослідженням концепту ЦФС, необхідністю впровадження цих систем у різних прикладних сферах.

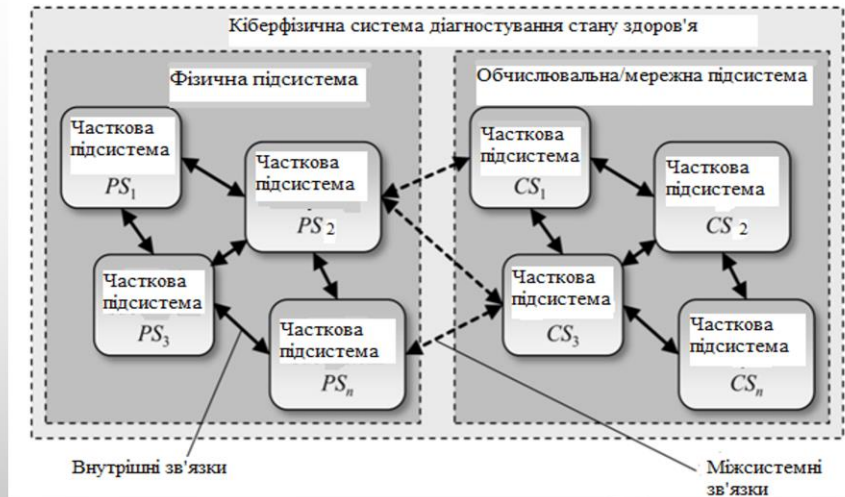
**Жей Лі (США)** - розглядає та описує тенденції промислової трансформації у середовищі великих даних, а також готовність розумних інструментів, зокрема КФС для прогнозування та керування великими даними.

**Kaiyu Wan, K.L. Man D. Hughes** – у своїх роботах здійснили аналіз обмеження сучасних інструментів та методів для розробки КФС на прикладі систем охорони здоров'я.

**Edward A. Lee and Sanjit A. Seshia (Китай)** – застосовують кіберфізичний підхід до вбудованих систем, представляючи інженерні концепції, що лежать в основі вбудованих систем, як технологію та як предмет дослідження. Основна увага приділяється моделюванню, проектуванню та аналізу кіберфізичних систем, які об'єднують обчислення, мережу та фізичні процеси.

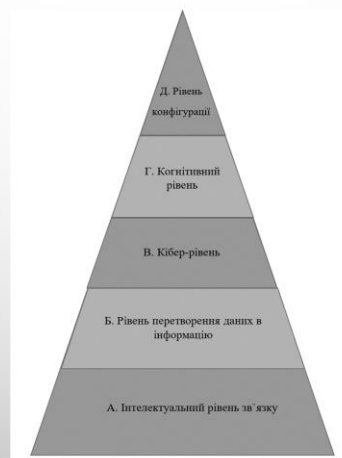
## СЛАЙД 9

## КОНЦЕПТУАЛЬНА МОДЕЛЬ КФС



## СЛАЙД 10

## РІВНІ ВЗАЄМОДІЇ ОБ'ЄКТІВ У МОДЕЛІ КФС



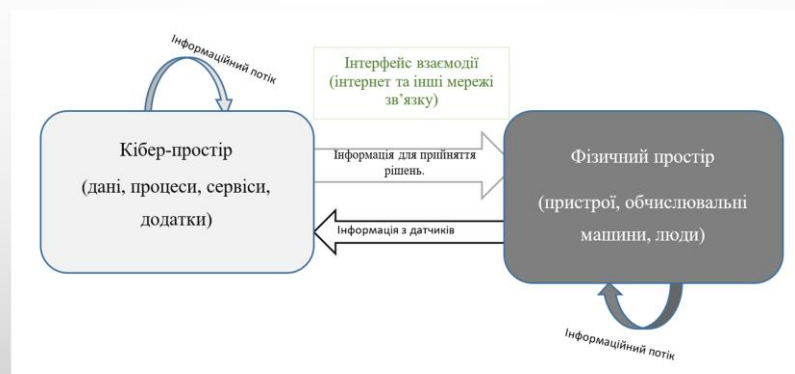
## СЛАЙД 11

## МЕТОД ГІБРИДНОГО АВТОМАТА

- $G_i$  - ГРАФ, ЩО ОПИСУЄ ВАРИАНТИ ВЗАСМОЗВ'ЯЗКІВ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ФУНКЦІЙ (ЗАВДАНЬ, АЛГОРИТМІВ, ПРОГРАМ) УПРАВЛІННЯ СИСТЕМИ;
- $G_i^* \in G_i$  - ПІДГРАФ, ЩО ЗАДАЄ ОДИН ІЗ МОЖЛИВИХ ВАРИАНТІВ РЕАЛІЗАЦІЇ ФУНКЦІЙ СИСТЕМИ; ВЕРШИНИ ГРАФА  $G_i$  ЗАЛЕЖНО ВІД РОЗГЛЯНУТОЇ ЗАДАЧІ ОТОТОЖНЮЮТЬСЯ З ПРОЦЕДУРАМИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ, ЗАВДАННЯМИ УПРАВЛІННЯ ТА ЇХ ЕТАПАМИ ТОЩО; ЙОГО ДУГИ ВІДБІВАЮТЬ РІВНІ КІБЕРФІЗИЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ;
- $G_j$  - ГРАФ, ЩО ЗАДАЄ ВАРИАНТИ СКЛАДУ ТА ВЗАСМОЗВ'ЯЗКІВ МОЖЛИВИХ ВУЗЛІВ КФС;
- $G_j^* \in G_j$  - ПІДГРАФ, ЩО ЗАДАЄ ОДИН ІЗ МОЖЛИВИХ ВАРИАНТІВ РЕАЛІЗАЦІЇ ВУЗЛІВ КФС З ЇХ ВЗАСМОЗВ'ЯЗКАМИ; ВЕРШИНИ ГРАФА  $G_j$  ОТОТОЖНЮЮТЬСЯ З ВАРИАНТАМИ ПОБУДОВИ ВУЗЛІВ ПЕРЕРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ, МОЖЛИВИМИ МІСЦЯМИ ЇХ РОЗМІЩЕННЯ, КОМПЛЕКСАМИ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ТОЩО; ЙОГО ДУГИ ВІДОБРАЖАЮТЬ ВЗАСМОЗВ'ЯЗКИ МІЖ ВУЗЛАМИ;
- $\mathfrak{R}$  - ОПЕРАЦІЯ ВІДОБРАЖЕННЯ ГРАФА  $G_i$  НА  $G_j$ , ЩО ВИЗНАЧАЄ РОЗПОДІЛ ФУНКЦІЙ, ЯКІ РЕАЛІЗУЮТЬСЯ СИСТЕМОЮ, ПО ЇЇ ВУЗЛАХ;
- $n_{\eta} = \overline{1, \eta_0}$  - ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯКОСТІ СТВОРЕННЯ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ КФС.

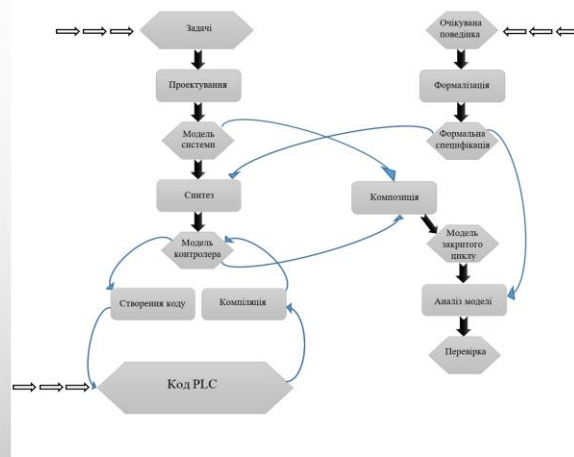
## СЛАЙД 12

## АРХІТЕКТУРА КФС



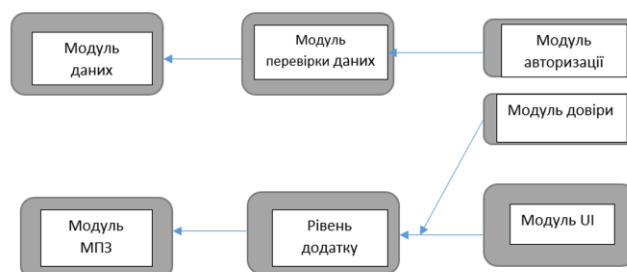
## СЛАЙД 13

## АЛГОРИТМ УПРАВЛІННЯ РОБОТОЮ КФС



## СЛАЙД 14

## РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ



## СЛАЙД 15

## РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ



## СЛАЙД 16

## РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ



## СЛАЙД 17

### ВИСНОВКИ:

- 1) здійснено аналіз існуючих апаратних та програмних технологій, що використовуються для дослідження показників стану здоров'я;
- 2) проведено огляд існуючих моделей та методів розробки КФС для діагностування стану здоров'я;
- 3) запропоновано технологію створення ПЗ кіберфізичної системи діагностування стану здоров'я в режимі реального часу;
- 4) на основі запропонованої технології розроблено програмні засоби.

## СЛАЙД 18

**Дякую за увагу!**

## ДОДАТОК В

### Тези доповіді конференції АПКН-2021

---

*Актуальні проблеми комп'ютерних наук*

---

УДК 004.4

Гнатчук Є. Г., Кустовський Р. С.

*Хмельницький національний університет*

#### **КІБЕРФІЗИЧНА СИСТЕМА ДІАГНОСТУВАННЯ СТАНУ ЗДОРОВ'Я**

*Розглянуто задачу діагностування стану здоров'я з використанням кіберфізичних систем, що дозволяють збирати та опрацьовувати дані в режимі реального часу та представлена структурна схема такої системи. Запропонована кіберфізична система діагностування стану здоров'я, забезпечує збирання показників стану здоров'я в реальному режимі та їх опрацювання.*

*The problem of diagnosing health using cyberphysical systems that allow collecting and processing data in real time is considered and represents the structure of such a system. The proposed cyberphysical system for diagnosing health status, provides collection of indicators of health status in real time and their processing.*

Задача діагностування стану здоров'я пов'язана з фізичними процесами, тоді як обчислювальні моделі зазвичай розробляються для опису фізичних процесів. Зокрема, у динамічних (часових варіантах) фізичних процесах вимоги до застосування можуть вимагати втручання користувача під час фізичних процесів. Щоб забезпечити таке втручання користувача, необхідно обмінюватися інформацією між фізичними процесами та обчислювальними моделями. Більш того, у багатьох додатках, втручання користувача автоматизоване за допомогою фізичних компонентів, що використовуються для управління фізичними процесами з використанням контурів зворотного зв'язку при розширенні обчислювальних моделей на обчислювальні та мережеві процеси, які описують і взаємодіють з фізичними процесами [1].

На сьогоднішній день актуальною задачею є використання кіберфізичних систем діагностування стану здоров'я.

Використання таких систем дозволяє стежити за пульсом, частотою дихання, температурою тіла, артеріальним тиском і т.д. Особливістю таких систем є наявність можливості якісно та оперативно передавати дані для аналізу в реальному часі [2].

Очевидно, що такі системи діагностування затребувані в медичній практиці, особливо при необхідності частих візитів до лікаря для отримання результатів дослідження.

Термін «кіберфізична система» (Cyber Physical System – CPS) вперше був використаний у 2006 р. для визначення систем як сукупності комунікаційно

пов'язаних, адресованих віртуальних і реальних компонентів у цифровому метричному кіберпросторі з функціями фізичного моніторингу та хмарного управління в реальному масштабі часу для досягнення поставлених цілей [3].

Метою роботи є розробка кіберфізичної системи діагностування стану здоров'я, що дозволяє збирати показники стану здоров'я в реальному режимі та їх опрацювати.

Структурна схема кіберфізичної системи діагностування стану здоров'я представлена на рисунку 1.

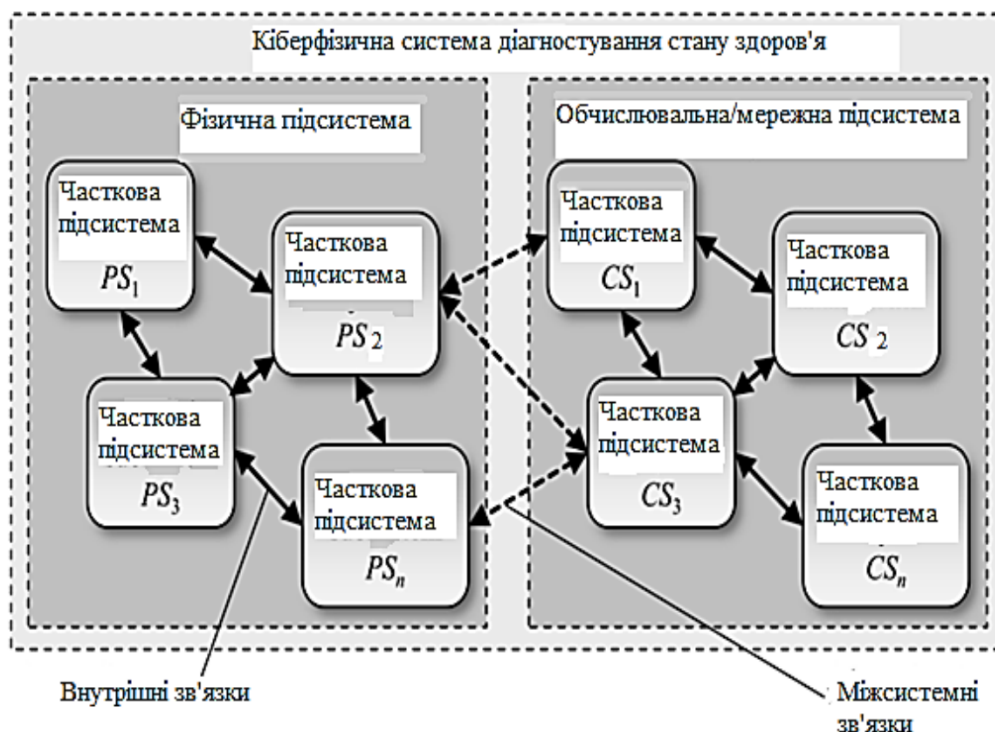


Рисунок 1 – Структурна схема кіберфізичної системи діагностування стану здоров'я

Поведінка компонентів кіберфізичних систем діагностування стану здоров'я характеризується сильною взаємодією і, отже, високим ступенем зв'язків.

При цьому виникає важливе питання оцінки якості кіберфізичних систем, де враховується якість окремих компонентів кіберфізичних систем, а також складні умови зв'язків між їхніми компонентами.

На рисунку 1 наведені два основних типи зв'язків, що виникають при моделюванні кіберфізичних систем:

- зв'язок між кіберфізичними підсистемами ("міжсистемний зв'язок");
- з'єднання між компонентами кожної кіберфізичної підсистеми ("внутрішньо-підсистемний зв'язок").

Фізична підсистема складається, в свою чергу з часткових підсистем, що збирають дані показників здоров'я, такі як пульс, частота дихання, температура тіла, артеріальний тиск і т.д. в режимі реального часу.

Обчислювальна/мережна підсистема складається з часткових підсистем, що призначені для опрацювання зібраних даних.

Отже, запропонована кіберфізична система діагностування стану здоров'я, забезпечує збирання показників стану здоров'я в реальному режимі та їх опрацювання. Подальші дослідження спрямовані на оцінку якості кіберфізичної системи діагностування стану здоров'я в частині збирання та опрацювання показників здоров'я.

#### **Перелік посилань**

1. E.A. Lee and S.A. Seshia, Introduction to Embedded Systems - A Cyber-Physical Systems Approach, Second Edition, LeeSeshia.org, 2015.
2. K. Smarsly, and K.H. Law. "Decentralized fault detection and isolation in wireless structural health monitoring systems using analytical redundancy". Advances in Engineering Software, Vol. 73(2014), pp. 1-10 (2014).
3. Мельник А.О. Кіберфізичні системи: проблеми створення та напрями розвитку. Вісник Нац. ун-ту Львівська політехніка. 2014. № 806: Комп'ютерні системи та мережі. С. 154–161.

## Стаття

Technical sciences

ISSN 2307-5732

DOI 10.31891/2307-5732-2021-301-5-166-169

УДК 004.051

МАРТИНЮК О. Р., ЯШИНА О. М., РАДЕЛЬЧУК Г. І., КУСТОВСЬКИЙ Р. С.

Хмельницький національний університет

### ПОРІВНЯННЯ ПРОГРАМНИХ МЕТРИК ДЛЯ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПРОГРАМНИХ ПРОДУКТІВ

У статті наведено результати досліджень різних типів метрик програмного забезпечення та конкретних представників даних типів. Описано сферу їх застосування та зручність використання як при оцінці якості готового продукту, так і на стадії розробки.

**Ключові слова:** управління якістю, контроль якості, програмне забезпечення, метрика програмного забезпечення, програмний продукт.

MARTYNIUK OLEKSANDR RUSLANOVYCH, YASHYNA OKSANA MYKOLAIVNA,  
RADELCHUK GALYNA IVANIVNA, KUSTOVSKYI ROMAN SERGIYOVYCH  
Khmelnytskyi National University

#### COMPARISON OF SOFTWARE METRICS FOR QUALITY ESTIMATION OF THE SOFTWARE PRODUCTS

There is a well known principle, that you can manage only what you can measure – therefore adequate measurement and estimation of different elements in any engineering area is a very important development factor, and software engineering is not an exception. Software metrics represent numeric values of software characteristics and are used for analysis of different aspects of the product in order to predict possible problems. Software metrics can be applied to any stage of the software life cycle. For instance, on a stage of requirement analysis and the problem formulation, these metrics help to estimate the required amount of work and, respectively, the amount of financial and work resources. In addition, the metrics can be used directly in estimation of the program code complexity to assess its performance, effectiveness and the ability to modify it if needed. Software metrics are an important part of the whole software quality management process as they can be easily automated and applied in order to achieve some valuable technical characteristics. Moreover, they can be combined with another quality management tools and are a beneficial addition to any software product development model. In general, measuring the attributes of software during any phase of development gives a number of beneficial results to the developers as it helps to use the time, finances and effort effectively. This is achieved because of early problems identification, estimation and prevention and because of that the size, cost, quality and simplicity of the maintenance of the product is always under control. This article describes the results of research on different software metrics types and the actual representatives of these types. It assesses the usage area and the convenience of it's usage on evaluating the quality of both a finished product and a product in the development stage.

**Keywords:** quality management, quality control, software, software metric, software product.

#### Вступ. Постановка проблеми

Адекватне вимірювання та оцінка різних елементів у будь-якій галузі інженерії є важливим фактором розробки. Інженерія програмного забезпечення не є виключенням, оскільки загальновідомим є принцип – керувати можна лише тим, що можна виміряти.

Метрики програмного забезпечення (ПЗ) представляють собою чисельні значення характеристик ПЗ та використовуються для аналізу різних аспектів продукту з метою передбачення можливих проблем. Програмні метрики можуть бути використані на будь-якому етапі життєвого циклу ПЗ. Наприклад, на етапі аналізу вимог та постановки задачі, метрики допомагають оцінити необхідний обсяг робіт та, відповідно, фінансові і трудові ресурси. Також метрики можуть використовуватись безпосередньо для оцінки складності програмного коду, для аналізу його швидкодії, ефективності та можливості адаптації у разі необхідності. Програмні метрики є важливою частиною всього процесу управління якістю ПЗ, оскільки вони можуть бути легко автоматизовані та застосовані з метою досягнення важливих технічних характеристик. Більше того, вони можуть бути поєднані з іншими засобами управління якістю і є корисним доповненням до моделі розробки будь-якого ПЗ.

Загалом, вимірювання характеристик ПЗ на будь-якій стадії розробки приносить низку корисних результатів для розробників, оскільки допомагає ефективно використовувати час, фінанси та зусилля. Це досягається шляхом раннього розпізнання, оцінки та запобігання проблемам; за рахунок цього розмір, вартість, якість та простота підтримки продукту завжди буде під контролем.

#### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Основою дослідження є праці науковців у сфері управління якістю ПЗ, управління проектами ПЗ та міжнародні стандарти серії ISO/IEC щодо оцінки і вимірювання якості програмних продуктів. Згідно з дослідженнями, які описані у працях [1, 2], оцінка та забезпечення якості ПЗ є широкою темою, тому існує багато різних підходів до оцінки якості програмних продуктів. Загалом, поняття якості трактується як ступінь відповідності кінцевого продукту вимогам замовника. У галузі ПЗ визначені наступні основні критерії якості [3]:

- правильність;
- ефективність;
- цілісність;
- зручність використання;
- зручність підтримки;

- гнучкість;
- зручність тестування;
- можливість повторного використання.

У процесі розробки програмного продукту враховуються усі важливі критерії та їх пріоритети, у результаті чого підбирається модель управління якістю ПЗ, яка передбачає використання конкретних принципів розробки, метрик та методів тестування.

**Метою роботи є порівняння та аналіз метрик програмного забезпечення і типів, до яких вони відносяться, на предмет сфери застосування та зручності використання.**

#### Виклад основного матеріалу

Метрики програмного забезпечення – це стандартизовані вимірювання певних характеристик програмної системи чи процесу з метою визначення їх ступеня та міри впливу на продукт у цілому. Метою обрахунку програмних метрик є отримання об'єктивних та зрозумілих вимірювань для подальшого використання при плануванні бюджету, плану розробки, тестуванні, оптимізації та документації ПЗ [4]. Застосування метрик надає низку переваг для розробників, оскільки це спрощує прийняття вагомих рішень щодо архітектури програмного продукту, використання тих чи інших фреймворків, мов програмування тощо. Також це дозволяє швидко розпізнавати та усувати можливі несправності продукту, дає чітке і повне розуміння швидкодії програми та шляхи її оптимізації.

Тим не менше, оскільки процес проектування та розробки програмного продукту є доволі складним і комплексним, метрики ПЗ виступають лише інструментом при аналізі проекту спеціалістом та мають певні обмеження. Наприклад, застосування метрик не завжди є простим процесом, в багатьох випадках це складно та дорого; окрім того, кожен проект є унікальним. Саме тому загальновідомі метрики можуть бути використані лише для вимірювання базових характеристик програмного коду, а для глибшого аналізу слід розробити метрику конкретно для даного програмного продукту.

Метрики програмного забезпечення є емпіричними, а тому не покривають весь спектр атрибутів коду і відображають не абсолютну оцінку ПЗ, а лише ймовірність виникнення проблем та збоїв [5].

Методологія даного дослідження полягає у використанні наступних критеріїв порівняння метрик ПЗ:

- основна ідея метрики та галузь її застосування;
- простота реалізації та гнучкість використання;
- основні переваги та недоліки метрик ПЗ.

Класифікація розглянутих у даній статті програмних метрик представлена на рис. 1.

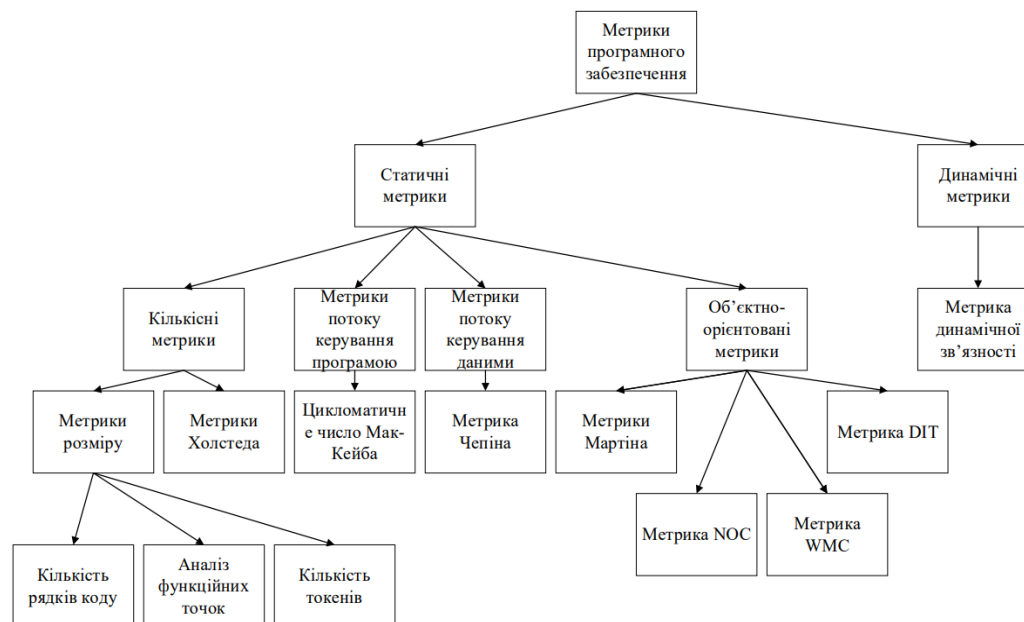


Рис. 1. Класифікація метрик програмного забезпечення

У сучасних комплексних проектах знаходять своє застосування представники всіх типів програмних метрик, однак кожна з них має свої особливості застосування та може трактуватись по-різному, залежно від специфіки конкретного програмного продукту.

**Метрика динамічної зв'язності** (Dynamic Coupling Metric – DCM) використовується для вимірювання зв'язності між парою об'єктів чи класів під час роботи програмної системи [6]. Перевагою цієї

метрики є інформативність, оскільки її можна використовувати на рівні модулів та виміряти ступінь залежності між цими модулями. До недоліків метрики відноситься складність використання та неможливість її застосування на ранніх етапах розробки ПЗ, оскільки у наявності має бути робоча система з відомою архітектурою.

**Кількість рядків коду** (Source Lines of Code – SLoC) – це метрика розміру програмного продукту, основна ідея якої полягає у підрахунку кількості рядків коду, без врахування коментарів та порожніх рядків [7]. Ця метрика розроблена для оцінки зусиль, витрачених на розробку програмного модуля та для порівняння продуктивності розробників. Метрика SLoC є однією з найпростіших і ранніх метрик, тому вона має низку обмежень. Основними з цих обмежень є те, що одна й та сама функціональність може бути як записана в один рядок, так і розбита на декілька; також потрібно враховувати специфіку окремих мов програмування. Враховуючи це, дану метрику не можна вважати гнучкою, проте вона є простою у реалізації та має широку галузь застосування. Розрізняють два типи рядків – фізичні та логічні; фізичні рядки представляють кількість усіх рядків коду, а логічні – кількість команд програми.

**Кількість токенів** (Token Count) – концепція цієї метрики полягає у тому, щоб розглядати програму як колекцію токенів. Токенами вважаються унікальні оператори та операнди, і вся логіка роботи програми може бути визначена за допомогою цих базових конструкцій [1]. Розмір програми вважається сумою кількості унікальних операторів та кількості унікальних операндів. Метрика Token Count має широку галузь застосування, оскільки вона може бути інтегрована у будь-який проект. Проте ця метрика не враховує специфіки архітектури конкретної програмної системи, а тому вона може використовуватись лише як додатковий інструмент, а не як самостійний критерій оцінки ПЗ.

**Аналіз функціональних точок** (Function Point) – виражає обсяг бізнес-логіки ПЗ за допомогою аналізу функцій та модулів системи. Усі функції програми розподіляються на п'ять типів: функції введення, функції виведення, запити, функції роботи з файлами та зовнішні інтерфейси. Після розподілу на категорії проводиться аналіз алгоритмічної складності кожної функції, на основі чого формується розмір програмного продукту [2]. Перевагою цієї метрики є її універсальність – результати оцінки не залежать від мови програмування та архітектури додатку; проте ця метрика є доволі складною у використанні.

**Метрики Холстеда** (Halstead Metrics) також відносяться до кількісних метрик, проте вони відображають значно більше інформації у порівнянні з попередніми метриками. Цей метод передбачає підрахунок загальної кількості операторів, загальної кількості операндів, кількості унікальних операторів та кількості унікальних операндів; за допомогою цих показників розраховуються значення розміру програми, розміру словника, складності програми, обсяг зусиль тощо [1]. До переваг Halstead Metrics можна віднести відносну простоту використання та універсальність, оскільки ці метрики не залежать ні від мови програмування, ні від складності алгоритму, що описується. До недоліків метрик Холстеда можна віднести те, що вони є статичними, тому вони обраховуються безпосередньо за допомогою коду, і, отже, не відображають атрибути програмної системи під час її виконання.

Найпоширенішим представником **метрик потоку керування програмою** є цикломатична складність програми, або **циклوماتичне число Мак-Кейба** (McCabe's Cyclomatic Metric). Концепція цієї метрики полягає у представленні програми як зв'язного орієнтованого графа, вузли якого відображають частини вихідного коду, а ребра – потік керування, який виконується під час роботи програми. Цикломатичне число рівне числу лінійно незалежних шляхів роботи програми у його відображенні за допомогою графа. Ця метрика описує складність роботи програми та число можливих відгалужень алгоритму роботи під час її виконання.

**Метрика Чепіна** (Chapin's Metric) – метрика **потоку керування даними**, суть якої полягає в оцінці інформаційної єдності окремо взятого програмного модуля за допомогою аналізу використання змінних введення та виведення. При цьому змінні поділяються на чотири типи: вхідні змінні, створені змінні, керуючі змінні та паразитні змінні. Ця метрика є доволі корисною при аналізі програмних модулів на оптимальність роботи з даними, проте її складно обчислити, а поділ змінних потребує від розробника додаткового аналізу.

Широкого використання набувають **об'єктно-орієнтовані метрики**, оскільки об'єктно-орієнтована парадигма програмування на сьогодні є досить поширеною. Серед цих метрик можна виділити наступні. **Метрики Мартіна** (Martin's Metrics) допомагають оцінити рівень нестабільності класу, рівень абстракції та залежність нестабільності класу від його абстракції. **Метрика WMC** (Weighted Methods per Class) представляє собою сумарну складність усіх методів класу, **метрика DIT** (Depth of Inheritance Tree) – глибину дерева наслідування, **метрика NOC** (Number of children) – кількість класів, що наслідують даний [8].

Об'єктно-орієнтовані метрики дають змогу оцінити оптимальність описаних класів та інтерфейсів з метою забезпечення хорошого рівня абстракції та зв'язності між об'єктами класів, однак ці метрики є вузькоспеціалізованими і можуть бути використані лише при аналізі ПЗ у межах об'єктно-орієнтованої парадигми програмування.

В цілому очевидно, що для управління якістю конкретного програмного продукту не можна обмежуватись використанням однієї метрики чи одного типу метрик, оскільки вони покликані вирішувати різні завдання проектування ПЗ. Частина програмних метрик є універсальними, а інші використовуються лише при розробці програм у певній парадигмі програмування. Тому оптимальним підходом є комбінування різних програмних метрик та розробка власних при потребі глибшої та якіснішої оцінки якості ПЗ.

**Висновки**

У дослідженні виконано порівняння та аналіз різних типів метрик ПЗ та конкретних представників цих типів на предмет галузі застосування, концепції окремих метрик, а також зручності та гнучкості використання. Визначені основні переваги та недоліки метрик ПЗ при використанні у проектах та особливості їх реалізації.

За результатами дослідження встановлено, що жодна метрика не може вирішити завдання виміру якості програмного продукту у повній мірі, а тому оптимальним є використання різних типів метрик для отримання детальної оцінки ПЗ. Підхід, який полягає у поєднанні різних програмних метрик залежно від парадигми, архітектури, а також етапу життєвого циклу ПЗ, дозволяє досягати високої якості програмного продукту.

**Література**

1. A Study of Software Metrics. ResearchGate. URL: [https://www.researchgate.net/publication/322070697\\_A\\_Study\\_of\\_Software\\_Metrics](https://www.researchgate.net/publication/322070697_A_Study_of_Software_Metrics)
2. Analysis of Software Quality Using Software Metrics. URL: [https://www.researchgate.net/publication/328830202\\_Analysis\\_of\\_Software\\_Quality\\_Using\\_Software\\_Metrics](https://www.researchgate.net/publication/328830202_Analysis_of_Software_Quality_Using_Software_Metrics)
3. Software Quality Factors and Software Quality Metrics. URL: [https://www.researchgate.net/publication/263582173\\_Software\\_Quality\\_Factors\\_and\\_Software\\_Quality\\_Metrics\\_to\\_Enhance\\_Software\\_Quality\\_Assurance](https://www.researchgate.net/publication/263582173_Software_Quality_Factors_and_Software_Quality_Metrics_to_Enhance_Software_Quality_Assurance)
4. Galin D. Software quality. Concepts and practice. Publisher: Wiley-IEEE Press, 2018. 720 p.
5. Garst Smith Howard T. Software quality assurance: A guide for developers and auditors. Publisher: CRC Press Inc, 2020. 480 p.
6. Suryan W. Software quality engineering. A practitioner's approach. Publisher: Wiley-IEEE Computer Society Pr, 2014. 208 p.
7. ISO/IEC 25023:2016 Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – Measurement of system and software product quality. ISO.org. URL: <https://www.iso.org/ru/standard/35747.html>
8. Рыжков Е. Программный код и его метрики [Электронный ресурс] / Е. Рыжков // Веб-портал Хабр. – Режим доступа : <https://habr.com/ru/company/intel/blog/106082/>

**References**

1. A Study of Software Metrics. ResearchGate. URL: [https://www.researchgate.net/publication/322070697\\_A\\_Study\\_of\\_Software\\_Metrics](https://www.researchgate.net/publication/322070697_A_Study_of_Software_Metrics)
2. Analysis of Software Quality Using Software Metrics. URL: [https://www.researchgate.net/publication/328830202\\_Analysis\\_of\\_Software\\_Quality\\_Using\\_Software\\_Metrics](https://www.researchgate.net/publication/328830202_Analysis_of_Software_Quality_Using_Software_Metrics)
3. Software Quality Factors and Software Quality Metrics. URL: [https://www.researchgate.net/publication/263582173\\_Software\\_Quality\\_Factors\\_and\\_Software\\_Quality\\_Metrics\\_to\\_Enhance\\_Software\\_Quality\\_Assurance](https://www.researchgate.net/publication/263582173_Software_Quality_Factors_and_Software_Quality_Metrics_to_Enhance_Software_Quality_Assurance)
4. Galin D. Software quality. Concepts and practice. Publisher: Wiley-IEEE Press, 2018. 720 p.
5. Garst Smith Howard T. Software quality assurance: A guide for developers and auditors. Publisher: CRC Press Inc, 2020. 480 p.
6. Suryan W. Software quality engineering. A practitioner's approach. Publisher: Wiley-IEEE Computer Society Pr, 2014. 208 p.
7. ISO/IEC 25023:2016 Systems and software engineering – Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – Measurement of system and software product quality. ISO.org. URL: <https://www.iso.org/ru/standard/35747.html>
8. Ryzhkov E. Programmnyj kod i ego metriki [Elektronnyj resurs] / E. Ryzhkov // Veb-portal Habr. – Rezhim dostupa : <https://habr.com/ru/company/intel/blog/106082/>

Рецензія/Peer review : 25.09.2021 р.

Надрукована/Printed : 10.10.2021 р.



Ім'я користувача:  
Кафедра КІ

ID перевірки:  
1011214240

Дата перевірки:  
17.05.2022 09:58:31 EEST

Тип перевірки:  
Doc vs Internet + Library

Дата звіту:  
17.05.2022 10:08:04 EEST

ID користувача:  
100005591

Назва документа: Кустовський\_Кіберфізична система діагностування стану здоров'я

Кількість сторінок: 78 Кількість слів: 14535 Кількість символів: 113377 Розмір файлу: 2.04 MB ID файлу: 1011106738

## 4.41% Схожість

Найбільша схожість: 1.4% з джерелом з Бібліотеки (ID файлу: 1008050888)

3.01% Джерела з Інтернету

77

Сторінка 80

1.58% Джерела з Бібліотеки

95

Сторінка 80

## 0.16% Цитат

Цитати

1

Сторінка 81

Не знайдено жодних посилань

## 0% Вилучень

Немає вилучених джерел

## Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

106

Tue May 17 09:08:34 EEST 2022, Медзатий Дмитро Миколайович, Хмельницький національний університет, ХНУ

## Anti-Plagiarism v-15.257

**Максимальное совпадение с одним документом 1.0%**

**Словари проверки: en\_US, ru\_RU, ua\_UA. Ошибок в документах: 9%**

ID: 103550 Название: Кіберфізична система діагностування стану здоров'я Добавлено в БД: 2022-05-17 Авторы: Р.С. Кушовський Руководители: Є.Г. Гнатчук Консультанты: Оponentы:	Документ		Суммарное совпадение по Базе Данных	
	Символы	Лексемы	Символы	Лексемы
	105406	700	1275 (1%)	12 (2%)

### Источник плагиата

ID	Описание	Наличие плагиата в документе	
		Символы	Лексемы

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: студент групи КІ2м-20-1 Кустовський Роман Сергійович

Тема: Кіберфізична система діагностування стану здоров'я

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень \_\_\_ - \_\_\_ Кількість сторінок записки 105

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Представлена робота присвячена актуальній темі, а саме розробці кіберфізичної системи діагностування стану здоров'я. У роботі здійснено розробку концептуальної моделі кіберфізичної системи діагностування стану здоров'я. Також вдосконалено метод гібридного автомата шляхом введення варіанту постановки структурно-функціонального параметричного синтезу.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Магістерська кваліфікаційна робота виконана у відповідності до завдань із дотриманням всіх вимог.

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: В першому розділі було проведено детальний аналіз предметної області, здійснено аналіз сучасних існуючих апаратних та програмних технологій, що використовуються для дослідження показників стану здоров'я, представлено та описано особливості існуючих рішень в розглянутій сфері. На основі проведених теоретичних досліджень було доведено актуальність роботи і визначено вимоги для створюваної системи. В другому розділі було розглянуто моделі та методи розробки кіберфізичних систем діагностування стану здоров'я. Також представлено розробку концептуальної моделі КФС для діагностування стану здоров'я. Набув подальшого розвитку метод гібридного автомата шляхом введення варіанту постановки структурно-функціонального параметричного синтезу. В третьому розділі описано архітектуру та алгоритм

управління роботою кіберфізичних систем діагностування стану здоров'я. В четвертому розділі здійснено розроблення програмного забезпечення КФС.

4. Позитивні сторони роботи: До позитивних сторін роботи слід віднести вибір актуального напрямлення дослідження, всебічний та детальний аналіз усіх існуючих стратегій вирішення проблеми, а також глибоке опрацювання всіх аспектів реалізації і використання запропонованого рішення.

5. Негативні сторони роботи:

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Представлені матеріали роботи чітко та логічно структуровані, що відображає послідовність виконання поставлених завдань.

7. Відгук про роботу в цілому: Зміст представленої роботи в повній мірі розкриває обрану тему. Проведені дослідження в достатній мірі аргументовані, виконані на високому теоретичному та практичному рівні. Результатом проведення досліджень стали відповідні висновки і конкретні пропозиції щодо проектування та розробки КФС діагностування стану здоров'я.

8. Інші зауваження: \_\_\_\_\_

9. Оцінка дипломної роботи: Розглянувши представлену кваліфікаційну роботу вважаю, що робота заслуговує оцінки «відмінно, 4.75 А».

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) Мартинюк Валерій Володимирович доктор технічних наук, професор, зав. кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій ХНУ.

“18” 05 2022 р.

 (підпис)

# ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

## ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

Направляється студент Кустовський Роман Сергійович на захист дипломного проєкту (роботи)  
(прізвище, ім'я, по батькові)

за спеціальністю 123 - Комп'ютерна інженерія

На тему: Кіберфізична система діагностування стану здоров'я

Дипломний проєкт (робота), рецензія і довідка про перевірку на плагіат додаються.

Декан факультету



O. Lavenko  
(ім'я, прізвище)

### ДОВІДКА УСПІШНОСТІ

Кустовський Р. С. за період навчання на факультеті інформаційних технологій з 2020 по 2022 роки повністю виконав навчальний план спеціальності з таким розподілом оцінок за: національною шкалою: відмінно 27,27 %, добре 63,64 %, задовільно 9,09 %. шкалою ЄКТС: А 21,05 %, В 21,05 %, С 36,84 %, D 5,26 %, E 15,79 %.

Методист факультету

(підпис)

(ім'я, прізвище)

### ВИСНОВОК КЕРІВНИКА ДИПЛОМНОГО ПРОЄКТУ (РОБОТИ) ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ

Студент Кустовський Роман Сергійович виконав кваліфікаційну роботу на високому кваліфікаційному рівні, усі поставлені завдання виконав в повному обсязі

Оцінка дипломного проєкту (роботи) відмінно (4,75/A)

Керівник дипломного проєкту

(підпис)

(ім'я, прізвище)

" 18 " 05 2022 р.

### ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ)

Дипломний проєкт (роботу) розглянуто. Студент Кустовський Р. С. допускається до захисту цього проєкту (роботи) в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри

(назва)

Т. Говорунчик  
(підпис, ім'я, прізвище)

" 18 " 05 2022 р.

**РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ  
КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ  
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ**

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: «Кіберфізична система діагностування стану здоров'я»

Автор: Кустовський Роман Сергійович

Спеціальність: 123 – Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: Освітньо-наукова

Науковий керівник: Гнатчук Єлизавета Геннадіївна, кандидат технічних наук, доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укріплення запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
5	Інше:	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) у тексті дипломної роботи системами перевірки на плагіат виявлено схожість з деякими документами в частині загальноживаних обов'язкових словосполучень у стандартних бланках (титулка), у структурі змісту, назвах розділів/підрозділів тощо та в назвах публікацій у переліку джерел посилання;

2) в якості запозичень системою було зафіксовано деякі послідовності вихідного коду і посилання на бібліотеки, які є стандартними мовними конструкціями програмування та не можуть розглядатися як об'єкт авторських прав і, відповідно, їх порушення;

3) усі запозичення є фрагментарними або мають належним чином оформленні посилання;

4) виявлені модифікації тексту не впливають на відсоток схожості.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів ідентичності/схожості, складає 4,41 % і адресується до 77 джерела, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру теми і свідчить на користь дипломної роботи.

Керівник

\_\_\_\_\_

Є. Г. Гнатчук

Гарант ОП

\_\_\_\_\_

О. С. Савенко

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_

Т.О. Говорущенко

Завідувачу кафедри комп'ютерної інженерії  
та інформаційних систем  
проф. Говорущенко Т.О.

здобувача вищої освіти

Кустовського Р.С.

Прізвище, ініціали

факультет ІТ, 2 курс, група КІ2м-20-1

### ЗАЯВА


З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

13.05.2022.

дата

  
підпис