Голові спеціалізованої вченої ради
ДФ 64.062.001
Національного аерокосмічного
університету ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
доктору технічних наук, професору
Висоцькій Олені Володимирівні
61070, м. Харків, вул. Чкалова, 17

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу Стрєлкіної Анастасії Андріївни
«Моделі та методи інформаційної технології забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей»,
подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю
122 Комп'ютерні науки

1. Актуальність теми та зв'язок з науковими планами і програмами

1.1. У теперішній час у всьому світі спостерігається тенденція впровадження технології Інтернету речей у людське життя. Однією з галузей використання цієї технології є медицина, що дозволяє проводити віддалений моніторинг здоров'я пацієнтів, забезпечити доступність критичного обладнання і моніторинг персоналу та стану інвентарю, скоротити час очікування для надання медичних послуг, вдосконалити розподіл лікарських засобів тощо. Зрозуміло, що такі системи характеризуються підвищеними вимогами до рівня критичності застосування, бо від якості їх функціонування насамперед залежить здоров'я і життя людини. Проте на теперішній час суспільству вже відомі випадки, які призвели до повних відмов медичних систем і навіть смертей пацієнтів, які були спричинені через навмисне порушення функціонування медичних мережевих пристроїв, приватності пацієнтів і випадкових відмов.

Слід зазначити, що проектуванню програмно-технічних комплексів критичного застосування, до яких відносяться і медичні системи, як згадувалося вище, має передувати складання специфікації та обґрунтування вимог до значень показників надійності, готовності, безвідмовності, функціональності, кібербезпеки, продуктивності тощо. При цьому для комплексної оцінки системи ці показники

використовують більш широко, як комплексне поняття гарантоздатності. Визначення показників гарантоздатності критичних систем здійснюється за допомогою математичних моделей і методів, використання яких специфіковано міжнародним стандартом IEC 60301-3-1:2003.

Забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей в цілому є комплексним, складним і трудомістким процесом, в якому необхідно також прийняти до уваги особливості і медичної галузі, і побудови інфраструктури Інтернету речей. Зрозуміло, що в цьому випадку математичні моделі, що розробляються, матимуть високу складність для проведення досліджень, розрахунків і розуміння. Тому для задач такого роду доцільно використовувати фрагментарність моделей, що розробляються, з метою опису повторних частин, які мають схожу структуру і відрізняються лише значеннями деяких параметрів.

Отже, означенні обставини обумовлюють актуальність тематики дисертаційних досліджень Стрєлкіної А. А. Важливим з точки зори теорії і практики є наукове завдання розроблення моделей та методів інформаційної технології забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей з урахуванням атак на вразливості і дефектів програмних та апаратних компонентів, а також процедур функціонування медичного пристрою.

1.2. Дослідження виконувалося на кафедрі комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «ХАІ» в рамках НДР за темою «Методи, програмно-апаратні засоби та інформаційні технології розроблення і модернізації гарантоздатних комп'ютерних систем, мереж та IT-інфраструктур» (ДР №0117U005349), а також міжнародних освітянських проєктів TEMPUS-SEREIN і ERASMUS+ - ALIOT.

2. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації

2.1. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел і сім додатків.

У *вступі* здобувачка обґрунтувала актуальність теми дослідження й науково-прикладної задачі, сформулювала мету, задачі, об'єкт, предмет і методи

дослідження, показала наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, а також навела інформацію щодо впровадження, апробації та публікації результатів дослідження.

У *першому* розділі здобувачкою на основі науково-технічних інформаційних джерел виконано аналіз вимог до гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей. Для чого визначені можливості використання такого роду систем, особливості побудови архітектури медичної системи на основі Інтернету речей і наведені самі життєве важливі вимоги до функціонування інсулінових помп. Проведено аналіз особливостей забезпечення гарантоздатності відповідно до об'єкта дослідження. На основі аналізу нормативної бази вимог до гарантоздатності, архітектури і принципів функціонування систем, що досліджуються, наведено профільоутворюючу нормативну базу вимог до медичних систем, що функціонують в середовищі Інтернету речей. Також проведено аналіз моделей, методів і засобів оцінювання і забезпечення гарантоздатності і обрано моделі і методи відповідно до поставленої мети. Таким чином, в розділі обґрунтована методика проведення дослідження.

Другий розділ присвячено розробленню і дослідженню моделей оцінювання готовності медичних систем на основі Інтернету речей. Наведено комплекс моделей оцінювання гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей, що відповідає вирішеній першій науковій задачі. Цей комплекс відображає як структуру медичної системи на основі Інтернету речей, так і причинно-наслідкові зв'язки між її компонентами. Надаючи відповідні допущення і припущення, здобувачкою представлені моделі, які базуються на використанні систем масового обслуговування, а саме:

– моделі кібератак на медичну систему на основі Інтернету речей, що описують атаку на одну вразливість, атаку на вразливості із можливістю усунення;

– модель готовності медичної системи на основі Інтернету речей, що враховує відмови компонентів інфраструктури;

– модель готовності медичної системи на основі Інтернету речей, що враховує атаки на вразливості компонентів інфраструктури.

Здобувачкою наведені відповідні результати симуляції і дослідження розроблених моделей, а також рекомендації щодо підвищення рівня готовності.

Третій розділ дисертації присвячено розробленню і дослідженню моделі функціональної поведінки медичного пристрою (інсулінової помпи) та методу вибору засобу захисту медичної системи на основі Інтернету речей. Модель функціональної поведінки відповідає другому науковому результату. Дана модель представлена у вигляді структурно-автоматної моделі, для чого здобувачка надала відповідні припущення; визначила параметри та показники функціональності об'єкта дослідження; сформувала перелік базових подій та опис ситуацій, за яких ці події відбуваються; сформувала вектор стану об'єкта дослідження; за допомогою логічних виразів описала ситуації, в яких відбуваються базові події; згрупувала вирази для розрахунку значень інтенсивностей подій у кожній ситуації; склала вирази для розрахунку ймовірностей альтернативних переходів; встановила правила модифікації компонентів вектору стану і провела верифікацію та валідацію розробленої моделі. За результатами валідації були виявлено, що очікуваний результат не відповідає отриманому. Тому було виконано удосконалення розробленої моделі з метою заміни експоненційного закону розподілу законом розподілу Ерланга. Метод забезпечення кібербезпеки медичних систем на основі Інтернету речей відповідає третьому науковому результату. Даний метод призначений для оцінки витрат кожного рішення щодо захисту медичних систем на основі Інтернету речей та обрати найбільш ефективні варіанти забезпечення кібербезпеки (оптимальний набір засобів захисту) для всього діапазону можливих кібератак. Проведено уточнення результатів дослідження моделі, яка була представлена у другому розділі. За результатами використання даного методу готовність системи може бути збільшена до 4%.

Четвертий розділ присвячено розробленню і практичному використанню інформаційної технології оцінювання і забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей. Також наведено метод кейс-орієнтованого оцінювання кібербезпеки медичних систем на основі Інтернету речей, що відповідає четвертому науковому результату. Цей метод надає оцінку відповідності медичних

систем на основі Інтернету речей вимогам, що починається з розробки профілю вимог і закінчується підсумковим звітом, що забезпечує тим самим підтвердження вагомих аргументів того, що система є належним чином захищеною для даної області застосування в даному середовищі. Елементи інформаційної технології базуються на наукових результатах (моделях, методів, алгоритмах), представлених в попередніх розділах дисертаційної роботи. Здобувачкою розроблено два інструментальних засоби, а саме IoHTStandard для побудови ієрархічної моделі нормативних документів забезпечення безпеки медичних IoT систем і GTC для отримання оптимальних варіантів забезпечення кібербезпеки для всього діапазону атак, який заснований на методах теорії ігор.

Висновки містять розгорнутий перелік основних результатів та рекомендацій отриманих в дисертації.

Додатки містять список публікацій здобувачки, акти відповідних впроваджень результатів дисертації, аналіз вимог до медичних систем на основі Інтернету речей, лістинги програмного коду розроблених моделей, граф станів і переходів структурно-автоматної моделей, сортування подій поведінки структурно-автоматної моделі і саму структурно-автоматну модель.

2.2. В цілому наукові результати є належним чином обґрунтовані. Обґрунтованість забезпечується коректністю постановки задачі, використанням апробованих положень теорії моделювання дискретно-неперервних стохастичних систем, теорії масового обслуговування, теорії марковських випадкових процесів, теорії ігор, кейс-методів, а також використання методів об'єктно-орієнтованого програмування, методи функціонального моделювання.

3. Наукова новизна одержаних результатів

3.1. Підтверджую, що наукову новизну одержаних результатів дисертаційної роботи Стрєлкіної А. А. складають:

1) удосконалено комплекс моделей оцінювання гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей шляхом врахування різних функціональних станів, типів відмов та кібератак, що дає змогу розраховувати показники готовності,

функціональної безпеки, кібербезпеки, визначати їх залежність від параметрів медичних мобільних пристроїв та хмарного середовища;

2) вперше одержано модель функціональної поведінки медичного пристрою, яка, на відміну від відомих, враховує різні закони розподілу часу між заявками на обслуговування, а також різні типи відмов за рівнем критичності, що дозволяє визначити вплив показників медичного пристрою на готовність та гарантоздатність медичної IoT системи в цілому;

3) набув подальшого розвитку метод забезпечення кібербезпеки медичних систем на основі Інтернету речей шляхом вибору контрзаходів з використанням теорії матричних ігор, що дозволяє вибирати за максімінним критерієм множину засобів захисту;

4) удосконалено метод кейс-орієнтованої оцінки кібербезпеки медичних систем на основі Інтернету речей за рахунок формування профільоутворюючої бази стандартів та функціональних вимог, а також процедури вибору інструментів оцінювання, що дозволяє підвищити повноту оцінювання.

3.2. Вважаю, що наукові результати здобувачки є вагомим внеском у розвиток моделей та методів забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей. Розроблене математичне і програмне забезпечення надають нові можливості в дослідженні і впровадженні таких систем.

4. Достовірність отриманих результатів і висновків

Достовірність отриманих результатів підтверджується:

– використанням відомих і загальновживаних математичних апаратів при розробці відповідних моделей забезпечення гарантоздатності;

– обґрунтованістю припущень, прийнятих при розробці моделей забезпечення гарантоздатності, виходячи із досвіду проектування і експлуатації компонент медичних систем на основі Інтернету речей і експериментальних даних про вразливості і атаки;

– результатами відповідної апробації у періодичних виданнях та оприлюдненням на міжнародних конференціях.

5. Практична цінність одержаних результатів та їх подальше використання

5.1. Запропоновані моделі та методи дали змогу розробити відповідні алгоритми і інструментальні засоби для автоматичного а) визначення стандартів, що описують вимоги до медичних систем на основі Інтернету речей, який дозволяє отримати аналітичну модель розподілу міжнародних стандартів та нормативних документів та співвідношення окремої категорії медичних приладів до певної категорії стандартів; б) вибору засобу захисту медичної інфраструктури від певних кібератак, який призначений для допомоги в прийнятті рішення щодо вибору оптимальних варіантів забезпечення кібербезпеки для всього діапазону атак, який заснований на методах теорії ігор.

5.2. Акти впровадження результатів підтверджують використання наукових положень, висновків і рекомендацій у ТОВ «ХАІ-МЕДИКА», а також у держбюджетному науково-дослідницькому проекті, міжнародних проєктах за програмами TEMPUS і ERASMUS+ та навчальному процесі Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «ХАІ».

5.3. Подальше використання результатів дисертаційного дослідження доцільно в університетах, на кафедрах, які займаються розробленням навчальних курсів з відповідної тематики, а також НДІ і КБ, які формують та розробляють відповідні вимоги, а також спеціалізуються на створенні відповідних медичних систем.

5.4. Запропоноване математичне і програмне забезпечення буде також корисним для магістрантів та аспірантів (докторантів) спеціальностей 122 Комп'ютерні науки, 123 Комп'ютерна інженерія, 125 Кібербезпека, 163 Біомедична інженерія та ін., які будуть виконувати дослідження складних систем критичного призначення, до яких відносяться і медичні.

6. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладу результатів в опублікованих працях

6.1. *Оформлення дисертації.* Дисертаційну роботу викладено на 301 сторінках друкованого тексту, з них 146 сторінок основного тексту, 69 рисунків та 24 таблиць. Оформлення дисертації відповідає усім необхідним атестаційним вимогам.

6.2. *Дотримання вимог академічної доброчесності.* Проведена перевірка дисертації на наявність академічного плагіату, отримані результати свідчать про високу індивідуальність роботи. По всьому тексту дисертації простежується авторський стиль. У дисертації не виявлено текстових запозичень і використання наукових результатів інших науковців без посилань на відповідні джерела.

6.3. *Повнота викладу результатів в опублікованих працях.* Основні результати дисертації опубліковано у 17 наукових праць, серед яких 1 стаття у періодичному науковому виданні іншої держави, яка входить до Європейського Союзу (Словаччина), 4 статті у наукових фахових виданнях України (в журналах, індексованих у міжнародних наукометричних базах даних), 2 глави в колективних англомовних монографіях (Springer, River Publishers), 6 публікацій в працях англомовних конференцій, матеріали яких включено до баз даних Scopus і WoS, 4 публікації за матеріалами наукових конференцій. Вимогам п. 11 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 06 березня 2019 року № 167 відповідає 5 публікацій.

7. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. Відомо, що зі збільшенням кількості моделей можливих станів системи (зокрема моделі готовності медичної системи на основі Інтернету речей, що враховує відмови компонентів інфраструктури (розділ 2.3) моделі готовності медичної системи на основі Інтернету речей, що враховує атаки на вразливості компонентів інфраструктури (розділ 2.4), функціональної поведінки медичного пристрою, розділ 3.1), втрачається їх наочність. Велика кількість станів в запропонованих моделях викликає не адекватне сприйняття інформації, щодо синтезованих у роботі моделей. В цьому випадку процес аналізу моделей, а також розрахунки показників характеристик системи є складним процесом. У тексті дисертації, а саме у вступі і першому розділі, зазначалося, що для складних систем необхідно використовувати фрагментарність моделі системи (оптимальним або раціональним способом розчленувати складну модель системи на декілька простих).

В дисертації при розробці та дослідженні синтезованих моделей доцільно було їх спочатку фрагментувати за якимось ознаками. Це, можливо, дало би змогу підвищити достовірність отриманих у дисертації результатів.

2. Розроблені здобувачкою моделі і методи інформаційної технології забезпечення і оцінювання гарантоздатності медичних систем не враховують можливий людський фактор. В дисертації доцільно було б розробити і дослідити відповідні моделі і методи з урахуванням впливу людський фактору. Це особливо важливо для медичних систем, що безпосередньо взаємодіють з людиною.

Результати таких досліджень гарантували більш точну оцінку при використанні моделей і методів.

3. Запропоновані здобувачкою моделі готовності медичної системи на основі Інтернету речей з використанням марковських моделей, які враховують відмови компонентів інфраструктури, атаки на вразливості компонентів інфраструктури, дійсно дозволяють отримати доволі адекватні і точні значення показників готовності. Але здобувачка не провела порівняльного аналізу отриманих значень показників готовності таких систем, які були отримані іншими науковцями для різних моделей.

Дана обставина декілька знижує практичну значущість даного розділу дисертації.

4. У дисертації наведені додатки, шо повинні було бути пояснювальним матеріалом для основної частини теоретичного матеріалу. На мій погляд, такі додатки, як: додаток Д (граф станів і переходів структурно-автоматної моделі, стор. 193-228), додаток Е (сортування подій поведінки, стор. 229-283), а також додаток Ж не несуть позитивної інформації, щодо практичного та іншого застосування результатів, що отримані в дисертації.

Слід зазначити, що усі відмічені недоліки не знижують достатньо високого наукового рівня та практичної цінності результатів дисертаційного дослідження здобувачки.

8. Висновки

8.1. *Представлена дисертація є завершеною науковою працею, у якій отримано нові наукові обґрунтовані результати.* У дисертації розв'язано наукове завданням розроблення моделей та методів інформаційної технології забезпечення гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей з урахуванням атак на вразливості і дефектів програмних та апаратних компонентів, а також процедур функціонування медичного пристрою.

8.2. *Одержані наукові та практичні результати є* ваговим внеском у розвиток моделей і методів забезпечення і оцінювання гарантоздатності медичних систем на основі Інтернету речей. Зміст роботи повністю відповідає спеціальності 122 Комп'ютерні науки.

8.3. Отже, дисертаційна робота за ступеню актуальності обраної теми, обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх новизни, повноти викладу в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації, відсутності порушень академічної доброчесності, *цілком відповідає вимогам* пунктів 9-12 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 06 березня 2019 року № 167, а її авторка, Стрєлкіна Анастасія Андріївна, заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки.

Професор кафедри електроніки і управляючих систем
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна,
Заслужений винахідник України, доктор технічних наук, професор

В. А. Краснобаєв

«14» липня 2020 р.

Підпис засвідчую
Начальник служби управління персоналом