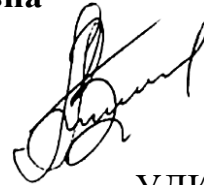


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЧОРНОМОРСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ПЕТРА МОГИЛИ

Швед Альона Володимирівна



УДК 004.82:519.816

**МОДЕЛІ І МЕТОДИ НОРМАТИВНОЇ ТЕОРІЇ
СИНТЕЗУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
В УМОВАХ НАЯВНОСТІ НЕ-ФАКТОРІВ РІЗНОЇ ПРИРОДИ**

05.13.06 – Інформаційні технології

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Миколаїв – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі інженерії програмного забезпечення Чорноморського національного університету імені Петра Могили Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор,
КОВАЛЕНКО Ігор Іванович,
Чорноморський національний університет імені
Петра Могили, м. Миколаїв, професор кафедри
інженерії програмного забезпечення.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
ПЕТРОВ Костянтин Едуардович,
Харківський національний університет
радіоелектроніки, завідувач кафедри
інформаційних управляючих систем;

доктор технічних наук, професор,
РОМАНЕНКОВ Юрій Олександрович,
Національний аерокосмічний університет
імені М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний
інститут», завідувач кафедри менеджменту;

доктор технічних наук, доцент,
ЗАХОЖАЙ Олег Ігорович,
Східноукраїнський національний університет
імені Володимира Даля, м. Сєверодонецьк,
професор кафедри програмування та
математики.

Захист відбудеться «5» травня 2021 року об 11⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 38.053.05 у Чорноморському національному університеті імені Петра Могили за адресою: 54003, м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Чорноморського національного університету імені Петра Могили за адресою: 54003, м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10, та за електронною адресою: <https://chmnu.edu.ua/disertatsiyi/>.

Автореферат розісланий «2» квітня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Є. О. Давиденко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Функціонування та розвиток багатьох процесів, що протікають у складних соціальних, економічних, технічних, організаційних та ін. системах відбувається під впливом сукупності різного роду факторів зовнішнього та внутрішнього оточення (кліматичні, експлуатаційні, виробничі та ін.) більшість з яких мають випадковий характер, що, у свою чергу, зумовлює їх стохастичність. Зазначена обставина обумовлює появу ситуацій, що не мають однозначного рішення, і в більшості випадків призводить до важко прогнозованих результатів, що в значній мірі ускладнює процеси підготовки та прийняття управлінських рішень в таких системах.

Вибір та прийняття оптимальних та ефективних рішень при вирішенні складних задач управління значно ускладнюється при наявності багатьох критеріїв (багатокритеріальність), альтернатив (багатоальтернативність), насамперед при вирішенні слабоструктурованих (змішаних) та неструктурованих задач, тобто таких задач, в яких превалюють якісні (частково формалізовані або неформалізовані) фактори, особливо при наявності тенденції до збільшення їх кількості. Прикладами подібного роду задач є прийняття стратегічних рішень економічного і політичного характеру, планування наукових досліджень і розробок, конкурсний відбір проектів та ін. При вирішенні таких задач людина не може на евристичному рівні гарантувати прийняття ефективного рішення з урахуванням всіх суперечливих факторів, які впливають на досягнення поставленої мети, що стоїть перед вирішуваною проблемою.

Ситуація значно ускладнюється в умовах наявності різних видів незнання (НЕ-факторів), які нерозривно пов'язані з процесами формалізації та подання існуючої системи знань (СЗн), і оказують негативний вплив на процеси видобування, аналізу, представлення і обробки даних та експертних знань. Аналіз ряду вітчизняних і зарубіжних публікацій присвячених питанням наукового дослідження незнання різної природи (до числа яких можна віднести роботи Zadeh L. A., Smets Ph., Bonissone P. P., Tong R. M., Bosc P., Prade H., Klir G. J., Yuan B., Yager R. Y., Smarandache F., Dezert J., Наріньяні О. С., Вагіна В. М., Рибіної Г. В., Душкіна Р. В., Борисова О. М., Валькмана Ю. Р.; теоретичну базу в області теорії вибору та прийняття рішень в умовах різних видів незнання складають труди Ларичева О. І., Литвака Б. Г., Міркіна Б. Г., Рапопорта А., Кіні Р., Райфа Х., Руа Б., Петрова Е. Г., Коваленка І. І., Шостака І. В., Гнатієнка Г. М., Снитюка В. Є., та інших) приводить до висновку, що тема їх формалізації на сучасному етапі далека від свого завершення.

Разом з тим, до теперішнього часу запропонована значна кількість методів моделювання (аналізу й обробки даних та експертних знань) різних видів незнання, що базуються на традиційних та нових математичних теоріях, але необхідно зазначити, що досить часто вони використовуються без належного аналізу природи виникнення різних видів НЕ-факторів (неповнота, невизначеність, нечіткість, неоднорідність, недостовірність, неузгодженість, неоднозначність та ін.), під впливом яких формується і обробляється множина вихідних даних та експертних знань, що призводить до побудови та використання неадекватних моделей та висновків.

Це зумовлює необхідність пошуку шляхів вирішення важливої науково-практичної проблеми спрямованої на створення і розвиток основ нормативної теорії синтезу інформаційних технологій (ІТ) орієнтованих на інтелектуальне забезпечення процесів підтримки прийняття рішень (ППР) в умовах різного роду НЕ-факторів (незнання). Метою якої є розробка комплексу формалізованих математичних моделей і системи правил, що дозволять організувати процеси, пов'язані з отриманням, обробкою, аналізом та узагальненням вихідної інформації про стан досліджуваного об'єкта, процесу або явища, задля забезпечення процесів підготовки отриманої інформації для прийняття обґрунтованих та ефективних рішень в умовах незнання різної природи.

В основі створення нормативної теорії синтезу ІТ лежить систематизоване узагальнення існуючих моделей і методів в області теорії прийняття рішень, які дозволяють виявляти проблеми, пов'язані з вирішенням поставлених задач; формулювати цілі та критерії їх досягнення; генерувати допустимі альтернативні варіанти вирішення поставленої проблеми, оцінювати їх (встановлювати на них відношення порядку і виділяти екстремальні), і обґрунтовувати отримані рішення.

Розробка нормативної теорії синтезу ІТ вимагає вирішення наступних задач:

- систематизація, формалізація та ідентифікація різних видів незнання, які можуть впливати на процеси, пов'язані із набуттям та аналізом вихідної інформації;
- порівняльний аналіз сучасних методів моделювання НЕ-факторів з метою їх обґрунтованого вибору при вирішенні аналізованої проблеми;
- формування системи умов, критеріїв, правил, обмежень, що дозволяють розробляти уніфіковані алгоритми синтезу ІТ ППР в умовах незнання різної природи.

Вирішення вищезазначених задач має ґрунтуватися на системному (комплексному, багатоаспектному) підході до визначення різних форм незнання (НЕ-факторів), що створює умови для правильного вибору і застосування методів аналізу і структурування вихідної інформації, з метою формування обґрунтованих та достовірних рішень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Зміст роботи, мета і основні задачі відповідають державним науково-технічним програмам, що сформульовані в Законах України «Про наукову і науково-технічну діяльність» та «Про національну програму інформатизації», постанові Кабінету Міністрів України «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок».

Дисертаційна робота виконана на кафедрі інженерії програмного забезпечення Чорноморського національного університету ім. Петра Могили Міністерства освіти і науки України в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт: «Розробка системи підтримки прийняття рішень при експертному оцінюванні якості програмних продуктів в умовах невизначеності та ризиків» (№0112U001101; 2011–2013 рр.) – відповідальний виконавець; «Розробка інформаційно-комунікаційних технологій підтримки прийняття стратегічних рішень військово-цивільного призначення в умовах багатокритеріальності та невизначеності» (№0117U007144; 2017–2020 рр.) – керівник; «Розроблення найсучаснішого інтерактивного навчально-тренажерного та аналітично-консультативного комплексу військово-цивільного призначення» (№0118U000193; 2018–2019 рр.) – виконавець; «Розробка

інформаційно-аналітичної системи військово-цивільного застосування як чинника захисту інформації в умовах багатокритеріальності, невизначеності та ризику» (№0120U101222; 2020–2022 рр.) – відповідальний виконавець; «Науково-практичне обґрунтування та визначення стенобіонтного підходу щодо забезпечення національної екологічної безпеки водних екосистем України» (№0120U101959; 2020–2022 рр.) – виконавець; «Розробка новітніх інформаційно-комунікаційних технологій управління інтелектуальними ресурсами для підтримки процесів прийняття рішень органами оперативного управління» (№0121U107831; 2021–2023 рр.) – керівник. Частину досліджень виконано в рамках договору про науково-технічне співробітництво між Національним університетом кораблебудування ім. адм. Макарова та ДП «ЗОРЯ»-«МАШПРОЕКТ» (договір № 2002 від 17.03.2015 р.), та договору про науково-технічне співробітництво між Чорноморським національним університетом ім. Петра Могили та ДП «Експериментальне виробництво Інституту Імпульсних процесів і технологій НАН України» (договір № 4/02 від 15.02.2020 р.).

В рамках зазначених робіт, здобувачем сформульовані загальні принципи нормативної теорії синтезу ІТ моделювання НЕ-факторів різної природи, на основі яких розроблено ІТ моделювання невизначеності, неоднорідності, неточності, та ІТ моделювання комплексних видів незнання; розроблено комплекс математичних моделей та алгоритмів інтелектуального аналізу та структуризації даних та експертних знань, сформованих в умовах НЕ-факторів різної природи; запропоновано комплекс методик вирішення ряду практичних задач в умовах НЕ-факторів різної природи, багатокритеріальності; розроблені програмні модулі автоматизованої системи підтримки експертиз.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є вдосконалення теоретичних та методологічних основ розроблення ІТ за рахунок синтезу математичних моделей управління незнанням (НЕ-факторами) різної природи на основі системного застосування методів моделювання різних видів НЕ-факторів, створення концепції нормативної теорії та методології синтезу ІТ інтелектуальної підтримки процесів підготовки та вибору оптимального рішення при плануванні та реалізації проектів різного призначення.

Для досягнення поставленої мети дисертаційного дослідження необхідно вирішити наступні задачі:

1. Провести комплексне дослідження основних видів НЕ-факторів у вигляді неповноти, неточності, невизначеності, нечіткості, неоднорідності, та їх можливих комбінацій; виконати їх аналіз, систематизацію та формалізацію. Провести аналіз методів їх моделювання з використанням математичного апарату сучасних теорій.

2. Визначити методи та критерії ідентифікації (оцінки кількісних та якісних показників) розглянутих видів НЕ-факторів.

3. Розробити систему вирішуючих правил обґрунтованого вибору математичного апарату здатного досліджувати та моделювати аналізовані форми та види незнання (НЕ-фактори) з урахуванням специфіки вихідних даних та типу розв’язуваної задачі при моделюванні відповідних предметних та проблемних галузей знань.

4. Запропонувати математичні моделі та методи структуризації та управління експертними знаннями, які формуються та оброблюються в умовах різних форм незнання, та їх можливих комбінацій.

5. Розробити математичні моделі синтезу індивідуальних та групових рішень в умовах наявності складних форм незнання (у тому числі їх комбінації), багатокритеріальності, багатоальтернативності.

6. Обґрунтувати концепцію, розробити методологію та математичні моделі нормативної теорії синтезу ІТ моделювання різних видів НЕ-факторів, орієнтованих на інтелектуальну підтримку процесів прийняття рішень.

7. Розробити ІТ моделювання виявлених НЕ-факторів, які можуть виникати в процесі отримання та обробки множини вихідних даних та експертних знань: ІТ моделювання невизначеності з використанням апарату ймовірнісного виведення; ІТ моделювання неточності з використанням апарату теорії грубих множин (ТГМ); ІТ моделювання неоднорідності з використанням апарату математичної статистики; ІТ моделювання комбінованих форм НЕ-факторів з використанням апарату теорії свідочств (теорія Демпстера–Шейфера, ТДШ) та теорії правдоподібних та парадоксальних міркувань (теорія Дезера–Смарандаке, ТДС).

8. Запропонувати функціональну структуру та розробити програмні засоби для реалізації оригінальної архітектури автоматизованої системи підтримки проведення експертиз на основі запропонованих ІТ.

9. Провести апробацію практичного застосування запропонованих ІТ ППР при плануванні та реалізації проектів в різних сферах людської діяльності.

Об'єктом дослідження є процеси синтезу математичних моделей управління НЕ-факторами різної природи, таких як неповнота, неоднорідність, невизначеність, нечіткість, неточність та їх комбінації.

Предметом дослідження є моделі, методи та інформаційні технології підтримки прийняття рішень, що формуються в умовах специфічних видів НЕ-факторів, багатокритеріальності та багатоальтернативності.

Методи дослідження – методологія системного аналізу, теорія прийняття рішень, теорія множин, теорія графів, байєсівська теорія формування ймовірнісного виведення, теорія ймовірності та математичної статистики, теорія свідочств, теорія правдоподібних та парадоксальних міркувань, теорія нечітких множин та нечітких відношень, теорія грубих множин, робастні процедури статистичного оцінювання.

Методи математичної та робастної статистики застосовані в роботі при моделюванні неоднорідності; методи теорії ймовірності застосовані при моделюванні невизначеності; методи ТГМ застосовані при моделюванні неточності; методи ТДШ та ТДС використані в роботі при моделюванні складних форм незнання, зумовлених одночасною присутністю двох та більше видів незнання, зокрема невизначеності та конфлікту, невизначеності та неспецифічності та ін.; методи теорії нечітких множин та нечітких відношень застосовані при моделюванні нечіткості; методи прийняття рішень застосовані при вирішенні задач вибору кращої альтернативи, ранжування за значимістю в умовах багатоальтернативності та багатокритеріальності.

Для програмної реалізації розроблених моделей, методів та ІТ у складі автоматизованої системи підтримки прийняття рішень (СППР) використано методи

та інструментальні засоби проектування та розробки програмного та інформаційного забезпечення, а саме теорію реляційних баз даних, методи об'єктно-орієнтованого програмування.

Наукова новизна отриманих результатів. Наукова новизна роботи визначається такими теоретичними результатами, отриманими автором.

Вперше:

- сформульовані основні концепти та положення нормативної теорії синтезу ІТ як комплексу формалізованих математичних моделей і системи правил синтезу ІТ інваріантних до типу розв'язуваної задачі і способу виявлення та подання вихідної інформації, що дозволяє організувати процеси, пов'язані з отриманням, обробкою, аналізом та узагальненням вихідної інформації (даних та експертних знань), які протікають під впливом незнання (НЕ-факторів) різної природи;

- запропонована процедура вибору математичного апарату, що дозволяє коректно оперувати вихідною сукупністю даних, сформованих або аналізованих під впливом різних видів незнання при розв'язанні поставленої задачі з метою побудови адекватних та ефективних моделей та висновків;

- сформульовано систему критеріїв ідентифікації різних видів незнання (невизначеності, неоднорідності, неточності), що впливають на процеси, пов'язані із видобуванням та аналізом експертних знань та даних, з метою їх формалізації та обґрунтованого вибору математичного апарату їх моделювання з урахуванням специфіки вихідних даних та типу розв'язуваної задачі;

- запропоновано метод агрегування групових експертних свідочств (ЕС), який дозволяє синтезувати групове рішення з урахуванням різних форм представлення суджень експертів (інтервальні, нечіткі, точкові). Відсутність обмеження на форму подання експертних переваг дає можливість експерту максимально точно висловлювати свої переваги відносно аналізованого об'єкта, не обмежуючи жорсткою формою подання оцінок, що сприяє підвищенню якості, надійності та достовірності експертної інформації;

- запропоновано метод вибору правила комбінування ЕС, сформованих в рамках моделі Шейфера, що забезпечує отримання комбінованої маси ймовірності з найменшим досяжним рівнем невизначеності, враховуючи структуру ЕС та порядок їх комбінування. Запропоновано обирати для кожної пари ЕС правило, що мінімізує значення міри суперечливості і максимізує значення міри специфічності результату комбінування;

- запропоновано метод кластеризації групових ЕС, що формуються в умовах невизначеності та неоднорідності (неузгодженості, конфлікту) в рамках моделі Шейфера, з метою виділення підгруп, всередині яких оцінки експертів є узгодженими (однорідними). На відміну від існуючих методів кластеризації, запропонований підхід дозволяє обробляти ЕС різної структури: узгоджені, еквівалентні, довільні та ін.; враховувати можливі способи їх взаємодії (об'єднання, перетин).

Удосконалено:

- теоретичні та методологічні основи синтезу ІТ шляхом визначення основних положень методології синтезу ІТ, орієнтованих на інтелектуальне забезпечення процесів прийняття рішень, в основу якої покладено системний багатоаспектний підхід до ідентифікації різних видів незнання, які впливають на

процеси видобування і аналізу вихідної інформації, що створює умови для коректного вибору і застосування методів аналізу і структуризації вихідної інформації, та дозволяє отримувати ефективні результати при моделюванні відповідних предметних і проблемних галузей знань;

- метод побудови дерев ймовірності, шляхом визначення апіорних оцінок ймовірності реалізації подій на основі результатів групової експертизи. Запропонована процедура синтезу агрегованих ЕО ймовірності реалізації випадкових подій дозволяє обробляти ЕС, що отримані в умовах складних форм незнання (наприклад, невизначеності та неузгодженості; невизначеності та неточності, та ін.), а також конфліктуючі (суперечливі) ЕС;

- метод некрітеріального вибору Парето-оптимального рішення з використанням методів ТДШ, що спрощує процедуру вибору рішень на множині Парето за рахунок ранжування рішень, що включені до множини Парето;

- метод міркувань за прецедентами на основі математичного апарату ТГМ за рахунок введення специфічних видів апроксимацій з метою класифікації прецедентів та їх подальшого пошуку в базі прецедентів (БПр). Запропонований підхід дозволяє скоротити час при вирішенні задач пошуку, порівняння та класифікації прецедентів на 8-10% та обробляти неточну, неповну, суперечливу інформацію про прецеденти.

Дістали подальшого розвитку:

- прикладні основи синтезу ІТ на основі розробленої методології, шляхом синтезу комплексу ІТ інтелектуальної ППР в умовах неоднорідності, невизначеності, неточності та складних форм незнання;

- моделі та методи синтезу індивідуальних та групових рішень в умовах складних форм незнання (у тому числі їх комбінації) при розв'язанні задач, пов'язаних з необхідністю урахування багатоальтернативності та багатокритеріальності.

Практичне значення отриманих результатів полягає у розробленні методик, алгоритмів та ІТ вирішення задач статистичного та інтелектуального (класифікація, кластеризація, ранжування, агрегування) аналізу даних з метою підготовки інформації для прийняття обґрунтованих та ефективних рішень в умовах багатокритеріальності, багатоальтернативності та незнання (НЕ-факторів) різної природи, та їх реалізації у складі автоматизованої СППР.

За результатами проведеного дисертаційного дослідження отримані принципово нові методики аналізу експертних знань та обробки великих масивів невпорядкованих даних на основі запропонованих ІТ інтелектуальної ППР, на прикладі вирішення задач вибору та класифікації проектів реконструкції муніципальних систем теплопостачання; статистичної обробки результатів поліметричних вимірювань; аналізу організаційної структури підприємства. Що підтверджено відповідними актами впровадження.

Розроблені проектні рішення та програмні модулі реалізації оригінальної архітектури автоматизованої системи підтримки процесу синтезу та прийняття ефективних рішень, на основі запропонованих концепцій та ідей методології синтезу ІТ інтелектуальної ППР в умовах НЕ-факторів різної природи.

Теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи використано і впроваджено в виробничій діяльності ряду підприємств:

- КП «Теплопостачання та водо-каналізаційне господарство», м. Южноукраїнськ – вирішення задачі вибору та класифікації проектів реконструкції муніципальних систем теплопостачання (акт впровадження № 38/1 від 16.08.2019);
- ДП «ЗОРЯ»-«МАШПРОЕКТ», м. Миколаїв – вирішення задачі аналізу організаційної структури підприємства (акт впровадження № 17/21 від 02.04.2018);
- ДП «Експериментальне виробництво Інституту Імпульсних процесів і технологій НАН України», м. Миколаїв – вирішення задачі вибору варіантів технологій різання та зварювання при проектуванні та побудові корпусних конструкцій, деталей машин та приладів (акт впровадження №22 від 03.06.2020);
- ДП «Баштанське лісове господарство», м. Баштанка – вирішення задачі аналізу статистичної інформації щодо розподілення пожеж на території лісового господарства, виділення областей, які потребують першочергового проведення протипожежних заходів (акт впровадження №42 від 28.09.2020);
- ТОВ «АМІКО-Комплект», м. Миколаїв – вирішення задачі статистичної обробки результатів поліметричних вимірювань (акт впровадження від 29.10.2019);
- ТОВ «Миколаївбудресурси», м. Миколаїв – вирішення задачі вибору технології обробки металу та поверхонь металевих конструкцій (акт впровадження №02/29 від 29.10.2020).

Результати дисертаційних досліджень увійшли до складу 4 навчальних посібників та використовуються у навчальному процесі Чорноморського національного університету імені Петра Могили (акт впровадження від 15.01.2021) при викладанні курсів дисциплін: «Менеджмент ІТ-проектів», «Моделі і методи сценарного аналізу», «Емпіричні методи програмної інженерії», «Ситуаційне моделювання та управління», «Інтелектуальний аналіз даних»; підготовки бакалаврантів та магістрантів за спеціальностями: 121 «Інженерія програмного забезпечення», 122 «Комп'ютерні науки», 124 «Системний аналіз».

Особистий внесок здобувача. Всі положення та наукові результати, що виносяться на захист, розроблені самостійно та належать авторові. У працях, написаних у співавторстві, особистий внесок становить: виконано аналіз та систематизацію НЕ-факторів, що впливають на процеси видобування та аналізу ЕО [12]; досліджено методи моделювання НЕ-факторів на основі сучасних теорій, визначено критерії їх застосування [16, 20, 33, 51, 52, 53, 55, 59]; запропонована концепція нормативної теорії синтезу ІТ моделювання НЕ-факторів [36]; розроблені теоретико-методологічні основи синтезу ІТ ППР в умовах незнання різної природи [34]; розроблено комплекс математичних моделей синтезу індивідуальних та групових рішень в умовах багатоальтернативності, багатокритеріальності та складних форм незнання на основі методів ТДШ та ТДС [1, 19, 26, 38, 58, 60]; досліджені принципи обробки неточних, невпорядкованих даних та експертних знань, та запропоновані математичні моделі їх структуризації методами ТГМ [35, 56, 62]; розроблено математичні моделі синтезу групових рішень в умовах неточності та багатокритеріальності [9]; запропоновано математичні моделі синтезу групових ЕО ймовірності реалізації випадкових подій при вирішенні задач ймовірнісного виведення на деревах ймовірностей в умовах невизначеності,

неповноти, неузгодженості [44]; запропоновані математичні моделі обробки малих неоднорідних сукупностей даних та знаходження їх узагальнених оцінок на основі робастних процедур статистичного оцінювання [15]; розроблено метод агрегування групових ЕС, що забезпечує синтез групового рішення враховуючи різну форму подання експертних переваг (інтервальні, нечіткі, точкові ЕО) [2, 45]; розроблено модифікацію методу міркувань за прецедентами на основі математичного апарату ТГМ [3]; запропоновано модифікацію методу звуження множини Парето [7, 23]; запропоновано метод кластеризації групових ЕС, що формуються в умовах невизначеності та неузгодженості (конфлікту) в рамках моделі Шейфера з метою виділення підгруп експертів, що містять однорідні, узгоджені оцінки [6, 31]; запропоновано метод вибору оптимального правила комбінування ЕС сформованих в рамках моделі Шейфера [14]; досліджено моделі структур ЕС, сформовані в умовах складних форм невизначеності та наявності конфліктуючих (суперечливих) оцінок [25]; проаналізовано тенденції зміни рівня конфлікту, міри протиріччя та якості ЕС по відношенню до структури і кардинальності фокальних елементів всередині групи свідочів [22, 24, 29]; запропоновано методику комплексного застосування методів сценарного прогнозування, представлених графовими моделями ієрархічної структури [4, 13]; запропоновано структуру ІТ аналізу групових ЕО, що формуються в умовах складних (комбінованих) форм незнання, багатоальтернативності та багатокритеріальності [37]; запропоновано концепцію інтегрованої ІТ системного застосування методів ймовірнісного виведення [13]; сформульовано вимоги, принципи побудови та запропоновано структуру СППР при реалізації ряду практичних задач на основі запропонованих ІТ [32, 48, 49, 50]; запропоновано методику синтезу групових рішень оцінки технічного стану об'єктів цивільного, промислового та військово-технічного призначення, та визначення таких об'єктів, які першочергово потребують ремонтно-будівельних робіт в умовах складних форм невизначеності та багатоальтернативності [46, 47]; досліджені питання побудови структури організаційної системи підприємства методами графодинаміки [63, 65, 67]; запропоновано концепцію ІТ імітаційного моделювання оптимальних організаційних ієрархічних структур підприємства [8, 10, 11]; запропоновано комплекс процедур, математичних моделей та методик вирішення ряду практичних задач в умовах невизначеності, нечіткості, неточності та конфлікту [21, 57, 61, 64, 66, 68].

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертаційної роботи було представлено і обговорено на Міжнародних наукових, науково-технічних та науково-практичних конференціях: 1th IEEE International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP 2016), Lviv, Ukraine; 9th IEEE International Conference «Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications» (IDAACS 2017), Bucharest, Romania; 10th IEEE International Conference «Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications» (IDAACS 2019), Metz, France; 14th IEEE International conference «Computer sciences and Information technologies» (CSIT 2019), Lviv, Ukraine; 1st IEEE International Workshop «Information-Communication Technologies & Embedded Systems» (ICT&ES 2019), Mykolaiv, Ukraine; IEEE International workshop «Information Modeling. Data and Knowledge Engineering» (IWIMDKE 2019), Lviv, Ukraine; 3rd

IEEE International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems» (CMIS 2020), Zaporizhzhia, Ukraine; 15th IEEE International conference «Computer sciences and Information technologies» (CSIT 2020), Zbarazh, Ukraine; 7th IEEE International conference «Information technology and interactions» (IT&I-2020), Kyiv, Ukraine; Міжнар. наук.-практ. конф. «Ольвійський форум»: Стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі» 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 рр., м. Миколаїв, Україна; Всеукр. наук.-метод. конф. «Могилянські читання»: Досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні: глобальний, національний та регіональний аспекти», 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020 рр., м. Миколаїв, Україна; Міжнар. наук.-практ. конф. «Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту» (ISDMCI'2016), м. Херсон, Україна; XI Міжнар. наук.-практ. конф. «Інтернет-Освіта-Наука» (ІОН-2018), м. Вінниця, Україна; XIV Міжнар. конференція «Контроль і управління в складних системах» (КУСС-2018), м. Вінниця, Україна; XIII Міжнар. наук.-практ. конф. «Інформаційні технології і автоматизація-2020», м. Одеса, Україна.

Основні положення та результати дисертаційного дослідження доповідались і обговорювались на засіданнях наукових семінарів кафедри інженерії програмного забезпечення, кафедри інтелектуальних інформаційних систем, кафедри програмної інженерії та кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Чорноморського національного університету імені Петра Могили.

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в 68 наукових працях: 28 статей у наукових виданнях, включених до Переліку наукових фахових видань України (з них 5 статей, опублікованих у трьох різних періодичних виданнях, включених до категорії «А»); 4 статті у наукових періодичних виданнях інших держав (з них 2 статті, опубліковані у періодичних виданнях, включених до наукометричної бази даних (БД) Scopus); 2 монографії (з них 1 одноосібна); 32 матеріали Міжнар. та Всеукр. наук., наук.-техн. та наук.-практ. конференцій (з них 10 матеріалів конференцій, що входять до наукометричної БД Scopus); 2 статті в інших журналах.

Обсяг і структура дисертації. Дисертація складається з вступу, 6 розділів, висновків і списку використаних джерел з 483 найменувань, додатків на 76 сторінках. Загальний обсяг роботи складає 461 сторінку, у тому числі 282 сторінки основного тексту. Дисертація містить 59 таблиць, 79 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми, сформульовано мету, проблему та задачі дослідження, визначено предмет, об'єкт та методи дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведені відомості, щодо апробації та публікації результатів дослідження.

У **першому розділі** на основі проведеного аналізу ряду праць вітчизняних і зарубіжних вчених досліджені основні концепти та теоретичні положення моделювання різних видів незнання (нечіткість, невизначеність, неоднорідність, неповнота, неточність та ін.). Досліджені питання про природу їх походження, проаналізовані підходи до систематизації та класифікації основних видів незнання, розкрита їх сутність, встановлено взаємозв'язок між ними.

Проведено комплексний аналіз, виконана формалізація та розглянуті основні особливості процесів обробки даних та знань, що протікають під впливом таких видів незнання, як невизначеність, неоднорідність, неточність, нечіткість. Разом з тим, в реальних умовах можуть існувати комбінації різних видів незнання, наприклад, невизначеності і неузгодженості (суперечливості, конфлікту), що значно ускладнює процеси пов'язані із видобуванням та аналізом даних та знань, які можуть протікати під їх впливом. На основі проведеного ґрунтовного дослідження визначені математичні теорії моделювання відповідних видів незнання.

Проведений аналіз дозволяє зробити висновок про те, що на сьогодні не встановлено чіткого набору критеріїв та процедур ідентифікації та формалізації НЕ-факторів (незнання), під впливом яких формується або аналізується множина вихідних даних. Незважаючи на те, що існує значна кількість методів моделювання НЕ-факторів, до цього часу не встановлено дієвих процедур їх системного застосування при моделюванні відповідного виду незнання, з метою отримання достовірних рішень. Тому важливою задачею у цьому контексті є формалізація процесів ідентифікації різних видів незнання (НЕ-факторів), які можуть впливати на процеси пов'язані із видобуванням та аналізом множини вихідних даних (статистичної, аналітичної, експертної інформації) та обґрунтованого вибору математичного апарату, здатного виявляти, досліджувати та моделювати ідентифіковані види незнання (у тому числі, їх можливі комбінації), що становить теоретичне підґрунтя для синтезу ІТ з системним використанням методів моделювання НЕ-факторів як інструментальних засобів систем підтримки прийняття достовірних та ефективних рішень. Це в свою чергу висуває задачу формулювання основних засад концепції та методології нормативної теорії синтезу ІТ моделювання НЕ-факторів різної природи з метою інтелектуальної підтримки процесів прийняття рішень, що і визначає актуальність дисертаційної роботи.

На основі проведеного в роботі аналізу виконано постановку задач дисертаційного дослідження.

Другий розділ присвячено розробці концепції та методології нормативної теорії синтезу ІТ для забезпечення інтелектуальної підтримки процесів підготовки та прийняття рішень в умовах НЕ-факторів різної природи.

Основу концепції синтезу ІТ моделювання НЕ-факторів складає інтелектуальна інтеграція чотирьох базових компонент:

1. Множина вихідних даних (експертні знання, статистичні, аналітичні, експериментальні дані).

2. Комплекс НЕ-факторів. В роботі термін «НЕ-фактори» (було введено вперше у 1982 р. Наріньяні О. С.) використовується для позначення широкого комплексу властивостей (характеристик), що притаманні будь-якій реальній СЗн, які відображають різні аспекти («дефекти») цих самих знань, такі, як неповнота, неточність, невизначеність, та ін.

3. Множина задач аналізу. Характер розв'язуваної проблеми (задачі) має безпосередній вплив на формулювання мети дослідження, обсяг і структуру вихідних даних, спосіб їх отримання, форму представлення отриманих результатів та ін. В роботі розглянуто три основні класи задач прийняття рішень: класифікація

варіантів (альтернатив), ранжування (упорядкування за значимістю) та вибір найкращої альтернативи.

4. Множина методів моделювання. Під методом моделювання в роботі мається на увазі математичний формалізм (теорії, методи, підходи, процедури), що використовуються для отримання, представлення, аналізу та обробки знань і даних. Пошук математичного формалізму, що дозволяє коректно оперувати даними і знаннями в умовах НЕ-факторів різної природи, повинен проводитись на всіх етапах маніпулювання даними та знаннями (видобування, аналіз, обробка, використання).

Етапи синтезу ІТ моделювання НЕ-факторів наведені на рис. 1.

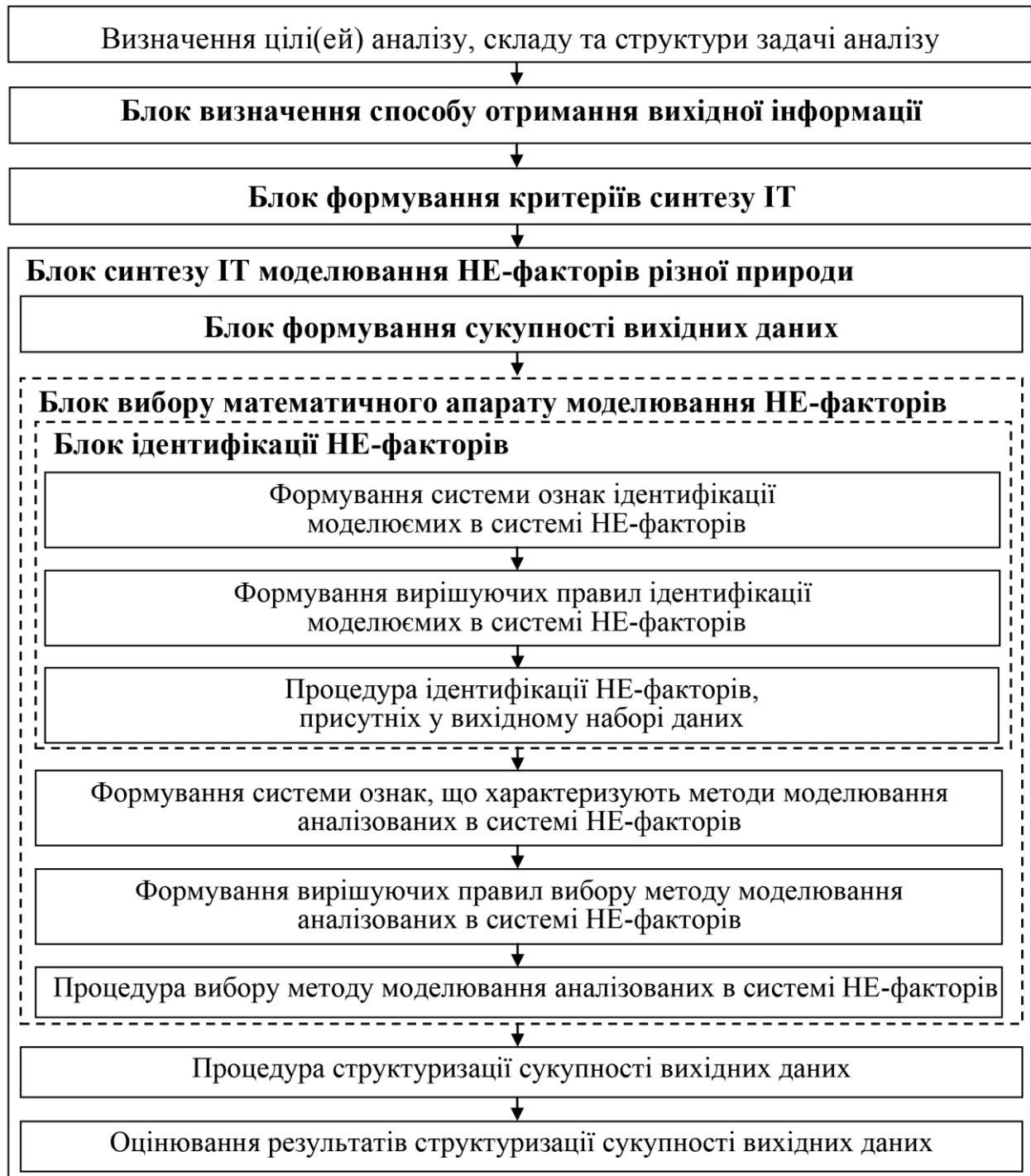


Рисунок 1 – Основні етапи процедури синтезу ІТ моделювання НЕ-факторів

Складові ІТ моделювання НЕ-факторів в загальному виді можна представити кортежем виду:

$$IT = \langle Z, ST, NF, MN, B \rangle, \quad (1)$$

де $Z = \{z_i | i = \overline{1, k}\}$ – множина розв’язуваних задач; $NF = \{nf_i | i = \overline{1, p}\}$ – множина НЕ-факторів, що моделюються в системі; ST – структура даних; $MN = \{M_i | i = \overline{1, n}\}$ – множина методів моделювання НЕ-факторів, які визначені для кожної задачі окремо; B – процедура вибору математичного апарату (методу) моделювання НЕ-факторів.

Важливим аспектом в процесі синтезу ІТ моделювання НЕ-факторів є обґрунтований вибір математичного апарату, здатного проводити коректну обробку вихідної інформації в умовах наявності виділених (ідентифікованих) видів НЕ-факторів (в тому числі їх можливих комбінацій). Вибір математичного апарату обумовлюється специфікою розв’язуваної задачі, характером (структурою) даних (знань), метою дослідження, і визначається набором якісних і кількісних характеристик, що дозволяють однозначно охарактеризувати можливості (найбільш важливі і суттєві аспекти для вирішення поточної задачі при заданих початкових умовах) і обмеження методу-кандидату.

Процедуру вибору математичного апарату (методу) моделювання НЕ-факторів в загальному виді можна представити як кортеж:

$$B = \langle T, D, ST, SP, G, F, KN, SRM \rangle, \quad (2)$$

де T – тип задачі структуризації даних; $D = \{d_z | z = \overline{1, r}\}$ – множина вихідних даних, представлених у формі ST ; $SP = \{s_q | q = \overline{1, u}\}$ – множина вимірювальних шкал аналізованих даних; G – процедура ідентифікації НЕ-факторів; F – функція вибору математичного апарату моделювання НЕ-факторів; $KN = \{K_j | j = \overline{1, o}\}$, $|K_j| > 1$ – множина критеріїв вибору методу моделювання m_j , що дозволяє однозначно охарактеризувати можливості та обмеження методу; SRM – система вирішуючих правил вибору методу із MN , побудована на основі визначеного набору критеріїв KN .

Припустимо, $MN = \{M_i | i = \overline{1, p}\}$ – множина методів моделювання НЕ-факторів, де $M_i \subset MN$ – підмножина методів $M_i = \{m_j^{(i)} | j = \overline{1, p^*}\}$, що дозволяють коректно обробляти дані в умовах НЕ-фактору nf_i . Кожному методу $m_j^{(i)}$ співставляється множина критеріїв $K_j^{(i)} = \{k_{jl}^{(i)} | l = \overline{1, o^*}\}$, що дозволяють однозначно охарактеризувати можливості та обмеження методу $m_j^{(i)}$ при вирішенні задачі T в умовах НЕ-фактора nf_i , присутнього у вихідному наборі даних D . Тоді $\forall nf_i$ може бути побудована матриця характеристичних властивостей методів моделювання nf_i :

$$KN_i = \begin{pmatrix} KN_i \\ \dots \\ K_p^{(i)} \\ \dots \\ K_j^{(i)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_{11}^{(i)} & k_{12}^{(i)} & \dots & k_{1o^*}^{(i)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{j1}^{(i)} & k_{j2}^{(i)} & \dots & k_{jo^*}^{(i)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{p^*1}^{(i)} & k_{p^*2}^{(i)} & \dots & k_{p^*o^*}^{(i)} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

де j -ий рядок містить значення $K_j^{(i)}$ методу $m_j^{(i)}$, l -ий стовпчик – значення критерію $k_{jl}^{(i)} \in K_j^{(i)}$ для $\forall m_j^{(i)} \in M_i$.

На основі значень матриці (3) $KN_i \subseteq MKN$, для кожного $m_j^{(i)} \in M_i$, $M_i \subset MN$ можна побудувати систему вирішуючих правил $RP_i = \{Rm_j^{(i)} \mid j = \overline{1, p^*}\}$, $RP_i \subset SRM$, де $Rm_j^{(i)}$ являє собою правило (або набір правил) вибору методу $m_j^{(i)} \in M_i$ в умовах НЕ-фактору nf_i .

Метод $m_j^{(i)} \in M_i$ може бути визначено на основі заданої функції вибору виду

$$F = f(T, ST, K_j^{(i)}, s_q, nf_i), \quad (4)$$

де T – тип задачі структуризації; ST – структура даних; $K_j^{(i)}$ – множина критеріїв вибору $m_j^{(i)} \in M_i$ в умовах nf_i , $K_j^{(i)} \subset KN$; s_q – задана шкала вимірювань $s_q \in SP$; nf_i – виділений вид НЕ-фактору, або їх комбінація.

Процедура вибору методу моделювання nf_i здійснюється в чотири етапи:

Етап 1. Групування аналізованих (доступних у системі) методів $MN \Rightarrow \{\{Gr_1\}, \{Gr_2\}, \dots, \{Gr_z\}\}$, ($Gr_z \subseteq MN$, $\{Gr_z\} = \{m_1, \dots, m_r\}$, $t \geq z \geq 1$, $t \geq r \geq 1$), $t = |MN|$, за рядом ознак $K^* \subset MKN$ ($K^* = K_1^* \cup K_2^*$), що характеризують вихідні параметри вирішуваної задачі (K_1^* – множина базових ознак; K_2^* – множина додаткових ознак). В рамках цього етапу можна відфільтрувати частину методів, що є непридатними для вирішення поставленої задачі за визначеними обмеженнями та вихідними умовами, структурою вихідних даних та ін.

Етап 2. Формування маски значень характеристичних властивостей показників (якісних, кількісних) $k_l^i \in K^i$ потенційних методів моделювання $M_i \subseteq Gr_z$. Елементи маски використовуються як порогові значення при побудові вирішуючих правил, формуючи множину методів-кандидатів, що можуть коректно оперувати набором вихідних даних для вирішення поставленої задачі в умовах ідентифікованого виду НЕ-фактору nf_i .

Етап 3. Формування системи вирішуючих правил вибору методу моделювання SRM виду: $Rm_j^{(i)} : \forall k_{jl}^{(i)} \in K_j^{(i)} : (\wedge k_{jl}^{(i)}, nf_i) \rightarrow m_j^{(i)}$, або $Rm_j^{(i)} : \exists k_{jl}^{(i)} \in K_j^{(i)} : (k_{jl}^{(i)}, nf_i) \rightarrow m_j^{(i)}$, або $Rm_j^{(i)} : \exists (k_{jl}^{(i)}, k_{jc}^{(i)}) \in K_j^{(i)} : (k_{jl}^{(i)} \vee k_{jc}^{(i)}, nf_i) \rightarrow m_j^{(i)}$, $\forall (l, c) < o^*$, де $m_j^{(i)} \in M_i$, $M_i \subseteq Gr_z$, $K_j^{(i)} \subseteq KN \setminus K^*$, $Rm_j^{(i)} \in SRM$.

Етап 4. Вибір методу (групи альтернативних методів). Якщо за результатами третього етапу було обрано більш ніж один метод, то далі формуються критерії оцінки ефективності і результативності методів-кандидатів. До числа таких критеріїв можна віднести: надійність, валідність, чутливість методу, трудомісткість (витрати часу та ін. ресурсів) та ін. Значення кожного критерію виражається в числовій формі, після чого вирішується задача багатокритеріальної оптимізації для вибору оптимального (в контексті вирішення поставленої задачі) методу. Отримані дані заносяться в базу знань (БЗн) системи, що дозволяє сформувати бібліотеку методів моделювання вирішення найбільш поширених задач (проблем) прийняття рішень.

Однією з центральних проблем нормативної теорії синтезу ІТ моделювання НЕ-факторів є формалізація процедури ідентифікації різних видів незнання (НЕ-факторів), в тому числі і їх складних форм, породжених комплексними видами незнання, що характеризуються одночасною присутністю двох і більше видів НЕ-факторів, які можуть впливати на процеси пов'язані з видобуванням та аналізом вихідних даних. В основі процедури ідентифікації різних видів незнання лежить формування набору критеріїв (показників, ознак) розпізнавання і виявлення аналізованих у вихідній СЗн видів НЕ-факторів, і побудова системи вирішуючих правил їх ідентифікації на основі виділеного набору таких характеристик.

Процедуру ідентифікації видів НЕ-факторів у загальному виді можна представити як кортеж:

$$G = \langle D, NF, CN, SRN \rangle, \quad (5)$$

де D – множина вихідних даних; $NF = \{nf_i \mid i = \overline{1, p}\}$ – множина НЕ-факторів, що моделюються у системі; $CN = \{C_i \mid i = \overline{1, p}\}$ – множина критеріїв ідентифікації НЕ-факторів; SRN – система вирішуючих правил ідентифікації NF , на основі виділеного набору критеріїв CN .

Кожному nf_i співставляється множина критеріїв $C_i = \{c_j^{(i)} \mid j = \overline{1, t}\}$, $C_i \subset CN$, що дозволяють однозначно ідентифікувати nf_i у вихідному наборі даних D . Представив набір вирішуючих правил $SR_i = \{R_l^{(i)} \mid l = \overline{1, h}\}$, $SR_i \subset SRN$ можна встановити процедуру ідентифікації nf_i у вихідному наборі даних: $R_l^{(i)} : (c_j^{(i)}, D) \rightarrow nf_i$. Якщо вихідна множина даних D характеризується наявністю $c_j^{(i)} \in C_i$, то має місце НЕ-фактор nf_i . Антецедент може формуватися на основі операцій $\vee$ та $\wedge$, та їх комбінацій. Приклад вирішуючих правил: $R_1^{(i)} : \forall c \in C_i : (\wedge c, D) \rightarrow nf_i$; $R_2^{(i)} : \exists c \in C_i : (c_j^{(i)} \vee c_{j+1}^{(i)}, D) \rightarrow nf_i$.

Розробка і розвиток нормативної теорії синтезу ІТ моделювання НЕ-факторів сприяє становленню і розвитку теоретичних і практичних аспектів нормативної методології синтезу ІТ інтелектуального забезпечення процесу прийняття рішень в умовах НЕ-факторів різної природи, як сукупності систематизованих прийомів і способів інтелектуально-інформаційної підтримки процесів формування і прийняття рішень в різних сферах людської діяльності, представлених у формі підходів / процедур / алгоритмів / методів / методик вирішення різних прикладних проблем.

Основу методології синтезу ІТ ППР в умовах НЕ-факторів різної природи становить модель виду:

$$SIT = \langle V, PS, IT, SGR, IP, R \rangle, \quad (6)$$

де V – вектор вихідних параметрів; PS – множина параметрів (критеріїв) синтезу ІТ; IT – процедура синтезу ІТ; SGR – система правил синтезу ІТ; IP – інформаційні процеси; R – вектор параметрів-результатів.

Вектор вхідних параметрів V включає в себе множину вихідних даних, параметрів, умов і обмежень, необхідних для вирішення поставленої задачі.

Критерії синтезу ІТ $PS = \{Par_i | i = \overline{1, m}\}$ можна умовно розділити на дві категорії: множина вхідних (PS^V) та множина проміжних (PS^P) параметрів, $PS = PS^V \cup PS^P$. Множина PS^V може бути сформована на основі значень вектору V , ці параметри відомі на початковому етапі, оскільки впливають безпосередньо з поставленої мети дослідження, висунутих обмежень і умов, положень регламенту проведення експертизи та ін. (наприклад, вид процедури структуризації даних; структура даних; спосіб отримання даних; форма представлення результату та ін.). Оскільки ІТ являє собою комплекс взаємопов'язаних процесів, спрямованих на переробку інформації, частина з яких носить послідовний характер, то деякі параметри синтезу ІТ (PS^P) не можуть бути отримані на початковому етапі, оскільки синтезуються в міру протікання таких процесів (наприклад, виділені види НЕ-факторів; обраний метод моделювання виділених НЕ-факторів та ін.).

Процедура синтезу ІТ являє собою сукупність взаємопов'язаних, послідовних процесів пов'язаних з отриманням і обробкою (аналізом) множини вхідних / проміжних (синтезованих в процесі аналізу) даних і знань, інтерпретацією отриманих результатів, які протікають під впливом різних видів nf_i , і використовуються для вирішення поставленої задачі T (рис. 1).

Правило генерації ІТ – це алгоритм вирішення поставленої задачі на основі обраного математичного апарату, з урахуванням сформованого набору параметрів синтезу ІТ. Для побудови правил синтезу ІТ $PIT_j \subset SGR$ може бути використано як один критерій $Par_i \subset PS$, так і їх комбінація $\wedge Par_i, i \leq m$.

Вектор параметрів-результатів являє собою сукупність вихідних параметрів системи, які визначаються змістом і специфікою розв'язуваної задачі T , на підставі яких синтезується управлінське рішення.

На рис. 2 наведена узагальнена структурна схема синтезу ІТ інтелектуального забезпечення процесу прийняття рішень в умовах НЕ-факторів різної природи. У блоці *формування параметрів синтезу ІТ* на основі отриманих вихідних даних V формується набір параметрів PS^V , що покладені в основу правил генерації ІТ на попередньому етапі. Далі в блоці *синтезу ІТ прийняття рішень* продукується множина параметрів PS^P , і формуються результуючі правила генерації ІТ.

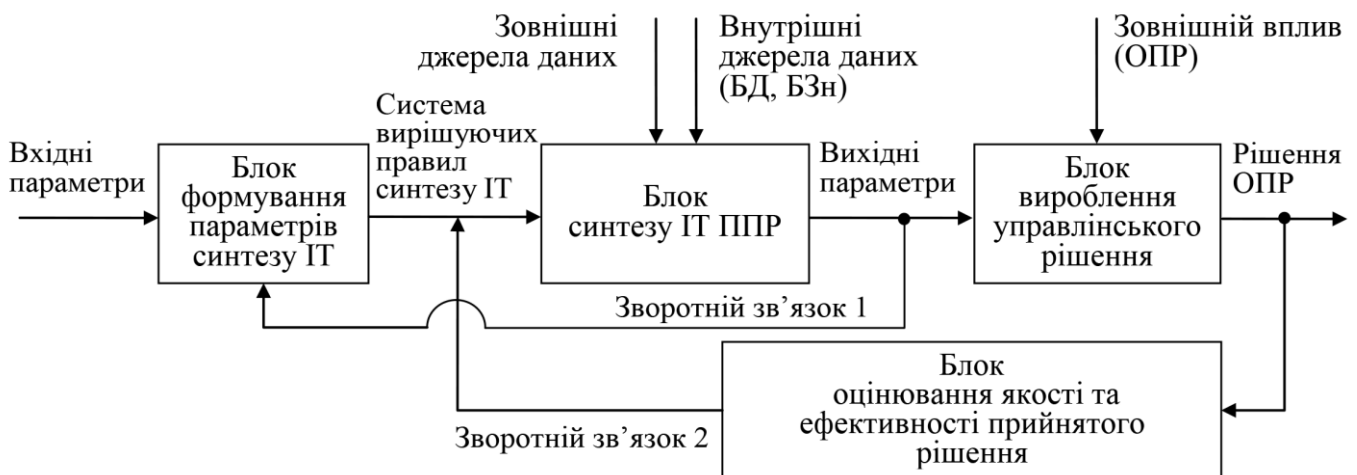


Рисунок 2 – Структурна схема синтезу ІТ ППР

У блоці синтезу ІТ протікають процеси формування сукупності вихідних даних, ідентифікації nf_i , вибору математичного апарату моделювання виділених видів nf_i , аналізу (структуризації) отриманої інформації, її візуалізація і підготовка для особи, що приймає рішення (ОПР). Результатом процесів, що відбуваються в цьому блоці є підготовлена для прийняття рішення (для ОПР) інформація, яка відповідає поставленим цілям аналізу. Якщо з яких-небудь причин вихідні характеристики (результати аналізу) не задовольняють поставленим вимогам (зворотний зв'язок 1), то вносяться зміни до набору критеріїв синтезу ІТ (ці зміни стосуються множини PS^P), і як наслідок відбувається корекція правил генерації ІТ. В найгіршому випадку відбувається повторення процедури формування сукупності вхідних даних (в цьому випадку може бути змінено множину PS^V). У блоці вироблення управлінського рішення відбувається підсумковий аналіз структурованої експертної інформації, інтерпретація отриманих результатів, виробляється управлінське рішення. Далі оцінюється його якість та ефективність, проводиться контроль та коригування. Результати отриманих оцінок якості виробленого рішення можуть бути збережені в БЗн і відображені в системі вирішуваних правил синтезу ІТ ППР (зворотний зв'язок 2).

Основні принципи синтезу ІТ інваріантні до типу розв'язуваної задачі і способу отримання та подання вхідної інформації.

У **третьому розділі** запропоновано комплекс моделей, методів та ІТ аналізу та структуризації даних та експертних знань в умовах неоднорідності та невизначеності на основі ймовірно-статистичних моделей.

Оскільки в роботі розглядаються практичні аспекти синтезу ІТ на прикладі вирішення типових задач прийняття рішень, сформулюємо постановку задачі структуризації групових ЕО у загальному виді.

Припустимо, група експертів $E = \{E_i | i = \overline{1, t}\}$, оцінюючи задану множину об'єктів (альтернатив) $A = \{A_j | j = \overline{1, n}\}$, сформувала профілі експертних переваг (ЕП) $B = \{B_i | i = \overline{1, t}\}$. При вирішенні багатокритеріальної задачі прийняття рішень кожна A_j оцінюється за рядом ознак (критеріїв) $K = \{k_l | l = \overline{1, q}\}$, тоді буде отримано профіль ЕП виду $B_i = \{C_l | l = \overline{1, q}\}$, де C_l – відображає ЕП відносно критерію k_l .

Задача структуризації групових профілів ЕП B_i полягає в їх агрегуванні з метою вироблення єдиного групового рішення R :

$$\left(B_1, B_2, \dots, B_i, \dots, B_t \right) \Rightarrow R, \quad (7)$$

$\uparrow$
[π]

де [π] – деякий оператор обробки групових ЕО (методи, правила, алгоритми).

Методика синтезу ІТ ППР в умовах неоднорідності може бути описана наступним чином. Отримані профілі ЕП $B = \{B_i | i = \overline{1, t}\}$ надходять на вхід блоку ідентифікації НЕ-фактора «неоднорідність» (ЕП сформовані в рамках абсолютної шкали), або «неузгодженість» (ЕП сформовані в рамках шкали відношень або порядку). У цьому блоці формується система ознак ідентифікації аналізованого виду НЕ-фактора nf_i (неоднорідність / узгодженість), на основі якої виробляється система вирішуваних правил ідентифікації nf_i . Встановлення факту наявності nf_i може відбуватися як за однією ознакою, що дозволяє однозначно встановити

наявність nf_i , так і за сукупністю ознак. У разі останнього, відсутність nf_i визнається, за умови, що $\forall j: c_j^{(i)} \rightarrow$ відсутність nf_i ; наявність nf_i встановлюється, якщо існує хоча б 1 ознака, що сигналізує про наявність nf_i ($\exists j: c_j^{(i)} \rightarrow nf_i$).

В роботі проаналізовано дві основні причини появи неоднорідності в сукупності аналізованих даних: спотворення строгих параметричних моделей і змішування однорідних сукупностей даних. Визначено ряд критеріїв (тестів) ідентифікації nf_i (неоднорідність / неузгодженість) у вихідній сукупності даних D , які покладені в основу синтезу правил ідентифікації відповідного виду nf_i .

Наступним етапом є вибір математичного апарату аналізу ЕО. Якщо підтверджено відсутність nf_i , то процедура структуризації сукупності ЕО зводиться до вирішення задачі знаходження агрегованої (узагальненої) ЕО відповідно до обраного методу, з метою отримання групового впорядкування (ранжування) аналізованих об'єктів (альтернатив) виду:

$$R_{rez} : A_j P A_k P \dots P A_z, \forall (A_j, A_k, A_z) \in A; \quad (8)$$

де P – відношення переваги виду $P = \{>\}$, або $P = \{>, \sim\}$.

Відсутність узгодженості (однорідності) свідчить про наявність в групі експертів деякого числа окремих E_i або підгруп експертів, всередині яких оцінки експертів можуть бути визнані узгодженими (однорідними). Внаслідок цього виникають дві задачі:

1. виявлення і виключення ЕО, що різко виділяються (порушують однорідність / узгодженість);
2. розбиття (кластеризація) вихідної сукупності ЕО на декілька підгруп (кластерів) експертів з близькими (узгодженими, однорідними) оцінками, для подальшого їх аналізу та пошуку агрегованої оцінки в межах виділеної підгрупи.

Так, наприклад, для вирішення першої задачі, за умови, що сукупність ЕО сформована в рамках абсолютної шкали вимірювань, можуть бути використані методи робастної статистики (оцінки усіченого середнього, медіана, квартилі та ін.); для розв'язку другої задачі – методи розпізнавання образів, робастної статистики (адаптивні робастні статистичні процедури), кластер-аналізу, структурний підхід. Для знаходження узагальненої оцінки, за умови припущення однорідності сукупності ЕО, можуть бути застосовані методи параметричної статистики.

У ситуації, коли виділення підгруп експертів і пошук агрегованих оцінок в межах виділених підгруп є не прийнятним, доцільно визначити причину розкиду ЕО, виявити експертів, чії оцінки порушують однорідність (узгодженість) загальної сукупності, і провести повторне опитування (в цьому випадку може бути змінена множина параметрів PS^V , наприклад, змінено склад експертної групи, змінено форму представлення ЕО, внесені корективи до процедури видобування даних та ін.).

Заключним етапом є інтерпретація отриманих результатів структуризації і вироблення групового рішення.

Сформулюємо постановку задачі структуризації даних в умовах ймовірнісної невизначеності у загальному виді. Припустимо, задана множина випадкових подій $X = \{X_j | j = \overline{1, n}\}$. Множина X може являти як множину зв'язаних ($\forall (X_i, X_j) \in X$:

$(X_i \rightarrow X_j) \vee (X_i \rightarrow X_j \rightarrow null)$, так і множину незв'язаних ($\forall (X_j) \in X: (null \rightarrow X_j \rightarrow null)$) подій $X_j \in X$. З множиною X асоційована логіко-ймовірнісна графічна модель систем випадкових подій (знань) у формі пари $\langle G, T \rangle$. Компонента G являє собою орієнтований граф $G = (X, Y)$, де X – множина вершин; Y – множина дуг; компонента T являє собою множину параметрів, що визначають подію $X_j \in X$.

Запропоновано узагальнену структуру ІТ аналізу даних, сформованих в умовах невизначеності з використанням методів ймовірнісного виведення. Методологія синтезу ІТ може бути представлена у вигляді виконання наступних послідовних етапів:

Етап 1. Формування множини випадкових подій $X = \{X_j \mid j = \overline{1, n}\}$.

Етап 2. Вибір методу отримання оцінок ймовірності подій, який в свою чергу залежить від способу отримання вихідної інформації.

Етап 3. Побудова апіорного розподілу ймовірності випадкових подій.

Етап 4. Встановлення залежності між змінними (випадковими подіями), або встановлення факту їх відсутності.

Етап 5. Синтез топології графу (мережі).

Етап 6. Вибір методів ймовірнісного виведення.

Етап 7. Інтерпретація результатів ймовірнісного виведення і вироблення рекомендацій ОПР.

В роботі проаналізовані: методи ймовірнісного виведення на деревах ймовірностей, метод конденсації ймовірнісних розподілів, методи ймовірнісного та абдуктивного виведення на мережах впевненості (мережі Байєса), методи ймовірнісного виведення на алгебраїчних мережах Байєса. Для вибору вищезазначених методів в рамках інтегрованої технології, були проаналізовані такі аспекти: 1) способи отримання і форма подання оцінок ймовірності реалізації випадкових подій; 2) вплив залежності / незалежності систем випадкових подій на побудову ймовірнісних дерев і мереж; 3) можливість застосування методів ймовірнісного виведення в залежності від збільшення числа модельованих систем випадкових подій.

Запропоновано підхід до агрегування групових ЕО ймовірності реалізації випадкових подій при вирішенні задач ймовірнісного виведення на деревах ймовірності, який дозволяє синтезувати узагальнені оцінки ймовірності реалізації незалежних систем випадкових подій, отриманих з декількох різних незалежних джерел. Припустимо, група експертів $E = \{E_i \mid i = \overline{1, t}\}$, оцінюючи вихідну множину $X = \{X_j \mid j = \overline{1, n}\}$, сформувала профілі ЕП $B = \{B_i \mid i = \overline{1, t}\}$, елементи $B_i = \{b_j^i \mid j = \overline{1, n}\}$ відображають ступінь впевненості E_i відносно реалізації подій множини X . Таким чином, оцінка $b_j^i \rightarrow [0, N]$, являє собою можливість (ймовірність) настання події $X_j \in X$, визначена експертом E_i . Обробка отриманих профілів ЕП здійснюється на основі математичного апарату ТДШ.

Процедура синтезу апіорних ЕО реалізації подій $X_j \in X$:

1. Формування основи аналізу задачі $\Omega = \{\omega_1, \omega_2\}$, де ω_1 – подія $X_j \in X$ реалізується ω_2 – подія $X_j \in X$ розглядається як не суттєва (не реалізується).

2. Формування вектору ймовірнісних оцінок реалізації $\forall X_j \in X$. На основі значень $B = \{B_i | i = \overline{1, t}\}$ для $\forall X_j \in X$ буде отримано множину $M_j = \{m_i^{(j)} | i = \overline{1, t}\}$, де $m_i^{(j)} = \{m(\omega_1), m(\omega_2)\}$ – вектор ймовірнісних оцінок події $X_j \in X$, отриманий на основі індивідуальних оцінок E_i ; $m(\omega_1)$ – ймовірність реалізації події $X_j \in X$; $m(\omega_2) = 1 - m(\omega_1)$ – ймовірність не реалізації події $X_j \in X$.

3. Агрегування значень вектору ймовірнісних оцінок реалізації $X_j \in X$ для $\forall E_i \in E$: $m_{rez}^{(j)} = m_1^{(j)} \oplus m_i^{(j)} \oplus \dots \oplus m_t^{(j)}$. Агрегування отриманих ймовірнісних оцінок здійснюється на основі операції комбінування ЕС. Для отримання агрегованих оцінок рекомендовано використовувати одне з правил перерозподілу конфліктів, наприклад, *PCR5*. Застосування правила *PCR5* дозволяє отримати набір результуючих підмножин (фокальних елементів), ідентичний вхідним фокальним елементам, утвореним до операції комбінування, нові фокальні елементи не утворюються. В результаті $\forall X_j \in X$ буде отримано вектор оцінок $m_{rez}^{(j)} = \{m(\omega_1), m(\omega_2)\}$.

4. Аналіз та розрахунок побудованого дерева ймовірності для незалежних систем випадкових подій, на основі отриманих оцінок реалізації $m_{rez}^{(j)}(\omega_1) \in m_{rez}^{(j)}$ та не реалізації $m_{rez}^{(j)}(\omega_2) \in m_{rez}^{(j)}$ події $X_j \in X$.

У четвертому розділі запропоновано комплекс моделей, методів та ІТ аналізу та структуризації даних та експертних знань в умовах складних форм незнання, що породжені комбінаціями таких НЕ-факторів, як невизначеність, неповнота, неузгодженість, суперечливість (конфлікт), неспецифічність, наприклад, комбінація невизначеність + конфлікт + неповнота, модельованими на основі математичного апарату ТДШ та ТДС. Додатково розглянуто комбінації вищезазначених видів незнання та неточності і нечіткості, наприклад, комбінації неспецифічність + неточність + нечіткість, модельовані методами теорії нечітких множин та нечітких відношень, інтервальної математики та ТДШ.

На рис. 3 наведена узагальнена структура ІТ ППР в умовах багатокритеріальності, багатоальтернативності та складних форм незнання.

Припустимо, комісія у складі t експертів $E = \{E_j | j = \overline{1, t}\}$, оцінюючи деяку множину альтернатив $A = \{A_i | i = \overline{1, n}\}$, сформувала профілі ЕП $B = \{B_j | j = \overline{1, t}\}$, де $B_j = \{X_l | l = \overline{1, s}\}$ являє собою множину фокальних елементів $X_l \subseteq A$, що відображає переваги E_j .

Якщо на множину A накладаються обмеження взаємовиключності та взаємовичерпності елементів (модель Шейфера), тоді B_j являє собою 2^A -мірний вектор, кожен елемент якого або $X_l = \{\emptyset\}$, або синглетон $X_l = \{A_i\}$, або $X_l = \{A_i | i = \overline{1, k}\}$, $k \leq n$.

Якщо на множину A накладається обмеження взаємовичерпності елементів (модель Дезера-Смарандаке), в цьому випадку B_j являє собою D^A -мірний вектор, кожен елемент якого або сформований за правилами моделі Шейфера, або підкоряється правилу: $\forall (X_l, X_k) \subset D^A$: $X_l \cap X_k \in D^A$ та $X_l \cup X_k \in D^A$.



Рисунок 3 – Узагальнена структура ІТ ППР в умовах складних форм незнання

Для кожного $B_j, j = \overline{1, t}$ буде отримано вектор $m_j = \{m_l | l = \overline{1, s}\}$, елементи якого задовольняють:

$$0 \leq m(X_l) \leq 1, \quad \forall (X_l \in \Lambda), \quad m(\emptyset) = 0, \quad \sum_{X_l \in \Lambda} m(X_l) = 1, \quad (9)$$

де Λ відповідає 2^A , або D^A .

При вирішенні багатокритеріальної задачі ПР кожна A_j оцінюється за сукупністю критеріїв $K = \{K_q | q = \overline{1, s}\}$, тоді буде отримано профіль ЕП виду $B = \{B_j | j = \overline{1, t}\}$, $B_j = \{B_j^{(q)} | q = \overline{1, s}\}$, $B_j^{(q)} = \{X_l^{(q)} | l = \overline{1, s}\}$, де $B_j^{(q)}$ являє собою підмножину фокальних елементів, сформованих E_j за критерієм K_q . Кожний елемент $X_l^{(q)} \subseteq A$ може бути побудований у відповідності до системи правил моделі Шейфера або Дезера-Смарандаке.

Далі сукупність ЕО $B = \{B_i | i = \overline{1, t}\}$ надходить на вхід блоку ідентифікації складних форм незнання (комбінованих видів незнання / НЕ-факторів). У цьому блоці відбувається формування системи ознак $C_i = \{c_j^{(i)} | j = \overline{1, z}\}$ ідентифікації аналізованих складних форм незнання nf_i , на основі яких формується система вирішуючих правил $SR_i = \{R_l^{(i)} | l = \overline{1, h}\}$ ідентифікації nf_i . Ідентифікація nf_i відбувається за окремою ознакою, або їх комбінацією. В якості індикаторів C_i присутності складних форм незнання в аналізованій сукупності ЕО в роботі запропоновано використовувати наступні ознаки:

1. структура ЕС $X_l \subseteq B_j$;
2. рівень конфлікту (глобального);
3. показники якості ЕС: рівень авто-конфлікту; ступінь специфічності та ін.;
4. ступінь суперечливості сформованих ЕС;
5. обмеження, що накладаються на основу аналізу А.

Наступним кроком є формування системи вирішуючих правил SR_i виявлення складних форм незнання. В роботі проаналізовано ряд мір, метрик та показників, що дозволяють у чисельному виді охарактеризувати вищезазначені ознаки ідентифікації комбінованих (складних) видів незнання модельованих методами ТДШ та ТДС, які покладені в основу синтезу системи вирішуючих правил SR_i . На основі сформованого набору правил $R_l^{(i)}$ може бути отримано правило вибору методу (групи методів) моделювання складних форм незнання:

$$B_j \in \begin{cases} P_1, & \text{якщо } \forall l : R_l^{(i)} \rightarrow \text{відсутність } nf_i; \\ P_2, & \text{якщо } \exists l : R_l^{(i)} \rightarrow nf_i; \end{cases} \quad (10)$$

де P_1 – ЕС не суперечливі, мають високу якість і характеризуються узгодженістю; P_2 – ЕС являють собою конфліктні судження.

Якщо $B_j \in P_1$, то прийнято припущення щодо узгодженості ЕС (що характеризується близькими судження, наявністю низького / незначного рівня конфлікту), і може свідчити про високий (прийнятний) рівень якості сформованих ЕС. В цьому випадку процедура структуризації сукупності ЕО зводиться до вирішення задачі знаходження агрегованої ЕО: в рамках моделі Шейфера можуть бути рекомендовані такі правила комбінування, як правило Ягера, Жанга, Демпстера, Дюбуа і Прада та ін.; в рамках моделі Дезера-Смарандаке – класичне або гібридне правило комбінування, в залежності від обмежень, що накладаються.

Якщо $B_j \in P_2$, то встановлено, що в аналізованій сукупності ЕО має місце неузгодженість (конфлікт, суперечливість).

Внаслідок чого виникають три задачі:

1. виявлення та виключення конфліктуючих (суперечливих) свідоцтв; пошук агрегованої оцінки в межах отриманої множини узгоджених свідоцтв;
2. агрегування конфліктуючих (суперечливих) свідоцтв;
3. розбиття вихідної сукупності ЕС на підгрупи з прийнятним рівнем конфлікту.

Для вирішення першої задачі можуть бути використані різні міри, що дозволяють в кількісній формі оцінити схожість та відмінність ЕС, наприклад, метрики відстані; міри оцінювання рівня конфлікту між ЕС та ін.

Для вирішення другої задачі запропоновано застосовувати одне з правил перерозподілу конфліктів. Кожне з цих правил, використовуючи різні механізми, дозволяє перерозподіляти часткові конфліктні маси ймовірності або загальну конфліктну масу ймовірності (залежно від правила) на підмножини, залучені в конфлікти.

Для вирішення третьої задачі в роботі запропонована процедура структуризації групових ЕО в умовах невизначеності та неузгодженості, яка дозволяє виділяти з вихідної сукупності групових ЕО підгрупи однорідних (узгоджених) оцінок $E \Rightarrow \{G_1\}, \{G_2\}, \dots, \{G_q\}, \dots, \{G_p\}$ ($G_q \subseteq E$, $\{G_q\} = \{E_1, \dots, E_r\}$, $t \geq r \geq 1$, $t \geq p \geq 1$), та / або визначення таких E_j , що не належать жодній з підгруп ($E_j \subseteq G_q$, за умови, що $|G_q| = 1$). Далі в середині кожної із сформованих підгруп визначаються агреговані групові оцінки.

Будемо вважати, що:

1. оцінки $E_j \subseteq G_q$, $l \geq 2$ вважаються узгодженими;
2. оцінки $E_j \subseteq G_q$, $|G_q| = 1$ вважаються нетиповими, тобто такими, що у значній мірі відрізняються (конфліктують) від оцінок решти експертів;
3. свідчення всієї групи E вважаються узгодженими при $p = 1$ (як наслідок $t = r$).

Якщо виникає ситуація при якій утворюється значна кількість малочисельних груп G_q (тобто має місце тенденція $q \rightarrow t$ при $r \rightarrow 1$), то проведення подальшого аналізу є недоцільним. Прикладом найгіршої ситуації є формування гранично-можливої кількості підгруп таких, що $\forall G_q: |G_q| = 1$ ($q = \overline{1, p}$, $p = t$).

Для вирішення задачі розбиття вихідної сукупності групових ЕО на узгоджені підгрупи, в роботі запропоновано два підходи:

1. Встановлено один пороговий (прийнятний) рівень конфлікту $ConfLev$. Оцінки $E_j \subseteq G_q$ ($\forall G_q \subset E$) не перевищують $ConfLev$. В цьому випадку може бути сформовано p підгруп експертів з прийнятним рівнем конфлікту (узгоджені свідчення).

2. Визначається декілька порогових значень l_q , $q = \overline{1, p}$, які відповідають за заздалегідь визначені рівні конфлікту, наприклад, низький, середній, значний. Оцінки $E_j \subseteq G_q$ ($\forall G_q \subset E$) не перевищують заданий відповідний пороговий рівень конфлікту l_q .

Розглянемо основні етапи процедури формування підгруп $E_j \subseteq G_q$, за умови, що задано різні порогові рівні конфлікту l_q :

1. Оцінювання ступеню схожості ЕС: $\forall \langle m_i, m_j \rangle$, $i, j = \overline{1, t}$ $i \neq j$ визначаються оцінки метрики відстані. Результати зберігаються у формі симетричної відносно головної діагоналі матриці парних відстаней виду:

$$Dst = \begin{pmatrix} - & d(m_1, m_2) & \dots & d(m_1, m_t) \\ d(m_2, m_1) & - & \dots & d(m_2, m_t) \\ \dots & \dots & - & \dots \\ d(m_t, m_1) & d(m_t, m_2) & \dots & - \end{pmatrix}, \quad (11)$$

де $d(m_i, m_j)$ – значення метрики відстані, наприклад, міри *Jousselme*.

2. Формування множини кандидатів $E^* = E = \{E_j \mid j = \overline{1, t}\}$.

3. Встановлення порогових значень рівнів конфлікту l_q , $q = \overline{1, p}$.

4. Вибір опорного елементу $E_o \in E^*$. В роботі запропоновано декілька алгоритмів вибору опорного елементу.

4.1a $\forall E_k \in E^*$ в матриці (11) шукається міні значення міри конфлікту між E_k та групою $E^* \setminus E_k$, виду:

$$Conf(E_k, E^* \setminus E_k) = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r d(m_k, m_j), \quad r = |E^*| - 1. \quad (12)$$

4.2a Обирається опорний елемент $E_o \in E^*$, такий що $\min(Conf(E_o, E^* \setminus E_k))$. Елемент E_o є найменш конфліктним по відношенню до всієї групи експертів.

4.1б $\forall E_k \in E^*$ визначаються оцінки $Conf(E_k, E^* \setminus E_k)$ відповідно до (12).

4.2б Формується підгрупа $E^{conf} \subset E^*$, $\forall E_j \in E^{conf}: Conf(E_j, E^* \setminus E_j) > Conf(E_k, E^* \setminus E_k)$, $E_k \in E^* \setminus E^{conf}$ відповідно до (12).

4.3б Обирається опорний елемент $E_o \in E^*$, такий, що $\min(Conf(E_o, E^* \setminus (E^{conf} \cup E_o)))$. Елемент E_o є найменш конфліктним по відношенню до групи експертів, з якої виключені експерти з конфліктними свідченнями.

4.1в Формування сукупності G_1^j , $j = \overline{1, t}$.

ЯКЩО $\forall E_j \in G_1^j: d(m_j, m_k) \leq l_1$, $k = \overline{1, t}$, $j \neq k$,

ТО $E_k \in E^*$ додається до G_1^j ($E_j \in E^*$ є опорним елементом для G_1^j).

4.2в Обирається опорний елемент $E_o = E_j$, $E_j \in E^*$ такий, що $\max_j(|G_1^j|)$.

Елемент E_o утворює найбільшу за кількістю групу з найменшим заданим рівнем конфлікту l_1 .

5. Формування $G_q \subseteq E$, $q = \overline{1, p}$ відносно E_o , таким чином, що $\forall E_j \in G_q$ ($q = \overline{1, p}$, $r \geq 1$) виконується умова:

$$l_{q-1} < d(m_o, m_j) \leq l_q, \quad j = \overline{1, r}, \quad l_0 = 0. \quad (13)$$

5.1 При формуванні G_q , $q = \overline{1, p}$ здійснюється перебір всіх елементів E^* на відповідність умові (13).

ЯКЩО $\forall E_s \in G_q: d(m_j, m_s) \leq l_q$, $j \neq s$,

ТО E_j додається до G_q , та видаляється із E^* , $E^* = E^* \setminus E_j$.

5.2 Процедура, передбачена п. 5.1, повторюється $p-1$ разів, або достроково припиняється за умови $E^* = \emptyset$.

В роботі запропоновано підхід до агрегування групових ЕС, який дозволяє синтезувати групове рішення з урахуванням різних форм представлення ЕО (інтервальні, нечіткі, точкові). Відсутність обмеження на форму подання ЕП дає можливість експерту максимально точно висловлювати свою думку відносно аналізованого об'єкта.

Для аналізу отриманої експертної інформації, і формування індивідуальних експертних ранжувань аналізованих об'єктів, застосовано метод парних порівнянь та

його модифікації. Експерт самостійно обирає форму подання своїх переваг при побудові матриць парних порівнянь (МПП), або може відмовитись від оцінювання тих чи інших об'єктів експертизи, у цьому випадку будуються усічені МПП.

Формально процедуру знаходження групової оцінки експертів можна представити у вигляді наступних послідовних кроків (рис. 4).



Рисунок 4 – Етапи процедури формування групової ЕО в умовах різних форм незнання

Для знаходження вектору локальних пріоритетів в нечіткій МПП рекомендовано застосовувати метод Чанга (Chang D. Y.), оскільки він дозволяє отримати точкові оцінки значень вектору локальних пріоритетів нечіткої МПП. Процедура агрегування здійснюється в два етапи: на першому етапі відбувається агрегування W_i та W_j , елементи яких задані в однаковій формі представлення, наприклад, елементи векторів W_i та W_j представлені інтервальними числами. Для отримання більш ефективних результатів комбінування пропонується визначати порядок комбінування на основі метрик ТДШ, на кожному етапі обираються такі W_i та W_j , для яких виконується умова $\min(d(W_i, W_j)), \forall i, j = \overline{1, r}, r \leq t, d(W_i, W_j) \in [0, 1]$.

На другому етапі, у разі потреби, здійснюється агрегування W_k та W_p , елементи яких мають різну форму представлення, наприклад, точкову та інтервальну. У цьому випадку рекомендовано застосовувати наступну схему: здійснити перехід до

інтервальної форми у разі незначного рівня конфлікту; здійснити перехід до точкової форми у разі значного рівня конфлікту. В результаті процедури комбінування буде отримано вектор кількісних показників якості кожної альтернативи $W^{rez} = \{U_i^{rez} \mid i = \overline{1, n}\}$, що відображає колективну думку групи експертів.

В роботі запропоновано процедуру вибору правила комбінування ЕС, сформованих в рамках моделі Шейфера, в основу якої покладено визначення кількісних показників невизначеності.

Припустимо, задана множина правил комбінування $P = \{P_i \mid i = \overline{1, k}\}$. Необхідно обрати правило $P \in P$, $m_{combP} = m_i P m_j$, що мінімізує значення функції глобальної невизначеності комбінованої маси ймовірності $\min(T(m_{combP}))$ за Klir G. та Parviz B.:

$$T(m) = \sum_{X_j \subseteq A, X_j \neq \emptyset} m(X_j) \log_2(|X_j|) - \sum_{X_j \in 2^A} m(X_j) \log_2(f(X_j)), \quad (14)$$

де $f(X_j)$ може приймати значення функцій пігністичної ймовірності $betP(X_j)$, довіри $Bel(X_j)$, правдоподібності $Pl(X_j)$.

Формально процедуру вибору можна представити у вигляді двох послідовних етапів:

Етап 1. На основі множини допустимих правил комбінування P , обирається підмножина $P' \subseteq P$, що задовольняє заданому набору критеріїв $C = \{c_i \mid i = \overline{1, q}\}$, до числа яких можна віднести: модель аналізу (модель Шейфера, модель Дезера-Смарандаке); інформація про джерела даних (експертів), їх компетентність; характер аналізованої сукупності даних (локальні та глобальні конфліктні маси ймовірності, співвідношення маси ймовірності основи аналізу та сукупної маси ймовірності решти ЕС; інформація щодо взаємодії та структури ЕС) та ін. В результаті буде сформована множина правил $P' = \{P_i \mid i = \overline{1, z}\}$, $z \leq k$, $P' \subseteq P$, що задовольняють визначеному набору критеріїв C .

Етап 2. Вибір правила комбінування на основі аналізу кількісних характеристик невизначеності:

1. Обирається правило $P_l \in P'$, що максимізує значення коефіцієнта специфічності результату комбінування $\max(\delta_s(m_i P_l m_j))$, $\delta_s(m_i P_l m_j) \in [0, 1]$:

$$\delta_s(m) = 1 - d(m, m_s); \quad \forall m: \quad d(m, m_x) = d(m, m_y), \quad m(X) = m(Y), \quad (15)$$

де m – комбінована маса ймовірності m_{combP} , отримана при агрегуванні свідощів B_i та B_j з відповідними значеннями функцій ймовірності m_i та m_j на основі правила комбінування P_i ; $d(m, m_s)$ – міра, що характеризує відстань між виділеними групами свідощів; значення вектору m_s задовольняють умовам:

$$m_s(X_{\max}) = 1, \text{ або } m_s = m(X_{\max}), \quad X_{\max} = \arg \max(m(X)/|X|), \quad X \in 2^A, \quad X \neq \emptyset. \quad (16)$$

2. Обирається правило $P_r \in P'$, що мінімізує значення міри суперечливості результату комбінування $\min(Contr(m_i P_r m_j))$, $Contr(m_i P_r m_j) \in [0, 1]$:

$$Contr_m = \sum_{X_j \in 2^A} m(X_j) d(m, m_x), \quad m_x(X) = 1. \quad (17)$$

3. Якщо $P_l \neq P_r$, то обирається правило, що має найменший досяжний рівень глобальної невизначеності (14):

$$P = \begin{cases} P_l, & T(m_i P_l m_j) < T(m_i P_r m_j); \\ P_r, & T(m_i P_l m_j) > T(m_i P_r m_j). \end{cases} \quad (18)$$

У п'ятому розділі запропоновано комплекс моделей та ІТ ППР в умовах неточності (грубості) та неповноти даних та експертних знань. Досить часто в реальних ситуаціях доводиться вирішувати задачі видобування знань із масивів невпорядкованих (необроблених, грубих) даних та знань. При вирішенні задачі класифікації таких даних та знань, може виникнути ситуація, коли неможливо встановити класифікаційну категорію. У таких випадках доцільно використовувати ТГМ, математичний апарат якої дозволяє проводити «неточну класифікацію», що на практиці може виглядати більш реальною ніж точна.

Припустимо, задана БЗн $K = (U, R)$, де $U = \{u_j \mid j = \overline{1, z}\}$ – непорожня скінчена множина елементів (універсум), R – відношення еквівалентності, на основі якого можуть бути сформовані класи еквівалентності (категорії) елементів U . Кожна категорія містить елементи, що мають спільні властивості (атрибути); в межах кожної категорії елементи вважаються нерозрізненими. Цільова множина $U_S \subseteq U \in R$ -визначеною (R -точною), якщо вона являє собою об'єднання категорій, які виділені на U на основі відношення R . В іншому випадку $U_S \subseteq U$ вважається R -невизначеною (R -неточною, R -грубою).

Довільний БЗн K може бути поставлена у відповідність інформаційна система (ІС) $S = (U, A, V, f)$, де $A = \{a_l \mid l = \overline{1, q}\}$ – не порожня скінчена множина примітивних атрибутів; $V = \bigcup_{a_l \in A} V_{a_l}$, V_{a_l} – множина значень атрибуту a_l ; $f: U \times A \rightarrow V$ – інформаційна функція, така, що $\forall a_l \in A, u \in U, f(u, a_l) \in V_{a_l}$.

Для моделювання ситуації, при якій елемент $u \in U$ може належати деякому заздалегідь визначеному класу на основі заданого набору атрибутів, ІС може бути подана у формі таблиці рішень (ТР) $T = (U, A)$, де $A = C \cup D$ являє собою сукупність множини атрибутів-умов C ($|C| > 1$, $C = A \setminus \{a_q\}$), та атрибутів-рішень $D = \{a_q\}$. ТР може бути подана як $T = (U, C \cup \{a_q\})$, де C – множина відмінних та незалежних ознак (атрибутів-умов); a_q – залежна змінна (атрибут-рішення).

В роботі запропоновано комплекс математичних моделей аналізу та структуризації даних і знань ІС та ТР в умовах групової експертизи при вирішенні наступних задач:

1. агрегування та синтез групової оцінки відносно значень атрибутів-умов $a_l^{gr}(u_j)$, $u_j \in U$.

2. агрегування та синтез групової оцінки відносно значень атрибутів-рішень $a_q^{gr}(u_j)$, $u_j \in U$ (виходячи із заданого набору атрибутів-умов $a_l(u_j)$, $a_l \in C$) при моделюванні приналежності елемента універсуму заданому класу.

3. синтез групового рішення відносно приналежності елемента $u_j \in U$ заданому класу: $u_j \rightarrow k_p$, $k_p \in a_q$, за умови, що відповідні значення $a_l(u_j)$, ($a_l \in C$, $u_j \in U$) також формується на основі групової експертизи.

Задача агрегування відповідних значень релевантних атрибутів ІС виражених у формі ЕО і синтезу групової оцінки однотипна задачі агрегування групових ЕО

оцінок релевантних атрибутів-умов елементу $u_j \in U$ ТР. Для синтезу групових ЕО була використана математична нотація ТДШ та ТДС.

Постановка задачі агрегування значень атрибутів-рішень, сформованих на основі групових ЕО. Група експертів $E = \{E_i \mid i = \overline{1, n}\}$ на основі даних заданого набору ознак S сформувала профілі ЕП виду $P = \langle B \rangle$ або $P = \langle B, O \rangle$, де $B = \{B_i \mid i = \overline{1, n}\}$. Профіль B_i відображає думку E_i відносно приналежності $u_j \in U$ ($j = \overline{1, z}$) до заданого класу $k_p \in a_q$ ($p = \overline{1, r}$, $r < z$), або групи класів $\{k_p, \dots, k_s\}$, $p \neq s$, $p, s = \overline{1, r^*}$, $r^* < r$. Таким чином $B_i = \{b_j^i \mid j = \overline{1, z}\}$, де b_j^i містить номер / ім'я / мітку деякого класу(ів) $k_p \in a_q$, до якого(яких) було віднесено $u_j \in U$ експертом E_i . Друга компонента профілю $O = \{O_i \mid i = \overline{1, n}\}$, $O_i = \{o_j^i \mid j = \overline{1, z}\}$, де $o_j^i \in O_i$, відображає оцінку впевненості E_i в тому, що елемент $u_j \in U$ ($j = \overline{1, z}$) належить до визначеного класу $k_p \in a_q$, або до групи класів $\{k_p, \dots, k_s\}$. Оцінка o_j^i може бути виражена в рамках заданої шкали переваг, використовуючи діапазон чисел $[0; N]$. Якщо $N \neq 1$, то значення o_j^i має бути приведено до одиничного інтервалу, $o_j^i \in [0; 1]$.

Задача полягає у синтезі групового профілю $B^{gr} = \{b_j^{gr} \mid j = \overline{1, z}\}$, де b_j^{gr} формується шляхом агрегування відповідних значень $B_i = \{b_j^i \mid j = \overline{1, z}\}$, $\forall i = \overline{1, n}$; елемент $b_j^i \in B_i$ підкоряється системі правил моделі Шейфера. На основі оцінок B^{gr} : $\forall u_j \in U$, $j = \overline{1, z} : (u_j, b_j^{gr}) \Rightarrow (u_j, k_p)$. Пара (u_j, k_p) встановлює приналежність u_j до деякого класу $k_p \in a_q$, мітка якого збережена в b_j^{gr} .

При моделюванні залежності «елемент U – клас ТР» було розглянуто ситуації:

1. $\forall u_j \in U$ елемент u_j може належати тільки одному класу: $u_j \rightarrow k_p$;
2. $\exists u_j \in U$, які в рівному ступені можуть належати декільком класам (на думку експерта): $u_j \rightarrow \{k_p, \dots, k_s\}$, $p \neq s$, $p, s = \overline{1, r^*}$, $r^* < r$, $\forall p, s = \overline{1, r^*} : \{k_p \sim k_s\}$; за результатами моделювання $u_j \in U$ може належати тільки одному класу.
3. $\exists u_j \in U$, для яких E_i не може встановити приналежність до жодного з заданих класів: $u_j \rightarrow a_q$, $\forall p, s = \overline{1, r} : \{k_p \sim k_s\}$, $p \neq s$.

В процесі синтезу значень атрибутів-рішень на основі групових ЕО розглядалося два випадки: із застосуванням тільки існуючих даних та знань ТР (за результатами експертного опитування формуються профілі ЕП виду $P = \langle B \rangle$), та із залученням додаткової інформації (за результатами експертного опитування формуються профілі ЕП виду $P = \langle B, O \rangle$).

При залученні додаткової експертної інформації було розглянуто два випадки:

1. Експерт E_i може віднести об'єкт $u_j \in U$ тільки до одного класу $k_p \in a_q$, або до однієї підгрупи класів (в рамках виділеної підгрупи класи вважаються рівнозначними; за результатами моделювання $u_j \in U$ може бути віднесено тільки до одного з них).

2. Експерт E_i може віднести об'єкт $u_j \in U$ до декількох класів $k_p \in a_q$, або до декількох підгруп класів з різним ступенем упевненості у своєму виборі (в рамках виділеної підгрупи класи вважаються рівнозначними; за результатами моделювання об'єкт $u_j \in U$ може бути віднесено тільки до одного класу або групи класів). У цьому випадку $b_j^i = \{Y_k \mid k = \overline{1, d}\}$, являє собою більш ніж одне значення (декілька бажаних класів, або груп класів), і як наслідок, отримуємо $o_j^i = \{Z_k \mid k = \overline{1, d}\}$, $d \leq 2^{|a_q|}$, $\forall i, j: |o_j^i| = |b_j^i|$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, z}$.

Наведемо приклад алгоритму агрегування ЕО (випадок_2):

1. Структуризація задачі: $\forall u_j \in U$ сформується сукупність суджень $B_j^* = \{b_j^i\}$, та сукупність оцінок $O_j^* = \{o_j^i\}$, $i = \overline{1, n}$.

2. Визначення основних мас ймовірності фокальних елементів $Y_k \subseteq b_j^i$, $\forall b_j^i \in B_j^*$. Для кожного $b_j^i = \{Y_k \mid k = \overline{1, d}\}$ буде отримано вектор $m_j^i = \{m_k \mid k = \overline{1, d+1}\}$, елементи якого задовольняють (9).

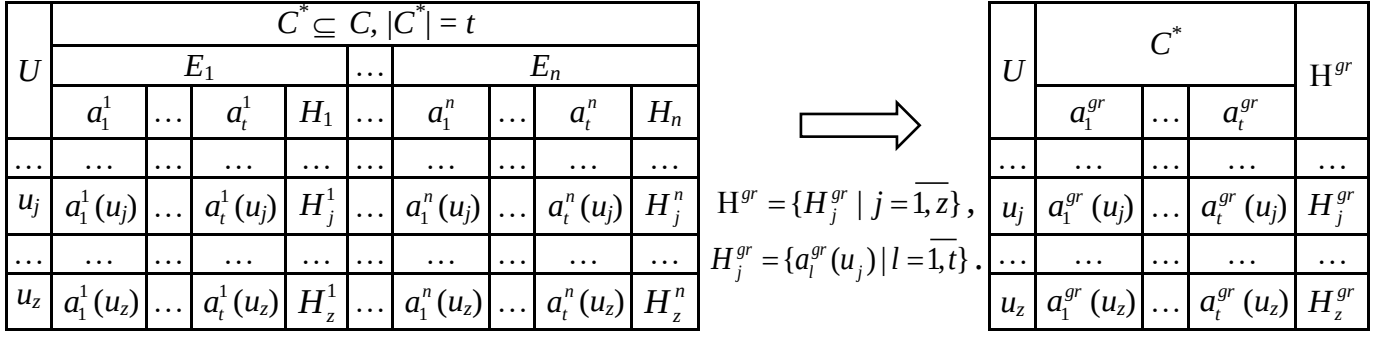
3. Визначення порядку агрегування ЕС: обирається пара $b_j^i, b_j^h \in B_j^*$, таких, що при $\forall i \neq h$: $\min d(m_j^i, m_j^h) \in [0; 1]$, де $d(m_1, m_2)$ – міра відстані в рамках нотації ТДШ.

4. Агрегування ЕС шляхом комбінування відповідних $M_j^* = \{m_j^i \mid i = \overline{1, n}\}$ та $B_j^* = \{b_j^i\}$ за всіма E_i ($i = \overline{1, n}$), для кожного $u_j \in U$ окремо. Результат комбінування: $B_j^{comb} = \{Y_k^{comb} \mid k = \overline{1, d}\}$ та $M_j^{comb} = \{m(Y_k^{comb}) \mid k = \overline{1, d}\}$, $d \leq 2^{|a_q|}$, $j = \overline{1, z}$.

5. Формування інтервалів $[Bel(\{k_p\}), Pl(\{k_p\})]$ для $k_p \in a_q$, та вибір оптимального рішення $b_{opt}^* = k_p : \max_p [Bel(\{k_p\}), Pl(\{k_p\})]$, $\forall p = \overline{1, r}$, $b_j^{gr} = b_{opt}^*$.

Постановка задачі агрегування значень атрибутів-умов, сформованих на основі групових ЕО. Група експертів $E = \{E_i \mid i = \overline{1, n}\}$ на основі аналізу предметної області сформувала профілі ЕП виду $P = \langle N \rangle$ або $P = \langle N, O \rangle$, де $N = \{N_i \mid i = \overline{1, n}\}$, $O = \{O_i \mid i = \overline{1, n}\}$. Перша компонента профілю $N_i = \{N_j^i \mid j = \overline{1, z}\}$, $N_j^i = \{a_l^i(u_j) \mid l = \overline{1, t}\}$ відображає переваги E_i відносно значень атрибутів $a_l^i(u_j)$ для елемента $u_j \in U$ ($j = \overline{1, z}$). Друга компонента профілю $O_i = \{O_j^i \mid j = \overline{1, z}\}$, $O_j^i = \{o_l^i(u_j) \mid l = \overline{1, t}\}$, $t \leq |C|$, відображає оцінку впевненості E_i відносно своїх суджень. Оцінка $o_l^i(u_j)$ містить ступінь впевненості E_i , щодо встановленого значення атрибуту a_l для елемента $u_j \in U$. Задача полягає у синтезі групового профілю $N^{gr} = \{N_j^{gr} \mid j = \overline{1, z}\}$, де $N_j^{gr} = \{a_l^{gr}(u_j) \mid l = \overline{1, t}\}$ формується шляхом агрегування відповідних значень $N_j^i = \{a_l^i(u_j) \mid l = \overline{1, t}\}$, $\forall i = \overline{1, n}$. Оцінка $a_l^{gr}(u_j)$ являє собою агреговане значення атрибуту-умови для елемента $u_j \in U$.

На основі отриманих значень групового профілю N^{gr} проводиться подальший аналіз і структуризація даних ТР.

Рисунок 5 – Процедура синтезу групового профілю H^{gr}

Синтез групового рішення здійснюється у відповідності до запропонованої процедури:

1. Структуризація задачі: $\forall u_j \in U$ формується сукупність суджень $H_j^* = \{H_j^i \mid i = \overline{1, n}\}$.
2. Агрегування групових ЕО $H_j^i \in H_j^*$ здійснюється окремо для кожного $a_l^i(u_j)$ за всіма E_i , $i = \overline{1, n}$, тобто $\forall l = \overline{1, t} : \underset{i}{agr}(a_l^i(u_j)) \rightarrow H_j^{gr}$ на основі запропонованих в роботі математичних моделей синтезу групових рішень аналізу і структуризації даних ІС та ТР.

Узагальнену схему агрегування групових ЕО $H_j^i \in H_j^*$, $i = \overline{1, n}$ можна представити в наступному вигляді:

$$H_j^* = \begin{pmatrix} H_j^1 \\ \dots \\ H_j^i \\ \dots \\ H_j^n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_1^1(u_j) & a_2^1(u_j) & \dots & a_l^1(u_j) & \dots & a_t^1(u_j) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_1^i(u_j) & a_2^i(u_j) & \dots & a_l^i(u_j) & \dots & a_t^i(u_j) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_1^n(u_j) & a_2^n(u_j) & \dots & a_l^n(u_j) & \dots & a_t^n(u_j) \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} a_1^{gr}(u_j) \\ \dots \\ a_l^{gr}(u_j) \\ \dots \\ a_t^{gr}(u_j) \end{pmatrix}^{-1} = H_j^{gr} \quad (19)$$

$\forall l = \overline{1, t} : \underset{i}{agr}(a_l^i(u_j)) \rightarrow a_l^{gr}(u_j)$

де $a_l^i(u_j)$ – значення атрибуту-умови a_l , сформоване E_i відносно u_j ($i = \overline{1, n}$; $l = \overline{1, t}$); H_j^i – сукупність групових ЕО значень атрибутів-умов a_l відносно u_j , сформована всіма експертами; H_j^{gr} – узагальнена ЕО значень атрибутів-умов a_l відносно u_j ; $[\pi]$ – оператор обробки групових ЕО (методи, правила, алгоритми).

В аналогічний спосіб відбувається формування агрегованих значень атрибутів для кожного $u_j \in U$, $j = \overline{1, z}$.

Задача синтезу групового рішення відносно приналежності елемента $u_j \in U$ заданому класу: $u_j \rightarrow k_p$, $k_p \in a_q$, за умови, що відповідні значення $a_l(u_j)$, $a_l \in C$, формується на основі групової експертизи, вирішується послідовно в два етапи.

На першому етапі вирішується задача агрегування групових ЕО релевантних атрибутів-умов; на другому етапі вирішується задача агрегування групових ЕО релевантних атрибутів-рішень за встановленим набором значень атрибутів-умов на основі запропонованих в роботі математичних моделей.

В роботі запропоновано структуру ІТ вирішення задачі класифікації грубих (невпорядкованих) масивів даних в умовах неточності, неузгодженості, неповноти вихідної інформації (даних, знань) ІС та ТР. На рис. 6 наведена ІТ структуризації неточних даних та знань ТР.



Рисунок 6 – Етапи синтезу ІТ структуризації неточних даних та знань ТР

В роботі проаналізовано ряд мір ТГМ, що застосовуються для кількісного вимірювання неповноти та неточності існуючих знань, які покладено в основу системи правил ідентифікація зазначених видів незнання. Досліджено міри кількісного вираження невизначеності пов'язаної із приналежністю $u_j \in U$ заданій цільовій множині $U_S \subseteq U$; міри, що відображають точність і якість отриманих апроксимацій U_S .

Шостий розділ присвячено апробації результатів дисертаційного дослідження шляхом створення СППР аналізу та структуризації даних та експертних знань, сформованих в умовах НЕ-факторів різної природи (неточності, неповноти,

невизначеності, неузгодженості, нечіткості, та їх комбінацій), багатокритеріальності та багатоальтернативності; та розробки ряду методик практичного застосування запропонованих ІТ ППР на прикладі розв'язку реальних задач прийняття рішень в умовах складних видів незнання, багатоальтернативності та багатокритеріальності.

Для автоматизації процесу синтезу ІТ інтелектуальної ППР була запропонована оригінальна архітектура СППР (рис. 7). Кожна підсистема, в свою чергу, складається з набору компонентів (модулів), що забезпечують функціонування підсистеми в цілому і виконує певні функції.

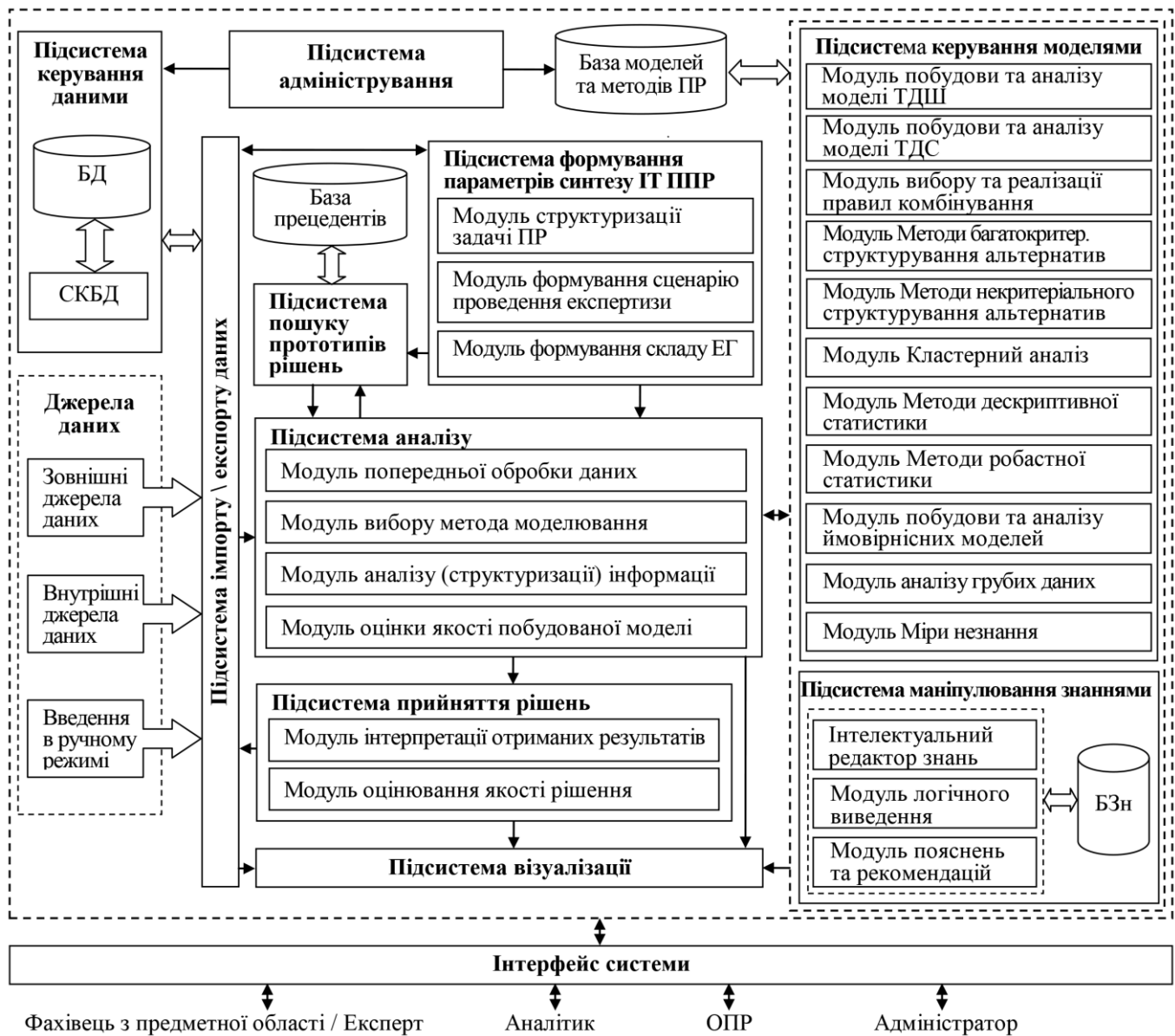


Рисунок 7 – Архітектура СППР (ЕГ – експертна група; СКБД – система керування БД)

Для вирішення задачі багатокритеріальної оптимізації з метою вибору оптимального варіанту рішення запропоновано підхід, в основі якого лежить комплексне використання процедури формування множини Парето та методів теорії свідочств, що дозволило отримати більш формалізовану процедуру звуження множини Парето до отримання єдиного оптимального рішення (одноеlementну

множину Парето). Суть методу полягає у некрітеріальному ранжуванні елементів утвореної множини Парето, та всіх їх можливих комбінацій, на основі методів ТДШ.

В роботі запропоновано модифікацію методу міркувань за прецедентами (CBR-метод) на основі математичного апарату ТГМ для вирішення задачі пошуку прототипів рішень нової (невідомої) задачі, що має схожий (стереотипний) набір вихідних даних, і за необхідністю, їх адаптація до аналізованої проблеми. Припустимо, задана база прецедентів (БПр) $K = (U, R)$, де $U = \{u_j \mid j = \overline{1, z}\}$ – універсум прецедентів, R – відношення еквівалентності, та прецедент, що характеризує поточну ситуацію $u_p = (x_1, \dots, x_n; X_1, \dots, X_n)$, де $x_1, \dots, x_n$ – параметри прецеденту, $x_1 \in X_1, \dots, x_n \in X_n$; $X_1, \dots, X_n$ – область допустимих значень відповідних параметрів прецеденту. Необхідно серед заданого набору прецедентів U , визначити такий u_j , що в найбільшій мірі відповідає поточній ситуації u_p .

Бібліотека прецедентів є БЗн онтологічного типу. Інформація про прецеденти описується у формі конкретних фактів: опис поточної ситуації; рішення поточної ситуації; результати застосування моделі.



Рисунок 8 – Алгоритм пошуку прецедентів

Алгоритм пошуку прецедентів наведено на рис. 8 (через $[u]_R$ позначена категорія в R , що містить елемент $u \in U$).

На попередньому етапі формується підмножина прецедентів $U' = \{u_j \mid j = \overline{1, f}\}$, які належать деякій заданій цільовій множині $U' \subset U$, що характеризує основні параметри поточної ситуації u_p .

У відповідності до нотації ТГМ визначаються такі елементи $u \in U$, які

належать до R -нижньої апроксимації, або R -граничної області заданої цільової множини $U' \subset U$. Далі серед виділеного набору прецедентів $Y \subset U'$, що мають схожий набір вихідних даних з поточною (аналізованою) ситуацією, визначається найбільш близький прецедент до аналізованої ситуації, наприклад, на основі метричних методів, в основу яких покладено обчислення функцій подібності, показників відстані в деякому заданому метричному просторі між аналізованими об'єктами. Важливим аспектом при вирішенні зазначеної задачі є врахування можливості успішного застосування (адаптація) обраних прецедентів в конкретній ситуації,

тобто вилучення прецедентів має базуватися не тільки на їх схожості з поточною проблемною ситуацією, але й на тому, наскільки якісну, для отримання бажаного результату, модель вони являють.

Запропонований підхід дозволяє скоротити час при вирішенні задач пошуку, порівняння та класифікації прецедентів на 8–10%.

У **додатках** наведені результати дослідження впливу структури і кардинальності фокальних елементів на рівень конфлікту та протиріччя ЕС; рішення з проектного забезпечення запропонованої СППР; документи, що підтверджують практичне значення і застосування одержаних результатів; перелік публікацій здобувача.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішена важлива науково-практична проблема спрямована на створення і розвиток основ нормативної теорії та методології синтезу ІТ орієнтованих на інтелектуальне забезпечення ППР в умовах НЕ-факторів різної природи; розробки нових підходів, моделей та ІТ аналізу та структуризації даних та експертних знань, що формуються в умовах багатокритеріальності, багатоальтернативності та складних видів незнання.

В результаті дисертаційного дослідження були отримані наступні основні результати та висновки:

1. На основі проведеного аналізу ряду праць вітчизняних і зарубіжних вчених, проаналізовані існуючі підходи до систематизації та класифікації основних видів незнання (НЕ-факторів), встановлено взаємозв'язок між ними, визначені шляхи до їх формалізації. Проведений аналіз показав, що не встановлено критеріїв та процедур ідентифікації НЕ-факторів, під впливом яких формується або аналізується множина вихідних даних, незважаючи на існуюче різноманіття методів їх моделювання, відсутня процедура системного застосування математичного формалізму моделювання НЕ-факторів, в залежності від ідентифікованого у вихідному наборі даних виду НЕ-фактора. Не сформульовано рекомендацій щодо вибору із множини альтернативних методів, такого, що забезпечує отримання кращого результату, виходячи із цілей аналізу, затрачуваних ресурсів, структури вихідних даних, умов та обмежень, що накладаються постановкою задачі, тощо.

2. Запропонована концепція нормативної теорії синтезу ІТ моделювання НЕ-факторів різної природи, в основу якої покладена інтелектуальна інтеграція чотирьох базових компонент та системоутворюючих зв'язків між ними: сукупності вихідних даних та знань; комплексу НЕ-факторів, що впливають на процеси видобування та обробки вихідної інформації; комплексу методів їх моделювання; множини вирішуваних задач.

3. Сформульовані загальні теоретичні положення та практичні рекомендації методології синтезу ІТ інтелектуального забезпечення процесів прийняття рішень в умовах НЕ-факторів різної природи, в рамках якої викладені основні принципи синтезу ІТ, що інваріантні до типу розв'язуваної задачі та способу виявлення та представлення вихідної інформації; запропоновано комплекс вирішуючих правил та формалізованих математичних моделей синтезу ІТ ППР на основі обліку аналізованого в роботі комплексу НЕ-факторів (та їх комбінацій).

4. Розглянута специфіка процесів обробки даних та експертних знань, що протікають під впливом таких видів незнання (НЕ-факторів), як невизначеність, неоднорідність, нечіткість, неточність, неповнота, у тому числі складні форми, зумовлені одночасною присутністю двох та більше видів незнання, зокрема невизначеності та конфлікту, невизначеності та неспецифічності, невизначеності, нечіткості та суперечливості та ін. Виявлені причини їх прояву, визначені критерії та запропонована процедура формалізації процесу їх ідентифікації.

5. Розроблена багатоетапна процедура вибору математичного апарату моделювання НЕ-факторів, в основу якої покладено синтез системи вирішуючих правил обґрунтованого вибору математично формалізму моделювання ідентифікованого виду незнання (в тому числі їх можливих комбінацій), на основі обліку заданого набору якісних і кількісних ознак, що дозволяють однозначно охарактеризувати можливості та обмеження методу-кандидату.

6. Розроблено комплекс ІТ інтелектуальної ППР в умовах неоднорідності, невизначеності, неточності та складних форм незнання, що дозволяють вирішувати типові задачі інтелектуального аналізу (класифікація, кластеризація, ранжування, агрегування) даних; багатокритеріальні (багатоальтернативні) задачі прийняття рішень.

7. Запропоновано метод агрегування групових ЕС, який дозволяє синтезувати групове рішення з урахуванням різних форм представлення суджень експертів у вигляді нечітких, точкових та інтервальних оцінок. Відсутність обмеження на форму подання експертних переваг сприяє підвищенню якості, надійності та достовірності ЕС.

8. Запропоновано метод кластеризації групових ЕО, що формуються в умовах невизначеності та неузгодженості (конфлікту) в рамках моделі ТДШ, з метою виділення підгруп, всередині яких оцінки експертів вважаються узгодженими. Оцінки експертів вважаються узгодженими, якщо середній, або максимальний (в залежності від визначених початкових умов) рівень конфлікту між ними не перевищує заданий пороговий рівень. На відміну від існуючих методів кластеризації, запропонований підхід дозволяє обробляти ЕС довільної структури, враховувати можливі способи їх взаємодії (об'єднання, перетин).

9. Запропоновано ряд математичних моделей синтезу індивідуальних та групових рішень в умовах багатоальтернативності, багатокритеріальності та складних форм незнання (у тому числі їх комбінації) при розв'язанні слабоструктурованих задач на основі методів ТДС та ТДШ.

10. Досліджено основні моделі структур ЕС, які дозволяють обробляти результати експертного опитування в умовах невизначеності та наявності конфліктуючих (суперечливих, не співпадаючих) ЕС. Проаналізовано тенденції зміни рівня конфлікту і міри протиріччя свідочств по відношенню до структури і кардинальності фокальних елементів всередині групи свідочств, що дозволяє оцінювати якість отриманих свідочств.

11. Запропоновано метод вибору оптимального правила комбінування ЕС, сформованих в рамках моделі ТДШ, що забезпечує отримання комбінованої маси ймовірності з найменшим досяжним рівнем невизначеності, враховуючи структуру ЕС та порядок їх комбінування.

12. Запропоновано модифікацію методу міркувань за прецедентами на основі математичного апарату ТГМ для вирішення задачі представлення знань про прецеденти, їх адаптацію та подальший пошук в БПр. Запропонований підхід дозволяє витягати знання про прецеденти з масивів неупорядкованих, неточних, неповних даних, та скоротити час при вирішенні задач пошуку, порівняння та класифікації прецедентів на 8-10% порівняно з метричними методами.

13. Запропоновано підхід до агрегування групових ЕО ймовірності реалізації випадкових подій при вирішенні задач ймовірнісного виведення на деревах ймовірності, що дозволяє синтезувати узагальнені оцінки ймовірності реалізації випадкових подій, сформовані в умовах невизначеності, неповноти, неузгодженості (суперечливості, конфлікту).

14. Запропоновано модифікацію методу вибору оптимального рішення на множині Парето за рахунок некрітеріального ранжування рішень цієї множини на основі математичного апарату ТДШ.

15. Запропоновано ряд методик вирішення практичних задач, в основу яких покладено синтезовані ІТ ППР в умовах НЕ-факторів різної природи, зокрема: методика вибору та класифікації проектів реконструкції муніципальних систем теплопостачання; методика вибору оптимальної організаційної структури підприємства; методика статистичної обробки результатів вимірювань, з метою виявлення та виключення з подальшого аналізу аномальних спостережень.

16. Запропоновано структурно-функціональну схему інструментальних засобів реалізації СППР аналізу та структуризації даних та експертних знань, що формуються в умовах багатокритеріальності, багатоальтернативності, невизначеності, неоднорідності, нечіткості, неточності, неповноти, та складних (комбінованих) видів незнання.

Практичне значення одержаних результатів дослідження підтверджується їх використанням на підприємствах Миколаївської області, та у навчальному процесі Чорноморського національного університету імені Петра Могили.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації

1. Kovalenko I. I., Shved A. V. Clustering of group expert estimates based on measures in the theory of evidence. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2016. № 4 (154). P. 71–78; **внесок автора**: розроблено математичні моделі структуризації (кластеризації) групових експертних оцінок на основі методів теорії свідств; **база(и)**: SCOPUS, Index Copernicus Journals Master List, Google Scholar, CrossRef.

2. Kovalenko I. I., Shved A. V. Development of a technology of structuring group expert judgments under various types of uncertainty. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 3/4 (93). P. 60–68. doi: 10.15587/1729-4061.2018.133299; **внесок автора**: розроблено метод агрегування групових експертних свідств, що дозволяє враховувати різну форму подання експертних переваг (інтервальні, нечіткі, чіткі експертні оцінки); **база(и)**: SciVerse SCOPUS, Google Scholar, CrossRef.

3. Kovalenko I. I., Shved A. V., Koval N. V. A modified Case-Based Reasoning method based on the rough set theory. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2018. № 4 (47). P. 106–112. doi: 10.15588/1607-3274-2018-4-10; **внесок автора**: розроблено модифікацію методу міркувань за прецедентами на основі математичного апарату теорії грубих множин при розв'язку задачі класифікації прецедентів та їх подальшого пошуку в базі прецедентів; **база(и)**: Web of Science (WoS) Index Copernicus Journals Master List, Google Scholar, CrossRef.

4. Kovalenko I., Davydenko Y., Shved A. Development of the procedure for integrated application of scenario prediction methods. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 2, Iss. 4 (98). P. 31–38. doi: 10.15587/1729-4061.2019.163871; **внесок автора**: розроблено методику комплексного застосування методів сценарного аналізу та прогнозування, представлених графами типу «дерево»; **база(и)**: SciVerse SCOPUS, Google Scholar Index Copernicus Journals Master List, CrossRef.

5. Shved A. Syntesis of group decisions in the problem of analysis of the technical condition of military-civilian objects. *Radio Electronics, Computer Science, Control*. 2019. Iss. 4 (51). P. 92–102. doi: 10.15588/1607-3274-2019-4-9; **внесок автора**: запропоновано методику синтезу групових рішень оцінки технічного стану об'єктів цивільного, промислового та військово-технічного призначення, та визначення таких об'єктів, які першочергово потребують ремонтно-будівельних робіт в умовах складних форм невизначеності та багатоальтернативності; **база(и)**: Web of Science (WoS), Index Copernicus Journals Master List, Google Scholar, CrossRef.

6. Shved A., Kovalenko I., Davydenko Y. Method of detection the consistent subgroups of expert assessments in a group based on measures of dissimilarity in evidence theory. *Advances in Intelligent Systems and Computing IV. CCSIT 2019* / N. Shakhovska, M. Medykovsky (eds.). 2020. Vol. 1080. P. 36–53. doi: 10.1007/978-3-030-33695-0_4; **внесок автора**: запропонована процедура розбиття вихідної сукупності групових експертних оцінок на підгрупи, що містять однорідні, узгоджені оцінки на основі математичного апарату теорії свідощів; **база(и)**: SCOPUS, DBLP.

7. Kovalenko I., Davydenko Y., Shved A. Searching for Pareto-optimal solutions. *Advances in Intelligent Systems and Computing IV. CCSIT 2019* / N. Shakhovska, M. Medykovsky (eds.). 2020. Vol. 1080. P. 121–138. doi: 10.1007/978-3-030-33695-0_10; **внесок автора**: запропоновано модифікацію методу звуження множини Парето до єдиного оптимального рішення, за рахунок некрітеріального ранжування рішень, що включені в множину Парето на основі математичного апарату теорії свідощів; **база(и)**: SCOPUS, DBLP.

8. Коваленко И. И., Драган С. В., Швед А. В. Моделирование организационных структур методами графодинамики. *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування*. 2011. №5 (440). С. 125–131; **внесок автора**: запропоновано методику вибору та формування оптимальної організаційної ієрархічної структури підприємства; **база(и)**: Google Scholar, CrossRef.

9. Коваленко И. И., Давыденко Е. А., Швед А. В. Выбор решений на основе нечетких отношений. *Проблеми інформаційних технологій*. 2011. №02 (010). С. 29–32; **внесок автора**: запропоновано процедуру ранжування багатокритеріальних альтернатив з використанням нечітких бінарних відношень; **база(и)**: Google Scholar.

10. Коваленко И.И., Швед А. В., Кобылинский И. А. Информационные технологии графодинамического моделирования структур организационных систем. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2012. №1 (44). С. 59–64; **внесок автора**: запропоновано ІТ імітаційного моделювання оптимальних ієрархічних організаційних структур при вирішенні різних задач їх оптимізації на основі методів графодинаміки; **база(и)**: Google Scholar.

11. Коваленко И. И., Швед А. В., Пугаченко Е. С. Экспертное ранжирование иерархических организационных структур с использованием метода анализа иерархий и теории свидетельств. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2013. №1 (46). С. 67–71; **внесок автора**: запропоновано процедуру ранжирування множини альтернативних ієрархічних структур, що характеризуються різними значеннями критеріїв оптимальності на основі методів теорії свідомств; **база(и)**: Google Scholar.

12. Коваленко И. И., Швед А. В. Некоторые НЕ-факторы и методы их моделирования. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2013. №1 (46). С. 23–27; **внесок автора**: виконано аналіз та систематизація НЕ-факторів, що впливають на процеси здобуття та аналізу експертних оцінок; **база(и)**: Google Scholar.

13. Коваленко И. И., Швед А. В. Информационная технология поддержки принятия решений с использованием методов вероятностного вывода. *Наукові праці: Науково-методичний журнал Чорноморського державного університету ім. П. Могили. Серія: Комп'ютерні технології*. 2013. Вип. 217. Т. 229. С. 51–58; **внесок автора**: запропоновано концепцію інтегрованої ІТ системного застосування методів ймовірнісного виведення; **база(и)**: Index Copernicus Journals Master List, Google Scholar.

14. Коваленко И. И., Швед А. В., Пугаченко Е. С. Анализ правил комбинирования групповых экспертных оценок в конфликтных ситуациях. *Проблеми інформаційних технологій*. 2014. №1 (15). С. 14–20; **внесок автора**: досліджено ряд правил комбінування експертних суджень на основі кон'юнктивного консенсусу при синтезі агрегованої оцінки в умовах конфліктної експертної інформації з урахуванням обраної моделі аналізу даних; **база(и)**: Google Scholar.

15. Коваленко И. И., Швед А. В. Формализованный подход к выбору оценок типа „среднее” в анализе малых неоднородных выборок данных. *Наукові праці: Науково-методичний журнал Чорноморського державного університету ім. П. Могили. Серія: Комп'ютерні технології*. 2014. Вип. 238. Т. 250. С. 74–78; **внесок автора**: запропоновано процедуру обробки малих неоднорідних сукупностей даних та знаходження їх узагальнених оцінок на основі робастних процедур; **база(и)**: Index Copernicus Journals Master List, Google Scholar.

16. Коваленко И. И., Швед А. В., Мельник А. В., Пугаченко Е. С. Сравнительный анализ методов моделирования некоторых НЕ-факторов. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2015. № 1. С. 43–50; **внесок автора**: досліджено методи моделювання НЕ-факторів на основі сучасних теорій: теорії нечітких множин, теорії свідомств, теорії правдоподібних і парадоксальних міркувань, теорії грубих множин; **база(и)**: Index Copernicus Journals Master List, Google Scholar, CrossRef.

17. Швед А. В. Анализ моделей экспертных свидетельств. *Проблеми інформаційних технологій*. 2016. №1 (19). С. 88–95; **внесок автора**: досліджено

залежність значень метрики Jousselme від сформованої структури експертних свідощів; **база(и)**: Google Scholar.

18. Швед А. В. Алгоритм вибору правила комбінування експертних свідощів. *Наукові праці: Науково-методичний журнал Чорноморського державного університету ім. П. Могили. Серія: Комп'ютерні технології*. 2016. Вип. 271. Т. 283. С. 19–25; **внесок автора**: запропоновано адаптивний алгоритм вибору оптимального правила комбінування; **база(и)**: Index Copernicus Journals Master List, Google Scholar.

19. Антипова К. О., Коваленко І. І., Швед А. В. Моделі невизначеності в групових експертних судженнях. *Наукові праці: Науково-методичний журнал Чорноморського державного університету ім. П. Могили. Серія: Комп'ютерні технології*. 2017. Вип. 295. Т. 307. С. 54–59; **внесок автора**: розроблено ряд математичних моделей синтезу групових експертних свідощів в умовах невизначеності та наявності конфліктуючих (суперечливих, не співпадаючих) експертних свідощів; **база(и)**: Index Copernicus Journals Master List, Google Scholar.

20. Коваленко І. І., Швед А. В. Аналіз модифікацій метода аналізу ієрархій на основі нечітких експертних суджень. *Проблеми інформаційних технологій*. 2017. №01 (021). С. 42–51; **внесок автора**: досліджено модифікації методу аналізу ієрархій на основі математичного апарату нечіткої логіки; **база(и)**: Google Scholar.

21. Коваленко І. І., Швед А. В. Класифікація експертних оцінок показників якості програмних продуктів на основі теорії грубих множин. *Наукові праці: Науково-методичний журнал Чорноморського державного університету ім. П. Могили. Серія: Комп'ютерні технології*. 2018. Вип. 305. Т. 317. С. 12–17; **внесок автора**: запропоновано процедуру представлення та класифікації групових експертних оцінок показників якості програмних продуктів та систем, сформованих в умовах невизначеності та наявності неточних, необроблених, суперечливих вихідних даних; **база(и)**: Index Copernicus Journals Master List, Google Scholar.

22. Коваленко І. І., Швед А. В. Аналіз моделей експертних свідощів сформованих в умовах невизначеності методами теорії можливостей. *Наукові праці: Науково-методичний журнал Чорноморського державного університету ім. П. Могили. Серія: Комп'ютерні технології*. 2018. Вип. 308. Т. 320. С. 3–9; **внесок автора**: проаналізовано ряд мір теорії можливостей, що дозволяють кількісного оцінити невизначеність пов'язану із експертними судженнями; **база(и)**: Index Copernicus Journals Master List, Google Scholar.

23. Kovalenko I., Shved A., Davydenko Y. Choice of software development technologies based on pareto-optimal solutions. *Scientific Journal of the Ternopil National Technical University*. 2019. Vol. 95. No. 3. P. 24–32. doi: 10.33108/visnyk_tntu2019.03.116; **внесок автора**: запропоновано структуру ІТ парето-оптимального вибору технології реалізації життєвого циклу програмного забезпечення; **база(и)**: Google Scholar.

24. Коваленко І. І., Швед А. В. Дослідження динаміки рівня невизначеності в умовах різної структури експертних свідощів. *Геометричне моделювання та інформаційні технології*. 2017. № 1 (3). С. 56–63; **внесок автора**: досліджено ряд мір, що дозволяють кількісно оцінити рівень невизначеності та конфлікту для групи експертних оцінок, сформованих в рамках нотації математичної теорії свідощів; **база(и)**: Google Scholar.

25. Antipova K. O., Davydenko Ye. O., Kovalenko I. I., Shved A. V. Modelling of group expert judgments under conditions of complex uncertainty. *East European Scientific Journal*. 2019. No 5 (45). P. 4–10; **внесок автора**: досліджено моделі структур експертних свідочств, сформовані в умовах складних форм невизначеності та наявності конфліктуючих (суперечливих) експертних суджень; **база(и)**: Google Scholar.

26. Коваленко И. И., Швед А. В. Экспертные технологии поддержки принятия решений: Монография. Николаев: Иллион, 2013. 216 с.; **внесок автора**: запропоновано математичні моделі синтезу індивідуальних та групових рішень в умовах багатоальтернативності, багатокритеріальності та складних форм незнання; **база(и)**: Google Scholar.

27. Швед А. В. Моделирование та управління НЕ-факторами різної природи: Монографія. Миколаїв: Іліон, 2019. 204 с.; **внесок автора**: сформульовано систему критеріїв ідентифікації різних видів незнання; запропоновано процедура вибору математичного апарату їх моделювання; розроблено ряд математичних моделей обробки даних та експертних знань, що протікають під впливом таких видів незнання, як невизначеність, неоднорідність, нечіткість, неточність.

Праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

28. Fisun M., Shved A., Nezdoliy Y., Davydenko Y. The experience in application of information technologies for teaching of disabled students. In: *Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS 2015)*. (Warsaw, Poland, 24–25 September. 2015). Warsaw, 2015. Vol. 2. P. 935–939. doi: 10.1109/IDAACS.2015.7341441; **внесок автора**: запропоновано математичну модель синтезу групового рішення щодо вибору оптимального сервісу для проведення навчальних вебінарів в умовах багатоальтернативності, багатокритеріальності та невизначеності; **база(и)**: SCOPUS, DBLP.

29. Shved A., Davydenko Y. The analysis of uncertainty measures with various types of evidence. In: *Proceedings of the 1st IEEE International Conference on Data Stream Mining & Processing (DSMP 2016)*. (Lviv, Ukraine, 23–27 August. 2016). Lviv 2016. P. 61–64. doi: 10.1109/DSMP.2016.7583508; **внесок автора**: проаналізовано комплекс мір теорії свідочств, що дозволяють оцінити якість свідочств та ступінь глобального конфлікту; досліджена залежність розглянутих мір від структури експертних свідочств; **база(и)**: SCOPUS, Google Scholar.

30. Shved A. V. Probabilistic risk analysis of investment projects under uncertainty. In: *Proceedings of the 9th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications (IDAACS 2017)*. (Bucharest, Romania, 21–23 September. 2015). Bucharest, 2017. P. 179–182. doi: 10.1109/IDAACS.2017.8095072; **внесок автора**: запропоновано модифікацію методу побудови дерев ймовірності, в основу якої покладено математичну модель синтезу агрегованих апіорних оцінок ймовірності реалізації подій сформованих за результатами групової експертизи в умовах складних форм незнання (наприклад, невизначеності та неузгодженості; невизначеності та неточності, та ін.); **база(и)**: SCOPUS, DBLP.

31. Kovalenko I., Davydenko Y., Shved A. Formation of consistent groups of expert evidences based on dissimilarity measures in evidence theory. In: *Proceedings of the 14th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies* (CSIT 2019). (Lviv, Ukraine, 17–20 September. 2019). Lviv, 2019. P. 113–116. doi: 10.1109/STC-CSIT.2019.8929858; **внесок автора**: запропоновано метод кластеризації групових ЕС, що формуються в умовах невизначеності та неузгодженості (конфлікту) в рамках моделі Шейфера; досліджено вплив на результати кластеризації різних метрик відстаней; **база(и)**: Web of Science, SCOPUS, Google Scholar.

32. Kovalenko I., Davydenko Y., Shved A., Boiko A. Efficient funds allocation system based on fuzzy logic and smart contracts. In: *Proceedings of the International Workshop on Information Modeling. Data and Knowledge Engineering* (IWIMDKE 2019). (Lviv, Ukraine, 18–19 September. 2019). Lviv, 2019. P. 214–217. doi: 10.1109/STC-CSIT.2019.8929856; **внесок автора**: розроблено ІТ переказу грошових коштів на основі механізму нечіткої логіки; **база(и)**: Web of Science, SCOPUS, Google Scholar.

33. Kovalenko I., Shved A., Davydenko Y. Modeling uncertain situations in decision-making with influence diagrams. In: *Proceedings of the 1st International Workshop on Information-Communication Technologies & Embedded Systems* (ICT&ES 2019). (Mykolaiv, Ukraine, 14–15 November. 2019). Mykolaiv, 2019. P. 106–115; **внесок автора**: досліджено сучасні методи сценарного аналізу та прогнозування; запропоновано математичні моделі аналізу сценаріїв в умовах великої кількості взаємопов'язаних факторів та невизначеності; **база(и)**: SCOPUS.

34. Kovalenko I., Davydenko Y., Shved A., Antipova K. Methodology for the synthesis of information technologies for ignorance modeling: the key concepts. In: *Proceedings of the 1st International Workshop on Information-Communication Technologies & Embedded Systems* (ICT&ES 2019). (Mykolaiv, Ukraine, 14–15 November. 2019). Mykolaiv, 2019. P. 233–240; **внесок автора**: розроблені теоретико-методологічні основи синтезу ІТ, орієнтованих на інтелектуальне забезпечення процесів прийняття рішень в умовах незнання різної природи; **база(и)**: SCOPUS.

35. Kovalenko I., Shved A., Antipova K., Davydenko Y. Structuring of a transaction database using the rough set theory. In: *Proceedings of the 3rd International Workshop on Computer Modeling and Intelligent Systems* (CMIS-2020). (Zaporizhzhia, Ukraine, April 27-May 1. 2020). Zaporizhzhia, 2020. P. 278–287; **внесок автора**: запропоновані математичні моделі структуризації неточної та неповної інформації при формуванні бази даних транзакцій; **база(и)**: SCOPUS, DBLP.

36. Kovalenko I., Shved A., Davydenko Y. The basic concepts of the normative theory of the synthesis of information technologies for decision support. In: *Proceedings of the 15th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies* (CSIT 2020). (Zbarazh, Ukraine, 23–26 September. 2020). Zbarazh, 2020. P. 332–335. doi: 10.1109/CSIT49958.2020.9321882; **внесок автора**: запропонована концепція нормативної теорії синтезу ІТ моделювання НЕ-факторів; **база(и)**: Web of Science, SCOPUS, Google Scholar.

37. Kovalenko I., Shved A., Davydenko Y. A technique for structuring of group expert judgments formed under complex forms of ignorance. In: *Proceedings of the 7th*

IEEE International Conference on Information Technology and Interactions (IT&I-2020). (Kyiv, Ukraine, 2–3 December. 2020). Kyiv, 2020. P. 296–305; **внесок автора:** запропоновано ІТ структурузації групових експертних оцінок, що формуються в умовах складних (комбінованих) форм незнання, багатоальтернативності та багатокритеріальності; **база(и):** SCOPUS, DBLP.

38. Швед А. В. Аналіз правил комбінування експертних свідоцтв сформованих в умовах невизначеності. *Могилянські читання–2014: досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні: глобальний, національний та регіональний аспекти:* матеріали XVII Всеукр. наук.-метод. конф., 17–21 листопада 2014 р. м. Миколаїв, 2014. С. 55–56; **внесок автора:** досліджено альтернативні підходи комбінування свідоцтв, сформованих в рамках моделі Демпстера-Шейфера.

39. Швед А. В. Інформаційна технологія ранжування експертних оцінок із застосуванням теорії свідоцтв. *Ольвійський форум-2015: стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі:* матеріали IX міжнар. наук.-практ. конф., 3–6 червня 2015 р. м. Миколаїв, 2015. Т. 2. С. 117–119; **внесок автора:** розроблено структуру ІТ побудови результуючого ранжування групових експертних оцінок в умовах багатокритеріальності і наявності складних форм невизначеностей, на основі процедури комплексного застосування правил комбінування експертних свідоцтв в рамках моделі Демпстера-Шейфера.

40. Швед А. В. Дослідження впливу структури експертних свідоцтв на ступінь конфлікту між ними. *Могилянські читання–2015: досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні: глобальний, національний та регіональний аспекти:* матеріали XVIII Всеукр. наук.-метод. конф., 12–20 лист. 2015 р. м. Миколаїв, 2015. С. 70–71; **внесок автора:** проаналізовано тенденції зміни рівня конфлікту і міри протиріччя експертних свідоцтв по відношенню до структури і кардинальності фокальних елементів всередині групи свідоцтв.

41. Shved A. V. One approach to selection of the combination rules. In: *Proceedings of the 12th International conference on Intellectual Systems for Decision Making and Problems of Computational Intelligence (ISDMCI'2016).* (Kherson, Ukraine, 24–28 May. 2016). Kherson, 2016. P. 162–164; **внесок автора:** запропоновано метод вибору оптимального правила комбінування експертних свідоцтв сформованих в рамках моделі Шейфера, що забезпечує отримання комбінованої маси ймовірності з найменшим досяжним рівнем невизначеності.

42. Швед А. В. Методика вибору правил комбінування. *Ольвійський форум-2016: стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі:* матеріали X міжнар. наук.-практ. конф., 9–12 червня 2016 р. м. Миколаїв, 2016. Т. 5. С. 36–38; **внесок автора:** запропоновано методику вибору правила комбінування, враховуючи структуру експертних свідоцтв, та ступінь подібності між ними.

43. Швед А. В. Алгоритм вибору правила комбінування експертних свідоцтв. *Могилянські читання: досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні: глобальний, національний та регіональний аспекти:* матеріали XIX Всеукр. наук.-метод. конф., 14–18 лист. 2016 р. м. Миколаїв, 2016. С. 124–127; **внесок автора:** сформульовано систему критеріїв вибору правила комбінування на основі кон'юнктивного консенсусу.

44. Коваленко І. І., Швед А. В. Методика агрегування індивідуальних ймовірнісних оцінок експертів при вирішенні задач ймовірнісного висновку на деревах ймовірностей. *Могилянські читання–2017: досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні: глобальний, національний та регіональний аспекти*: матеріали XX Всеукр. наук.-метод. конф., 13–14 лист., 2017 р. м. Миколаїв, 2017. С. 84–85; **внесок автора**: запропоновано математичні моделі синтезу групових експертних оцінок ймовірності реалізації випадкових подій при вирішенні задач ймовірнісного виведення на деревах ймовірностей в умовах невизначеності, неповноти, неузгодженості (суперечливості, конфлікту).

45. Коваленко І. І., Швед А. В. Методика синтезу групового рішення в умовах специфічних форм невизначеності. *Ольвійський форум-2018: стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі*: матеріали XII міжнар. наук.-практ. конф., 7–10 червня 2018 р. м. Миколаїв, 2018. С. 36–38; **внесок автора**: розроблено методику синтезу групового рішення, що дозволяє моделювати невизначеність в судженнях експертів, враховуючи різні форми «незнання» (суперечливість, неповнота, нечіткість та інші) під впливом яких формуються оцінки експертів, і не накладати жорсткі обмеження на форму їх подання.

46. Коваленко І. І., Швед А. В. Методика оцінювання експлуатаційного стану фортифікаційних споруд в умовах невизначеності та нечіткості. *Могилянські читання–2018: досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні: глобальний, національний та регіональний аспекти*: матеріали XXI Всеукр. наук.-метод. конф., 12–17 лист. 2018 р. м. Миколаїв, 2018. С. 133–135; **внесок автора**: запропоновано методику оцінювання експлуатаційного стану будівель та фортифікаційних споруд, та відбору об'єктів військового призначення для проведення робіт по їх реконструкції та капітальному ремонту.

47. Швед А. В., Давиденко Є. О. Оцінка експлуатаційного стану об'єктів військово-цивільного призначення в умовах невизначеності. *Інтернет-Освіта-Наука–2018 (ІОН-2018)*: матеріали XI міжнар. наук.-практ. конф., 22–25 травня, 2018 р. м. Вінниця, 2018. С. 122–123; **внесок автора**: запропоновано математичну модель агрегування індивідуальних оцінок експертів при побудові результуючого ранжування об'єктів військово-цивільного призначення за ступенем їх експлуатаційного стану в умовах невизначеності, нечіткості та неточності вихідних даних.

48. Давиденко Є. О., Швед А. В. Система ефективного розподілу коштів на основі нечіткої логіки та smart-контрактів. *Інтернет-Освіта-Наука–2018 (ІОН-2018)*: матеріали XI міжнар. наук.-практ. конф., 22–25 травня, 2018 р. м. Вінниця, 2018. С. 22–23; **внесок автора**: запропоновано архітектуру системи передачі коштів головної організації між її інстанціями у вигляді smart-контракту.

49. Коваленко І. І., Давиденко Є. О., Швед А. В. Архітектура та принципи побудови системи ситуаційного управління на основі метода прецедентів. *Контроль і управління в складних системах (КУСС-2018)*: матеріали XIV Міжнар. конф., 15–17 жовтня, 2018 р. м. Вінниця, 2018. Режим доступу: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/22687>; **внесок автора**: сформульовано вимоги та принципи побудови СППР реального часу на основі методів міркувань за прецедентами.

50. Швед А. В., Бойко А. П., Давиденко Є. О. Технологія підтримки прийняття рішень в задачах вибору оптимальної стратегії у військовоцивільній сфері. Контроль і управління в складних системах (КУСС-2018): матеріали XIV Міжнар. конф., 15–17 жовтня, 2018 р. м. Вінниця, 2018. Режим доступу: <http://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/22751>; **внесок автора**: запропоновано структуру СППР вибору оптимальної стратегії у військово-цивільній сфері.

51. Давиденко Є. О., Коваленко І. І., Швед А. В. Вибір методів групових рішень для агрегування індивідуальних експертних оцінок. *Ольвійський форум-2019: стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі*: матеріали XIII міжнар. наук.-практ. конф., 6–9 червня 2019 р. м. Миколаїв, 2019. С. 26–28; **внесок автора**: проаналізовано комплекс методів отримання індивідуальних експертних оцінок та багатокритеріального вибору альтернатив; визначено критерії їх застосування.

52. Коваленко І. І., Швед А. В., Давиденко Є. О. Теорія можливостей та її застосування. *Ольвійський форум-2019: стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі*: матеріали XIII міжнар. наук.-практ. конф., 6–9 червня 2019 р. м. Миколаїв, 2019. С. 35–37; **внесок автора**: проаналізовано комплекс методів теорії можливостей застосованих для моделювання нечіткості і випадковості; визначено критерії їх застосування.

53. Швед А. В., Коваленко І. І., Давиденко Є. О. Нечітке моделювання часових рядів. *Ольвійський форум-2019: стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі*: матеріали XIII міжнар. наук.-практ. конф., 6–9 червня 2019 р. м. Миколаїв, 2019. С. 39–41; **внесок автора**: проаналізовано комплекс методів теорії нечітких множин для вирішення задачі прогнозування часових рядів; визначено критерії їх застосування.

54. Коваленко І. І., Швед А. В., Давиденко Є. О., Антіпова К. О. Методика комплексного застосування методів сценарного прогнозування, представлених графовими моделями ієрархічної структури. *Могілянські читання–2019: досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні: глобальний, національний та регіональний аспекти*: матеріали XXII Всеукр. наук.-метод. конф., 11–16 листоп. 2019 р. м. Миколаїв, 2019. С. 129–132; **внесок автора**: розроблено структуру ІТ розв'язку задачі аналізу ризиків програмних проектів на основі комплексного застосування дерева відмов та дерева ймовірностей.

55. Коваленко І. І., Швед А. В., Давиденко Є. О., Антіпова К. О. Принципи побудови діаграм впливу. *Могілянські читання–2019: досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні: глобальний, національний та регіональний аспекти*: матеріали XXII Всеукр. наук.-метод. конф., 11–16 листоп. 2019 р. м. Миколаїв, 2019. С. 132–134; **внесок автора**: досліджено основні принципи побудови діаграм впливу.

56. Коваленко І. І., Швед А. В., Давиденко Є. О., Антіпова К. О. Структурування бази даних транзакцій з використанням грубих множин. *Ольвійський форум-2020: стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі*: матеріали XIV міжнар. наук.-практ. конф., 4–7 червня 2020 р. м. Миколаїв, 2020. С. 50–53; **внесок автора**: досліджені принципи структуризації неповних, невпорядкованих даних методами теорії грубих множин.

57. Коваленко І. І., Давиденко Є. О., Швед А. В., Антіпова К. О. Класифікатори даних на основі інформаційної ентропії. *Могилянські читання–2020: досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні: глобальний, національний та регіональний аспекти*: матеріали XXIII Всеукр. наук.-метод. конф., 16–20 лист. 2020 р. м. Миколаїв, 2020. С. 97–99; **внесок автора**: досліджені принципи класифікації даних на основі інформаційної ентропії.

58. Kovalenko I., Shved A., Davydenko Y. Structuring of group expert judgments formed under complex forms of ignorance. In: *Proceedings of the 7th International conference on Information Technology and Interactions (Satellite)*. (Kyiv, Ukraine, 4 December. 2020). Kyiv, 2020. P. 297–300; **внесок автора**: розроблено математичні моделі синтезу ІТ підтримки прийняття рішень в умовах комплексних форм незнання.

59. Kovalenko I., Antipova K., Davydenko Y., Shved A. Comparative analysis of criteria convolution methods in decision-making. *Інформаційні технології і автоматизація – 2020*: матеріали XIII Міжнар. наук.-практ. конф., 22–23 жовтня 2020 р. м. Одеса, 2020. С. 57–59; **внесок автора**: досліджені методи згортки критеріїв при прийняття рішень; визначено критерії їх застосування.

Праці, які додатково відображають наукові результати дисертації

60. Коваленко І. І., Швед А. В. Классификация многокритериальных альтернатив с использованием комплексных вербальных критериев. *Проблеми інформаційних технологій*. 2011. №01 (009). С. 42–46; **внесок автора**: розглянуто процедуру ієрахічного агрегування шляхом введення комплексних вербальних критеріїв оцінювання альтернатив; **база(и)**: Google Scholar.

61. Коваленко І. І., Пономаренко Т. В., Швед А. В. Принятие решений по выбору типов судов для перевозки грузов на основе нечетких отношений. *Вісник Національного технічного університету ХПІ. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. 2012. Вип. 68. С. 62–67; **внесок автора**: запропоновано процедуру вибору типу судна для перевезення вантажів в умовах нечіткості; **база(и)**: Google Scholar, CrossRef.

62. Коваленко І. І., Швед А. В. Некоторые прикладные задачи теории грубых множеств. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2012. №1 (44). С. 7–14; **внесок автора**: досліджено математичні моделі подання та класифікації експертних знань на основі методів теорії грубих множин; **база(и)**: Google Scholar.

63. Коваленко І. І., Приходько С. Б., Пугаченко К. С., Швед А. В. Графодинамическое имитационное моделирование задач управления составом организационных систем. *Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць*. 2013. Вип. 5 (88). С. 50–60; **внесок автора**: досліджено математичні моделі імітаційного моделювання задач управління ієрархічними організаційними системами; **база(и)**: Index Copernicus Journals Master List, Google Scholar, CrossRef.

64. Коваленко І. І., Швед А. В., Мельник А. В. Вероятностный анализ рискообразующих факторов в организационных задачах судоремонта. *Судостроение и морская инфраструктура*. 2014. №2 (2). С. 111–121; **внесок автора**: розроблено математичну модель аналізу ризикоутворюючих факторів

організаційних задач судоремонту на основі методів ймовірнісного виведення; **база(и)**: Google Scholar.

65. Kovalenko I. I., Chernova L. S., Shved A. V. Quality simulation of risk contributing factors in high technology enterprises and productions. *Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура*. 2016. Вип. 128. С. 83–88; **внесок автора**: запропонована математична модель планування діяльності наукомісткого підприємства в умовах невизначеності; **база(и)**: Google Scholar.

66. Коваленко І. І., Давиденко Є. О., Швед А. В. Методика пошуку асоціативних правил. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2019. № 3. С. 50–55. doi: 10.24025/2306-4412.3.2019.176909; **внесок автора**: запропоновано методику формування вибірки предметів, найбільш характерних для спрощеного масиву транзакцій, на основі якої формуються асоціативні бінарні відношення та розраховуються їх характеристики для визначення того, чи є такі відношення правилами; **база(и)**: Index Copernicus Journals Master List, Google Scholar, CrossRef.

67. Kovalenko I., Shved A., Davydenko Y. (2020). Graph dynamical modeling of organizational systems structures. *Computer Science and Engineering*. 2020. No. 1 (1). P. 1–19. doi: 10.26693/cse2020.01.001; **внесок автора**: досліджено основні принципи побудови графічних динамічних систем для імітаційного структури організаційної системи підприємства; **база(и)**: Google Scholar.

68. Коваленко І. І., Швед А. В., Мандра А. В. Качественное моделирование факторов риска отказа судового двигателя. *Preceedings of Azerbaijan State Marine Academy (ASMA)*. 2017. № 2. С. 186–190; **внесок автора**: запропоновано математичну модель аналізу ризикоутворюючих факторів при моделюванні відмови судового двигуна; **база(и)**: Google Scholar.

АНОТАЦІЯ

Швед А. В. Моделі і методи нормативної теорії синтезу інформаційних технологій в умовах наявності НЕ-факторів різної природи. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Чорноморського національного університету імені Петра Могили, Миколаїв, 2021.

Дисертаційне дослідження спрямоване на вирішення актуальної науково-практичної проблеми створення і розвитку основ нормативної теорії синтезу інформаційних технологій орієнтованих на інтелектуальне забезпечення процесів прийняття рішень в умовах різних видів НЕ-факторів.

Досліджені основні концепти та теоретичні положення моделювання різних видів незнання, проаналізовані підходи до їх класифікації. Розглянуті основні особливості процесів видобуванням та обробки даних і експертних знань, що протікають під впливом неповноти, невизначеності, неоднорідності, нечіткості, неточності та їх можливих комбінацій, визначені сучасні математичні теорії їх моделювання.

Запропонована концепція нормативної теорії та методології синтезу інформаційних технологій підтримки процесів підготовки та прийняття рішень, синтезованих в умовах НЕ-факторів різної природи; розроблено комплекс правил та

формалізованих математичних моделей процесу синтезу інформаційних технологій підтримки прийняття рішень на основі врахування ряду НЕ-факторів різної природи. Сформульовано систему критеріїв ідентифікації аналізованих видів незнання, що впливають на процеси пов'язані із видобуванням та аналізом експертних знань та даних, з метою їх формалізації та обґрунтованого вибору математичного апарату їх моделювання. Запропоновано процедуру вибору методів моделювання НЕ-факторів, яка дозволяє генерувати систему вирішуючих правил обґрунтованого вибору математичного формалізму моделювання різних видів незнання, що оказують негативний вплив на процеси отримання та обробки сукупності вихідних даних, або містяться у вихідній інформації.

Запропоновано комплекс методів та інформаційних технологій структуризації та управління експертними знаннями, які формуються та оброблюються в умовах невизначеності, неоднорідності, неточності, та комбінованих видів незнання, зокрема: метод кластеризації експертних свідочств, з метою виділення узгоджених (із заданим максимальним рівнем конфлікту) підгруп свідочств; метод агрегування групових експертних оцінок, з метою синтезу групового рішення з урахуванням різних форм представлення суджень експертів (інтервальні, нечіткі, точкові оцінки); метод вибору оптимального правила комбінування експертних свідочств, з метою отримання комбінованої маси ймовірності з найменшим досяжним рівнем невизначеності.

Удосконалено метод некрітеріального вибору Парето-оптимального рішення, що спрощує процедуру вибору рішень на множині Парето за рахунок ранжування рішень, що включені до множини Парето; метод міркувань за прецедентами за рахунок введення специфічних видів апроксимацій з метою класифікації прецедентів та їх подальшого пошуку в базі прецедентів; метод побудови дерев ймовірності, шляхом визначення апріорних оцінок ймовірності реалізації подій на основі результатів групової експертизи в умовах складних форм незнання та конфлікту.

Дістали подальшого розвитку моделі та методи синтезу індивідуальних та групових рішень в умовах складних видів незнання (у тому числі їх комбінацій) при розв'язанні задач, пов'язаних з необхідністю урахування багатоальтернативності та багатокритеріальності.

Запропонована концепція та архітектура системи підтримки прийняття рішень, що реалізує механізми, які покладені в основу запропонованої методології синтезу інформаційних технологій підтримки прийняття рішень. Розроблено комплекс інформаційних технологій реалізації ряду практичних задач.

SUMMARY

Shved A. V. Models and Methods of the Normative Theory of the Synthesis of Information Technologies under Different Forms of Ignorance. –Manuscript.

Thesis for a Doctor of Technical Science degree in specialty 05.13.06 – Information Technologies. – Petro Mohyla Black Sea National University, Mykolaiv, 2021.

The dissertation research is devoted to solving the actual scientific and practical problem of creation and development of bases of the normative theory of synthesis of the

information technologies focused on intellectual maintenance of decision-making processes under various types of ignorance.

The basic concepts and theoretical provisions of modeling different types of ignorance are studied; the approaches to their classification are analyzed. The main features of data extraction and processing of data and expert knowledge under the influence of incompleteness, uncertainty, inhomogeneity, vagueness, inaccuracy and their possible combinations has been considered, modern mathematical theories of their modeling has been defined.

The basic concepts of normative theory and methodology of synthesis of information technologies focused on intellectual support of decision-making processes under non-factors of different nature is offered; a set of rules and formalized mathematical models of the process of synthesis of information technologies under non-factors of different nature has been developed. The procedure of non-factors modeling methods choosing, which allows to generate a system of decisive rules of reasonable choice of mathematical formalism of modeling of different types of ignorance, which have a negative effect on the processes of obtaining and processing a set of source data, is offered. A system of criteria for identification of various analyzed types of ignorance that affect the processes associated with the extraction and analysis of data and expert knowledge, in order to formalize them and a reasonable choice of mathematical apparatus for their modeling, has been proposed.

A set of methods and information technologies for structuring and managing data and expert knowledge, which are formed and processed in conditions of uncertainty, heterogeneity, inaccuracy, and combined types of ignorance has been proposed: the method of clustering the initial set of group expert assessments, in order to identify agreed (with a given maximum level of conflict) subgroups; the method for aggregating group expert, in order to synthesize a group decision taking into account different forms of presenting expert judgments (interval, fuzzy, crisp); the method for selection the optimal combination rule, in order to obtain a combined probability mass with the lowest achievable level of uncertainty.

The method of non-criteria selection of Pareto-optimal solution has been improved due to the ranking of solutions included in the Pareto set; the case-based reasoning method has been improved due to the use of specific types of approximations in order to classify precedents and their further search in the base of precedents; the method of constructing probability trees has been improved by determining a priori estimates of the probability of realization of events on the basis of the results of group examination in the conditions of complex forms of ignorance and conflict.

Further development received models and methods of synthesis the individual and group decisions in the conditions of complex forms of ignorance (including their combination), multi-alternativeness and multi-criteria.

The concept and architecture of the decision support system that implements the mechanisms that underlie the proposed methodology for the synthesis of information technologies for decision support. A set of information technologies for the implementation of a number of practical tasks has been developed.

Підп. до друку 30.03.2021. Формат 60×84/16.

Ум. друк. арк.1.9.

Тираж 120 прим. Зам. 3003-1.

Поліграфічне підприємство СПД Румянцева Г. В.

54038, м. Миколаїв, вул. Бузника, 5/1.

Свідоцтво МК № 11 від 26.01.2007 р.