ВІДГУК
ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА
Кльоца Юрія Павловича,
кандидат технічних наук, завідувач кафедри кібербезпеки
Національного технічного університету України
«Хмельницького національного університету»
на дисертаційну роботу Штільмана Павла Романовича на тему:
«Багаторівнева онтологія аналізу ризиків у бездротових сенсорних мережах»,
що представлена на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 123 – Комп'ютерна інженерія
галузь знань 12 – Інформаційні технології

## 1. Актуальність теми дисертації

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню задачі підвищення ефективності аналізу станів, вразливостей і ризиків у бездротових сенсорних мережах, експлуатація яких відбувається за умов неповноти даних, обмеженості енергетичних ресурсів, нестабільності каналів зв'язку та впливу зовнішніх чинників. Актуальність теми зумовлена необхідністю своєчасного виявлення критичних станів вузлів і каналів мережі, оцінюванні ризикових ситуацій та забезпеченні підтримки прийняття рішень щодо подальшого реагування.

У роботі запропоновано комплекс взаємопов'язаних моделей і методів, що поєднує нечітке моделювання, графово-атрибутивне подання структури БСМ, онтологічне представлення знань, семантичне логування станів компонентів, аналіз вразливостей і узагальнену оцінку ризику. Практична спрямованість дослідження полягає у можливості застосування отриманих результатів для контролю стану сенсорних вузлів і каналів зв'язку, визначення слабких місць мережі, побудови карти ризиків та підготовки рекомендацій щодо дій у позаштатних ситуаціях.

Отже, дисертаційна робота Штільмана Павла Романовича, присвячена розробленню багаторівневої онтології аналізу ризиків у бездротових сенсорних мережах, спрямована на розв'язання важливої науково-практичної задачі та є своєчасною й актуальною.

## 2. Структура та обсяг дисертації

Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 217 сторінок, в тому числі: 160 сторінки основного тексту, 14 рисунки і 11 таблиць, список використаних джерел зі 109 найменувань і 4 додатків.

**У вступі** розглянуто бездротові сенсорні мережі як об'єкт дослідження, проаналізовано їхню структуру, особливості функціонування у промислових умовах, методи організації роботи, підходи до оцінювання надійності, безпеки, вразливостей і ризиків. За результатами аналізу сформульовано актуальну

науково-прикладну задачу розроблення багаторівневої онтологічної моделі аналізу ризиків у БСМ.

**У першому розділі** розглянуто бездротові сенсорні мережі як об’єкт дослідження, проаналізовано їхню структуру, особливості функціонування у промислових умовах, методи організації роботи, підходи до оцінювання надійності, безпеки, вразливостей і ризиків. За результатами аналізу сформульовано актуальну науково-прикладну задачу розроблення багаторівневої онтологічної моделі аналізу ризиків у БСМ.

**У другому розділі** наведено математичний апарат нечіткого моделювання компонентів бездротових сенсорних мереж. Розроблено узагальнений підхід до формалізації систем із чіткими та нечіткими параметрами, побудовано нечітку модель сенсорного вузла з урахуванням станів його основних компонентів, а також нечітку модель каналу зв’язку з урахуванням пропускної здатності, затримок, доступності та старіння інформації.

**У третьому розділі** розроблено інтегровану багаторівневу онтологічну модель аналізу ризиків у БСМ. У межах розділу подано метод семантичного визначення та логування станів компонентів мережі, метод аналізу вразливостей, узагальнений метод оцінки ризику та метод адаптивного керування, орієнтований на формування рекомендацій щодо реагування на позаштатні ситуації.

**У четвертому розділі** наведено результати реалізації та імітаційного дослідження запропонованої багаторівневої онтологічної моделі. Розглянуто архітектуру реалізації, процедури оцінювання контексту, вразливості та ризику, сценарії функціонування тестової БСМ, аналіз отриманих результатів, а також порівняння запропонованого підходу з існуючими методами.

**У загальних висновках** узагальнено основні наукові та практичні результати дослідження..

**У додатках** представлено матеріали, що підтверджують апробацію та довідки впровадження.

Анотація дисертації стисло відображає її основні положення.

## 3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи є достатньо обґрунтованими, оскільки базуються на аналізі сучасних наукових джерел у галузі бездротових сенсорних мереж, нечіткого моделювання, онтологічного подання знань, аналізу вразливостей і ризик-орієнтованого управління. Такий підхід забезпечив логічну послідовність дослідження та підтверджує достовірність отриманих наукових результатів.

Достовірність теоретичних положень підтверджується коректним застосуванням математичного апарату, графово-атрибутивного опису структури

БСМ, методів нечіткої логіки, онтологічного моделювання та логічного висновку. Крім того, обґрунтованість запропонованих моделей і методів підтверджується результатами імітаційного дослідження тестової бездротової сенсорної мережі та практичними результатами, наведеними у додатках дисертації.

## 4. Практична значимість розроблених моделей та методів

Практична значущість дисертаційної роботи підтверджується можливістю використання запропонованих моделей і методів для аналізу стану бездротових сенсорних мереж, виявлення критичних компонентів, оцінювання ризиків і формування рекомендацій щодо реагування на позаштатні ситуації. Зокрема, розроблений підхід може бути застосований у системах моніторингу та керування БСМ для врахування поточного стану вузлів, каналів зв'язку, вразливостей, рівня ризику та наявних ресурсних обмежень.

Результати дисертаційної роботи впроваджено у діяльність ТОВ «Інтелект Груп Компані», що підтверджено відповідною довідкою, наведеною у додатках дисертації. Це засвідчує прикладну цінність запропонованих рішень та можливість їх використання як засобу підтримки прийняття рішень у задачах ризик-орієнтованого аналізу бездротових сенсорних мереж.

## 5. Новизна наукових положень, висновків та рекомендацій

В роботі визначено ряд нових наукових результатів, які є значущими для удосконалення методів аналізу стану бездротових сенсорних мереж:

– *отримала подальший розвиток* спеціальна нечітка модель сенсорного вузла та каналу зв'язку БСМ, побудована на основі графово-атрибутивного опису структури мережі та нечіткої інтерпретації станів її компонентів. Запропонована модель забезпечує перехід від параметричних характеристик до лінгвістично й семантично визначених станів, що підвищує придатність опису БСМ для подальшого аналізу вразливостей і ризиків;

– *уперше розроблено* інтегровану багаторівневу онтологічну модель аналізу БСМ, у якій поєднано графово-атрибутивне подання мережі, нечіткі оцінки станів компонентів, формалізовані вразливості, ризикові фактори та рекомендаційні механізми реагування. Модель забезпечує цілісне семантичне подання стану БСМ і створює основу для підтримки прийняття рішень;

– *отримала подальший розвиток* метод семантичного визначення та логування станів компонентів БСМ, що передбачає поетапне узгодження телеметричних, топологічних і нечітко інтерпретованих характеристик мережі з подальшим формуванням онтологічного запису її поточного стану;

– *удосконалено* метод аналізу вразливостей БСМ, який ґрунтується на використанні формальних правил нечіткого логічного висновку, онтологічних залежностей і контекстних ознак функціонування компонентів мережі. Це дає

змогу визначати критичні стани, слабкі місця та потенційно небезпечні конфігурації БСМ;

– *отримала подальший розвиток* узагальнений метод оцінки ризику в БСМ, що забезпечує семантичне поєднання результатів аналізу вразливостей, поточного контексту функціонування мережі, факторів середовища, зовнішніх впливів і структурної ролі компонентів. Метод створює підґрунтя для побудови карти ризиків і вибору обґрунтованих контрзаходів;

## 6. Рекомендації щодо використання результатів дисертації

Розроблені в дисертаційній роботі моделі та методи доцільно використовувати для аналізу стану бездротових сенсорних мереж, виявлення вразливостей, оцінювання ризиків і формування рекомендацій щодо реагування на позаштатні ситуації. Практичне застосування отриманих результатів можливе у системах моніторингу та керування промисловими БСМ, SCADA- та IoT-платформах, а також у задачах підтримки прийняття рішень під час експлуатації розподілених сенсорних мереж в умовах невизначеності, завад і ресурсних обмежень.

Запропоновані здобувачем рішення також доцільно використовувати в навчальному процесі під час викладання дисциплін, пов’язаних із комп’ютерними мережами, бездротовими сенсорними мережами, інтелектуальними системами моніторингу, онтологічним моделюванням та ризик-орієнтованим аналізом.

## 7. Повнота викладу в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації, відсутність порушення академічної доброчесності

Основні положення дисертаційної роботи і результати її практичного застосування доповідалися на таких конференціях та були позитивно оцінені:

– II International Scientific and Practical Conference «Research work in the system of training teachers in technological fields». Berlin, Germany, January 2024;

– X Міжнародна науково-практична конференція «Інформатика. Культура. Техніка», Одеса, Україна, вересня 2024;

– Modern Information Technology 2025/Сучасні Інформаційні Технології 2025. / Національний університет «Одеська політехніка». – Одеса, 2025;

– The 13th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications 4-6 September, 2025, Gliwice, Poland;

– The XIII International Scientific-Practical Conference «Information Control Systems and Technologies» (ICST- ODESA – 2025) 24th – 26th September, 2025;

– XI Міжнародна науково-практична конференція «Інформатика. Культура. Техніка», Одеса, Україна. Жовтень 2025;

– The 15th IEEE International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT’2025 19-21 December, 2025, Athens, Greece.

Основні результати дисертаційної роботи викладено в 5 публікаціях з них: 3 статей у наукових фахових виданнях України категорії «Б», 1 у наукових фахових виданнях України категорії «А» та проіндексовано у наукометричній базі Scopus, 1 публікація у працях і матеріалах міжнародних наукових конференцій, яка проіндексована у наукометричній базі Scopus, 7 публікацій у працях і матеріалах міжнародних наукових конференцій. Таким чином, чинні вимоги до кількості публікацій виконано.

Публікація автором результатів досліджень у рецензованих виданнях, які передбачають попередню перевірку матеріалів на відсутність запозичень є одним із елементів підтвердження відсутності порушень академічної доброчесності. В цілому у дисертаційній роботі порушень академічної доброчесності не виявлено.

## 8. Зауваження згідно змісту та оформлення дисертаційної роботи

1. У другому розділі при побудові нечітких моделей сенсорного вузла та каналу зв’язку доцільно більш детально обґрунтувати принципи визначення діапазонів лінгвістичних термів і параметризації функцій належності для вхідних характеристик БСМ, зокрема показників енергетичного стану вузлів, якості каналу зв’язку, часової затримки та рівня навантаження.
2. У другому та третьому розділах використано значну кількість взаємопов’язаних математичних позначень, індексів і параметрів, частина з яких вводиться в різних фрагментах тексту. Доцільним було б систематизувати їх у вигляді окремої таблиці позначень із наведенням змісту та області використання кожного параметра, що забезпечило б однозначність інтерпретації формалізованих моделей.
3. У четвертому розділі експериментальну перевірку запропонованих моделей і методів виконано на спрощеній топології бездротової сенсорної мережі з обмеженою кількістю вузлів і сценаріїв функціонування. Доцільно було б розширити експериментальне дослідження для мереж різної розмірності та топології, а також оцінити стійкість отриманих результатів за різних параметрів мережевого навантаження і характеру деградації її компонентів.
4. У роботі недостатньо деталізовано процедуру визначення вагових коефіцієнтів, що використовуються в моделях оцінювання вразливості та ризику. Доцільно було б обґрунтувати принципи їх формування та уточнити механізм адаптації цих коефіцієнтів до функціонального призначення БСМ, характеристик контрольованого об’єкта та конкретних умов експлуатації.

5. У частині, присвяченій адаптивному керуванню, доцільно більш чітко формалізувати критерії ранжування та вибору рекомендованого контрзаходу у випадку наявності кількох допустимих варіантів реагування на один ризиковий стан. Зокрема, потребує додаткового обґрунтування спосіб урахування рівня ризику, типу виявленої вразливості, очікуваного ефекту від застосування контрзаходу та поточних ресурсних обмежень БСМ.

Наведені зауваження не впливають суттєво на загальне позитивне враження від дисертаційної роботи та не знижують її науковий рівень і практичну цінність.

## 9. Загальний висновок

У цілому вважаю, що дисертаційна робота Штільмана Павла Романовича «Багаторівнева онтологія аналізу ризиків у бездротових сенсорних мережах» є завершеною кваліфікаційною науковою працею, яка має науково-практичне значення, а її тема та зміст відповідають спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія».

Дисертація містить раніше не захищені наукові положення та нові науково обґрунтовані результати у галузі аналізу ризиків у бездротових сенсорних мережах. Результати роботи можуть бути рекомендовані до використання в організаціях і науково-дослідних установах, що займаються розробленням систем моніторингу, ризик-орієнтованого аналізу, підтримки прийняття рішень та управління промисловими бездротовими сенсорними мережами.

Дисертаційна робота «Багаторівнева онтологія аналізу ризиків у бездротових сенсорних мережах» за своїм змістом відповідає вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженому Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор, Штільман Павло Романович, заслуговує на присудження ступеня доктора філософії за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія», галузь знань 12 «Інформаційні технології».

Офіційний опонент,
кандидат технічних наук, завідувач
кафедри кібербезпеки
Хмельницького національного
університету  Юрій КЛЬОЦ